



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**PROYECCIÓN DE UNA ZONA CENTRALIZADA
DE GENERACIÓN DE VAPOR DE AGUA PARA PREFORMA
DE PARTES DE *JEANS* POR MEDIO DE PLANCHAS
EN LA SECCIÓN DE CONFECCIÓN DE LA EMPRESA
C.I. JEANS S.A.S.**

Autor

Federico Montoya Rendón

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica

Medellín, Colombia

2021





Proyección de una zona centralizada de generación de vapor de agua para preforma de partes de *jeans* por medio de planchas en la sección de confección de la empresa C.I. JEANS S.A.S.

Federico Montoya Rendón

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de: **ingeniero mecánico**

Asesores:

Asesor interno:

Juan Fernando Pérez Bayer
Profesor

Asesor externo:

Édison Henao Valencia
Ingeniero mecánico

Línea de investigación:

Mantenimiento

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica.
Medellín, Colombia
2021

CONTENIDO

Resumen	7
Introducción	8
Objetivos.....	11
Objetivo general	11
Objetivos específicos	11
Marco teórico	12
Generador de vapor (calderín)	12
Caldera	12
<i>Caldera acuatubular</i>	12
<i>Caldera pirotubular</i>	13
Partes de la caldera	15
Multiciclón	16
Red de vapor.....	18
<i>Elementos presentes en una red de vapor</i>	19
<i>Diseño de una red de distribución de vapor</i>	21
<i>Golpe de ariete</i>	21
<i>Presión</i>	22
<i>Tuberías</i>	23
<i>Derivaciones</i>	23
<i>Velocidad en las tuberías</i>	24
<i>Eficiencia energética</i>	24
Metodología.....	26
Contexto operacional	26
Análisis de funcionamiento de los calderines en la sección de confección de C.I. JEANS S.A.S.....	27
<i>Tiempo de trabajo de la bomba</i>	27
<i>consumo de agua</i>	28
<i>Tiempo de trabajo para la resistencia</i>	28
<i>Calor perdido del calderín</i>	29
ANÁLISIS de la demanda de vapor en la sección de confección de C. I. JEANS S. A. S.	30
Costo actual del proceso hecho por el calderín	30
Especificaciones de la caldera	32

Cantidad de vapor usado por la caldera de la sección de lavandería en la empresa C.I. JEANS S.A.S.	34
Cálculo del costo operacional de la caldera instalada en la sección de lavandería para suplir la demanda de vapor en la sección de confección	35
Costo operacional de la caldera para turnos dominicales	37
Operación de planchado con calderines.....	38
análisis financiero.....	40
Conclusiones y recomendaciones.....	42
Bibliografía.....	43
Anexos.....	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparativa entre las calderas pirotubular y acuotubular [2]	15
Tabla 2. Clases de multiciclón [4].....	17
Tabla 3. Factores que inciden en la eficiencia del multiciclón [4]	17
Tabla 4. Ventajas y desventajas del multiciclón [4]	18
Tabla 5. Tamaños de tubería con su respectivo Schedule [6]	23
Tabla 6. Especificaciones generales de la caldera ubicada en Lavandería	32
Tabla 7. Costo operacional dominical de la caldera	37

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Esquema termodinámico del calderín	8
Imagen 2. Foto real del calderín	9
Imagen 3. Caldera acuotubular [3].....	13
Imagen 4. Caldera pirotubular [3].....	13
Imagen 5. Caldera de dos pasos por los tubos [3]	14
Imagen 6. Caldera de tres pasos por los tubos [3]	14
Imagen 7. Esquema de los estados del agua en el interior de la caldera [1]	16
Imagen 8. Funcionamiento y partes del multiciclón [4]	17
Imagen 9. Ejemplo de una red de vapor [6]	19
Imagen 10. Separador de gotas [6].....	20
Imagen 11. Purgador [6]	20
Imagen 12. Eliminador de aire [6]	21
Imagen 13. Fenómeno del golpe de ariete [6].....	21
Imagen 14. Errores en el montaje de una red de vapor [6]	22
Imagen 15. Relación presión vs volumen específico de vapor saturado seco [6]	22
Imagen 16. Accesorios de la red de vapor [6]	23
Imagen 17. Derivación de una red de vapor [6].....	24
Imagen 18. Diagrama de drenaje de una derivación [6]	24
Imagen 19. Zona de caldera en Lavandería.....	33
Imagen 20. Caldera de Lavandería.....	33
Imagen 21. Multiciclón de la caldera de Lavandería	34
Imagen 22. Almacenamiento de los condensados	34
Imagen 23. Derivación de vapor a Termijean.....	39
Imagen 24. Sistema de planchas en Termijean.....	39

RESUMEN

En el presente proyecto se presenta el cálculo de la demanda de vapor usada para preformar unidades (en su mayoría pretinas) en la sección de Confección de la empresa C. I. JEANS S. A. S., para posteriormente analizar el consumo de energía de los calderines destinados para la generación de vapor y compararlo con el consumo energético de una red de vapor centralizada con generación desde una caldera ubicada en la sección de Lavandería.

Inicialmente se pensaba que se podía mejorar la eficiencia de los calderines, debido a que estos en el final de su proceso tienen un calor perdido en forma de vapor de agua, es aparentemente un calor significativo como para reintroducirlo en el proceso pero luego de hacer las respectivas mediciones, usando un baño maría de hielos para el vapor que entra y midiendo el flujo másico, se encuentra que no es un dato relevante para tal fin y por tanto, se opta por darle una redirección al proyecto.

Se analiza, entonces, que una posible solución a la mejora de la eficiencia de generación de vapor en la empresa puede darse por la instalación de una caldera que genere el total del vapor para reemplazar los 8 calderines dedicados para esa función. Sin embargo, en la empresa ya existe una caldera pirotubular de 2 hogares con una capacidad de 1000BHP la cual no usa la totalidad del vapor generado, motivo por el cual se decide hacer los cálculos para suplir la demanda de vapor a partir de la caldera ya mencionada.

Con lo anterior, se evidencia un ahorro energético significativo al pasar de generación de vapor por calderines a una generación centralizada desde una caldera ya instalada, por lo que se deja evidencias de los cálculos y la mejor ubicación de la red de vapor para la sección de Confección, para que sea analizada por la empresa para su posible implementación.

INTRODUCCIÓN

C. I. Jeans S. A. S. es una empresa dedicada a la confección de prendas de vestir, en su portafolio destacan los *jeans*, los overoles y las chaquetas; también cuenta con línea de camisas. En su mayoría, las prendas confeccionadas por la empresa son de exportación para marcas como Levi's, Calvin Klein, Guess, Carhartt, entre otras. También cuenta con su propia marca en el mercado, Moft. Entre todas las prendas de confección se manejan altos estándares de calidad.

El departamento de mantenimiento de C. I. Jeans S. A. S. es el encargado de garantizar el buen funcionamiento de todos los equipos empleados en el proceso de confección de las diferentes prendas mediante el uso de técnicas comunes, como mantenimiento preventivo y correctivo; diseñar los programas para las presillas, las cabezas y el cartón cuero de las diferentes marcas; manejar el orden de los activos fijos y, por último, velar por el buen estado de infraestructura de la compañía.

Entre las máquinas que se usan en la sección de Confección se encuentra un equipo de funcionamiento térmico llamado calderín. Su finalidad es preformar distintas partes del pantalón, en especial la pretina, por medio de una plancha de vapor de agua. El calderín está conformado por un tanque que contiene agua y esta es calentada por una resistencia que va presurizando el tanque a medida que se genera el vapor. El nivel del agua es controlado por electrodos de nivel y barómetro. A este tanque llega el fluido de trabajo desde un reservorio que es impulsado por una bomba; en su trayecto se encuentra una electroválvula y una válvula antirretorno para evitar la salida del agua desde el tanque hacia el reservorio.

