

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL



**“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE AHORRO DE ENERGÍA EN UNA
PLANTA TEXTIL”**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS

PRESENTADO POR:

RENZO JACOB ECHEVARRÍA ARDILES

LIMA - PERÚ

2006

RESUMEN

Mediante la aplicación de las técnicas de ahorro de energía se busca lograr el más eficiente uso de la energía para la empresa, identificando mejoras que tengan una viabilidad técnico-económica y que permita formular metas y acciones a seguir para la realización de estas mejoras. Para llevar a cabo estas mejoras existen muchas técnicas efectivas de ahorro de energía en sistemas de vapor y agua caliente (térmica) para todo tipo de instalaciones. En nuestro caso este informe va orientado a la aplicación de las siguientes medidas de ahorro en las diversas instalaciones térmicas: Mejoras en la combustión (regular el exceso de aire, reemplazar quemadores on-off por quemadores modulantes), reducir la presión de vapor, reducción de la formación de depósitos, recuperar condensados, uso de vapor flash, uso del condensador de vapor por contacto, uso de acumuladores de vapor, reducción de fugas de vapor en tuberías, equipos y accesorios, mantenimiento de trampas de vapor, mejorar el aislamiento y uso de cogeneración. Todas estas medidas llevan a que la eficiencia térmica en las instalaciones de la planta se incremente y la implementación dependerá por un lado de las posibilidades financieras y económicas de la empresa.

Asimismo la ejecución y seguimiento de la mejora debe realizarse a través de una organización específica para el ahorro de energía que deberá crearse en cada empresa.

En suma, para mejorar la eficiencia térmica se tiene primero que hacer un diagnóstico de las instalaciones térmicas para lo cual se deben utilizar instrumentos de medición para la evaluación de consumos de energía térmica, identificando áreas en las cuales se está haciendo despilfarro de energía y en donde es posible hacer mejoras basadas en técnicas de ahorro de energía, pero también tenemos que hacer que la empresa mantenga la planta en la más alta eficiencia y la necesidad de una gerencia sistemática efectiva.

ÍNDICE

	Página(s)
Resumen	2
I. Introducción	5-6
II. Industria textil y consumo energético	
2.1 Descripción general del proceso productivo general en una industria textil.....	7-14
2.2 Consumos de energía en una planta textil	15
III. Principales Técnicas de Ahorro de Energía en Sistemas de Vapor y Condensados	
3.1 Regular el exceso de aire	16-20
3.2 Reemplazo de quemadores on-off por quemadores modulantes.....	20-21
3.3 Reducir la presión del vapor	21-22
3.4 Reducción de la formación de depósitos	22-23
3.5 Recuperar condensados	24-25
3.6 Uso de vapor flash	25-27
3.7 Uso del condensador de vapor por contacto	27-28
3.8 Uso de acumuladores de vapor	29-32
3.9 Reducción de fugas de vapor en tuberías, equipos y accesorios	32-34
3.10 Mantenimiento de trampas de vapor	34-36
3.11 Mejorar el aislamiento	36-38
3.12 Uso de cogeneración	39

IV. Aplicación de Técnicas de Ahorro de Energía en una Planta Textil

4.1 Datos Generales de la Instalación

4.1.1 Identificación de la Industria	40
4.1.2 Descripción de la instalación y proceso	
Productivo	40-44
4.1.3 Servicios Auxiliares	45
4.1.4 Régimen de actividad y producción	45
4.1.5 Fuentes de suministro energético	45-46

4.2 Análisis energético de la instalación, descripción y análisis de las mejoras

4.2.1 Generación de vapor.....	46-54
4.2.2 Distribución de vapor.....	55
4.2.3 Consumos de vapor.....	55-60
4.2.4 Redes de vapor y condensados.....	61-62

4.3 Resumen del estudio	62-66
-------------------------------	-------

4.4 Organización energética de la empresa.....	67-69
--	-------

V. Conclusiones y Recomendaciones.....	70-72
---	--------------

VI. Bibliografía	73
-------------------------------	-----------

VII. Apéndice.....	74-111
---------------------------	---------------

I. INTRODUCCIÓN

Los dos equipos de combustión de mayor uso en las instalaciones y plantas industriales son los calderos de vapor y agua caliente. Estos son usados para transferir energía de un combustible que se quema a un fluido que transporta calor a diferentes temperaturas ya sea para ser usados en el proceso o para un calentamiento en diferentes formas. Para esto el transporte del fluido se hace por tuberías desde la caldera hasta el punto de consumo (equipo térmico), y luego desde éste a la caldera pero con un menor contenido energético.

La experiencia ha demostrado que la gran mayoría de calderas trabajan con eficiencias térmicas menores a la máxima alcanzable.

Por otro lado, en los sistemas de distribución de vapor o agua caliente, también se presentan deficiencias (trampas de vapor, aislamiento, entre otros) que se traducen en pérdidas de energía que a su vez implican mayor consumo de combustible en la caldera para compensar dichas pérdidas. Las pérdidas en este caso son variables, dependiendo de las deficiencias encontradas.

En un sistema de generación-distribución en conjunto, el uso ineficiente de la energía puede significar un aprovechamiento tan bajo como del 30% de la energía aportada al sistema por el combustible en la caldera (sistemas de vapor), en lugar de un 70% como podría ser en el caso de un sistema optimizado.

Por otro lado, la ineficiencia de las calderas y sistemas de distribución, además de implicar mayor consumo de combustible, implican también un incremento proporcional de las emisiones de gases de combustión tales como:

Dióxido de Carbono (CO₂): causante del efecto invernadero.

Dióxido de Azufre (SO₂): causante de lluvia ácida.

Óxidos de nitrógeno (NO_x): causante de la lluvia ácida.

Monóxido de Carbono (CO): contaminante.

Partículas en la forma de hollín: contaminante.

En conclusión, es necesario adoptar medidas que permitan incrementar la eficiencia de las calderas y sistemas de distribución de vapor, usando las mejores tecnologías disponibles y aplicando técnicas para incrementar la eficiencia de las calderas y el uso de vapor o agua caliente y reducir las pérdidas en los sistemas de distribución.

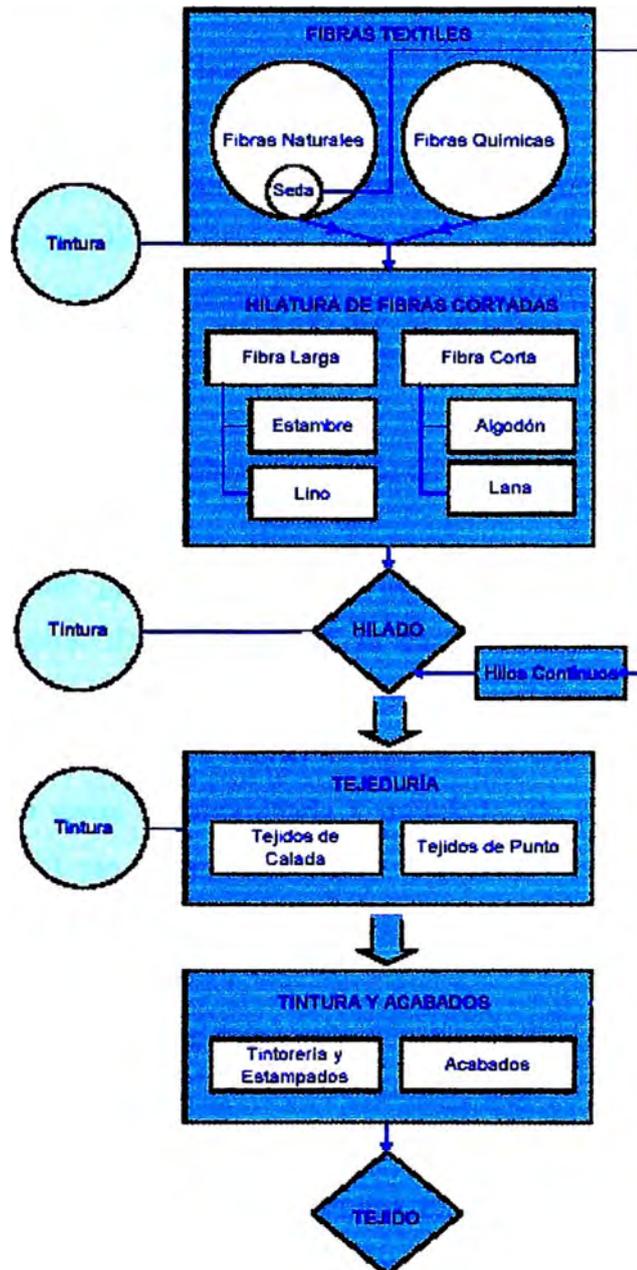
Existe una serie de técnicas comprobadas para usar el vapor en forma eficiente, mediante lo cual es posible reducir el consumo de vapor sin disminuir la producción o el nivel del servicio prestado; asimismo ello implica reducir el consumo de combustible para generar la cantidad de vapor ahorrada; obteniendo de esta manera un costo mínimo de generación de vapor en la planta y menores emisiones de gases producto de la combustión que ocasionan contaminación al ambiente.

El presente trabajo se centra en la aplicación de éstas técnicas para realizar un análisis de la eficiencia térmica en los sistemas de vapor y agua caliente, desde la generación en las calderas hasta el equipo térmico

II. INDUSTRIA TEXTIL Y COSUMO ENERGÉTICO ⁽¹⁾ y ⁽²⁾

2.1 Descripción general del proceso productivo en una industria textil

Diagrama de Flujo Productivo en la Industria Textil



La fabricación de la tela consta de las siguientes etapas:

2.1.1 Hilatura

Se divide en las siguientes fases:

1. Apertura, limpieza y mezcla

Constituyen el primer gran grupo de operaciones que se realizan para hilar una fibra presentada en forma de floca (fibra cortada). Tienen como objeto abrir suficientemente la materia que se ha comprimido para su transporte, limpiarla de impurezas y mezclarlas entre sí o con otras fibras diferentes.

2. Disgregación de las fibras (carda de cilindros)

Es el siguiente paso del proceso de hilatura e intenta la completa individualización de las fibras en la carda, reuniéndolas en forma de cinta. Se aprovecha también la carda para completar la limpieza de restos vegetales y eliminar las fibras cortas y los neps (una o más fibras dispuestas en masa desorganizada y enredada, de forma condensada, en forma de nudo) que se han formado al tratar la materia en las abridoras.

3. Preparación en grueso (manuar)

La misión fundamental del manuar es la de regularizar la masa de cintas de carda, mediante un reunido de varias cintas (de 6 a 8) y el estirado simultáneo de las mismas. Esta reunión sirve también para paralelizar las fibras y para mezclarlas entre sí, al propio tiempo que elimina el polvo y las impurezas presentes en la cinta de carda.

4. Peinado de las fibras

En la peinadora se eliminan las fibras cortas y gruesas, se eliminan neps e impurezas y se aumenta el paralelismo de las fibras.

5. Preparación en fino (mechera de torsión)

La principal misión de la mechera es adelgazar la cinta de manuar para obtener una mecha, que estirada y torcida en la continua de hilar nos dé el hilo. A la mecha saliente de la mechera le damos una ligera torsión para que las fibras aguanten los esfuerzos a que están sometidas en la fileta de la continua de hilar y no provoquen estirados incontrolados que originen defectos de masa en el hilo.

6. Hilatura (continua de anillos o de rotor)

Su objeto es transformar la mecha en un hilo mediante un estirado y torsión de las fibras. Los hilos formados se enrollan en una husada o en una bobina.

7. Bobinado, purgado y parafinado (bobinadora)

El bobinado tiene por objeto reunir varias husadas en una bobina, de formato muy superior a de la husada, facilitando las operaciones posteriores del urdido y tisaje. Opcionalmente se aprovecha este trasvase de hilo para depurarlo de los defectos de masa no deseados y, para todos aquellos que lo requieran, darle un suavizado con una pastilla de parafina.

2.1.2 Teñido del hilo

Las bobinas de hilado se someten a un tratamiento con soluciones de soda cáustica y detergentes (descruce) en máquinas a presión, que eliminan completamente las impurezas. Tras el enjuague en la misma máquina, las bobinas se tiñen, utilizando diferentes colorantes y auxiliares en función del color y la fibra a procesar. El hilado así teñido, va directamnet al proceso de tejido.

Para tejidos planos, aquel que se emplea como urdimbre debe ser engomado previamente. Para el tejido de punto (jersey) esta operación no es necesaria.

2.1.3 Engomado o encolado

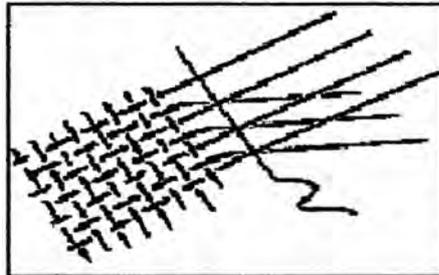
Los hilos crudos teñidos empleados como urdimbre llegan a las unidades de engomado en rollos, pasan por una solución de goma de fécula hervida (almidón) u otros agentes encolantes para darle resistencia necesaria para el tejido subsecuente.

2.1.4 Tejido

Los hilos pueden tejerse en telares a lanzadera (tejido plano / trama-urdimbre) o en máquinas circulares (tejido punto).

Tejido plano

El proceso mediante el cual se obtiene el tejido plano es el método más comúnmente utilizado en la industria textil. Este proceso se lleva a cabo en cualquiera de los distintos tipos de telares en los cuales, en términos generales, se entrelazan hebras dispuestas a lo largo (urdimbre) con otras que van en ángulo recto a las primeras (tramado) pasando por encima o debajo de éstas. Un tipo especial de telar sin lanzadera, conocido como el telar de inyección de agua, usa un chorro de agua para impulsar las hebras de urdimbre. En forma similar el telar de inyección de aire, un método tecnológicamente nuevo de tejido, usa impulsos de aire secuenciales para impulsar la hebra del tramado. A fin de evitar que se rompa la hebra de la urdimbre como consecuencia de la fricción que se produce durante la operación en sí, con frecuencia es necesario agregar al procesamiento una etapa conocida como engomado.



Tejido de punto

El proceso mediante el cual se obtiene el tejido de punto constituye uno de los principales métodos en la fabricación textil. Prácticamente toda la línea de medias y calcetines está hecha con tejido de punto, así como una gran cantidad de piezas de tela, prendas de vestir, ropa interior. Este proceso se lleva a cabo insertando una serie de lazos de una o más hebras en base a una serie de puntos conocidos y recorriendo a maquinaria sofisticada.

2.1.5 Chamuscado o quemado

El tejido plano se somete a un proceso de flameado por medio del cual se completa la eliminación de cascarillas y pelusas, resultando un tejido de espesor uniforme.

2.1.6 Desencolado o desgomado

En esta operación, previa al teñido, se remueve el agente encolante empleado para los tejidos planos. El desencolado puede ser ácido o enzimático; para ello puede utilizarse enzimas ácidas, detergentes alcalinos y jabones disueltos en agua, para posteriormente enjuagar la tela.

2.1.7 Mercerizado

Este proceso permite incrementar la resistencia tensil, lustre y la afinidad de los colorantes sobre la fibra de algodón y fibras sintéticas celulósicas. Consiste en impregnar la tela o el hilado con una solución fría hidróxido de sodio (15 a 30% en volumen). Este procedimiento se realiza manteniendo estirado el hilado o tejido. En algunos casos se elimina posteriormente el álcali con ayuda de algún ácido débil y se enjuaga con agua y vapor, provocándose la consecuente descarga. En otros, el exceso de soda en la tela o el hilado es aprovechado para el siguiente paso de descruce.

2.1.8 Descrude

Remueve impurezas naturales adheridas a las fibras y a la tela para acondicionarla para las posteriores etapas de blanqueo o tintura. Como ya se mencionó en el teñido directo de hilado, en este proceso se emplean soluciones alcalinas y detergentes en caliente. En muchos casos, puede practicarse el descrude y blanqueo en forma conjunta.

2.1.9 Blanqueo

Remueve la materia coloreada. Se utiliza sobre el algodón y en algunas fibras sintéticas después o en forma simultánea con el descrude y antes del teñido. El material textil se trata con una solución diluida de los agentes blanqueadores y tensoactivos. Después del blanqueo, la tela se enjuaga con agua y luego se trata con sustancias reductoras que eliminan el exceso del agente oxidante.

2.1.10 Teñido

Es la etapa más compleja; involucra una gran variedad de colorantes y agentes auxiliares de teñido. La calidad de la tintura depende del equipamiento empleado, la fórmula específica, los tintes y auxiliares de tinte que proveen el medio químico para su difusión y fijación sobre la fibra.

Cuadro 1. Tipos de procesos, equipos y características para el teñido

Tipo de Proceso	Equipo	Características
Material en Movimiento y el baño en reposo	Barca de torniquete	Se emplea para el teñido de tejido de punto, felpas, alfombras y tejidos planos. La relación de baño, volumen de baño por kilo de material que se procese, varía entre 1:30 a 1:15.
	Jigger	Se trabaja solamente tejidos planos, como popelinas, driles, cretonas y felpas. Mayor velocidad de circulación de la materia textil en forma de cuerda. Relación del baño promedio es de 1:15, ahorro de productos auxiliares, agua y energía.
Material en reposo y el baño en movimiento		Este proceso se utiliza para el teñido de hilados, ya sea en forma de madeja, conos, bobinas, tejidos de punto sintético y tejido plano. Se utilizan autoclaves verticales u horizontales.
Material y el baño en movimiento	Jet y Overflow	Con este método se ha conseguido el aumento de la producción de teñido, mejorando la uniformidad y el aspecto final de las telas. Las máquinas trabajan a altas temperaturas y permite teñir a velocidades de circulación muy elevadas. La relación del baño promedio es de 1:10 y se emplea tanto para tejidos planos como de punto.

Fuente: UNMSM – Miguel Angulo

2.2 Consumos de energía en una planta textil

En una planta textil los consumos energéticos se dan en los siguientes rubros:

➤ Vapor

a. Sección de tisaje

- Vaporizador

- Encoladora

b. Sección de tintorería y acabados

- Jets, jiggers y Thies

- cilindros decatizadores

c. Lavadoras

d. Secadores

➤ Electricidad

Aproximadamente el 65% es consumido por la sección de hilatura y tejido y el 35% restante por la sección de tintorería y acabados.

III. PRINCIPALES TÉCNICAS DE AHORRO DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE VAPOR Y CONDENSADOS ^{(3), (4) y (5)}

3.1. Regular el exceso de aire

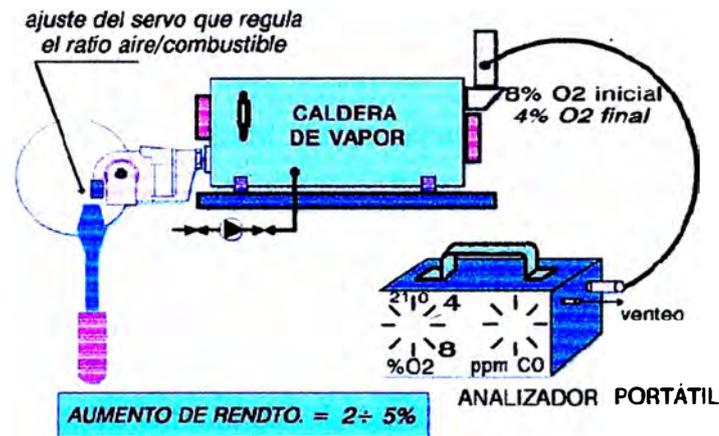


Figura 1. Optimización de un quemador ajustando el exceso de aire

El control del exceso de aire es una de las técnicas más efectivas para mejorar la eficiencia de una caldera con inversiones que pueden ser desde bajas hasta moderadas, dependiendo del sistema de control que se adopte.

Consiste en regular los flujos de aire mediante la apertura del controlador de presión de aire (damper) del ventilador 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) para la potencia del quemador que se trabaje, y con una mínima producción de sustancias resultantes de una combustión incompleta (básicamente hollín y Monóxido de Carbono, CO).

En las pequeñas y medianas empresas, con calderas hasta de unos 1000 BHP(Caballo de caldera) o más, el sistema de control más común lo constituye un sistema mecánico de eje que es una forma simple de control posicionante en paralelo. En este sistema la presión del vapor es

detectada por un presóstato, cuya señal posiciona eléctricamente un motor que a su vez acciona mecánicamente, mediante un mismo eje, la válvula de combustible (a través de una leva) y el damper del ventilador de aire de combustión, tratando de mantener una relación aire-combustible más o menos constante.

En los sistemas mecánicos posicionantes en paralelo sucede con frecuencia que estos no están ajustados para mantener el exceso de aire al mínimo posible, sino que la regulación aire-combustible es un tanto errática y por lo general con altos excesos de aire, resultado de un ajuste simple en base a inspección visual de los humos de chimenea.

En tal caso es necesario ajustar el sistema para lograr un mínimo de exceso de aire, mediante la apertura o cierre del damper de aire (ajuste grueso) y la apertura o cierre de la válvula de combustible posicionando adecuadamente los pines de la leva (ajuste fino). Lo anterior se realiza en base a análisis de gases (O_2 y/o CO_2) y determinación de opacidad de humos mediante el Índice de Bacharach.

El sistema es usualmente ajustado para una condición particular de operación en el momento en que la caldera es instalada o después de un mantenimiento de la unidad. En virtud de que el sistema debe acomodarse a las fluctuaciones de la calidad del combustible y al estado mecánico y operativo del sistema de combustión en su conjunto, requiere de ajustes periódicos para mantener el exceso de aire deseado previniendo la posibilidad de formación de hollín y CO.

El nivel mínimo de exceso de aire a emplear depende del combustible usado y del tipo de quemador disponible. Para quemadores de tiro forzado y aire sin precalentar, los niveles de exceso de aire a conseguir mediante los ajustes del sistema de control serán los que se indican en el Cuadro 2. En dicho cuadro también se indican los valores máximos de O_2 , CO y opacidad de gases que corresponderán para dichos excesos de aire. Estos dos últimos valores corresponden a las sustancias de combustión incompleta y son

inevitables en el proceso de combustión, pero no deben sobrepasar dichos valores máximos.

Para realizar un buen ajuste del exceso de aire, logrando una combustión adecuada, es necesario obtener una buena mezcla aire-combustible. Esto se consigue 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. Sin ello no se logrará un buen ajuste del exceso de aire.

Asimismo, es importante una limpieza de la caldera en el lado del agua y gases.

Cuadro 1. Nivel Recomendado de Exceso de Aire y Otros Parámetros

Combustible	Parámetro			
	Exceso aire (%)	O₂ en chimenea (%)	CO en chimenea (ppm)	Opacidad de humos (Índice Bacharach)
Gas natural	10 máx	2.0 máx	50 máx	0
Diesel	20 máx	3.5 máx	200 máx	3 máximo
Residual	25 máx	4.0 máx	400 máx	4 máximo

Fuente: MEM-PAE-Manual de Uso Racional de Energía

Los beneficios que se consiguen al reducir el exceso de aire son los siguientes:

Menores pérdidas de calor con el gas de chimenea que abandona la caldera, en virtud de que se deja de calentar innecesariamente aire en exceso que es evacuado junto con los gases. A menor volumen de gases de chimenea, menores son las pérdidas de calor.

Mayor transferencia de calor radiante.

Reducción de las emisiones de gases contaminantes (NO_x , SO_2 , CO) en virtud de que se quema menos combustible para satisfacer la misma demanda de vapor.

En resumen una mayor eficiencia de la caldera, menor costo de producción de vapor por el menor consumo de combustible y el consiguiente ahorro económico para la planta.

Los ahorros que pueden obtenerse al reducir el exceso de aire pueden ser cuantiosos dependiendo del nivel de exceso encontrado. En la figura 2 se ilustra el ahorro de combustible obtenible al reducir el exceso de aire cuando el combustible es el petróleo, desde un valor dado de exceso de aire (reflejado por el porcentaje de O_2 inicial) hasta el 20% de exceso de aire. Las inversiones requeridas para ajustar los sistemas mecánicos son bajas, pues es necesario contratar un especialista que posea un analizador de gases y probador de humos. Con los equipos en planta, solamente hay que ajustar la posición de varillas y levas hasta conseguir el exceso de aire deseado. Los gastos de puesta a punto de la caldera, son normalmente gastos propios del mantenimiento.

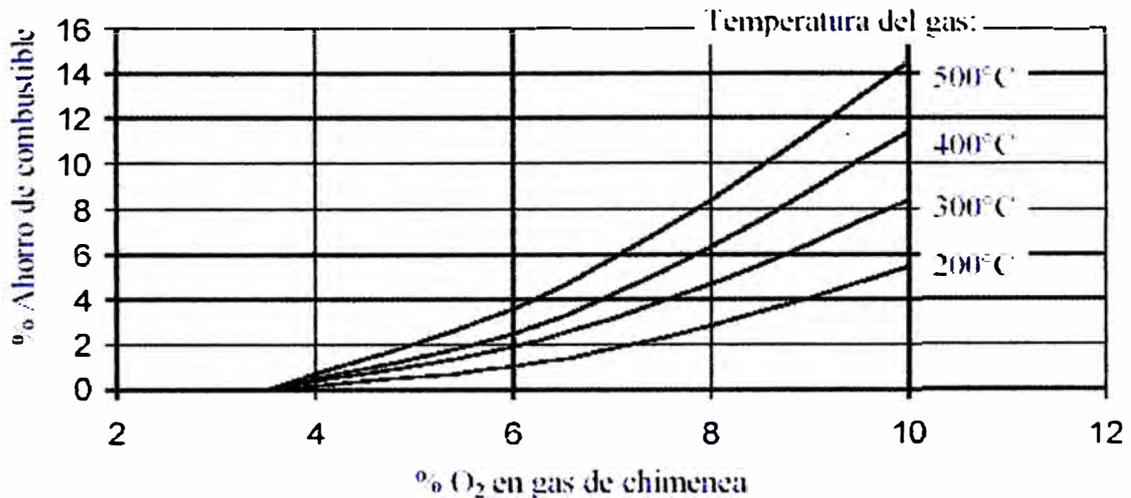


Figura 2. Pérdidas de eficiencia con la temperatura del gas y el exceso de oxígeno

Fuente: MEM-PAE-Manual de Uso Racional de Energía

3.2 Reemplazar Quemadores On-Off por Quemadores Modulantes

El reemplazo de los sistemas de regulación on-off de la potencia del quemador por sistemas que modulan la potencia de acuerdo a la carga de la caldera (ver Figura 3), permiten no sólo reducir las altas temperaturas del gas, sino también las pérdidas de calor que se dan en el lapso de stand-by, así como las pérdidas de calor asociadas con la purga de gases calientes de la caldera antes y después de cada ciclo de fuego, las cuales podrán eliminarse al darse una menor frecuencia de apagado del quemador.

El cambio de sistema de regulación puede permitir incrementar la eficiencia de una caldera con sistemas on-off desde un 75% a un 77% trabajando con sistema modulante.

La inversión requerida puede ser elevada, lo cual debe ser analizado tomando en cuenta las horas de operación de la caldera, la presión de operación y el consumo de combustible.

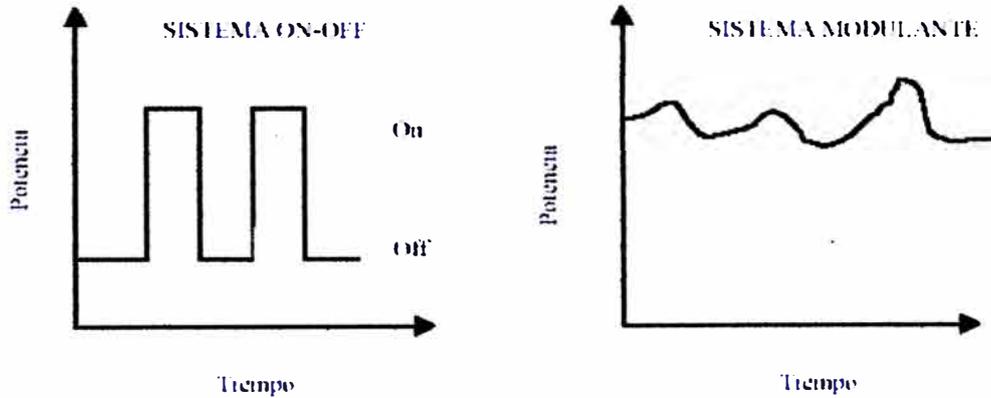


Figura 3. Sistemas de quemadores de calderas

3.3 Reducir la Presión del Vapor

En términos generales a medida que la presión del vapor en una caldera aumenta, también aumentan las pérdidas de energía debido a las altas temperaturas del gas de chimenea, mayores fugas de vapor, pérdidas de calor a través de las paredes en la caldera y tuberías de distribución y mayores pérdidas de vapor a través de trampas.

Considerando lo expuesto, a veces es posible reducir la presión de vapor a un nivel compatible con las necesidades de temperatura del usuario y con el diseño de las instalaciones de distribución de vapor, lo cual debe ser cuidadosamente estudiado. Si bien se pueden conseguir ahorros al reducir la presión del vapor, o mejorar el rendimiento (kg vapor / galón de combustible) de la caldera (ver Figura 4), pueden surgir otros problemas si la reducción es excesiva, tales como los que se enumeran a continuación:

Incremento del arrastre de humedad en la caldera y los golpes de ariete.

Aumento del volumen específico del vapor (m^3/kg) al reducir la presión. Por ello pueden darse excesivas velocidades en las tuberías existentes.

Funcionamiento inadecuado de trampas y algunos instrumentos sensibles a la temperatura

Menor transferencia de calor en los equipos térmicos

Pérdida de rendimiento en equipos accionados por vapor.

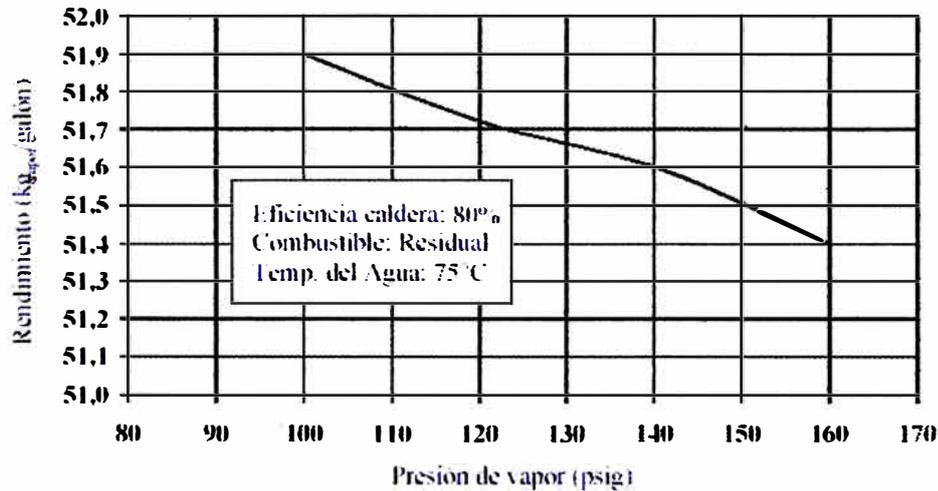


Figura 4. Efecto de la presión de vapor en el rendimiento

Fuente: MEM-PAE-Manual de Uso Racional de Energía

3.4 Reducción de la Formación de Depósitos

En una caldera pueden formarse depósitos tanto en el lado del agua como en el lado de los gases. En el primer caso, los depósitos (como el CaCO_3) se forman por causa de un mal tratamiento del agua de alimentación a caldera, como el ablandamiento; es decir que el agua de aporte contiene todavía sales de calcio y magnesio que no fueron previamente removidas en su totalidad en los equipos de ablandamiento, depositándose estos en los tubos por efecto del calor.

Una calidad pobre del agua afecta la eficiencia de la caldera de dos maneras:

- Se requiere una mayor purga dando como resultado mayores pérdidas de calor.

Los depósitos de caliche en los tubos, constituye una barrera a la transferencia de calor gas-agua, que provoca no solo la elevación de la temperatura del gas de chimenea, con la consiguiente pérdida de calor; sino también recalentamiento de tubos y posible falla de los mismos.

En el lado de los gases, los depósitos de hollín se originan por una mala combustión del combustible, debido a una pobre mezcla aire-combustible o por defecto de aire. Cuando el hollín se deposita en los tubos, también actúa como una capa de aislamiento que reduce la transferencia de calor gas-agua.

El resultado global es que los gases salen de la caldera con alta temperatura y la eficiencia de la unidad se reduce por no haberse aprovechado todo el calor de los gases. En la Figura 5 se ilustra el mayor consumo de petróleo para mantener el mismo nivel de transferencia de calor por efecto de la formación de dichos depósitos.

En la planta es fácil darse cuenta cuándo una caldera manifiesta suciedad en las paredes de los tubos, simplemente por elevación de la temperatura de gases de chimenea. Para calderas pirotubulares de 3 pasos (con exceso de aire recomendado), una temperatura por encima de 220°C en llama alta, ya es un indicio de que se están produciendo depósitos en los tubos.

Temperaturas de 350°C o más representa una grave suciedad y riesgos de daños para los tubos y placas de la caldera, por recalentamiento y dilatación fuera del rango permisible.

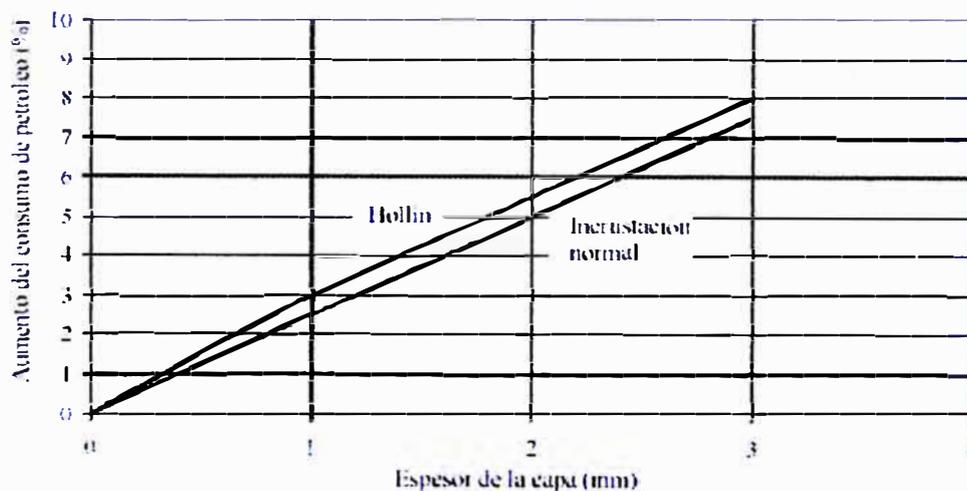


Figura 5. Incremento del consumo de petróleo por suciedad de tubos

Fuente: MEM-PAE-Manual de Uso Racional de Energía

3.5 Recuperar condensados

La recuperación de condensados implica un ahorro de combustible en la caldera y menores costos de generación de vapor por las razones que se explican a continuación:

- El condensado normalmente retorna a una temperatura de 70 a 90 °C, lo cual significa que contiene una cantidad de calor que sino es aprovechada tiene que ser aportada por el combustible para calentar el agua de alimentación hasta la misma temperatura.
- Si el condensado que es esencialmente agua pura, se pierde; el agua de aporte tiene que ser tratada lo cual implica mayores gastos operativos por el tratamiento y el costo del agua misma.
- El agua de aporte que reemplaza un condensado no aprovechado contiene impurezas que incrementan el régimen de purga y las pérdidas de calor asociados a dicha purga.