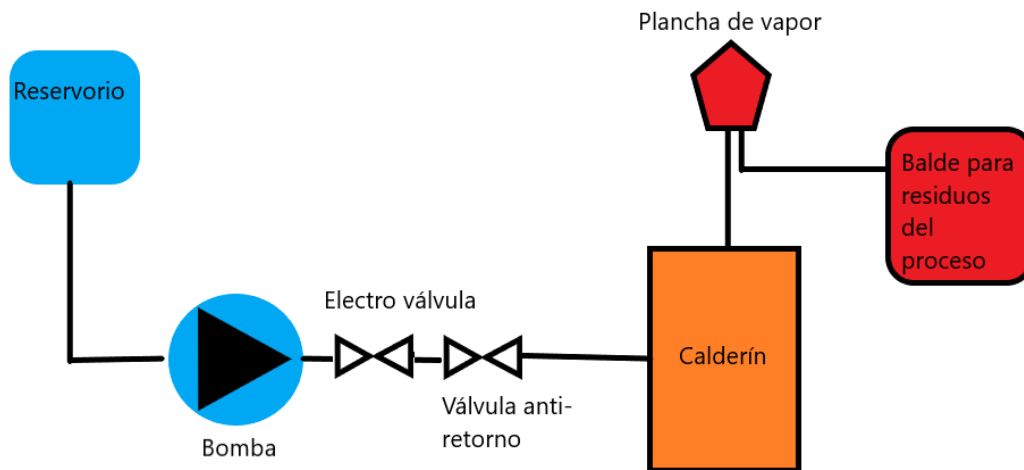


Imagen 1. Esquema termodinámico del calderín



Imagen 2. Foto real del calderín

El calderín (véase Imagen 2) es un equipo que presenta un problema de mantenimiento debido a su funcionamiento y la forma en que los operarios lo manejan. En el funcionamiento de equipos térmicos de este tipo es normal que se presenten incrustaciones debido a que el agua lleva consigo pequeñas partículas que son las causantes de este fenómeno, además al estar en constante calentamiento las partículas de H_2O se oxidan, aumentando considerablemente las incrustaciones. Al salir agua en forma de vapor, una parte se alcanza a condensar, el operario vuelve a insertar el agua condensada del balde en el reservorio (véase Imagen 1) con la intención de introducir en el funcionamiento un agua precalentada, sin embargo ese fluido precalentado va con partículas de óxido las cuales aumentan significativamente la incrustación en el interior de la tubería, además que al combinarse los fluidos caliente y templado (proveniente de la red de acueducto) en el reservorio no alcanza un precalentamiento significativo que contribuya a mejorar la eficiencia del calderín. Además, el calderín representa un riesgo de operación, debido a que debe estar constantemente presurizado, y en el caso de que se produzca alguna falla de control el tanque que contiene el vapor podría llegar a estallar afectando a los operarios que trabajen más cerca de este.

En la empresa, existe instalada una caldera pirotubular de 2 hogares con una capacidad de 1000BHP, además de una red de vapor la cual transporta el fluido de trabajo dentro de la empresa a los lugares donde se necesita. La totalidad del vapor generado por la caldera no es usada en los ciclos de trabajo que hace la sección de Lavandería donde inicialmente estaba destinada únicamente para esta parte de la empresa, al unificar las secciones de Lavandería y Confección, ya se puede hacer uso de ella en ambas.

Con lo anterior se compara el consumo energético de la producción de vapor entre los 8 calderines y la caldera, de los cuales los resultados muestran una diferencia de hasta 5 veces el consumo energético, y el de los 8 calderines es mayor.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Seleccionar las dimensiones adecuadas de tubo para una red de vapor proveniente de una caldera, en un circuito cerrado para la sección de Confección en la empresa C.I. JEANS S.A.S., a partir del cálculo de la demanda de vapor total en el interior de esta sección, para el reemplazo de 8 calderines generadores de vapor.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar completamente el funcionamiento de los calderines, por medio de mediciones que llevan a conocer desde la cantidad de horas que labora durante un día, hasta el calor perdido en el final de su proceso.
- Calcular la demanda total de vapor de la sección de Confección en la empresa C.I. JEANS S.A.S., a partir de la generación de vapor de los 8 calderines que se encuentran en funcionamiento.
- Analizar si la cantidad de vapor disponible en la caldera de la sección de Lavandería de la empresa es capaz de suplir la demanda de vapor en la sección de Confección.
- Seleccionar las dimensiones adecuadas para una tubería de red de vapor y su mejor recorrido para el transporte de este desde la red de vapor de la sección de Lavandería hasta Confección.

MARCO TEÓRICO

El desarrollo del presente trabajo se sustenta en el conocimiento del funcionamiento mecánico, térmico, la eficiencia energética y el mantenimiento de los equipos que se van a analizar.

GENERADOR DE VAPOR (CALDERÍN)

Un generador de vapor funciona según el principio de una caldera tubular. El agua suministrada a través de una bomba de presión se calienta y evapora en el recipiente de presión mediante elementos calefactores. Estos se controlan en función de la presión del vapor. Dependiendo del nivel de agua en el recipiente de presión, este se llena de agua de alimentación por medio de la bomba (véase Imagen 1).

CALDERA

«Las calderas son máquinas que sirven para generar energía térmica mediante la transferencia de la energía producida al quemarse un combustible» [1]. Estas son diseñadas para transmitir el calor obtenido por la combustión a un fluido (generalmente agua) con el fin de producir vapor o líquido caliente, el cual se usará como una sustancia de trabajo en otros dispositivos o sistemas. Tienen amplia clasificación según la posición, la instalación, la ubicación del hogar, la circulación de los gases, la forma de calefacción, la presión de vapor producido, el volumen de agua contenido con respecto a la superficie de calefacción, el estado del fluido, la circulación del fluido dentro de la caldera y según el combustible. Sin embargo, la clasificación más aceptada se basa en la circulación de fluidos por dentro de los tubos: piro-tubular y acuotubular, las cuales se explicarán con más detalle a continuación.

CALDERA ACUOTUBULAR

Esta caldera funciona haciendo pasar el fluido de trabajo por el interior de los tubos y los gases calientes, producto de la combustión, por el exterior de ellos (véase Imagen 3). «Estas calderas normalmente son usadas en presiones de trabajo elevadas» [2]. La calidad del vapor generado está alrededor del 0.85 por lo que requiere múltiples dispositivos al final del proceso para el secado, el recalentado y el sobrecalentado del fluido de trabajo.

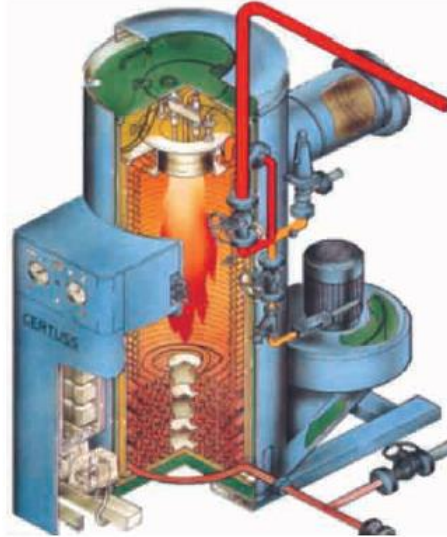


Imagen 3. Caldera acuotubular [3]

CALDERA PIROTUBULAR

En este tipo de calderas, los gases calientes generados de la combustión circulan por dentro de los tubos y por el exterior circula el fluido de trabajo que recibirá el calor transferido por los humos (véase Imagen 4).