Un factor adicional que favorece la recuperación de condensados es la protección del ambiente, ya que la descarga de fluidos calientes tiene un impacto negativo en los cuerpos receptores (ríos, lagos, etc.) y está controlado. Por cada 5 ó 6 °C de calentamiento en el agua de alimentación a las calderas se puede obtener normalmente, un ahorro de petróleo del 1%.

En el gráfico de la Figura 6 se representa el incremento de consumo de petróleo en función de las pérdidas de condensado.

Puede verse que al pasar del 80% al 40% de pérdidas, el ahorro de combustible es de un 6%.

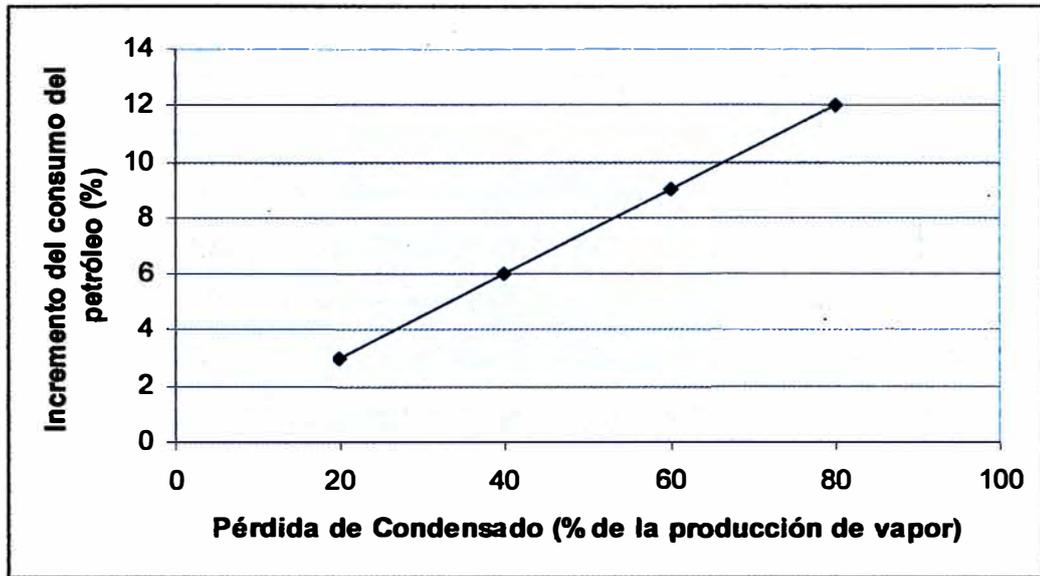


Figura 6. Gráfica para el cálculo del incremento del petróleo en función de la pérdida de condensado

Fuente: Cinyde S.A.

3.6 Uso de Vapor Flash

Son muchas las plantas que utilizan grandes cantidades de vapor a distintos niveles de presión y no tienen en cuenta el vapor de flash de los condensados.

El vapor flash o revaporizado es un vapor con las mismas características que un vapor vivo y se forma cuando un condensado pasa de una presión mayor a otra inferior. Parte de este condensado se convertirá en vapor a la misma temperatura que corresponda a la presión inferior. La cantidad de vapor flash obtenida será igual al exceso de calor latente del vapor a la presión inferior. El exceso de calor será la diferencia entre el calor sensible del condensado a la presión superior y el calor sensible a la inferior. Con esto conseguimos convertir en calor latente parte del calor sensible del condensado.

En la Figura 7 se muestra una forma gráfica para calcular el porcentaje de vapor flash formado cuando un condensado a cierta presión (antes de la trampa de vapor u otro dispositivo) se expande a presión atmosférica.

El vapor flash se produce siempre que se reduce la presión del condensado; por ejemplo en trampas de vapor, purgas de calderas, etc.

La separación del vapor flash del condensado se realiza en un tanque de expansión (ver Figura 8), que en realidad no es más que un depósito vertical, donde se produce una disminución de velocidad del flujo de vapor y condensado. Este depósito vertical permite la caída del condensado al fondo, de donde es evacuado por una trampa de vapor, mientras el vapor flash, que se encuentra a menor presión, sale por la parte superior del tanque. El ahorro que se obtenido es muy importante y se amortiza la inversión del separador en muy poco tiempo, ya que la instalación suele ser bastante simple.

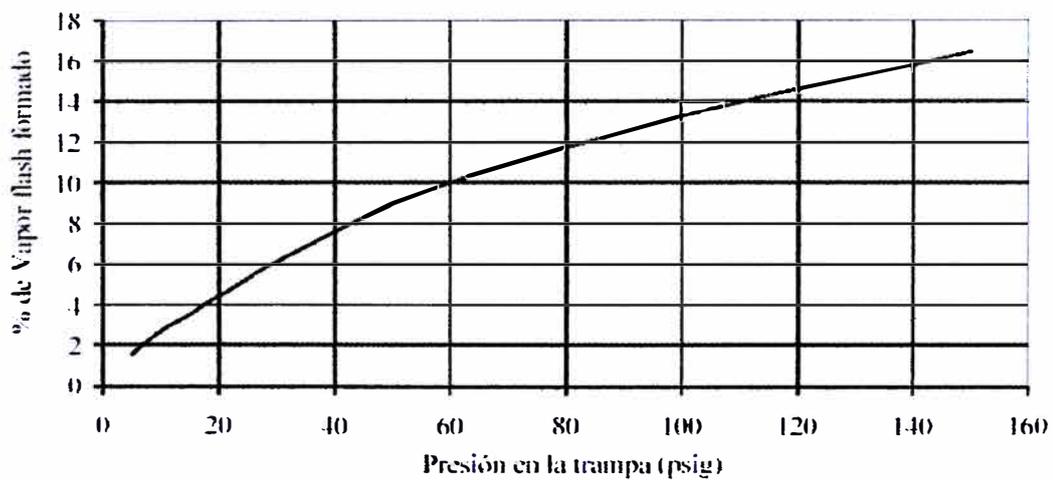


Figura 7. Gráfica para el cálculo del revaporizado

Fuente: MEM-PAE-Manual de Uso Racional de Energía

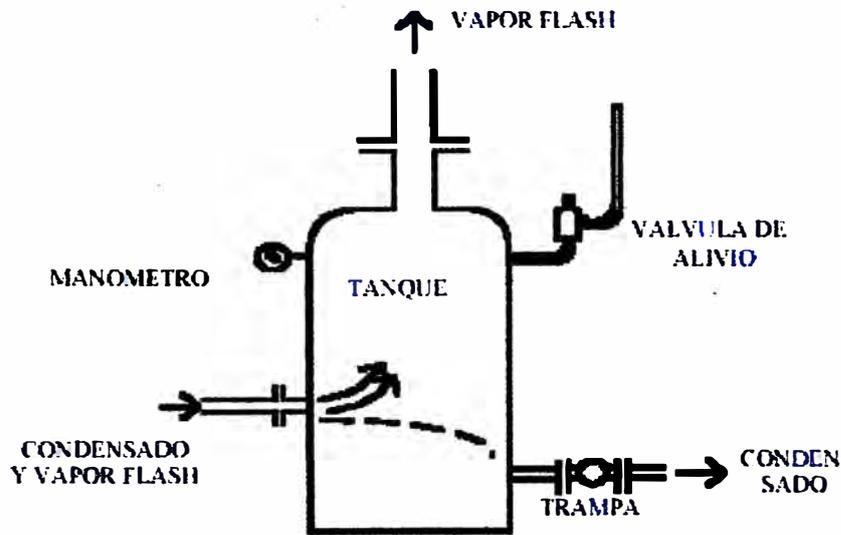


Figura 8. Tanque de separación de vapor flash

3.7 Uso del Condensador de Vapor por Contacto

El condensador de vapor es un equipo que se utiliza para obtener agua caliente aprovechando los vapores residuales de baja, enfriándolos usualmente con agua fría.

En esencia está formado por un depósito cilíndrico vertical, con varias entradas y salidas:

- Entrada de agua refrigerante.
- Entrada vapor de baja presión.
- Salida de agua condensada.
- Salida de incondensables.

Dicho sistema de recuperación del calor se muestra en la Figura 9.

En los condensadores de contacto, el vapor de baja presión se pone en contacto con agua más fría de tal forma que el vapor se condensa y transfiere su calor latente al líquido, el cual eleva su temperatura.

En el diseño de un condensador debe seguirse una serie de criterios conducentes a

Evitar demasiadas caídas de presión.

Evitar arrastres de gotas de agua.

Eliminar bolsas de aire.

- Utilizar agua tratada para evitar incrustaciones.

Los condensadores de mezcla se emplean especialmente como medios de recuperar calor si no es importante la mezcla del condensado con el agua de enfriamiento, o bien en situaciones en las que los vapores están contaminados, como medida previa a su evacuación. Si interesa recuperar un condensado limpio, el agua de refrigeración debe ser de igual calidad a la del agua de alimentación de caldera.

Los condensadores de mezcla, según la forma de mezcla o de contacto entre el vapor y el agua pueden ser de varios tipos:

De pulverización.

De cascada.

De eyector.

Mixtos.

Según el sentido de las corrientes de agua y vapor los condensadores de mezcla pueden ser:

A contracorriente.

A equicorriente.

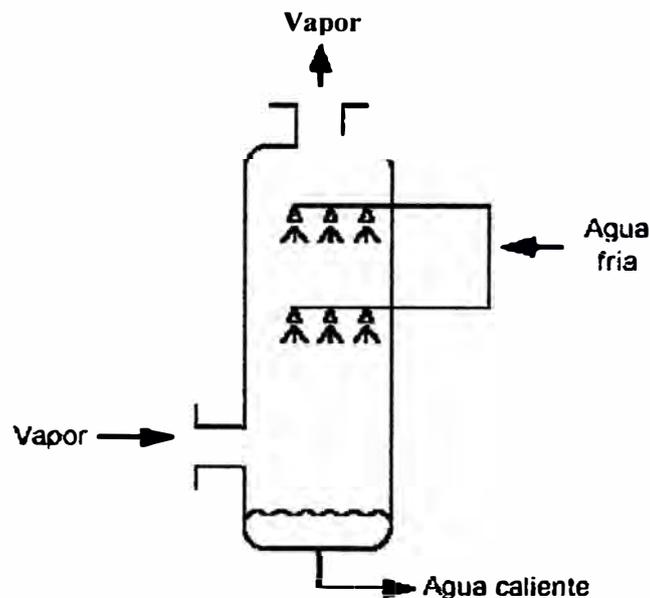


Figura 9. Torre de recuperación de calor por condensación de vapores

3.8 Uso de Acumuladores de Vapor

La demanda de vapor de una planta puede variar de unas a otras de manera muy diferente. Hay casos en que estas variaciones se produce bruscamente, es decir, hay grandes diferencias de consumo en intervalos cortos de tiempo.

En muchos procesos, fundamentalmente en plantas de producción por lotes (batch), la demanda de vapor varía en función de las operaciones que se llevan a cabo, desde lentamente hasta bruscamente.

Las variaciones súbitas en la demanda de vapor pueden ocasionar pérdidas en el rendimiento, fundamentalmente por las siguientes razones:

- Perturbaciones en la combustión.
- Falsos niveles que pueden llegar a parar la bomba y/o el quemador.
- Arrastres de agua con el vapor y consiguientes problemas por formación de depósitos.
- Necesidad de sobredimensionar la caldera o de instalar más calderas para absorber las puntas de demanda.
- Desequilibrio entre el calor aportado por el combustible y la presión del vapor que se traducen en mayor consumo de combustible y problemas en proceso por alta o baja presión.
- Disminución de la eficiencia de la caldera al no mantenerlas trabajando a la carga óptima.

Estos problemas se agravan si se tiene en cuenta que al producirse estas puntas en las demandas de vapor, la instalación reacciona de tal manera que tiende a acentuar el pico de demanda.

En tal sentido podría justificarse en dichos casos el uso de un acumulador de vapor para utilizarlo en los momentos punta que exija la planta, especialmente cuando las variaciones de demanda son bruscas.

El calor del vapor que en algunos momentos pueda sobrar en una planta se pueda almacenar de dos formas:

1. Como vapor lo que supondría un excesivo costo al necesitarse grandes volúmenes de almacenamiento.
2. Condensado el vapor y almacenarlo en forma de agua. Esta solución lógicamente es la más aconsejable.

Un acumulador de vapor es un recipiente a presión lleno parcialmente de agua. Durante los períodos de baja demanda, el exceso de vapor producido en las calderas trabajando a la demanda promedio, se introduce en el acumulador por debajo del nivel del agua. El vapor condensa y el agua se calienta.

A medida que la temperatura del agua aumenta, lo hace también la presión en el acumulador acercándose a la del vapor de entrada.

Durante los períodos de demanda alta se permite que la presión del acumulador baje; parte del agua revaporiza y la temperatura del agua almacenada disminuye gradualmente. Cuando se alcanzase la presión mínima necesaria en el proceso, el acumulador habría descargado totalmente. Si el diseño es adecuado este punto no suele alcanzarse.

Es importante controlar el nivel de agua en el interior del acumulador, especialmente si el caudal de descarga supera al de carga o si la carga se realiza con vapor recalentado. La alimentación debe hacerse con agua sobrecalentada y caso de efectuar purgas debe aprovecharse su calor en la producción de vapor flash.

Para dimensionar un acumulador debe partirse de la curva de consumo cíclico para poder obtener el valor más probable del caudal promedio.

El caudal de entrada al acumulador debe ser el promedio. Las áreas limitadas por la curva de demanda y la línea horizontal, que representa el caudal promedio, equivalen al peso de vapor condensado en el acumulador y al peso de vapor suministrado por el mismo, y por tanto el peso de vapor que debe ser almacenado para linealizar la producción de la caldera.

En las Figuras 10, 11 y 12 se muestran cómo funcionan los acumuladores y un esquema de control de flujos para un acumulador que funciona con variaciones de carga a baja presión.

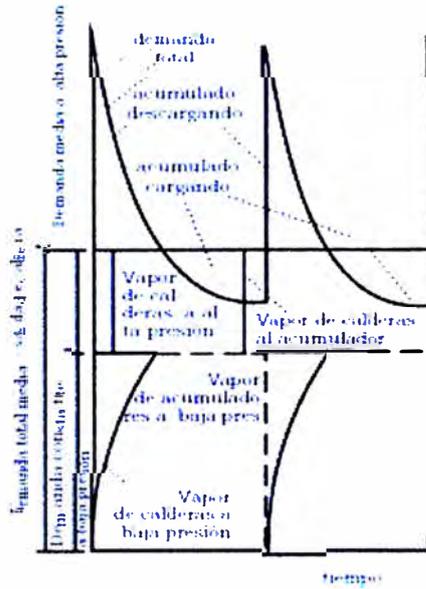


Figura 10. Intercambios de vapor entre calderas, acumulador y fábrica de alta y baja presión

Fuente: MEM-PAE-Manual de Uso Racional de Energía

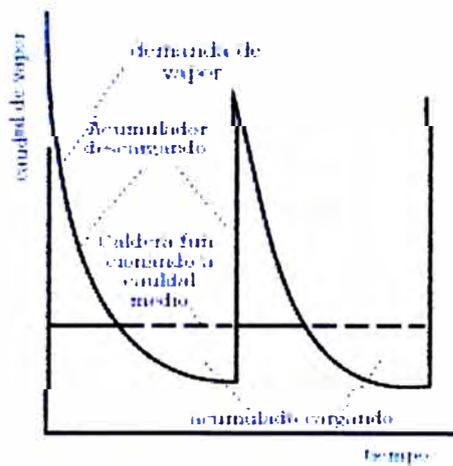


Figura 11. Comportamiento del acumulador

Fuente: MEM-PAE-Manual de Uso Racional de Energía

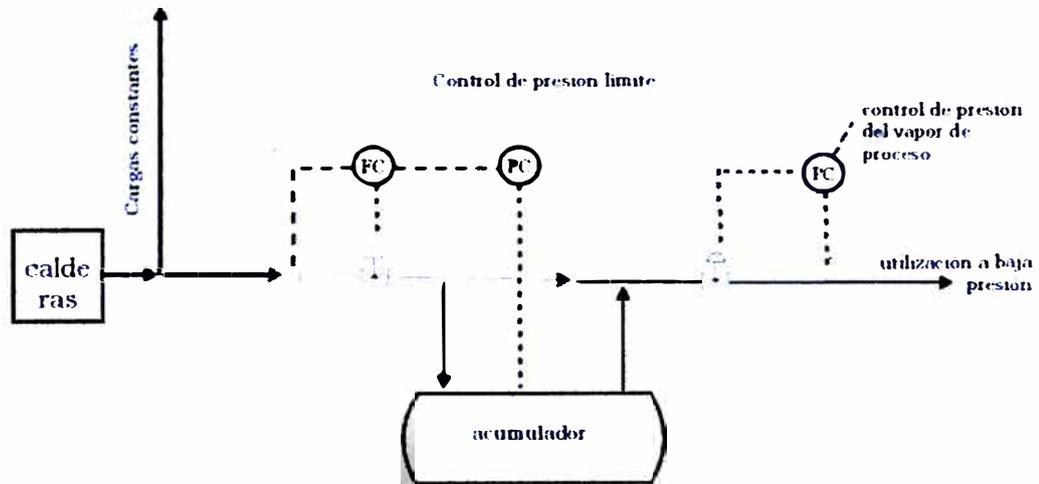


Figura 12. Esquema de control y de flujos para un acumulador que funciona con variaciones de carga a baja presión

3.9 Reducción de Fugas de vapor en tuberías, equipos y accesorios

Cualquier fuga de vapor en tuberías, equipos o accesorios, representa una pérdida de energía.

En el Cuadro 3 se representa la relación entre dicha pérdida y el tamaño del orificio a través del cual se produce la fuga, dando una idea de la importancia de un buen programa de mantenimiento preventivo.

Cuadro 3. Energía pérdida por fugas de vapor

Según longitud de la pluma de vapor		Según el tamaño del orificio (vapor a 7kg/ cm ²)	
Longitud (m)	kg/ h	Orificio (pulg)	kg/ h
0.5	6	0,03125	2
0.75	11	0,0625	8
1.00	16	0,125	33
1.25	26	0,25	132
1.50	38	0,375	300
1.75	66	0,5	530
2.00	104		
2.25	161		

Fuente: Cinyde S.A.