«El vapor producido en este tipo de calderas suele tener calidades muy altas, es decir, el contenido de agua por unidad de masa es muy bajo, cercano al 3 %, pudiendo prescindir de equipos auxiliares complementarios» [2].

Este tipo de calderas se clasifican según su posición:

Horizontal: el haz tubular está dispuesto desde la parte delantera hacia la parte trasera de la caldera.



Imagen 4. Caldera pirotubular [3]

Vertical: entre las que se encuentran con tubos semisumergidos o totalmente sumergidos. Además, se diferencian por tener su haz tubular desde la parte inferior hacia la superior. Son clasificadas según su haz tubular:

- De dos pasos por los tubos (véase Imagen 5): en este tipo de calderas los humos, producto de la combustión, realizan un paso, al salir de la combustión los gases fluyen en sentido inverso a la llama y, el segundo paso, al circular por los tubos.

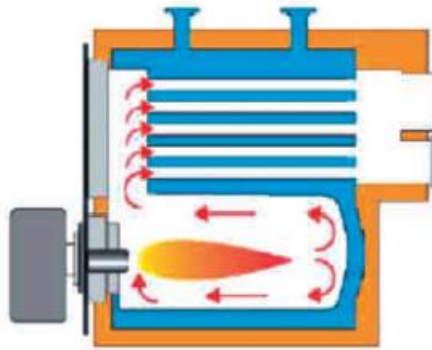


Imagen 5. Caldera de dos pasos por los tubos [3]

- De tres pasos por los tubos: en esta disposición de calderas, los humos productos de la combustión tienen un recorrido de 3 pasos por los tubos, en el primer paso los gases salen del hogar dirigidos hacia los tubos, luego en el segundo paso, los humos se dirigen a través de los tubos hacia la parte posterior de la caldera y, finalmente, en el tercer paso, los humos pasan por los tubos hacia la parte frontal de la caldera, terminando así su circulación para la transferencia de calor hacia el fluido de trabajo.

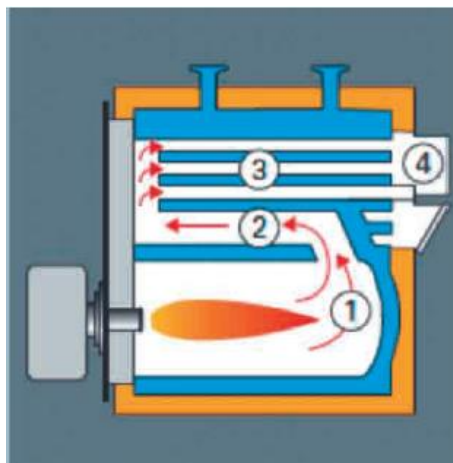


Imagen 6. Caldera de tres pasos por los tubos [3]

Tabla 1. Comparativa entre las calderas pirotubular y acuotubular [2]

Crterios	Calderas Pirotubulares	Calderas Acuotubulares
Calidad del agua	Menores exigencias, posible funcionamiento con salinidad del agua	Mayores exigencias, es necesario un bajo nivel de salinidad para su funcionamiento
Mantenimiento	fácil de limpiar	Más costoso
Revisiones periódicas	Inspección ordinaria, seguida de una prueba hidrostática, raramente son necesarias otras pruebas de carácter no destructivo, como por ej. as mediciones con ultrasonidos, en caso contrario se efectúan en zonas muy reducidas	Son necesarias mediciones con ultrasonidos además de prueba hidrostática; es decir, pruebas costosas en tiempo y dinero
Costes para niveles comparables de gasto de fabricación y calidad	Menores	Mayores
Rendimiento	Mayor, de fácil mantenimiento	Menor; es más difícil realizar su mantenimiento en funcionamiento
Características de la carga parcial	Puede aprovecharse el control del quemador; cuando caiga por debajo de la carga mínima, el quemador puede apagarse sin problemas	En el caso de determinados diseños, debe limitarse la carga parcial; el quemador no puede apagarse manualmente
Contenido de agua	Mayor, debido a su diseño	Menor
Capacidad de acumulación	Debido al alto volumen de agua, no es susceptible a las fluctuaciones de presión y carga	Susceptible a las fluctuaciones de presión y carga resultantes del proceso
Plazo de entrega	Más corto	Más largo
Necesidades de espacio	Reducidas	Elevadas
Tiempo necesario para el montaje y puesta en marcha inicial	Reducido	Más prolongado

PARTES DE LA CALDERA

En esta sección se describirán las partes más comunes y relevantes de las calderas, ya que las características de cada caldera pueden variar según el diseñador; sin embargo, las partes propias para el diseño de una caldera siempre deben estar presentes:

1. Hogar: es el espacio donde se ejecuta la combustión, también conocido como cámara de combustión.
2. Puerta de hogar: esta parte de la caldera solo está presente en calderas de combustibles sólidos, ya que en calderas de combustible líquido esta parte es llamada el quemador.
3. Emparrillado: esta es el soporte del combustible sólido, es una pieza metálica en forma de reja para facilitar el paso del aire primario usado en la combustión.
4. Cenicero: espacio ubicado debajo de la parrilla destinado para recibir los residuos producto de la combustión. En algunas calderas el cenicero es un depósito de agua.
5. Puerta del cenicero: el principal uso de este accesorio es facilitar el mantenimiento del cenicero, aunque también puede servir como control de entrada del aire primario ya que es una puerta regulable.
6. Altar: es un muro de refractario ubicado en el hogar, con 3 objetivos: 1) impedir que caiga de la parrilla el combustible, 2) obligar a los gases de combustión que se distribuyan uniformemente por toda la parrilla para garantizar la combustión completa y, por último, 3) obligar a los gases calientes, producto de la combustión, a transferir la mayor cantidad de calor posible antes de llegar a la chimenea.

7. Mampostería: se refiere al aislamiento térmico que tiene la caldera con el objetivo que el calor generado en el proceso no se pierda por los alrededores.
8. Conductos de humos: son los espacios destinados a la circulación de gases calientes producto de la combustión.
9. Caja de humo: es el espacio destinado a que se junten todos los gases de la combustión luego de pasar por el circuito y haber transferido su calor, para luego pasar a la chimenea.
10. Chimenea: tiene 2 funciones: lugar por el que salen los gases de la combustión y donde se produce el tiro para ayudar a la circulación de los gases durante el proceso.
11. Regulador de tiro: es el dispositivo encargado de ayudar en la circulación de los gases de combustión durante el paso por la caldera.
12. Puertas de inspección: como su nombre lo indica, son las tapas por donde se puede hacer la inspección interior de la caldera.
13. Puertas de explosión: es un sistema de seguridad instalado en calderas de combustibles líquidos o gaseosos para aliviar la presión excesiva que se pueda producir por la combustión.
14. Cámara de agua: es el volumen de la caldera que está ocupado por el fluido de trabajo para recibir el calor transferido por los gases calientes (véase Imagen 7).
15. Cámara de vapor: es el volumen de la caldera, ubicado en la parte superior, destinado para resguardar el vapor producido en la transferencia de calor (véase Imagen 7).
16. Cámara de alimentación de agua: es el espacio de la caldera que está con la disposición de agua que será introducido por los tubos (véase Imagen 7).

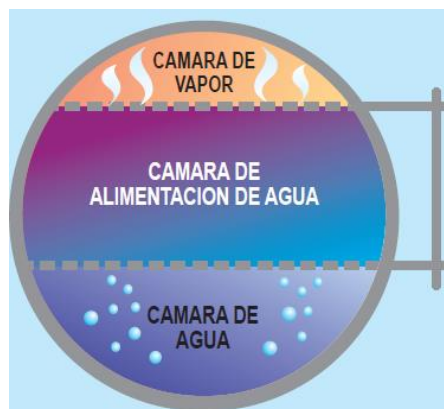


Imagen 7. Esquema de los estados del agua en el interior de la caldera [1]

MULTICICLÓN

«Su principio de funcionamiento se basa en la aplicación de fuerzas centrífugas sobre un gas con contenido de material particulado» [4]. Es muy común el uso de estos dispositivos articulados a la salida de la caldera para la disminución de gases contaminantes a la atmósfera, además que sirve para la recirculación de aire caliente en el interior de la caldera ayudando a mejorar la eficiencia de la máquina (véase Imagen 8).

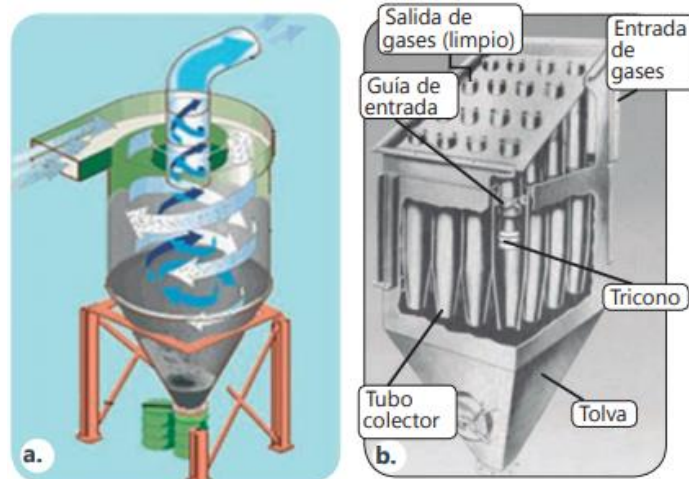


Imagen 8. Funcionamiento y partes del multiciclón [4]

Tabla 2. Clases de multiciclón [4]

Multiciclón		
Tipo	Eficiencia	Caída de presión/costo de operación
Convencional	70-90 %	BAJO/MEDIO
De alta eficiencia	80-99 %	ALTO
De alta capacidad	80-99 %	ALTO

Tabla 3. Factores que inciden en la eficiencia del multiciclón [4]

Aspecto	Factores que incrementan la eficiencia	Factores que disminuyen la eficiencia
Tamaño de partícula del material particulado	<ul style="list-style-type: none"> Mayor tamaño de partícula (material particulado grueso) Mayor densidad de partículas 	<ul style="list-style-type: none"> Menor tamaño de partículas (material particulado fino – PM_{10} y $PM_{2,5}$)
Diseño geométrico	<ul style="list-style-type: none"> Mayor longitud del cuerpo del ciclón (ciclones) Mayor número de revoluciones del gas en el ciclón (ciclones) Mayor proporción entre el diámetro del cuerpo del ciclón (ciclones) y el diámetro del conducto de salida del gas Mejor pulimento de la superficie de la pared interior del ciclón (ciclones) 	<ul style="list-style-type: none"> Mayor diámetro del cuerpo del ciclón (ciclones) Mayor diámetro del ducto de la salida del gas Mayor área del conducto de entrada del gas
Características del gas entrante	<ul style="list-style-type: none"> Mayor velocidad del aire en el conducto de entrada 	<ul style="list-style-type: none"> Mayor densidad del gas Mayor viscosidad del gas

Tabla 4. Ventajas y desventajas del multiciclón [4]

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bajos costos de capital ▪ Falta de partes móviles – menores requerimientos de mantenimiento y bajos costos de operación ▪ Caída de presión relativamente baja (2 a 6 pulgadas de columna de agua), comparada con la cantidad de MP removido ▪ Limitaciones de temperatura y presión dependientes únicamente de los materiales de construcción ▪ Colección y disposición de MP en seco ▪ Requisitos espaciales relativamente pequeños ▪ No se requiere pre-tratamiento para los gases antes de ingresar al ciclón 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eficiencias de colección relativamente bajas para material particulado fino (PM₁₀ y PM_{2,5}) ▪ No pueden manejar materiales pegajosos o aglomerantes ▪ Mayor consumo de energía en ciclones o multiciclones de alta eficiencia, por sus altas caídas de presión

RED DE VAPOR

El empleo de vapor como fluido térmico tiene asociado un sistema básico de trabajo: generación, transporte y utilización (véase Imagen 9).

«La obtención del vapor se da en un generador, por lo general este generador de vapor suele ser una caldera que emplea un combustible para elevar la temperatura del fluido de trabajo hasta llevarlo al valor deseado por la operación» [5].

Después de que el fluido de trabajo sale como vapor desde la caldera, debe ser transportado hacia los puntos de uso mediante una red de tubería correctamente calculada. Inicialmente hay una o más tuberías principales para el transporte del vapor desde la generación hasta su punto de uso. Luego de ser llevado hasta la planta donde se va a hacer uso del vapor, se deriva una tubería secundaria que será la encargada de transportar el vapor hasta el equipo. Además, debe haber una red de tuberías especiales para el condensado que se genera luego del uso del vapor, si este es una cantidad considerable, puede usarse como parte del agua de alimentación de la caldera y de esta manera tener un líquido precalentado a la entrada de la generación de vapor disminuyendo el trabajo necesario para aumentar la temperatura del fluido de trabajo en el interior del proceso.

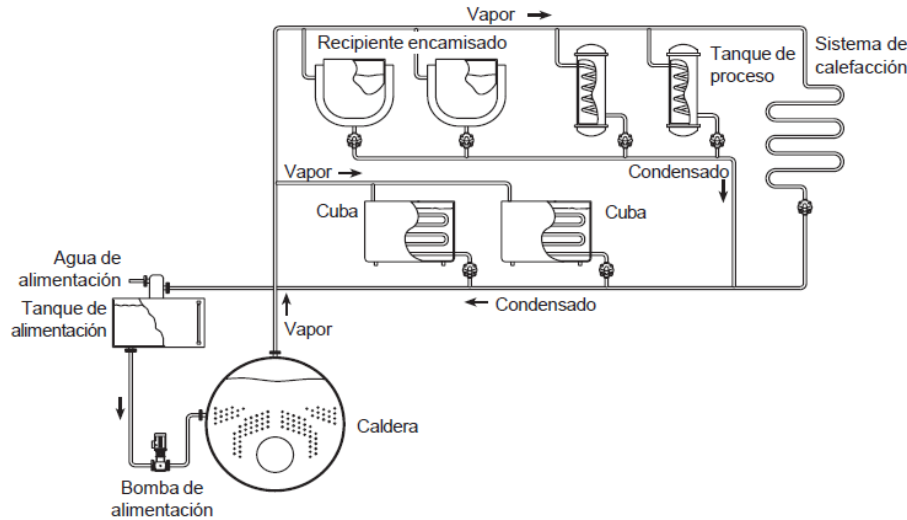


Imagen 9. Ejemplo de una red de vapor [6]

Cuando el vapor comienza a salir de la caldera hacia la tubería, tiene una pérdida de calor, debido a que en la tubería queda aire que está más frío que el vapor y por lo tanto la tubería en sí se enfría, en este punto el vapor cede parte de su calor para calentar la tubería y debido a este fenómeno se produce una parte de condensado el cual debe ser previsto en el montaje de las tuberías para evitar problemas como el golpe de ariete, ruido, abrasión, etc. [6].