Este es un tema que debe ser objeto de campañas de mentalización entre el personal, ya que a veces no se presta la atención debida, ni se da la importancia que realmente tiene.

En toda planta es necesario establecer un programa de reducción de fugas, para evitarlas cuanto antes e incluso no esperar a que la planta pare.

Para esto último existen firmas especializadas que eliminan estas fugas sin necesidad de dejar fuera de servicio las instalaciones.

Aparte de las pérdidas que una fuga puede suponer, hay que considerar el daño que dicha fuga produce en la instalación, encareciendo posteriormente su reparación.

Se han confeccionado un cuadro de fugas de vapor en función del largo de la pluma o penacho que representa la fuga (ver cuadro 3).

Considerando una fuga de 20 kg/h en una planta en una planta que trabaja 8 000 h/año, el vapor perdido será:

$$8000 \times 20 = 160\,000 \text{ kg / año} = 160 \text{ ton / año}$$

Suponiendo que el rendimiento de la caldera es de 50 kg vapor / gal de combustible, entonces la fuga representa un derroche de 3,200 gal / año de combustible. Si el combustible es el residual-6 (3.2 US\$ / gal) ello representa unos 10,240 US\$ / año.

Esta cifra debe hacer meditar al responsable de un sistema de vapor que tiene en sus manos una fuente de ahorro insospechado.

En un gran complejo industrial con una red de vapor muy extensa, la aplicación de esta medida puede suponer ahorro de muchos miles de dólares al año.

3.10 Mantenimiento de Trampas de Vapor

En una red de distribución de vapor, el mal funcionamiento y deterioro de trampas puede producir pérdidas superiores al 10% del total producido por las calderas.

Es muy importante prestar la debida atención a estos accesorios, para lo cual se debe considerar lo siguiente:

- Diseño y selección del tipo adecuado de trampa en función al servicio que preste.
- Revisiones periódicas de su funcionamiento
- Establecer el mantenimiento necesario para conservar el sistema trabajando en las condiciones óptimas.

En términos generales una trampa trabajando defectuosamente puede tener una pérdida de vapor de 15 a 25 kg / h.

Tomando el valor medio de pérdida, para un funcionamiento de 8000 h / año, esta pérdida será de 160 ton/año de vapor lo cual implica un derroche de combustible, para generar el vapor que compense dicha pérdida.

En una red de vapor donde hay cientos de trampas instaladas, puede ocurrir fácilmente que en un 20 a 30 % de ellas presenten fugas de vapor. Esto significará para la empresa una pérdida enorme de dinero, lo cual puede evitarse con una pequeña inversión, amortizable en la mayoría de los casos en menos de un mes.

Tampoco hay que pretender que el 100 % de las trampas estén funcionando correctamente; pues si esto es lo deseable, no siempre resulta económico por la excesiva atención en mantenimiento que hay que darles. Por ello es suficiente alcanzar un 95 % de operatividad de trampas para darse por satisfecho.

Las causas de las pérdidas de energía a través de trampas se pueden clasificar en:

➤ **Pérdidas directas**

Son aquellas que se producen por la descarga de vapor vivo a través del orificio de la trampa.

Pueden producirse, bien por el principio en que se basa la trampa para realizar el trabajo, bien por el sistema de evacuación de aire que lleva o bien porque la trampa tiene un mal mantenimiento y no funciona correctamente.

Las pérdidas directas pueden ser continuas o intermitentes, y se manifiestan con mayor intensidad cuanto mayor es el sobredimensionado de la trampa.

➤ **Pérdidas indirectas**

Son aquellas que no suponen paso de vapor vivo a través del orificio de la trampa, y están relacionadas con el hecho de que la trampa se comporta como un pequeño intercambiador de calor con el exterior, por lo cual se producen pérdidas de calor por radiación y convección.

En relación con el tamaño, las pérdidas son mayores cuanto mayor es la superficie exterior de la trampa.

Las pérdidas indirectas decrecen en el siguiente orden: flotador, cubeta invertida, termostático, impulso y termodinámico o disco.

La temperatura de descarga del condensado influye también, elevándose las pérdidas al crecer aquella.

Las condiciones climáticas exteriores a la trampa influyen fuertemente en las pérdidas de calor.

Existen varios métodos para monitorear el estado operativo de las trampas, los cuales se listan a continuación:

- Método visual
- Control por mirillas
- Control por medición de temperaturas
- Método acústico

El monitoreo permitirá conocer periódicamente el estado de las trampas y de acuerdo a ello tomar acciones preventivas o correctivas. La periodicidad del monitoreo dependerá de las horas de funcionamiento del sistema de vapor, de la presión de trabajo, del modo cómo se opere el sistema, del diseño del mismo, etc. De acuerdo a ello la frecuencia puede variar de 2 a 4 veces al año.

3.11 Mejorar el Aislamiento

Típicamente las calderas y sistemas de vapor trabajan a una presión de 100 a 150 psig, lo cual significa que las instalaciones desnudas (equipos, tuberías, accesorios, etc.) tienen temperaturas superficiales de 155 a 170 °C 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, los cuales son mayores cuando las instalaciones están a la intemperie.

Sucede también con frecuencia que el aislamiento es retirado de las tuberías, válvulas y partes de las calderas, para fines de reparación y no es repuesto, dejando así superficies desnudas que 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.

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.

Cualquiera sea el caso, al seleccionar un aislante para una determinada aplicación, deberán tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Tipo de aislante
2. Conductividad térmica
3. Emisividad del aislante
4. Temperatura de trabajo
5. Densidad
6. Característica higroscópica
7. Capacidad de secado rápido si absorbe humedad
8. Estabilidad (alteración de sus características térmicas)
9. Resistencia a la combustión
10. Emisión de gases tóxicos en caso de combustión
11. Facilidad de colocación
12. Resistencia al daño y al deterioro
13. Resistencia a la deformación y contracción
14. Facilidad para recibir un acabado exterior superficial
15. No ser peligroso para la salud durante su instalación

Un sistema de aislamiento térmico está formado por la combinación de materiales de elevada resistencia al paso del calor, acabados y accesorios que ensamblados cumplen uno o más de los anteriores objetivos.

La eficiencia y servicio de un aislamiento depende directamente de su protección a la entrada de humedad y del daño mecánico o químico, por lo tanto la selección de materiales para acabado de protección debe estar basada en las condiciones de la instalación.

Para los sistemas de vapor a las presiones usuales, muchas veces es suficiente y adecuado usar aislamiento de fibra de vidrio, el cual viene muchas veces en presentaciones preformadas listas para instalar, lo que aunado a su bajo peso y buenas características térmicas significa bajos costos de instalación de aislamiento.

Se han desarrollado relaciones empíricas para el cálculo de transmisión de calor por convección y radiación muy útiles para aplicaciones industriales, que pueden usarse para calcular las pérdidas de calor por superficies.

Por ejemplo, para tuberías y depósitos cilíndricos puede usarse la siguiente ecuación:

Pérdidas de calor por convección

$$Q_{\text{convección}} = C \cdot (1/d)^{0,2} \cdot (1/T_{\text{av}})^{0,181} \cdot (dT)^{1,266} \cdot (1 + 0.794 v)^{1/2} \text{ (kcal/h.m}^2\text{)}$$

Siendo:

$C = 2.72$ para cilindros horizontales

$C = 3.04$ para cilindros verticales

$d =$ Diámetro

$T_{\text{av}} = (T_s + T_a) / 2$ (°C)

$T_s =$ Temperatura de la superficie (°C) (puede estimarse en 95% de la temperatura del fluido caliente en la tubería)

$T_a =$ Temperatura ambiente (°C)

$dT = T_s - T_a$ (°C)

$v =$ Velocidad del aire (km/h)

Pérdidas de calor por radiación

$$Q_{\text{radiación}} = 4.88 \times 10^{-8} \cdot E \cdot [(T_s + 273)^4 - (T_a + 273)^4] \text{ (kcal/h.m}^2\text{)}$$

Siendo:

$E =$ Emisividad de la superficie (ver Tablas en textos de transmisión de calor).

$T_s =$ Temperatura de la superficie (°C).

$T_a =$ Temperatura ambiente que rodea a la superficie radiante (°C).

La pérdida total de calor a través de la superficie será la suma de $Q_{\text{convección}}$ y $Q_{\text{radiación}}$

3.12 USO DE COGENERACIÓN

La cogeneración es la producción simultánea de electricidad y calor. Una manera de lograr ello es mediante calderas que producen vapor a alta presión que es luego expandido en una turbina de vapor, que acciona un generador que convierte energía mecánica en eléctrica, y que luego, ya a baja presión, es usado para calentamiento en proceso.

Algunos sistemas de cogeneración tienen una eficiencia mayor al 80%, lo cual resulta muy superior a un sistema convencional de caldera y central térmica separadas.

La cogeneración puede requerir un análisis exhaustivo; pero no debería dejarse de tomar en cuenta como alternativa eficiente.

IV. APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE AHORRO DE ENERGÍA EN UNA PLANTA TEXTIL

El propósito de este capítulo es presentar un caso empresarial donde se ha aplicado algunas técnicas de ahorro de energía para incrementar la eficiencia térmica.

4.1 DATOS GENERALES DE LA INSTALACIÓN

4.1.1 Identificación de la Industria

La empresa posee una Planta Industrial dedicada a la producción de diferentes tipos de telas a partir de fibras sintéticas.

La planta inició sus actividades con una reducida capacidad de producción, la cual ha ampliado hasta alcanzar una producción de 500,000 m lineales/mes. Se incorporó maquinaria moderna en las áreas de hilandería, tejeduría y; tintorería y acabado.

4.1.2 Descripción de la Instalación y Proceso Productivo

Descripción de la Instalación

La planta cuenta principalmente con tres secciones de producción en las cuales se llevan a cabo las diferentes etapas del proceso de fabricación de la tela.

La sección hilatura, cuenta con depósitos donde se almacenan las fibras y salas donde se mezclan los diferentes tipos de fibras que sirven de materia prima para el proceso; esta sección se encarga de producir los hilos que luego serán tejidos. La segunda sección denominada de telares, comprende el uso de tisaje cuyo objetivo es preparar los hilos para ser tejidos y la tercera sección denominada de tintorería y acabado se encarga de teñir la tela cruda, lavarla, secarla y obtener la tela como producto terminado.

La sección de servicios auxiliares cuenta con una área destinada a la producción de vapor constituida por cuatro calderos que trabajan con petróleo residual-6. La sección tintorería y acabado posee tres calderos de aceite térmico para las ramas que operan con diesel-2, así mismo el fijado de la resina se realiza en un polimerizadora que también consume diesel-2.

Descripción del Proceso

Las etapas del proceso de fabricación de la tela se muestran en el diagrama de flujo de la Figura 13.

El proceso se inicia en el almacén de materia prima del cual se extraen los fardos conteniendo las diversas fibras (rayón y poliéster principalmente) que intervienen en la composición del producto final.

Estos fardos son luego mezclados con determinados porcentajes de las fibras, con lo cual se logran obtener las características deseadas para el material.

A continuación, las mezclas en la sección de hilandería, pasan a través de batanes, cardas, manuales y mecheras, las mismas que formarán una cinta cada vez más delgada, compacta y con una ligera torsión que asegure su forma. Posteriormente en las máquinas continuas de hilar se obtienen los hilos con el título requerido, es decir, con el peso por unidad de longitud deseado.

Finalmente, dichos hilos serán bobinados mediante las enconadoras ó autoconeras, ya sea en los llamados quesos para el caso de los hilos de trama (hilos transversales), operación que se hace en tisaje; ó en conos para los hilos de urdimbre (hilos longitudinales), con lo cual culmina la etapa de hilandería para dar paso a la sección de telares.

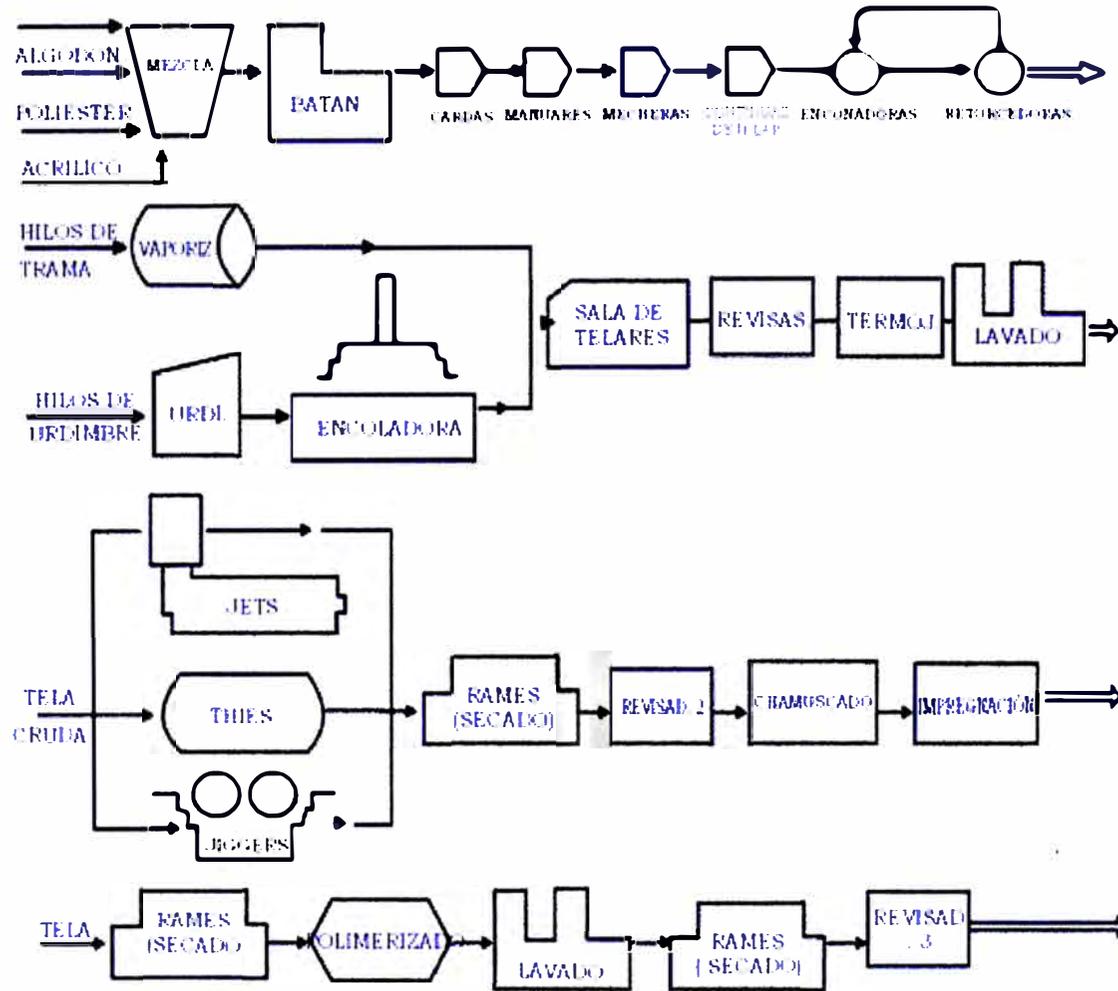


Figura 13. Diagrama de Bloques del Proceso

En esta sección se logra, en una primera etapa, preparar los hilos de trama mediante un vaporizado. El vaporizado de los hilos de trama es una operación de tratamiento térmico realizada en vacío, ya que de esta manera se evita que el aire impida la penetración del vapor y prolongue el proceso. Este vacío se logra eliminando el aire de la instalación mediante una bomba de vacío.

El tratamiento consiste en aumentar la temperatura de las fibras con una simultánea acción de la humedad a partir del calentamiento de un baño de agua con vapor indirecto, de este modo se logra que el baño evapore a una baja temperatura de aproximadamente de 50 °C.

La acción simultánea del calor y la humedad en el hilado produce reacciones físicas en la estructura de las fibras provocando en los hilos un alivio de tensiones, estabilización, y fijación de la torsión. Logra, también, prepararlo para una mejor absorción del colorante.

La duración del ciclo del tratamiento es de aproximadamente 40 min. en total, y con una duración efectiva de consumo de vapor de 20 min.

En una segunda etapa, los hilos pasan a la denominada sala de telares en la cual se tejen, perpendicularmente los hilos de trama con los de urdimbre, obteniéndose la tela cruda y los hilos de urdimbre son previamente encolados. El encolado es una operación que consiste en hacer pasar los hilos de urdimbre a través de un baño que contiene una resina especial, la cual se impregna y seca en siete cilindros calentados por vapor. Dicho calentamiento se logra con la adición de vapor a una presión de aproximadamente 3 kg/cm² manométricas y una temperatura de calentamiento de cerca de 143 °C. En una última etapa de esta sección se procede a un control de calidad, antes de pasar a la última sección de tintorería y acabado.

En la sección tintorería y acabado para el proceso de lavado de la tela cruda, la tela a contracorriente con el baño de la lavadora, pasando a través de varios cilindros guías en cinco compartimientos dispuestos en serie y con cierto escalonamiento. Cada compartimiento posee un sistema independiente de calefacción con vapor indirecto que permite mantener el baño a la temperatura adecuada. Adicionalmente, en cada compartimiento existe una entrada de agua

tratada, siendo la principal la del 5to. compartimiento, a partir del cual el agua va contracorriente en cascada, esta agua antes de ingresar a la máquina es calentada con vapor de la red en un intercambiador de casco y tubos. Dicha agua se mezcla en el 3er. compartimiento con el detergente para formar la solución jabonosa por el cual pasará la tela.