ELEMENTOS PRESENTES EN UNA RED DE VAPOR

En principio, la red de vapor está compuesta de forma similar a cualquier red de distribución de fluidos, por tuberías y accesorios de tuberías. Sin embargo, por la naturaleza y el comportamiento que tiene el vapor, obliga a que los elementos presentes en la red tengan unas características especiales para soportar las temperaturas y las presiones que van ligadas al fluido de trabajo.

En la red de vapor, se debe tener especial cuidado con la presencia de condensados y aire, en vista de que estos dos obligan a tener accesorios con características especiales.

El aire por sus propiedades de bajo calor específico y mala transmisión térmica, reduce notablemente la eficiencia del vapor como fluido de trabajo caliente. Con la finalidad de evitar la mezcla de aire con vapor, se emplean separadores o purgadores de aire. El aire aparece en las redes de vapor luego que al enfriarse el fluido de trabajo se contrae y absorbe aire, es decir, ocurre principalmente en redes de vapor donde hay intermitencia de fluido de trabajo. Para evitar esta situación se usan accesorios como eliminadores de aire.

La presencia de condensados en la red de vapor es inevitable, debido a que es una propiedad intrínseca del vapor de volver al estado líquido al hacer intercambio de calor en los lugares fríos de la tubería. Este fenómeno ocurre principalmente en los momentos de encendido y apagado del sistema; sin embargo, cuando está en funcionamiento siguen

produciéndose condensados de las partes que no están aisladas o zonas donde el aislamiento está defectuoso, incluso de las zonas aisladas también se generan condensados debido a las pérdidas de calor ya que los aislamientos no son perfectos. Los condensados deben tener su propia red, por lo que se usan en la red de vapor diversos accesorios para dirigir estos condensados por el lugar correspondiente a ellos, como lo son separadores de gotas y purgadores.

Accesorios especiales de una red de vapor:

- Separadores de gotas (véase Imagen 10): son accesorios con una geometría que obstaculiza el paso de las gotas de agua, forzando a que el vapor salga con una menor cantidad de líquido, el cual se queda en la parte inferior.

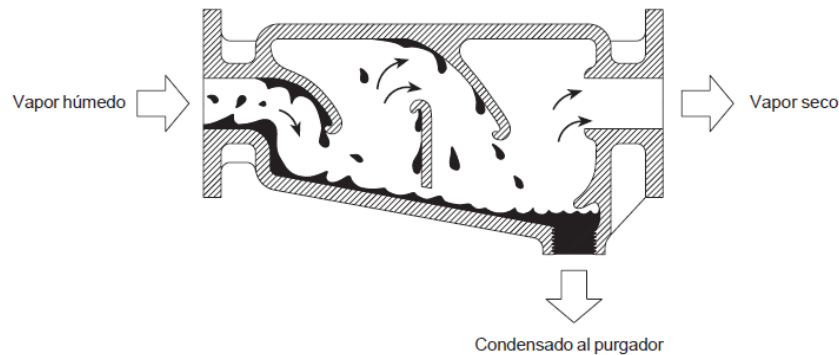


Imagen 10. Separador de gotas [6]

- Purgadores (véase Imagen 11): es el accesorio encargado de sacar fuera de la red de vapor los condensados. Por densidad, los condensados siempre estarán en los puntos más bajos de la red, por lo cual en estos lugares es donde debe ir instalado el purgador. La distancia óptima entre purgador y purgador debe ser de 30 a 50m. Obsérvese en la Imagen 11 que la forma correcta de ubicar la boca del purgador es por encima del fondo del pozo de goteo (entre 25 y 30mm) para evitar que las suciedades del condensado entren en el purgador.

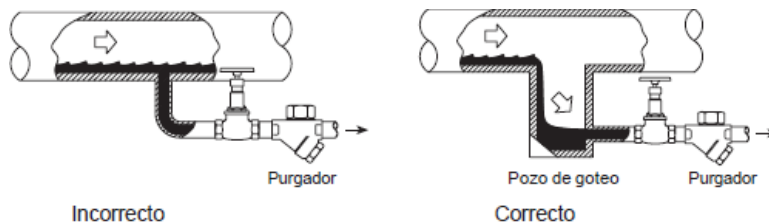


Imagen 11. Purgador [6]

- Eliminadores de aire (véase Imagen 12): este accesorio es un purgador termostático ubicado a una altura de tal forma que el condensado no entre. Estos

purgadores trabajan con el cambio de la temperatura, según esta, el purgador ubica la válvula en su interior para descargar el condensado, en este caso, el aire. El punto óptimo de utilización de estos eliminadores es en los extremos de líneas principales de vapor o en derivaciones de gran diámetro.

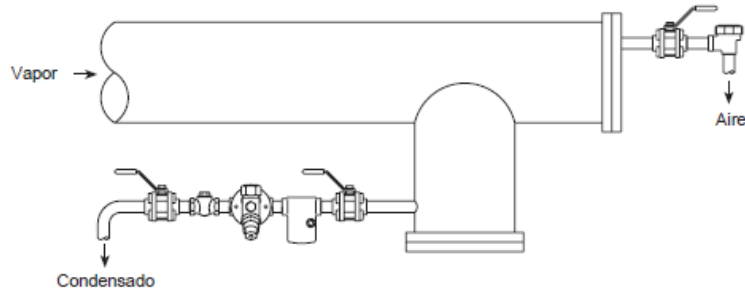


Imagen 12. Eliminador de aire [6]

DISEÑO DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR

Debido a la naturaleza del vapor y los cambios que puede tener durante su recorrido, la red de vapor debe contar con cuidados especiales para las situaciones que pueden ocurrir.

GOLPE DE ARIETE

Este fenómeno ocurre cuando el condensado que se forma en el interior de las tuberías, no es correctamente purgado y sigue el recorrido con el vapor (véase Imagen 13). Las gotas del sistema terminan por juntarse y forman una bolsa de agua que es arrastrada por la velocidad a la que vaya el vapor, la cual puede alcanzar magnitudes de hasta 30 km/h, chocando con los obstáculos de la tubería.

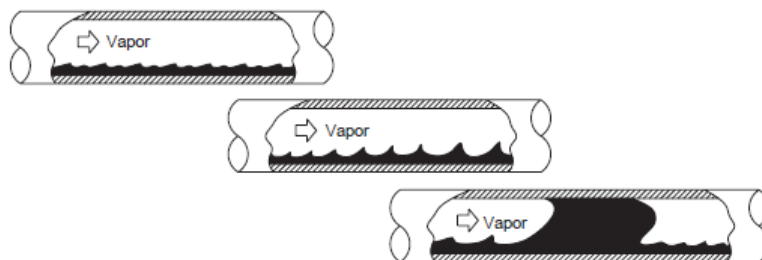


Imagen 13. Fenómeno del golpe de ariete [6]

Los típicos errores al montar una red de vapor (véase Imagen 14), que ocasionan golpe de ariete son:

- Pandeos en la tubería.

- Acoplamiento de filtros o reductores concéntricos.
- Purgas inadecuadas de la red.

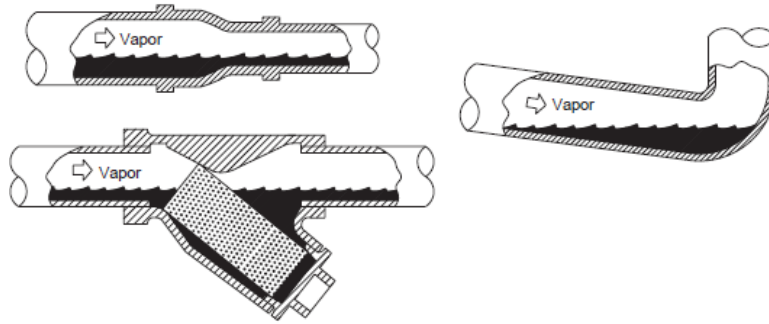


Imagen 14. Errores en el montaje de una red de vapor [6]

PRESIÓN

La presión dentro de la red de vapor está limitada por el equipo que mayor presión necesita en el sistema, es decir, la presión mínima en el circuito será la presión del dispositivo que mayor demanda de presión tiene. Sin embargo, la presión en el interior de la tubería deberá ser más elevada que la presión usada por el equipo de mayor demanda, ya que, al ser un sistema real y no ideal, en el interior de la red se tienen pérdidas por la longitud de las tuberías, los accesorios y las pérdidas de calor en el recorrido de la red.

El volumen específico del vapor a presiones elevadas es menor que el de baja presión (véase Imagen 15), es decir, con presiones elevadas desde el punto de generación de vapor, el diámetro de la tubería podría ser menor.

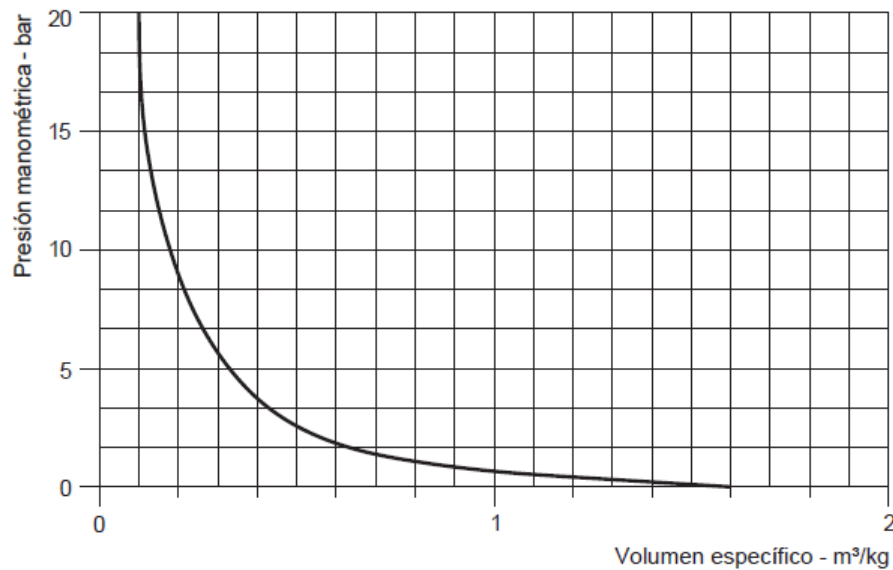


Imagen 15. Relación presión vs volumen específico de vapor saturado seco [6]

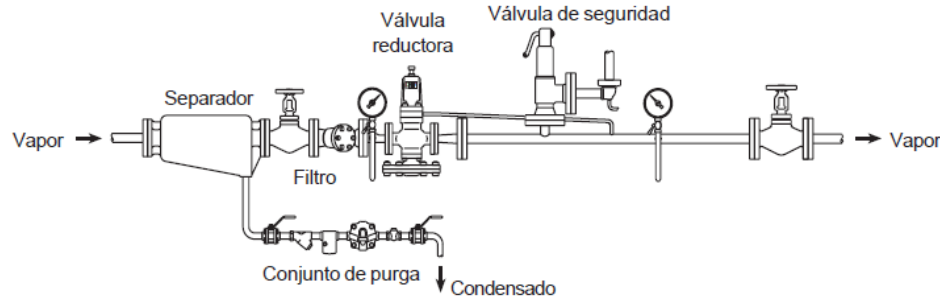


Imagen 16. Accesorios de la red de vapor [6]

TUBERÍAS

El estándar de tuberías más común es el derivado de American Petroleum Institute (API), donde el llamado Schedule, es el espesor de la pared de la tubería. El Schedule está directamente relacionado con la presión nominal de la tubería y abarca un total de once (5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160; véase tabla 5). Entre los once Schedule, solo el 40 y el 80 cubren la gama completa de medidas nominales desde 15 hasta 600mm, además, son los más comúnmente utilizados en este tipo de instalaciones de vapor.

En Europa las normas de tuberías se fabrican según la norma DIN, a continuación, se incluirá una tabla como ejemplo de diámetros de distintas tuberías, incluyendo uno con la norma DIN.

Tabla 5. Tamaños de tubería con su respectivo Schedule [6]

Tamaño de tubería (mm)	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	
Diámetro (mm)	Schedule 40	15,8	21,0	26,6	35,1	40,9	52,5	62,7	77,9	102,3	128,2	154,1
	Schedule 80	13,8	18,9	24,3	32,5	38,1	49,2	59,0	73,7	97,2	122,3	146,4
	Schedule 160	11,7	15,6	20,7	29,5	34,0	42,8	53,9	66,6	87,3	109,5	131,8
	DIN 2448	17,3	22,3	28,5	37,2	43,1	60,3	70,3	82,5	107,1	131,7	159,3

DERIVACIONES

La derivación de la red de vapor es el punto de partida del fluido de trabajo desde la red principal hasta el equipo, por lo tanto, es la parte secundaria de la red de vapor (véase imágenes 17 y 18). Es importante anotar que la derivación de toda red de vapor debe iniciar desde la parte superior de la red principal para luego bajar a transportar el vapor hasta el equipo, en vista de que esta es la manera de evitar que los condensados producidos en la red principal entren a la secundaria causando daños significativos para el circuito en cuestión o, peor aún, en el equipo.

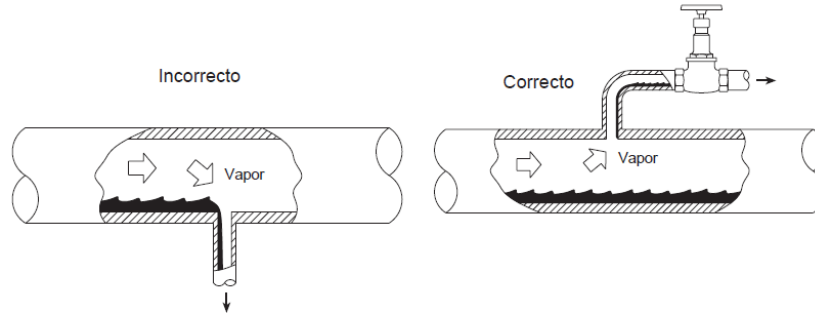


Imagen 17. Derivación de una red de vapor [6]