El proceso de teñido está conformado por máquinas de funcionamiento continuo y discontinuo. Las máquinas de funcionamiento discontinuo fijan el colorante a la materia textil, mediante una secuencia de temperaturas mantenidas durante cierto tiempo, mientras el colorante disuelto en el baño circula a través de la tela mediante una bomba (jets y autoclaves), o bien por el paso de la tela a través del baño (jiggers). A su vez, dichas máquinas pueden o no tener un funcionamiento a presión (jets, autoclaves, y jiggers), es decir, dependiendo si la presión interior es mayor o no que la presión atmosférica.

Seguidamente las telas son secadas, y luego de una revisión de teñido, son chamuscadas con la finalidad de eliminar las pequeñas pelusas remanentes de la tela. Luego las telas son impregnadas con resina, secadas, polimerizadas, lavadas y vueltas a secar, después de la cual se hará una revisión de acabado, para finalmente ser decatizadas. El decatizado es una operación de tratamiento térmico superficial que consiste en hacer pasar la tela a través de dos etapas; en la primera, conformada por tres cilindros decatizadora, el vapor es introducido en los cilindros mediante un tubo central que lo distribuye radialmente, de esta forma el vapor seco penetra a través del tejido mientras un paño sin fin lo acompaña y lo mantiene prensado a los cilindros. Inmediatamente después de la vaporización, la tela pasa a través de un cilindro enfriador, unido a un turbo-aspirador que adhiere la tela caliente y húmeda al paño sin fin, dándole la suavidad superficial de este. Alternativamente al decatizado las telas son planchadas con lo cual el producto queda listo para su empaque y almacenamiento final.

4.1.3 Servicios Auxiliares

Para el proceso productivo se suministra: vapor, aire comprimido y el agua tratada.

4.1.4 Régimen de Actividad y Producción

Ritmo de Actividad

La planta normalmente se encuentra trabajando durante tres turnos y el factor de utilización de planta era del 60 - 70% aproximadamente.

Producción

La producción de la empresa es de 3'500,000 metros lineales aproximadamente.

4.1.5 Fuentes de suministro energético

Consumo Global de Combustibles.

Los combustibles utilizados en esta planta son: residual-6, diesel-2 y gas licuado de petróleo (GLP). En el año anterior el consumo de estos combustibles fue de 3,007 TEP (Toneladas Equivalente de Petróleo) cuyo detalle se señala a continuación:

Cuadro 4. Consumo de combustibles en la planta textil

Combustible	gal/año	Poder calorífico superior (kcal/kg)	TEP
residual – 6	530,400	10,490	1,856.4
diesel – 2	312,000	10,860	1,123.2
GLP	7,200		26

Capacidad de Almacenamiento

El petróleo residual-6, es almacenado en dos tanques de 9,590 y 10,000 galones de capacidad cada uno.

El diesel-2, es almacenado en cuatro tanques con una capacidad nominal de 4,400 galones cada uno, y el GLP se encuentra almacenado en dos tanques de 1,000 galones cada uno.

4.2 Análisis energético de la instalación, descripción y análisis de las mejoras

4.2.1 Generación de Vapor ⁽⁹⁾

La empresa tiene instalados cuatro calderas pirotubulares para la generación de vapor de 125 psig, con un total de 27,600 lb/h de vapor de capacidad nominal.

El combustible utilizado es el petróleo residual-6, el cual es precalentado con vapor hasta una temperatura de aproximadamente 110 – 120° C.

Las características de las calderas de vapor se detallan en el cuadro N° 5

4.2.1.1 Observaciones

- La caldera Power Master N° 1 funciona con un quemador Eclipse diseñado para quemar gas y adaptado para el Petróleo Residual - 6.
- El porcentaje de carga (caudal másico de vapor / caudal nominal) al cual trabajaba la caldera 1 era inferior al 30%, y esto es corroborado por la baja temperatura de los humos.
- En la caldera N° 1, la combustión no es eficiente, dado que la temperatura del combustible es 130 °C (temperatura muy alta, altera la viscosidad del PR-6 y perjudica la atomización del mismo), y la presencia de gran cantidad de inquemados sólidos.

- El agua de alimentación de las calderas ingresa a una temperatura de aproximadamente 60 °C, pudiendo hacerlo a 80 °C ya que el retorno del condensado es mezclado con agua fría.
- El control de la combustión de las calderas no se realiza adecuadamente, por no poseer los analizadores necesarios.
- El exceso de aire en las calderas es elevado respecto al valor recomendado de 20 %, por ejemplo en la caldera N° 2 es de 120%.
- No se cuenta con medidores del caudal de vapor generado en la planta, ni con medidores del consumo del petróleo residual-6.

El consumo promedio total de combustible de las cuatro calderas se mide por diferencia de niveles y da como resultado:

CONSUMO DE PR-6 = 100 gal/h

Cuadro 5. Datos de diseño de las calderas de vapor

	Caldera 1	Caldera 2	Caldera 3	Caldera 4
Fabricante	Fabriment Powermaster	Fabriment Powermaster	Fabriment Powermaster	Fabriment Powermaster
Año de construcción	1956	1958	1974	1976
Presión Máxima de Trabajo (psig)	125	125	125	125
Potencia (BHP)	200	200	200	200
Superficie de Calentamiento (ft²)	900	900	900	900
Consumo de Combustible (gal/h)	51.0	53.0	57.6	51.0
Poder Calorífico(Btu/lb)	18,400	18,400	18,400	1 18,400
Vapor Generado (Btu/h)	6'695,000	6'695,000	6'695,000	6'695,000

Cuadro 6. Resumen de mediciones efectuadas en las calderas de vapor

	Caldera 1	Caldera 2	Caldera 3	Caldera 4
Temperatura ingreso combustible, °C	120	110	118	121
Consumo combustible, gal/h	64.7	34.2	30.5	28.8
Exceso de aire, %	78.9	127	47.7	42.7
Temperatura en la chimenea, °C	166	320	330	293
% O ₂	9.5	12	7	6.5
% CO ₂	9	7	11	11.4
Ppm CO	318	280	220	296
Índice Bacharach	8	5	5	5
Temperatura ingreso del agua, °C	60	60	60	60
Presión vapor, kg/cm ²	8	9	9	8
% Carga	30	52	51	50

Cuadro 7. Resumen del Balance Térmico de las calderas de vapor (Temperatura de referencia 25°C)

	Caldera 1		Caldera 2		Caldera 3		Caldera 4	
	Kcal/h	%	Kcal/h	%	Kcal/h	%	Kcal/h	%
Calores Entrantes:								
E.1 Calor de Combustión	248,613	93.2	1,314,397	93.2	1,171,733	93.7	1,106,695	93.7
E.2 Calor Sensible Combustible	833	0.3	3,941	0.3	3,844	0.3	3,747	0.3
E.3 Calor Sensible Aire Seco	694	0.3	4,670	0.3	2,701	0.2	2,465	0.2
E.4 Calor Aire Húmedo	5,427	2.0	36,512	2.6	21,118	1.7	19,274	1.6
E.5 Calor Agua Alimentación	11,090	4.2	51,507	3.7	50,792	4.1	49,506	4.2
Total Calores Entrantes	266,657	100.0	1,411,027	100.1	1,250,188	100.0	1,181,687	100.0
Calores Salientes:								
S.1 Calor Sensible en Humos	19,997	7.5	281,520	20.0	168,310	13.5	134,973	11.4
S.2 Calor Latente en Humos	21,213	8.0	129,897	9.2	103,213	8.3	95,563	8.1
S.3 Calor Inquemados Gaseosos	405	0.2	2,426	0.2	1,083	0.0	1,328	0.1
S.4 Calor Inquemados Sólidos	19,889	7.5	61,777	4.4	55,071	4.4	52,015	4.4
S.5 Calor Perdido por Paredes	5,155	1.9	5,155	0.4	5,155	0.4	5,155	0.4
S.6 Calor Perdido en Purgas	459	0.2	2,207	0.2	2,177	0.2	2,051	0.2
S.7 Calor Útil	199,513	74.8	928,045	65.8	915,178	73.2	890,591	75.4
Total Calores Salientes	266,631	100.1	1,411,027	100.2	1,250,187	100.0	1,181,676	100.0
Eficiencia (%)	74.8		65.8		73.2		75.4	

4.2.1.2 Situación Actual

Del balance térmico, los valores de exceso de aire y de inquemados son elevados, lo que resulta en bajos niveles de rendimiento de las calderas.

Los valores encontrados son susceptibles de ser mejorados, optimizando la combustión.

4.2.1.3 Acciones Propuestas

Efectuar un control adecuado de la combustión de tal manera que se pueda obtener los siguientes valores objetivos:

Exceso de aire = 20%

Concentración de CO < 200 ppm

Índice de Bacharach < 2

Para obtener dichos resultados es necesario, llevar a cabo una serie de acciones, entre las cuales se pueden mencionar:

- Dotar a la Sala de Calderas de un medidor de flujo de combustible.
- Mantenimiento de los quemadores de las calderas. Observar fundamentalmente el estado de las boquillas.
- En los calderos, se debe optimizar la adaptabilidad total del quemador, de no conseguir este objetivo, estudiar la posibilidad de reemplazar el quemador por uno igual al recomendado por el fabricante.
- Controlar que la temperatura de ingreso del combustible se encuentre en el rango de 100 – 110 °C. Revisión y calibración de los termostatos que regulan el ingreso de vapor a los intercambiadores.
- Verificar que el diferencial de presión de atomización (aire-petróleo) sea el adecuado. Chequear y ajustar el funcionamiento del sistema de control automático.
- Comprobar que no exista filtraciones de aire externo, por ejemplo a través de rendijas, que puedan distorsionar los valores reales de exceso de aire.

- Efectuar análisis periódicos de gases de combustión con el equipo portátil que posee la empresa. En función de estos análisis se regulará el ingreso de aire de combustión.
- Estudiar la posibilidad de adquirir una caldera de 400 BHP de capacidad a fin de absorber la variación de la demanda de vapor y tener una unidad en stand by.

Dado que la capacidad de las calderas son de 200 BHP en promedio, solamente justifica un ajuste de exceso de aire manual. Para calderas superiores a 600 BHP se aconseja sistemas de control automático.

Cuadro 8. Resumen del Balance Térmico Mejorado de las calderas de vapor (Temperatura de referencia 25°C)

	Caldera 1		Caldera 2		Caldera 3		Caldera 4	
	kcal/h	%	kcal/h	%	kcal/h	%	kcal/h	%
Calores Entrantes:								
E.1 Calor de Combustión			1,015,432	90.9	1,078,372	91.4	1,032,216	91.3
E.2 Calor Sensible Combustible			3,223	0.3	3,537	0.3	3,495	0.3
E.3 Calor Sensible Aire Seco			1,938	0.2	2,059	0.2	1,971	0.2
E.4 Calor Aire Húmedo			15,157	1.4	16,096	1.4	15,407	1.4
E.5 Calor Agua Alimentación			80,939	7.2	79,817	6.8	77,794	6.9
Total Calores Entrantes			1,116,689	100.0	1,179,881	100.1	1,130,883	100.1
Calores Salientes:								
S.1 Calor Sensible en Humos			81,576	7.3	119,014	10.1	101,441	9.0
S.2 Calor Latente en Humos			82,060	7.3	90,396	7.7	85,589	7.6
S.3 Calor Inquemados Gaseosos			538	0.0	571	0.0	547	0.0
S.4 Calor Inquemados Sólidos			20,309	1.8	50,683	4.3	48,514	4.3
S.5 Calor Perdido por Paredes			1,952	0.2	1,952	0.2	1,952	0.2
S.6 Calor Perdido en Purgas			2,207	0.2	2,177	0.2	2,051	0.2
S.7 Calor Útil			928,045	83.1	915,178	77.6	890,591	78.8
Total Calores Salientes			1,116,687	99.9	1,179,971	100.1	1,130,685	100.1
Eficiencia (%)			83.1		77.6		78.8	

Nota: En la caldera 1 no se realiza el balance térmico debido a no encontrarse a condiciones de plena carga

4.2.1.4 Ahorro Potencial

La evaluación de los ahorros que se pueden alcanzar se efectúa en base a las eficiencias optimizadas de las calderas.

Bases de Cálculo

- Consumo Medido : 100.0 gal/h
- Consumo Optimizado : 86.8 gal/h
- Consumo Promedio : 530,400 gal/año
- Porcentaje de Reducción
de Combustible : 13.2 %

$$\text{Ahorro} = 0.132 \times 530,400 \text{ gal/año}$$

$$\text{Ahorro} = 70,013 \text{ gal/año}$$

En términos económicos representan:

Considerando el precio del PR-6 = 1.7 US\$/gal.

$$\text{Ahorro} = 119,022 \text{ US$/año}$$

Inversiones

Se consideran las siguientes:

- 02 Medidores de flujo de combustible US\$ 10,000

4.2.2 Distribución de Vapor

El vapor generado en la planta es distribuido hacia las secciones de tisaje y tintorería.

En la sección de tisaje, el vapor es utilizado en el vaporizador de hilos y en la encoladora. En la sección de tintorería, el vapor se utiliza en mayor proporción que la sección precedente. Este vapor es utilizado en todas las máquinas de teñido, en la rama de vapor (Dalglish), en las lavadoras (1 y 2), en la decatizadora y finalmente en la planchadora.

4.2.3 Consumos de Vapor

A continuación se describen los equipos donde se utiliza vapor como medio de calentamiento en las diversas secciones del proceso: vaporizador, encoladora, máquinas de teñido (jets, jiggers y thies), lavadora, rama Dalglish, polimerizadora y secadora (rama famatex 2) , ya sea en forma directa o indirecta.

También se presentan balances energéticos con los respectivos consumos de vapor.

Cabe indicar que en esta sección se presentará lo anteriormente descrito para el caso del vaporizador para los demás equipos térmicos se encuentran desarrollados en el apéndice; esto debido a que el procedimiento para realizar sus respectivos análisis energéticos son muy similares.

En el cuadro 10 de resumen de ahorros energéticos se encuentra un extracto de cada una de las mejoras dadas para cada equipo indicando a su vez el ahorro de combustible, ahorro económico, inversión requerida y el retorno de la misma.

4.2.3.1 Vaporizador

El consumo de vapor se encuentra midiendo el condensado directo y se obtiene:

$$\text{Consumo de vapor} = 385 \text{ kg/h}$$

4.2.3.1.1 Observaciones:

- Según los datos del fabricante el consumo máximo del vaporizador debe ser de 300 kg/h de vapor, con lo cual existe un exceso en el consumo aproximado del 30%.
- La capacidad de la máquina es de seis carros, no siempre se trabaja a dicha capacidad, con lo cual su eficiencia energética disminuye.
- No existe ningún medidor del consumo de vapor.
- La línea de vapor que alimenta al vaporizador se encuentra lejos de la misma y por lo tanto las pérdidas en la línea son altas.

Cuadro 9. Mediciones y datos efectuados en el vaporizador Xorella

Condensados	7.44 kg/min
Carga (conos)	1440 canillas/ciclo
Ciclo efectivo	40 min
Presión vapor ingreso	60 psi.
Temperatura interior	84° C

4.2.3.1.2 Resumen del Balance Térmico del Vaporizador

Temperatura de Referencia = 25°C

	kcal/ciclo	%
Calores Entrantes		
E.1 Calor del vapor	29,506	97.7
E.2 Calor del agua de llenado	708	2.3
Total Calores entrantes	30,214	100.0
 Calores Salientes		
S.1 Calor del condensado	7,011	23.2
S.2 Calor de vaporización	18,874	62.5
S.3 Pérdidas por paredes y calores residuales.	4,329	14.3
Total Calores Salientes	30,214	100.0

4.2.3.1.3 Acciones Propuestas

Las principales acciones que se deben tomar en cuenta son:

- Programar el vaporizado de hilos, de tal forma que sea lo más continuo posible y a plena carga donde la máquina trabajará a una eficiencia óptima.
- Mejorar el aislamiento, en algunos tramos, la línea de vapor de alimentación al vaporizador.
- Revisar y/o reparar las trampas de vapor en la línea de distribución de vapor.

De implementarse dichas mejoras se puede reducir el consumo de vapor a valores cercanos de diseño.

4.2.3.1.4 Ahorro Potencial debido a las mejoras propuestas

Ahorro = Consumo sin Mejoras - Consumo Mejorado

Ahorro = 149 kg/ciclo - 105 kg/ciclo

Ahorro = 44 kg vapor/ciclo

Considerando 6 ciclos por turno de trabajo y 300 días anuales de operación, el ahorro en petróleo es:

Ahorro = 1,930 gal de PR-6/año.

Ahorro Económico

Considerando el precio del PR-6 = 1.7 US\$/gal.

Ahorro = US\$ 3,281 anuales

4.2.3.1.5 Ahorro por Recuperación de Condensados en el Vaporizador

Base de Cálculo

Condensados sin recuperar = 189,000 kg condensado/año

Costo del agua tratada = 1.2 US\$/1000 kg.

Ahorro Económico

Ahorro = 189 x 1.2

Ahorro = US\$ 226.8 anuales

La recuperación de condensados del vaporizador no es rentable.

4.2.3.1.6 Ahorro por disminuir las pérdidas en la línea

Colocar una válvula al inicio de la línea de distribución de vapor con la finalidad de abrir solamente cuando va a funcionar en continuo el vaporizador y cerrar cuando se termine el proceso.

Bases de Cálculo:

Pérdidas en la línea de
distribución (medido) = 245,700 kg condensado/año

Ahorro Económico

Ahorro = 245.7×1.2

Ahorro = US\$ 294.84 anuales

Esta mejora no requiere inversión.