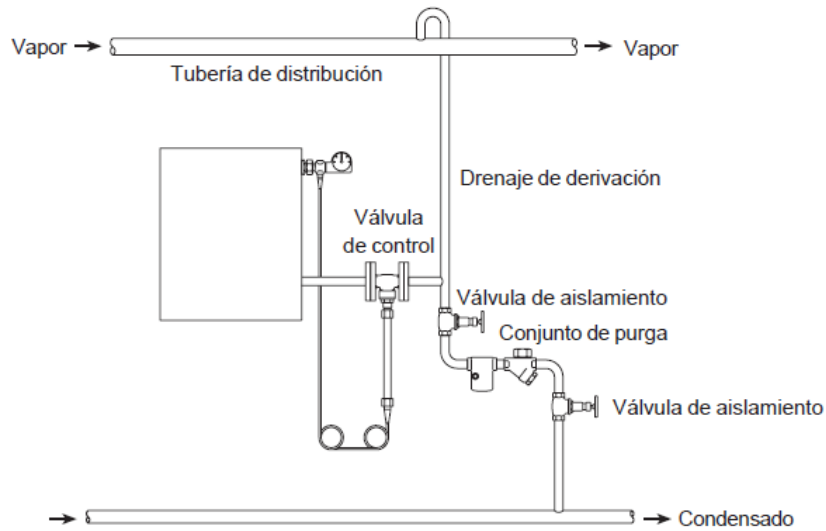


Imagen 18. Diagrama de drenaje de una derivación [6]

VELOCIDAD EN LAS TUBERÍAS

Es posible calcular las dimensiones de la tubería a partir de la velocidad del vapor dentro de la tubería. Entre las velocidades máximas para una red de vapor seco se encuentran las magnitudes de 25 m/s y 40 m/s, sin embargo, en redes de vapor con longitudes considerables, es mejor optar por un rango máximo de 15 m/s, teniendo en cuenta que, a velocidades altas, la caída de presión del vapor será mucho mayor, esto sin tener en cuenta el ruido y erosión que es provocado por altas velocidades cuando el vapor es húmedo [6]

EFICIENCIA ENERGÉTICA

Es el conjunto de acciones enfocadas a obtener el mayor rendimiento posible de las energías que se necesitan en cualquier proceso productivo sin disminuir el volumen y calidad de producción ni afectar al medio ambiente. Con esto se logra disminuir los costos de producción, incrementar ventas y ofrecer productos de alta calidad y a mejor precio, contribuir a disminuir los niveles de contaminación atmosférica, aportar a la conservación y uso eficiente de los recursos naturales, implementar nuevas tecnologías y hacer usos de fuentes alternas de energía en sus procesos productivos. La energía es uno de los insumos más importantes del desarrollo industrial colombiano si se desea incrementar la productividad y contribuir con el desarrollo del país. Es el aprovechamiento óptimo de la energía en

cada una de las etapas de los procesos productivos incluyendo la selección de las fuentes energéticas, las tecnologías empleadas, las buenas prácticas operacionales y la reutilización de esas energías cuando sea posible. Aparte de los costos operativos que el exceso en el consumo de energía implica, el cambio climático es un hecho que nos afecta a todos, la temperatura media en el planeta ha aumentado 0.7°C en el último siglo. El calentamiento global está afectando los ecosistemas marinos y terrestres, causa huracanes, tsunamis, inundaciones y muchos males más para el medio ambiente, por eso es importante que todas las industrias comiencen a implementar diferentes alternativas energéticas buscando un desarrollo sostenible de su actividad [7]

METODOLOGÍA

La metodología diseñada para el estudio de un sistema centralizado de vapor para planchar las partes de un *jean* en la sección de Confección de la empresa C.I. JEANS S.A.S tiene las siguientes etapas:

1. Definición del contexto operacional actual del vapor en la sección de Confección de la empresa C.I. JEANS S.A.S.
2. Análisis de funcionamiento de los calderines en la sección de Confección de C.I. JEANS S.A.S.
3. Análisis de la demanda de vapor en la sección de confección de C.I. JEANS S.A.S.
4. Costo actual del proceso hecho por el calderín.
5. Especificaciones de la caldera instalada en Lavandería.
6. Cantidad de vapor usado por la caldera de la sección de lavandería en la empresa C.I. JEANS S. A. S.
7. Cálculo del costo operacional de la caldera instalada en la sección de lavandería para suplir la demanda de vapor en la sección de Confección.
8. Costo operacional de la caldera para turnos dominicales.
9. Operación de planchado con vapor.
10. Análisis financiero.

CONTEXTO OPERACIONAL

C.I. JEANS S.A.S. es una empresa colombiana que se ha caracterizado por sus productos de alta calidad en el contexto internacional. Inicialmente tenía un cliente principal, pero con la alta competitividad del mercado debieron hacer reestructuración y ampliar los horizontes. En la actualidad, la empresa también cuenta con clientes a nivel nacional, además de su propia línea de *jeans*.

La empresa comparte el área de producción con otras dos secciones llamadas Lavandería y Termijeans, las cuales trabajaban como empresas independientes para entregar el producto terminado. En el año 2019, las secciones de Confección y Lavandería se unificaron para formar una sola empresa; sin embargo, Termijeans no se acogió a esta unión y en la actualidad sigue trabajando de manera independiente.

Anteriormente, los productos solicitados por los clientes eran clásicos y de acabados abiertos, pero con la evolución de las tendencias de vestimenta, los productos comienzan a cambiar en su diseño. Es de esta manera que se comienzan a exigir prendas con acabados de mejor calidad, ajustados a la forma del cuerpo humano, entre otros. De esta manera se crea la necesidad de preformar ciertas partes de la prenda antes de confeccionarla y con esto la necesidad del uso de vapor de agua en el proceso de planchado para cumplir las exigencias. Se compran calderines (generadores de vapor eléctrico) para suplir la demanda de vapor en el interior de la sección de Confección de la empresa.

La sección de Lavandería cuenta con una caldera desde el año 2003, para cumplir con sus demandas de vapor, además es usada en procesos de finalización en Termijans. La red de vapor usada en ambas secciones fue instalada junto con la caldera, esto en vista de que ambas tenían la necesidad. Sin embargo, la creación de la nueva demanda en la sección de Confección podría traer para la empresa una ampliación en la red de vapor para cubrir la demanda total de las 3 secciones.

ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS CALDERINES EN LA SECCIÓN DE CONFECCIÓN DE C.I. JEANS S.A.S.

Con la llegada de nuevos productos a la empresa, se genera una nueva exigencia para la calidad. Las prendas con preformas para facilitar y mejorar los acabados de diferentes partes en el *jean* se realizan con vapor de agua proveniente de un generador de vapor eléctrico también llamado calderín.

Con el fin de tener conocimiento del funcionamiento en horas del calderín, se toman medidas del tiempo de encendido y apagado de la resistencia y la bomba del proceso, ya que estos no permanecen encendidos todo el tiempo, sino que, por el contrario, son intermitentes. Se establece un tiempo de 6 minutos dentro de los cuales la bomba y la resistencia apagan y prenden, ambos no lo hacen al mismo tiempo ni durante la misma prolongación.

El calderín demora un total de 15 minutos aproximadamente en calentar el fluido de trabajo. Durante ese tiempo la resistencia permanece prendida sin interrupción, contrario de la bomba que trabaja solo durante 2 minutos 50 segundos estable, que luego tiene intervalos de trabajo.

A continuación, se muestran los intervalos de trabajo para ambos elementos en el proceso, además el consumo de agua en el día.