Cuadro 9. Resumen de Ahorros Energéticos en los Equipos

EQUIPO USUARIO DE ENERGÍA	MEJORAS	AHORRO DIESEL OIL		AHORRO RESIDUAL 6		INVERSIÓN	RETORNO
		10 ³ GAL/AÑO	10 ³ US \$	10 ³ GAL/AÑO	10 ³ US \$	10 ³ US\$	Meses
CALDERAS DE VAPOR	Optimización de la Combustión			70	119	10	1
VAPORIZADOR	Disminuir perdidas en la línea			1.9	3.3	S/I	
ENCOLADORA	Reparación de trampas de vapor			3.1	5.2	S/I	
	Recuperación de condensados				1.5	0.1	1
JETS	Cambio de trampas de vapor y recuperación del agua de enfriamiento			98.6	167.6	12.5	1
	Implementación de un sistema automático en cada jet			28.3	48.1	5	12
JIGGERS	Reducción de las perdidas por evaporación			9.4	16	1.6	2
LAVADORA N° 2	Cambio de trampas de vapor			3.5	6	1.1	3
RAMA DALGLISH	Cambio de 2 trampas de vapor y disminución de la perdidas por ingreso de aire falso			8.4	14.3	1.6	2
	Implementación de un foulards de alto rendimiento			11.6	19.7	40	24
POLIMERIZADORA	Para optimización de la combustión	2.9	13.3				
	Recuperación del calor de los gases de combustión y disminución de las perdidas por radiación	16.3	75				
RAMA FAMATEX 2							
	Pre calentamiento del aire de combustión y disminución de las perdidas por radiación. Implementación de un sistema automático e control de humedad	16.8	77.3				
TOTAL		36	165.6	234.8	400.7	71.9	

4.2.4 Redes de vapor y Condensados

La distribución de vapor se inicia desde el colector principal, el cual es alimentado por cuatro líneas procedentes de cada caldero.

4.2.4.1 Observaciones

- En términos generales el aislamiento debe estar en buen estado, solamente en algunos tramos está deteriorado o las tuberías se encuentran sin aislamiento.
- La línea de vapor que va hacia el vaporizador, es muy extensa y por lo tanto las pérdidas son elevadas.
- Algunas fugas en las válvulas de las líneas de vapor.
- En las líneas de vapor no hay suficientes eliminadores de aire; así mismo líneas de purga de condensados.
- La tubería de retorno de condensado de la secadora Daglish, se conecta con la tubería general colectora de condensados de manera directa, es decir, por la parte inferior, es necesario que retorne por la parte superior, para no crear una contrapresión al retorno de condensados y deteriorar las trampas de vapor.
- Dado que existen máquinas consumidoras de vapor a diferentes presiones, se deben colocar manómetros en la línea de alimentación a fin de conocer exactamente la presión de trabajo.
- Los golpes de ariete que se producen en la línea de alimentación de vapor y en general en el sistema de vapor se deben a la falta de purgas de condensados de la línea.

4.2.4.2 Acciones Propuestas

- Realizar un programa, a fin de sustituir progresivamente las trampas de vapor de la red de condensados.
- Mejorar el aislamiento de las redes de vapor y condensado, en la actualidad existen zonas sin aislamiento.
- Revisar las líneas de vapor a fin de colocar eliminadores de aire y trampas de vapor en tramos largos, esto permitirá disminuir los golpes de ariete y trabajar con vapor saturado, en la actualidad se trabaja con vapor húmedo.
- Debido a que algunas máquinas trabajan con presiones de vapor mayores que las de diseño. Se recomienda trabajar con presiones bajas, donde se puede aprovechar el mayor calor latente de vapor.

4.3 Resumen del Estudio

Energía Térmica

El caso es una empresa dedicada a la fabricación de diferentes tipos de telas a partir de fibras sintéticas. Inició sus actividades industriales en 1953; posteriormente modernizó sus equipos y en la actualidad alcanza una producción de 500,000 metros lineales/mes. El consumo de energía está dado por el petróleo residual N° 6, diesel- 2 y GLP. La empresa tiene un consumo energético global de 3,000 TEP anuales.

La planta cuenta con tres secciones de producción hilatura, telares, servicios auxiliares y tintorería y acabado.

Las técnicas de ahorro de energía se aplicarán en las secciones de los servicios auxiliares y tintorería y acabado, donde se encuentran los principales equipos productores y consumidores de energía.

La generación de vapor está dada por cuatro calderos, que tienen una producción nominal de 27,600 lb vapor / h. En una auditoria se realiza pruebas de consumo de petróleo, tanto en alta y baja carga en cada caldera, asimismo el análisis de combustión en los gases de chimenea. Los resultados se analizan y la conclusión es que se encuentran trabajando con excesos de aire superiores al 40%, un ejemplo es la caldera N° 2 trabajó con un exceso de aire del 120%. En la caldera N° 1 se pudo observar que existen problemas de regulación aire/combustible, dado que el quemador no es original del fabricante sino adaptado. Las eficiencias de las calderas no superan en promedio el 75%.

De implementarse las mejoras en las calderas referidas básicamente a la optimización de la combustión, las eficiencias se elevarían hasta un 78 - 80% y el ahorro obtenido sería de 70,013 gal de PR-6 / año, que en términos económicos representa 119,022 US\$ anuales. Este ahorro se obtiene con baja inversión, puesto que los analizadores de gases de combustión que posee la empresa son adecuados para este tipo de controles.

De la evaluación del vaporizador de hilos se determina el consumo real de vapor cuyo valor fue de 385 kg vapor / h, este valor es considerado alto y susceptible de ser reducido, mejorando el modo de operación de la máquina.

El potencial de ahorro identificado es de 1,930 gal de PR-6 / año que en términos económicos representa 3,281 US\$ anuales. Esta mejora no requiere inversión únicamente planificación de la producción a fin de trabajar un periodo continuo de vaporizado al día. La recuperación de

condensados no es rentable, así mismo se debe disminuir las pérdidas en la línea de vapor al vaporizador, colocando una válvula manual al inicio de la línea a fin de abrir solamente cuando funcione el vaporizador, esta mejora no requiere inversión.

Se determina el consumo de vapor en la encoladora y se comprueba que 4 de las 7 trampas de vapor no funcionan correctamente, esto daba lugar a que vapor vivo ingresara a la línea de condensado. La reparación de estas trampas producen un ahorro de 3,070 gal de PR-6 / año que en términos económicos representa 5,219 US\$ anuales, esta mejora no requiere inversión. Asimismo, no se recupera los condensados, porque la bomba se encuentra malograda, el ahorro que representa recuperar el condensado es 1,512 US\$ anuales.

De la evaluación de cada máquina jet, se determina el consumo total de vapor por ciclo. Las trampas de vapor no funcionan correctamente, se recomienda el cambio por otras nuevas, asimismo recuperar el agua tibia de las jet en un tanque independiente, así como estudiar la posibilidad de aislar las superficies exteriores de las máquinas. La implementación de estas medidas traen consigo un ahorro potencial de 98,600 gal de PR-6 / año que expresados, en términos económicos se estiman en US\$ 167,634 anuales.

Proponer la implementación de un sistema automático en la sección de tintura, específicamente para las jets. El ahorro que se lograría sería de 28,280 gal de PR-6 / año equivalentes a un estimado de US\$ 48,076 anuales.

De los jigger N° 3 y 4 se determina el consumo de vapor directo e indirecto. La instrumentación está incompleta, así como la tubería de vapor presenta tramos sin aislar. La principal mejora es la de reducir las

pérdidas por evaporación así como completar la instrumentación básica (termómetros, y manómetros de presión) que son fundamentales para tener un control adecuado del proceso. El ahorro potencial es de 9,400 gal de PR-6 / año equivalentes a un estimado de US\$ 15,980 anuales.

Se continuó con la evaluación de la Lavadora N° 2, máquina moderna puesto que tiene recuperador de calor de las aguas residuales. Se determinó que el intercambiador de placas presenta una eficiencia baja, como consecuencia del ensuciamiento en las placas, debiéndose proceder a la limpieza respectiva, otro de los factores es que la lavadora trabaja a una temperatura de baño de 60 °C. Dos de las trampas de vapor se encuentran defectuosas. De implementar estas medidas se lograría un ahorro de 3,500 gal de PR-6/año equivalentes a un estimado de 5,950 US\$ anuales.

En el secador Dalglish, se evalúa el presecador y la cámara de secado, donde se determina el consumo de vapor en cada uno de ellos. Se puede observar que las trampas de vapor se encuentran defectuosas (02 unidades), que fueron reparadas inmediatamente por mantenimiento, no existe un control automático de control de humedad, la instrumentación esta incompleta y la existencia de aberturas por donde ingresa aire falso. Las medidas que se recomiendan son las que permiten disminuir las pérdidas por las observaciones anteriormente descritas. El potencial de ahorro es de 8,400 gal de PR-6/año equivalentes a un estimado de US\$ 14,280 anuales.

Una mejora que requiere una alta inversión es la posibilidad de implementar un Foulard de alto rendimiento, cuyo ahorro representaría 11,600 gal de PR-6 /año equivalentes a un estimado de US\$ 19,720 anuales.

En la Decatizadora, no se puede evaluar el consumo de vapor por lo inaccesible en que se encuentra la tubería recolectora de condensado. Pero se puede observar que se debe completar la instrumentación y colocar un medidor de vapor tipo rotámetro para conocer el consumo real de vapor.

En la polimerizadora, se determina el consumo real de combustible (diesel), se realiza un balance térmico en la mufla y la cámara de polimerizado. Se determina que la combustión se efectúa con un 103% de exceso de aire. Las mejoras consisten en optimizar la combustión, estudiar la posibilidad de recuperar el calor de los humos para inyectarlo como aire secundario. El potencial de ahorro identificado es de 19,200 gal/año equivalentes a un estimado de US\$ 88,320 anuales.

El lo referente a la rama Famatex 2, reparar y/o cambiar el sistema de control de humedad, para tener un mejor control del proceso de secado, así como disminuir las pérdidas de calor por ingreso de aire falso a la entrada del tejido. La rama Artos, es automática y moderna y la única recomendación es continuar con los mantenimientos preventivos a la máquina como a la instrumentación que tiene incorporada.

4.4 Organización energética en la empresa

Para llevar una gestión eficaz de la energía en la empresa, es necesario crear una organización que pueda responder a los siguientes modelos:

1. Un Departamento de Energía autónomo (similar a otros staff de la empresa), con dependencia directa a la Dirección General.
2. Un Comité de Energía, que apoya a los diferentes grupos especializados en que se divide el trabajo de la fábrica.

En este caso, la organización se basa en crear una estructura paralela a la ya existente en la actualidad, que se modificará para adoptarla.

La organización paralela servirá de apoyo a todos los grupos de trabajo de la empresa en materia energética y su principal órgano de gestión será el Comité de Energía y Medio Ambiente.

El comité de energía y medio ambiente

Su misión fundamental es el establecimiento de un plan de conservación de la energía en la empresa, que incluya:

- Programas de mentalización y formación de personal.
- Programas de ahorro de energía a corto, medio y largo plazo.

Funciones

- Asesorar a la Dirección General en temas energéticos.
- Establecer una contabilidad energética.
- Establecer un sistema de auditoria interna.

- Participar en estudios y proyectos energéticos y medio ambiente.
- Promocionar nuevas técnicas.
- Dar seguimiento de proyectos y programas.
- Establecer manuales de operación energéticos.
- Intensificar el mantenimiento energético.
- Preparar campañas de mentalización.
- Colaborar, en temas energéticos, con empresas del sector y del entorno geográfico.
- Relacionarse con organismos oficiales.

Atribuciones

- Petición de todo tipo de datos a otros departamentos. Podrá ordenar la realización de ensayos, toma de datos y análisis.
- Tendrá personal colaborador a sus órdenes directas. Contará con el presupuesto adecuado.

Autoridad

- Para aceptar a rechazar sugerencias del personal.
- Para requerir la necesidad de instrucción de los empleados.
- Para ordenar abastecimientos de equipo especial.
- Para asignar trabajos en consonancia con el departamento afectado.

Composición

Como idea general, el Comité de Energía es formado por un representante de cada uno de los siguientes departamentos:

- Mantenimiento
- Producción
- Ingeniería
- Control de Calidad
- Administración

Y un presidente designado por la Dirección General que es el coordinador de energía.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- **Conclusiones**

1. Realizar un análisis térmico es lograr una utilización racional de la energía, reduciendo el consumo y mejorando la eficiencia energética de los procesos productivos.
2. La inversión de recursos de una empresa en medidas de ahorro de energético tiene siempre un saldo favorable para la empresa por los ahorros económicos que estos generan y por el período corto de recuperación de la inversión.
3. Una vez determinada la eficiencia del equipo se podrá decidir si es necesario actuar sobre el equipo, mejorando su rendimiento energético o si está trabajando dentro del rango adecuado. Se debe tener siempre en cuenta que una alta eficiencia significa un bajo consumo de combustible y, por lo tanto, un reducido costo de operación y una menor emisión de gases.
4. Con la aplicación de las técnicas de ahorro de energía respectiva en las instalaciones térmicas, se tiene que las eficiencias térmicas de las calderas se incrementan en un 4% aproximadamente, mientras que en los equipos térmicos en promedio se tiene un ahorro aproximado del 20% en el consumo de vapor. El ahorro económico por combustible es de aproximadamente 400,000 US \$ y con respecto al medio ambiente debido a la menor quema de combustible se reduce la contaminación por parte de los gases de combustión.

- **Recomendaciones**

1. Acciones y Medidas de Carácter Operacional

a. Con el objeto de optimizar la combustión, es conveniente mejorar la atomización del combustible en las calderas de vapor.

- Mantener la temperatura de ingreso del combustible PR-6 en un rango de 105 – 115 °C.
- En la caldera N° 1 de no obtener resultados con el quemador actual, estudiar la posibilidad de cambiar por otro más eficiente.

Poner en práctica un procedimiento de control de la combustión para los calderos de vapor y la polimerizadora, midiendo y ajustando el exceso de aire operativo.

La evaluación de los resultados podría ser efectuada por el control del consumo de combustible, análisis periódico del exceso de aire, así como el registro de horas de operación de cada uno de los calderos de vapor y la polimerizadora. El valor objetivo del exceso de aire para estos tipos de equipos con que cuenta la planta es 20% para las calderas de vapor y 15% para los que consumen Diesel.

Con el objeto de poder efectuar el control de los consumos de energía en la planta, se considera conveniente la adquisición e instalación de los siguientes medidores:

- Medidor de flujo tipo desplazamiento positivo para el combustible PR-6 a las calderas de vapor.

- Medidor de flujo tipo desplazamiento positivo para combustible diesel a la polimerizadora.
- Medidor de flujo de vapor en cada una de las troncales de vapor con que cuenta la planta.

b. Proporcionar aislamiento térmico a todas las áreas donde se requiera.

c. Instituir un programa de conservación de energía en la planta, que tenga como objetivo central, la reducción de los niveles actuales de consumo de energía, mediante la promoción de prácticas operativas y de mantenimiento, tendientes a la conservación de energía y el control de los consumos de energía por unidad de procesamiento.

2. Proyectos de Conservación de Energía

- Estudiar la posibilidad de adquirir una caldera de vapor de 400 BHP a fin de tener mayor capacidad de generación para absorber la demanda de vapor cuando se producen picos de requerimiento. Además que, una de las calderas actuales estaría en stand by.
- Estudiar la posibilidad de instalar un sistema de control automático en la sala de tintorería (jets), a fin de optimizar dicho proceso.
- Estudiar la posibilidad de recuperar el calor de los humos en la polimerizadora para aprovecharlos como aire secundario, esto permitiría reducir el consumo de combustible (diesel).

VI. BIBLIOGRAFÍA

- (1) Angulo Miguel, UNMSM, Tesina: Análisis del Cluster Textil en el Perú, 2004, Cáp. 2**
- (2) Instituto Tecnológico Textil (AITEEX), Guía. Sectorial del Aseguramiento en el Sector Textil, España – 2004, Pág. 10-16**
- (3) Ministerio de Energía y Minas, Programa de Ahorro Energético, Manual de Uso Racional de Energía , 2º Edición, 2001, Cap. 2**
- (4) Tecsup, Seminario de Eficiencia Energética en Sistemas de Vapor y Recuperación de Condensados, 2001**
- (5) Cinyde S.A., Seminario Taller Internacional en Sistemas de Vapor, Aislamiento y Conservación del Medio Ambiente**
- (6) Spirax Sarco S.A., Manual de Principios Básicos de la Ingeniería del Vapor, 2000.**
- (7) Himmelblau David, Principios y cálculos básicos de la Ingeniería Química, Editorial Continental, 1977, pág. 106, 116**
- (8) Perry John, Manual del Ingeniero Químico, Editorial Hispano Americana , 1981, Págs. 318, 325, 340 y 357**
- (9) Indecopi, Norma Técnica Peruana NTP 350.300, Calderas Industriales, 2002**

VII. APÉNDICE

Análisis energéticos de los equipos térmicos dentro del proceso productivo

7.1 Encolado

El consumo de vapor mediante la medición del condensado y es el siguiente:

Consumo de vapor = 300 kg/h

7.1.1 Observaciones

- El tiempo que dura un rollo es de aproximadamente una hora.
- De las siete trampas que operan en la encoladora, cuatro no funcionaban correctamente, ya que dejan pasar vapor vivo a la red de condensados con la consiguiente pérdida de energía.
- Las tuberías de vapor presentan tramos sin aislamiento.
- La bomba que impulsa el retorno de condensados se encuentra fuera de servicio por lo que no se recupera condensado en esta área.
- No existe ningún medidor del caudal de vapor consumido.

Cuadro 11. Datos y mediciones efectuadas en la máquina encoladora

	Condensados		Vapor
	Kg	Seg	Kg/min
Lectura 1	6.5	80	4.88
Lectura 2	6.8	80	5.10
Peso del carrete con hilos	411 kg		
Peso de carrete	77 Kg		
Trampas de vapor			
Nº	Bien		Mal
1	X		
2	X		
3	X		
4	X		
5			X
6			X
7			X

7.1.2 Resumen del Balance Térmico de la Encoladura

A continuación se presenta un resumen del balance energético de la encoladora:

	kcal/h	%
Calores Entrantes		
E.1 Calor aportado por el vapor	196,200	100.0
Total Calores Entrantes	196,200	100.0
Calores Salientes		
S.1 Calor cedido a la urdimbre	10,710	5.5
S.2 Calor cedido al ambiente y evaporación del agua	165,870	84.5
S.3 Calor por trampas de vapor	19,620	10.0
Total Calores Salientes	196,200	100.0

Del balance térmico se concluye que las pérdidas por trampas de vapor son altas y se deben eliminar.

7.1.3 Acciones propuestas

Las acciones propuestas para optimizar el funcionamiento de la encoladora son:

- Mejorar el aislamiento de las líneas de vapor.
- Reparar la bomba de retorno de condensados a fin de recuperar los mismos.
- Revisar y/o reparar las trampas de vapor.

- Complementar la instrumentación de la encoladora recalibrar los termómetros y manómetros a fin de tener un mejor control del proceso.

De implementarse las mejoras, se consigue un ahorro significativo de vapor.

El consumo de vapor optimizado es = 270 kg/h

7.1.4 Resumen del Balance Térmico Mejorado de la Encoladora

	kcal/h	%
Calores Entrantes		
E.1 Calor aportado por el vapor	176,580	100.0
Total Calores Entrantes	176,580	100.0
Calores Salientes		
S.1 Calor cedido a la urdimbre	10,710	6.1
S.2 Calor cedido al ambiente y evaporación del agua.	165,870	93.9
Total Calores Salientes	175,580	100.0

7.1.5 Ahorro potencial por reparación de trampas de vapor

Ahorro = Consumo sin Mejoras - Consumo Mejorado

Ahorro = 300 kg/h - 270 kg/h

Ahorro = 30 kg vapor / h

Considerando 14 rollos por día de trabajo (14 Horas) y 300 días anuales de operación, el ahorro en petróleo es:

Ahorro = 3,070 gal de PR-6/año.

Ahorro Económico

Considerando el precio del PR-6 = 1.7 US\$/gal.

Ahorro = US\$ 5,219 anuales

Este ahorro no requiere inversión.

7.1.6 Ahorro por Recuperación de Condensados

Se propone reparar la bomba de condensados que en la actualidad se encuentra fuera de servicio.

Base de Cálculo

- Condensados sin recuperar = 1'260,000 kg condensado/año
- Costo del agua tratada = 1.2 US\$/1000 kg

Ahorro Económico

Ahorro = 1,260 x 1.2

Ahorro = US\$ 1,512 anuales

Inversión

La reparación de la bomba representa una inversión de 100 US\$. El periodo de retorno de la inversión es de 1 mes.

7.2 Máquinas de Teñido

La sección de tintorería, está conformada por maquinas de teñido de funcionamiento discontinuo en su mayoría; que pueden ser jets, jiggers y thies.

7.2.1 Máquinas Jets

La empresa posee cuatro máquinas jet, de las cuales una de ellas es simple (jet N° 2) y las otras son dobles. Estas máquinas operan a una presión de cerca de 43 psig y con un rango de temperaturas que llega hasta 130 °C. El ciclo dura aproximadamente 3-4 horas.

7.2.1.1 Observaciones

- Existen fugas de vapor por las trampas de la jet N° 4 y fuga de presión por la empaquetadura de una de las trampas de la jet N° 3.
- No existen medidores de presión y consumo del vapor a la entrada de las jets.
- Tramos de las tuberías de vapor y condensados no se encuentran aislados.
- De los balances térmicos efectuados se concluye que las pérdidas de calor por el agua de vertido se pueden disminuir, así mismo, las pérdidas por mal funcionamiento de las trampas. Las pérdidas por radiación están dentro del rango permisible, pero son susceptibles de disminuirlas.

Cuadro 12. Datos y mediciones efectuadas en las máquinas Jets

Jet N° 1		
Temperaturas °C	Tiempo (min)	Vapor (kg)
40-130	105	895
130	30	245
130-90	23	---
90	30	245
90-80	10	---
80	15	245
80-40	30	---
TOTAL	243	1630
Jet N° 2		
Temperaturas °C	Tiempo (min)	Vapor (kg)
40-120	60	356
120	15	134
120-90	30	---
90-120	30	178
120	15	132
120-70	30	---
70	45	90
70-40	30	---
TOTAL	255	890

Jet N° 3		
Temperaturas °C	Tiempo (min)	Vapor (kg)
30-130	75	754
130	45	206
130-90	15	---
90	30	205
90-80	10	---
80	30	205
80-40	15	---
TOTAL	220	1370
Jet N° 4		
Temperaturas °C	Tiempo (min)	Vapor (kg)
40-130	60	595
130	45	133
130-90	20	---
90	70	132
90-120	10	200
120	15	130
120-90	15	---
90	30	130
90-40	30	---
TOTAL	295	1320

Cuadro 13. Resumen del Balance Térmica en las Máquinas Jets (Temperatura de referencia 25°C)

	Jet 1		Jet 2		Jet 3		Jet 4	
	kcal/ciclo	%	Kcal/ciclo	%	Kcal/ciclo	%	kcal/ciclo	%
Calores Entrantes								
E.1 Calor del vapor	1,065,531	93.0	541,627	93.2	895,569	97.0	862,844	91.4
E.2 Calor en el producto	1,883	0.2	941	0.1	503	0.2	1,508	0.2
E.3 Calor en el agua de llenado	78,450	6.8	39,225	6.7	26,500	2.8	9,500	8.4
Total Calores Entrantes	1,145,864	100.0	581,793	100.0	922,572	100.0	943,852	100.0
Calores Salientes								
S.1 Calor en el producto	1,883	0.2	941	0.1	503	0.2	1,508	0.2
S.2 Calor en el agua de vertido	78,450	6.8	39,225	6.7	79,500	8.6	79,500	8.4
S.3 Calor agua de refrigeración	687,518	60.0	342,603	59.0	536,014	58.1	581,413	61.6
S.4 Calor en condensado	234,720	20.5	128,160	22.0	197,280	21.4	190,080	20.1
S.5 Calor paredes (Radiación y Convección)	60,731	5.3	20,090	5.0	49,819	5.4	50,968	5.4
S.6 Pérdidas por trampas de vapor	58,833	5.1	35,954	6.2	39,222	4.3	32,685	3.5
S.7 Calores residuales	23,729	2.1	5,820	1.0	20,234	2.1	7,698	0.8
Total Calores Salientes	1,145,864	100.0	581,793	100.0	922,572	100.0	943,852	100.0

7.2.1.2 Acciones Propuestas

- Reparar y/o sustituir las trampas de vapor por unidades nuevas, puesto que las actuales superan los 5 años, que es el tiempo promedio de vida de las trampas termodinámicas.
- Complementar la instrumentación para la línea de vapor en la sala de teñido, con termómetros y manómetros fundamentalmente, puesto que en la actualidad no lo tienen.
- Los consumos específicos son en promedio 4 kg vapor / kg tejido, valor susceptible de ser disminuido de implementarse las mejoras, a valores inferiores de 3 kg vapor/ kg tejido.
- Aislar las superficies de las máquinas para evitar durante el calentamiento las pérdidas por radiación, teniendo en cuenta que el acero inoxidable permite tener pérdidas por radiación altas, que en algunos casos superan el 10% del consumo total de energía de la máquina.
- Estudiar la posibilidad de recuperar el agua tibia de enfriamiento en un depósito separado del tanque de agua blanda. Esto permite tener agua tibia en todo momento para el proceso de teñido y agua fría para acelerar el enfriamiento y evitar los problemas que en actualidad se presentan al contar en determinados momentos con agua de enfriamiento cuya temperatura es superior al ambiente, demorando el proceso de enfriamiento y alargando los ciclos de teñido.

Cuadro 14. Resumen del Balance Térmico Mejorado en las Máquinas Jets (Temperatura de referencia 25°C)

	Jet 1		Jet 2		Jet 3		Jet 4	
	kcal/ciclo	%	kcal/ciclo	%	kcal/ciclo	%	kcal/ciclo	%
Calores Entrantes								
E.1 Calor del vapor	825,623	81.7	411,177	81.6	613,171	76.7	675,926	78.3
E.2 Calor en el producto	1,883	0.2	941	0.2	503	0.1	1,508	0.2
E.3 Calor en el agua de llenado	183,050	18.1	39,225	18.2	185,500	23.2	185,500	21.5
Total Calores Entrantes	1,010,556	100.0	503,643	100.0	799,174	100.0	862,934	100.0
Calores Salientes								
S.1 Calor en el producto	1,883	0.2	941	0.1	503	0.1	1,508	0.1
S.2 Calor en el agua de vertido	78,450	7.8	39,225	6.7	79,500	10.0	79,500	9.2
S.3 Calor agua de refrigeración	687,518	68.0	342,603	59.0	536,014	67.0	581,413	67.4
S.4 Calor en condensado	181,872	18.0	90,576	22.0	135,072	16.9	148,896	17.3
S.5 Calor paredes (Radiación y Convección)	50,528	5.0	25,182	5.0	39,959	5.0	43,147	5.0
S.6 Calores residuales	10,305	1.0	5,116	1.0	8,126	1.0	8,470	1.0
S.7 Calor útil	890,591	78.8						
Total Calores Salientes	1,010,556	100.0	503,643	100.0	922,572	100.0	862,934	100.0
Consumo del vapor optimizado (Kg / ciclo)	1,263		629		938		1,034	

7.2.1.3 Ahorro Potencial con las mejoras propuestas

Ahorro = Consumo sin Mejoras - Consumo Mejorado

Ahorro = 5,210 kg/ciclo - 3,864 kg/ciclo

Ahorro = 1,346 kg vapor/ciclo

Considerando 10 ciclos por día de trabajo y 300 días anuales de operación, el ahorro en petróleo es:

Ahorro = 98,608 gal de PR-6/año.

Ahorro Económico

Considerando el precio del PR-6 =1.7 US\$/gal.

Ahorro = US\$ 167,633.6 anuales

Inversiones

Para la implementación de las mejoras se requiere la siguiente inversión:

06 trampas de vapor de 1"	US\$	1,200
01 trampa de vapor de 3/4"		150
07 manómetros de presión		2,100
01 Tanque independiente para la recuperación de agua.		7,000
Accesorios y mano de Obra		2,000
Total US\$		12,450

El retorno de la inversión es aproximadamente 1 mes.

7.2.1.4 Ahorro por la implementación de un sistema automático en la sección de tinte

Para el caso de la empresa se recomienda incorporar un microprocesador individual en cada máquina jet, dado que un sistema central de control no es conveniente puesto que los procesos de teñido son diferentes en cada máquina. Un microprocesador individual por máquina permite el control del proceso y la redefinición por programa de las diferentes operaciones del ciclo de tintura. Los parámetros que se pueden controlar son:

Temperatura de baño, presión, tiempo de duración de cada operación, llenado o vaciado, agotamiento del baño, nivel del agua y otras alarmas.

Las ventajas que se obtienen al implementar estos sistemas de control automático son:

- Reducción de la duración de los ciclos y de los tiempos muertos.
- Disminución de las reoperaciones.
- Optimización del proceso.
- Reducción de mermas por la regulación de las variables de temperatura y presión.

En base a la experiencia realizada en otras empresas extranjeras la implementación de estos sistemas, permite obtener ahorros energéticos de 10%.

Ahorro Potencial

Consumo de vapor optimizado = 3,864 kg/ciclo

Ahorro = $0.10 \times 3,864$

Ahorro = 386 kg vapor/ciclo

Considerando 10 ciclos por día de trabajo y 300 días anuales de operación, el ahorro en petróleo es:

Ahorro = 28,280 gal de PR-6/año.

Ahorro Económico

Considerando el precio del PR-6 = 1.7 US\$/gal

Ahorro = US\$ 48,076 anuales

Inversiones

Para la implementación de las mejoras se requiere la siguiente inversión:

- 04 Sistemas automáticos US\$ 50,000

El retorno de la inversión es de 1 año.

7.2.2 Autoclaves (Thies)

La empresa posee cuatro máquinas de teñido tipo autoclaves, pero actualmente solo trabajan dos de ellas, las cuales operan a una temperatura que pueda llegar a 130 °C y una presión interior de 40 a 50 psig, siendo la presión mínima de la red de vapor alrededor de 70 psig.

El consumo promedio de vapor midiendo el condensado para la Thies "E", es :

$$\text{Consumo de vapor} = 340 \text{ kg vapor/h}$$

7.2.2.1 Acciones Propuestas

La mejora importante en autoclaves, está basada fundamentalmente a la relación del baño.

- Convencionalmente, las autoclaves se encuentran trabajando en una relación de baño de 1:10. En la actualidad se están fabricando unidades en las cuales se pueden lograr relaciones de baños de 1:5 logrando ahorros importantes del 10% del consumo de vapor. Se debe tener en cuenta también los materiales de trabajo si se trata de algodón, fibra sintética u otras.
- Las autoclaves son utilizadas de manera discontinua y por periodos, por lo que la recomendación de cambiar estas unidades por otras más eficientes, sería poco atractivo dado que la inversión es aproximadamente US\$ 260,000 por unidad (400 kg. de capacidad) y el retorno de la inversión es demasiado largo teniendo en cuenta las pocas horas de utilización anual que tienen estas máquinas.

7.2.3 Jiggers

La empresa cuenta con cuatro máquinas de teñido a presión atmosférica tipo jigger las cuales trabajan, al inicio de la operación, con un primer calentamiento del baño utilizando vapor directo, luego el calor es mantenido mediante un serpentín (vapor indirecto).

7.2.3.1 Observaciones

- Existe una picadura en el serpentín de calentamiento de la jigger N° 3 que originaba una mezcla del colorante con el condensado que retornaba a la línea. Dicho serpentín debe ser reparado inmediatamente previniéndose de esta forma la corrosión de los ductos, contaminación de los condensados y consumo adicional de vapor.
- En determinados momentos las máquinas funcionan totalmente descubiertas y con la consiguiente pérdida de vapor y energía.
- Existe una apreciable variación en la relación de baño, ya que inicialmente el baño es de 500 a 600 litros de agua con colorante y luego de la adición de vapor directo éste aumenta entre 700 y 800 litros con la consiguiente dilución del colorante.
- No se cuenta con ningún medidor del consumo de vapor.
- En el jigger N° 1 la tubería de retorno de condensados tiene fuga, se debe comunicar a mantenimiento para su reparación inmediata.

- En la parte superior del jigger existe un serpentín de vapor indirecto que permite mantener caliente esa superficie y evitar la condensación del vapor producido en el baño; dichos serpentines (en los cuatro jiggers) se encuentran fuera de servicio.
- De los balances térmicos realizados, se puede afirmar que el jigger 4 es más eficiente que el jigger 3 puesto que para el mismo proceso de tela el consumo de vapor del jigger 3 es mayor. Las pérdidas de calor por evaporación son altas debido a que en determinados momentos el equipo trabaja con las tapas abiertas.

El consumo promedio de vapor indirecto determinado por la condensación del mismo es:

Consumo promedio por máquina = 130 kg vapor/h

Cuadro 15. Datos y mediciones efectuadas en los Jiggers

	N° 3	N° 4
Vapor directo (kg/ciclo)	200	150
Condensados (kg/min)		
Lectura 1	1.8	1.9
Lectura 2	2.4	2.1
Lectura 3	2.1	2.3
Lectura 4	1.6	2.4

7.2.3.2 Resumen del Balance Térmico del Jigger N° 3

	kcal/ciclo	%
Calores Entrantes		
E.1 Calor del Vapor	446,204	100.0
Total Calores Entrantes	446,204	100.0
Calores Salientes		
S.1 Calor en el Producto	1,130	0.3
S.2 Calor en el Agua de vertido	168,160	37.7
S.3 Calor en Condensado	69,552	15.6
S.4 Calor-Paredes (Radiación y Convección)	35,696	8.0
S.5 Calor por Evaporación	162,742	36.4
S.6 Calores Residuales	8,924	2.0
Total Calores Salientes	446,204	100.0

Consumo de vapor Indirecto = 483 kg/ciclo

Consumo de vapor Directo = 200 kg/ciclo

7.2.3.3 Resumen del Balance Térmico del Jigger N° 4

	kcal/ciclo	%
Calores Entrantes		
E.1 Calor del Vapor	384,160	100.0
Total Calores Entrantes	384,160	100.0
Calores Salientes		
S.1 Calor en el Producto	3,287	0.9
S.2 Calor en el Agua de vertido	139,245	36.2
S.3 Calor en Condensado	63,072	16.4
S.4 Calor-Paredes (Radiación y Convección)	30,733	8.0

S.5 Calor por Evaporación.	140,140	36.5
S.6 Calores Residuales	7,683	2.0
Total Calores Salientes	384,160	100.0

Consumo de vapor Indirecto = 438 kg/ciclo

Consumo de vapor Directo = 150 kg/ciclo

7.2.3.4 Acciones Propuestas

- Reparar y/o complementar la instrumentación de los equipos, en termómetros y manómetros de presión.
- Reducir las pérdidas por evaporación, trabajando en todo momento posible con las tapas cerradas, reparando los serpentines de vapor indirecto de la parte superior de los jigger, esto dará como resultado que los cristales no se empañen demasiado dificultando la visibilidad de la tela y evita en gran medida la evaporación con el consiguiente ahorro de vapor y por tanto de combustible. Por otro lado se debe mantener el volumen del baño, con lo que se ahorra el tratamiento del agua al no tener que reponer esas pérdidas evaporadas y la concentración del colorante permanecerá estable con la consiguiente mejora de la uniformidad del tinte.
- Mejorar el aislamiento de las líneas de vapor, que en algunos tramos se encuentra descubierto.

De acuerdo a los datos de diseño el consumo promedio para este tipo de procesos (colores oscuros) es:

Vapor Indirecto = 400 kg/h.

Vapor Directo = 50 kg/h.

7.2.3.5 Ahorro Potencial

Para los jigger 3 y 4 el ahorro que se lograría sería:

Ahorro = Consumo sin mejoras - Consumo con mejoras

Ahorro 1 = 483 - 400 = 83 kg vapor/ciclo

Ahorro 2 = 438 - 400 = 38 kg vapor/ciclo

Ahorro = 121 kg vapor/ciclo

Considerando 4 ciclos por día y por máquina y 300 días anuales de operación el ahorro en petróleo es:

Ahorro = 9,400 gal de PR-6/año

Ahorro Económico

Considerando el precio del PR-6: US\$ 1.7

Ahorro = 9,400 x 1.7

Ahorro = US\$ 15,980

Inversiones

La inversión necesaria sería:

➤ Reparación de los serpentines de la parte superior de los jigger	US\$ 800
➤ 02 Manómetros de presión	600
➤ Reparaciones menores	200
Total	US\$ 1,600

El retorno de la inversión es de 2 meses.

7.3 Lavadoras

La planta cuenta con dos lavadoras que trabajan con vapor a una presión de 80 - 85 psig y con agua tratada.

7.3.1 Observaciones

- La lavadora N° 2; la cual dispone de un intercambiador de placas que le permite recuperar parte de la energía que lleva el agua de retorno al desagüe. Esta precalienta el agua fría tratada, que posteriormente irá al intercambiador de vapor donde se calentará aún más e ingresará a los campos de la lavadora.
- Tanto en el intercambiador de placas como en el de casco y tubos, se puede evaluar la eficiencia actual de los equipos y compararla con las de diseño. Los resultados de estas evaluaciones permiten afirmar la existencia de incrustaciones en la superficie de los intercambiadores.
- Dos trampas de vapor descargan vapor vivo al retorno de condensados, cuyas pérdidas son de 20 kg vapor/h por trampa.

A continuación se presentan los resultados de dicha evaluación:

Evaluación del Intercambiador de Placas

a. Eficiencia según datos de diseño = 85 %

b. Eficiencia según mediciones = 48,3 %

$$Diferencia \% = \frac{85 - 48,3}{85} = 43,2\%$$

El intercambiador de placas se encuentra trabajando con una eficiencia baja, las causas pueden ser varias entre las que se pueden mencionar: ensuciamiento de las placas dado que las aguas residuales contienen pelusas, jabón, resinas etc., otra de las causas que el intercambiador este trabajando con un bajo caudal de agua.

Evaluación del Intercambiador de Casco y Tubos

a. Coeficiente de transferencia de calor diseño = 458,0 kcal/m²-°C-h

b. Coeficiente de transferencia de calor actual = 418,6 kcal/m²-°C-h

c. Factor de ensuciamiento calculado = 0,00021 m²-°C-h/kcal

En los cuadros N° 9 y 10 se muestran los datos y mediciones efectuadas en el intercambiador y lavadora.

Cuadro 16. Mediciones y datos del intercambiador de placas (Lavadora N° 2)

Presión máxima de trabajo	6 bar
Temperatura máxima servicio	100° C
Capacidad	39.1 – 40.2 litros
Temperatura agua ingreso	26 °C
Temperatura agua salida	40 °C
Temperatura vertido ingreso	56 °C
Temperatura vertido salida	27 °C

Cuadro 17. Mediciones efectuadas en la Lavadora N° 2

	Condensados		litros/min	Velocidad de la tela m / min	Temperatura °C
	Litros	min			
1	215	27	8.1	50	60
2	370	35	10.6	62	58
3	530	60	8.8	50	60

7.3.2 Resumen del Balance Térmico de la Lavadora

A continuación se presenta el balance térmico de la lavadora N° 2:

Base de Cálculo: Temperatura ambiente = 20 °C

	kcal/h	%
Calores entrantes		
E.1 Calor aportado por el vapor	359,981	96.4
E.2 Calor Sensible Tela	4,520	1.2
E.3 Calor del Agua Fría	8,800	2.4
Total calores entrantes	373,301	100.0
Calores Salientes		
S.1 Calor del Condensado	91,023	24.4
S.2 Calor Sensible Tela	0	0.0
S.3 Calor Agua Intercambiador	15,600	4.2
S.4 Calor Agua Desagüe	31,000	8.3
S.5 Calor por Paredes	74,660	20.0
S.6 Calor por Trampas	26,276	7.0
S.7 Evaporación y Convección al ambiente	134,742	36.1
Total Calores Salientes	373,301	100.0

Del balance térmico se puede concluir que las pérdidas por paredes son elevadas, esto es debido a que el acero inoxidable como material tiene una gran conductividad térmica por lo tanto las pérdidas a través de estas superficies son altas. Las pérdidas energéticas a través de las trampas de vapor deben ser eliminadas, reparando y/o sustituyéndolas por unidades

nuevas. La energía por evaporación y convección al medio ambiente se encuentran dentro del rango permisible.

El consumo total de vapor por condensación directa del mismo es:

$$\text{Consumo de vapor} = 548 \text{ kg/h}$$

7.3.3 Acciones Propuestas

Las medidas que se deben tener en cuenta para optimizar el consumo energético son:

- Reparar y/o cambiar las trampas de vapor de la línea de retorno de condensado.
- La línea de retorno de condensado de la lavadora aparentemente está reducida, se recomienda que de la cantidad de condensado total medido del equipo para máxima carga debe multiplicarse por 2 y seleccionar el diámetro adecuado.
- Instalar un medidor de agua de ingreso a la lavadora para llevar control del mismo y evaluar si su consumo es el óptimo.
- Se debe estudiar la posibilidad de aislar las paredes de la lavadora a fin de reducir las pérdidas por radiación al medio ambiente.

7.3.4 Resumen del Balance de Calor Mejorado de la Lavadora

A continuación se presenta el balance térmico mejorado de la lavadora N° 2:

Base de Cálculo: Temperatura ambiente = 20° C

	kcal/h	%
Calores Entrantes		
E.1 Calor aportado por el vapor	335,200	100.0
Total Calores Entrantes	335,200	100.0
Calores Salientes		
S.1 Calentamiento de la tela	6,027	1.8
S.2 Pérdidas por paredes	16,764	5.0
S.4 Evaporación, radiación y convección al ambiente	312,489	93.2
Total Calores Salientes	335,200	100.0

7.3.5 Ahorro Potencial

Ahorro = Consumo Sin Mejoras - Consumo Mejorado

Ahorro = 548 kg/h - 508 kg/h

Ahorro = 40 kg vapor/h

Considerando 12 horas de trabajo por día y 300 días anuales de operación, el ahorro en petróleo es:

Ahorro = 3,500 gal de PR-6/año.

Ahorro Económico

Considerando el precio del PR-6 = 1.7 US\$/gal

Ahorro = US\$ 5,950 anuales

Inversiones

Para la implementación de las mejoras se requiere la siguiente inversión:

- 05 trampas de vapor de 3/4"	750
- 01 manómetro de presión	300

Total **US\$ 1,050**

El retorno de la inversión es aproximadamente 3 meses.

7.4 Secado - Rama Dalglish

El proceso previo al polimerizado es la impregnación y el secado de la resina en la tela, que se realiza en un rama de vapor marca Dalglish. Dicho rama funciona con vapor indirecto a una presión promedio de 6 atm, y consta de un pre-secador de 2 campos y el secador de 2 campos dobles.

La circulación del aire, que se realiza en cada campo, es mediante dos ventiladores axiales que inducen el aire haciéndolo pasar por unos radiadores, por los que pasa el vapor, y luego lo insuflan haciéndolo pasar a través de la tela a secar. De esta manera el aire caliente absorbe la humedad de la tela y la seca, luego este aire húmedo es enviado por un ducto a la atmósfera.

7.4.1 Observaciones

- Dos de las cuatro trampas del pre-secador no funcionaban correctamente.
- Dos trampas del secador no funcionaban correctamente, una tiene el disco roto y el otro rajado
- No se cuenta con ningún medidor del caudal de vapor en el secador.

7.4.2 Resumen del Balance Térmico del secador Dalglish

A continuación se presentan los balances energéticos para el pre-secador y secador:

➤ Pre-secador

Condiciones ambientales = 23 °C

	kcal/h	%
Calores Entrantes		
E.1 Calor Cedido Vapor	176,673.5	98.3
E.2 Calor Sensible Tela	1,205.3	0.7
E.3 Calor Sensible Agua	1,920.0	1.0
Total Calores Entrantes	179,798.8	100.0
Calores Salientes		
S.1 Calor Latente Agua	46,342.8	25.8
S.2 Calor Sensible Tela	3,013.2	1.6
S.3 Calor Sensible Agua	4,800.0	2.7
S.4 Calor Sensible Aire	86,985.8	48.4

S.5 Pérdida por Paredes	12,257.0	6.8
S.6 Pérdida por Trampas	26,400.0	14.7
Total Calores Salientes	179,798.8	100.0

El consumo de vapor es de:

Consumo de vapor = 272 kg/h

➤ **Secador**

	kcal/h	%
Calores Entrantes		
E.1 Calor Cedido Vapor	230,432	99.6
E.2 Calor Sensible Tela	904	0.4
E.3 Calor Sensible Agua	26	0.0
Total Calores Entrantes	231,362	100.0
Calores Salientes		
S.1 Calor Latente Agua	150,912	65.2
S.2 Calor Sensible Tela	7,081	3.1
S.3 Calor Sensible Agua.	202	0.1
S.4 Calor Sensible Aire	14,895	6.4
S.5 Pérdida por Paredes	31,872	13.8
S.6 Pérdida por Trampas	26,400	11.4
Total Calores Salientes	231,362	100.0

El consumo de vapor promedio es:

Consumo de vapor = 350 kg/h

Del balance térmico, se puede afirmar que las pérdidas de energía a través de las trampas de vapor son elevadas tanto el presecador como en el

secador mismo estas pueden ser eliminadas reparando y/o cambiándolas por unidades nuevas. Las pérdidas de calor a través del aire caliente son susceptibles de disminuirlas si se recupera parte de la energía.

Por lo tanto el consumo total de vapor de la secadora Dalglish fue de:

$$\text{Consumo Total} = 622 \text{ kg/h}$$

7.4.3 Acciones Propuestas

- En el presecador reparar y/o cambiar dos trampas de vapor que se encuentran defectuosas. La cantidad de vapor que se pierde es 40 kg vapor/h
- Reparar y/o cambiar dos trampas de vapor del secador por encontrarse defectuosas.
- Complementar la instrumentación, en manómetros y termómetros para un control adecuado del proceso.
- Se debe tener en cuenta que dos trampas no deben unir sus descargas en la misma recta con sentidos opuestos. Debe descargarse cada trampa directamente hacia la parte superior de la línea de retorno de condensados. Este caso se aprecia en el secador.
- Se debe reparar algunas zonas de las paredes del secador, a fin de reducir al mínimo el ingreso de aire falso.
- Estudiar la posibilidad de aislar las paredes del secador, puesto que las pérdidas por paredes es alta, de acuerdo al balance térmico realizado (13%).
- Estudiar la posibilidad de instalar un control automático de humedad para un mejor control de proceso, esto permitiría reducir el consumo de vapor hasta en un 10% del consumo total de energía.

De implementarse las medidas recomendadas como por ejemplo, cambio de trampas de vapor y reducción de las pérdidas por radiación, el ahorro es:

7.4.4 Ahorro Potencial debido a las mejoras propuestas

Ahorro = Consumo sin Mejoras - Consumo Mejorado

➤ **Presecador**

Ahorro = 272 kg/h - 232 Kg/h

Ahorro = 40 kg vapor/h

➤ **Secador**

Ahorro = 350 kg/h - 294 kg./h

Ahorro = 56 kg vapor/h

Ahorro Total = 96 kg vapor/h

Considerando 12 horas de trabajo por día y 300 días anuales de operación, el ahorro en petróleo es:

Ahorro = 8,400 gal de PR-6/año.

Ahorro Económico

Considerando el precio del PR-6 = 1.7 US\$/gal.

Ahorro = US\$ 14,280 anuales .

Inversiones

Para la implementación de las mejoras se requiere la siguiente inversión:

- 04 trampas de vapor de 3/4"	US\$ 600
- Reparación de las paredes, para disminuir las entrada de aire falso.	1,000

Total US\$ 1,600

El retorno de la inversión es aproximadamente 2 meses.

7.4.5 Ahorro por la implementación de un Foulards de alto rendimiento

Sustituir los foulards convencionales por otros más eficientes.

En los foulards convencionales, el porcentaje de agua retenido por la tela es alto (60 - 70%), la fuerza sobre los cilindros produce por lo general un arqueado de los mismos, lo que lleva a presiones más elevadas en los extremos que en el centro, por lo que el escurrido en determinados momentos no es uniforme y un secado posterior tenderá a sobresecar los orillos.

Los foulards de alto rendimiento o alto exprimido, compensan el arqueado de los cilindros permitiendo presiones más altas y de mayor uniformidad.

Entre los foulards más conocidos en el mercado internacional son los de cilindro flotante de Kusters y el de presión flexible de Bicoflex.

De las numerosas experiencias implementadas en plantas de vapor (Barcelona-España), los ahorros promedios obtenidos para fibras sintéticas es del 15% del consumo de vapor.

Ahorro Potencial

Consumo de vapor total = 526 kg vap/h

Ahorro = 0.25 x 526

Ahorro = 132 kg vapor/h

Considerando 12 horas de trabajo por día y 300 días anuales de operación, el ahorro en petróleo es:

Ahorro = 11,600 gal de PR-6/año.

Ahorro Económico

Considerando el precio del PR-6 = 1.7 US\$/gal.

Ahorro = US\$ 19,720 anuales

Inversiones

Para la implementación de las mejoras se requiere la siguiente inversión:

- 01 Foulard nuevo US\$ 40,000

El retorno de la inversión es aproximadamente 2 años.

7.5 Decatizado

7.5.1 Observaciones

- La instrumentación de control en parte está fuera de servicio, necesita reparación. En la actualidad el control es manual.
- No se cuenta con medidor de consumo de vapor en la línea.
- Debido a que parte del condensado es descargado hacia un depósito subterráneo de difícil acceso y parte es eliminado por un ducto hacia la atmósfera, no fue posible realizar la medición del consumo de vapor.
- De los datos de diseño se puede estimar el consumo de vapor a plena carga, cuyo valor es 600 kg/h.

7.5.2 Acciones Propuestas

- Reparar y/o cambiar la instrumentación de las máquinas decatizadoras.
- Estudiar la posibilidad de instalar un medidor de vapor tipo rotámetro, para poder conocer el consumo real de vapor de la máquina.
- Mejorar el aislamiento de la línea de vapor.
- Estudiar la posibilidad de recuperar los condensados que se pierden en la actualidad.

7.6 Polimerizado

Luego de impregnar la tela de resinas sintéticas que aumentan la calidad del artículo terminado, es necesario darle un tratamiento térmico el cual se denomina polimerizado o aprestado.

7.6.1 Observaciones

- No se recupera el calor perdido en los gases de combustión.
- No se recupera calor del aire caliente que sale a la atmósfera.
- El exceso de aire primario en el quemador es alto (103%).
- La instrumentación está incompleta. No existe indicador visual de temperatura del aire caliente a la entrada a la cámara de polimerizado.

El consumo medido de combustible es de:

Consumo de Diesel-2 = 6.6 gal/h

7.6.2 Resumen del Balance Térmico de la Polimerizadora

A continuación se muestran los Balances realizados en la mufla (cámara de combustión) y en la cámara de polimerizado:

Balance de la Mufla

Temperatura de referencia = 25 °C

	kcal/h	%
Calores Entrantes		
E.1 Calor de Combustión	218,473	100.0
Total Calores Entrantes	218,473	100.0
 Calores Salientes		
S.1 Calor Gases de Combustión	185,684	85.0
S.2 Pérdidas Radiación y otros	1,190	15.0
Total Calores Salientes	218,473	100.0

Balance de la Cámara de Polimerizado

Temperatura de referencia = 25 °C

	kcal/h	%
Calores Entrantes		
E.1 Calor Gases de Combustión	185,684	98.6
E.2 Calor Sensible Tela	2,344	1.4
Total Calores Entrantes	188,028	100.0
Calores Salientes		
S.1 Calor Sensible Aire	66,882	35.6
S.2 Calor Sensible Tela	9,040	4.8
S.3 Calor Evaporación	10,864	5.8
S.4 Calor Gases de Combustión	38,070	20.2
S.5 Pérdida Paredes y otros	63, 172	34.0
Total Calores Salientes	188,028	100.0

Del balance térmico se concluye que las pérdidas de calor a través de los humos y aire caliente es alta y es susceptible de recuperar parte del calor para aprovecharlo como aire secundario en la mufla.

7.6.3 Acciones Propuestas:

- Optimizar la combustión en la mufla de la polimerizadora, regulando el exceso de aire al valor óptimo del 15%.
- Complementar la instrumentación de control de la polimerizadora (termómetros).
- Recuperar el calor de los gases de combustión y del aire caliente, para inyectarlo como aire secundario.

- Se debe estudiar la posibilidad de aislar las paredes de la cámara de polimerizado a fin de reducir las pérdidas por radiación al medio ambiente.

7.6.4 Resumen del Balance Mejorado de la Polimerizadora (Mufla y Cámara de Polimerizado)

El consumo de Diesel optimizado es de 2.6 gal/h

Temperatura Base = 25 °C (ambiente)

	kcal/h	%
Calores Entrantes		
E.1 Calor Aportado-Combustible	93,310	90.3
E.2 Calor sensible-producto	2,344	2.3
E.3 Aire secundario-Mufla	7,718	7.4
Total Calores Entrantes	103,372	100.0
Calores Salientes		
S.1 Calor por los humos	13,200	12.8
S.2 Calor del aire-calentamiento	74,880	72.4
S.3 Calor sensible del producto	9,040	8.8
S.4 Pérdidas por radiación	6,252	6.0
Total Calores Salientes	103,372	100.0

7.6.5 Ahorro Potencial

Ahorro = 4.0 gal / h

Considerando 16 horas de trabajo por día y 300 días anuales de operación, el ahorro en petróleo es:

Ahorro = 19,200 gal /año

Ahorro Económico

Considerando el precio del Diesel-2 = 4.6 US\$/gal.

Ahorro = US\$ 88,320 anuales

Inversiones

Para la implementación de las mejoras se requiere la siguiente inversión:

-	Tubería para la recuperación de calor.	US\$ 7,000
-	Mano de obra	2,000
	Total	US\$ 9,000

El retorno de la inversión es aproximadamente 2 meses.