TIEMPO DE TRABAJO DE LA BOMBA

Se toman 3 medidas para calcular el promedio del tiempo durante el cual está prendida la bomba. Por intervalos de 6 minutos la bomba está prendida un total de 14.7 segundos. Como los intervalos de tiempo de 6 minutos en una hora se dan 10 veces, entonces:

$$T_{trabajo\ de\ la\ bomba} = 14.7s * 10 = 147s * \frac{1\ min}{60\ s} = 2.45\ min$$

Ahora bien, para calcular el tiempo total de funcionamiento de la bomba en las 16 horas (2 turnos de trabajo), se multiplica por el número de horas que trabaja, excepto la primera que tiene el tiempo adicional de encendido, así:

$$T_{trabajo\ de\ la\ bomba} = 2.45\ min * 15 = 36.75\ min$$

$$T_{trabajo\ de\ la\ bomba\ en\ el\ encendido} = 2.45\ min + 2.8\ min = 5.25\ min$$

$$T_{\text{trabajo de la bomba en 2 turnos}} = T_{\text{trabajo de la bomba}} + T_{\text{trabajo de la bomba en el encendido}}$$

$$T_{\text{trabajo de la bomba en 2 turnos}} = 36.75 \text{ min} + 5.25 \text{ min} = 42 \text{ min} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 0.7 \text{ h}$$

En total, la bomba para un calderín durante los 2 turnos de operación trabaja 0.7 horas.

CONSUMO DE AGUA

En promedio, el reservorio del calderín debe llenarse 1 vez cada turno. El reservorio tiene un diámetro de 31.2 cm y la altura de llenado es de 35 cm, para una capacidad de volumen de agua en lleno de 26,758.8 cm³.

$$\text{consumo total de agua} = 8 \text{ calderines} * 2 \text{ turnos} * 26758.83 \text{ cm}^3$$

$$\text{consumo total de agua} = 428141.27 \text{ cm}^3 * \frac{1 \text{ m}^3}{(100 \text{ cm})^3} = 0.43 \text{ m}^3$$

Siendo así, 0.43 m³ (430 L) es el consumo total de agua durante los dos turnos de uso del calderín.

TIEMPO DE TRABAJO PARA LA RESISTENCIA

Se toman los mismos parámetros de medida que en las bombas. En este caso, la resistencia trabaja durante 2.55 minutos en promedio dentro del intervalo de tiempo medido:

$$T_{\text{trabajo de la resistencia}} = 2.55 \text{ min} * 10 = 25.5 \text{ min}$$

$$T_{\text{trabajo de la resistencia}} = 25.5 \text{ min} * 15 = 382.5 \text{ min}$$

$$T_{\text{trabajo de la resistencia en el encendido}} = 25.5 \text{ min} + 15 \text{ min} = 40.5 \text{ min}$$

$$T_{\text{trabajo de la resistencia en 2 turnos}}$$

$$= T_{\text{trabajo de la resistencia}} + T_{\text{trabajo de la resistencia en el encendido}}$$

$$T_{\text{trabajo de la resistencia en 2 turnos}} = 382.5 \text{ min} + 40.5 \text{ min} = 423 \text{ min} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 7.05 \text{ h}$$

En total, la resistencia para un calderín durante los 2 turnos de operación trabaja 0.7 horas.

CALOR PERDIDO DEL CALDERÍN

Como ya ha sido mencionado anteriormente, el calderín al final del proceso tiene un calor perdido en forma de vapor de agua, el cual es depositado en un bidón que alcanza a condensar una parte para ser reutilizada en el proceso.

Para tener el dato exacto de este calor perdido con la finalidad de analizar la viabilidad de su reutilización en otro proceso de calentamiento o precalentamiento, se hacen 3 mediciones del condensado resultante. Las mediciones se hacen poniendo el bidón de condensado vacío en un baño maría de hielos para recolectar una cantidad de masa de agua en determinado tiempo, el cual se establece que será un intervalo de 13 minutos, dando como resultado en promedio un volumen de 0.000001155 m³/s. A partir de los datos encontrados se calcula el total del calor perdido en el proceso:

$$\dot{Q}_{perdido} = \dot{m}_{perdido} * (h_{del\ agua\ en\ el\ bidon} - h_{del\ agua\ a\ los\ alrededores})$$

Para la presión atmosférica en el municipio de La Estrella, la cual es de 81.75 kPa y temperatura promedio de 24°C:

$$h_{del\ agua\ a\ los\ alrededores} = 100.6 \frac{kJ}{kg}$$

Para conocer el estado del fluido de trabajo antes de llegar al bidón, se debe asumir que las condiciones en el bidón son las mismas que en el momento antes de llegar a él. La presión de salida del vapor al bidón será igual a la presión atmosférica y, según mediciones, la temperatura es de 100°C:

$$h_{del\ agua\ en\ el\ bidon} = 2678 \frac{kJ}{kg}$$

El flujo másico, será calculado a partir del flujo volumétrico y la densidad del agua en el momento de llegada al bidón:

$$\dot{m}_{perdido} = 0.000001155 \frac{m^3}{s} * 0.4806 \frac{kg}{m^3} = 5.55 * 10^{-7} \frac{kg}{s}$$

De esta manera:

$$\dot{Q}_{perdido} = 0.001431 \frac{kJ}{s}$$

En vista de que la magnitud del calor perdido no es significativa con respecto a la potencia de entrada de la resistencia (10 kW), no es rentable usarla como fluido para precalentamiento del calderín.

En este punto entonces se calcula el calor perdido por los 8 calderines durante un año de uso:

$$\dot{Q}_{perdido\ anual} = 0.001431 \frac{kJ}{s} * 8\ calderines * 7.05\ horas * 300\ días$$

$$\dot{Q}_{perdido\ anual} = 24.21\ kWh/anuales$$

La factura de EPM muestra un costo de 330\$/kWh (véase anexo 1), en promedio ya que este varía según la subasta de precios de la energía eléctrica. Entonces debido al calor perdido anual, se están perdiendo 7,990\$/año.

ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE VAPOR EN LA SECCIÓN DE CONFECCIÓN DE C. I. JEANS S. A. S.

A continuación, se hará el cálculo de la demanda de vapor en la sección de Confección en la empresa. Este cálculo se realiza a partir de la producción actual de vapor por los calderines; sin embargo, se debe tener presente que además de los generadores de vapor, en ocasiones las plantas que no tienen calderines solicitan vapor para planchar sus respectivas prendas, además de planchas eléctricas, con una potencia de 1kW, que operan y en ocasiones se podrían reemplazar por planchas conectadas a calderines.

$$Demanda\ de\ vapor = 10\ kW * 8\ calderines = 80\ kW$$

$$Demanda\ de\ vapor = 80\ kW * \frac{1\ BHP}{9.8\ kW} = 8.16\ BHP * \frac{34.5\ lb/h}{1\ BHP}$$

$$Demanda\ de\ vapor = 281 \frac{lb}{h}$$

COSTO ACTUAL DEL PROCESO HECHO POR EL CALDERÍN

En promedio el costo de la energía eléctrica proporcionada por EPM es de 330\$/kWh. A partir del precio facturado por EPM y teniendo en cuenta la cantidad de vapor suministrado, sumando la potencia de la bomba con sus respectivas horas de trabajo en 2 turnos, se obtiene:

Costo de generacion de vapor en calderín

$$= 10\ kW * 8\ calderines * 7.05\ horas * 300\ días/año * 330 \frac{\$}{kWh}$$

$$Costo\ de\ generacion\ de\ vapor\ en\ calderín = 55,836,000\ \$/año$$

Costo de bombeo de agua en el calderin

$$= 1.1\ kW * 8\ calderines * 0.7\ horas * 300\ días/año * 330 \frac{\$}{kWh}$$

$$Costo\ de\ bombeo\ de\ agua\ en\ el\ calderin = 609,840\ \$/año$$

El costo por metro cúbico de agua proporcionado por EPM es de 7230\$ (véase anexo 2), por lo tanto, para el consumo de agua de los 8 calderines es:

$$\text{Costo de agua} = 0.43 \text{ m}^3 * 7,230 \frac{\$}{\text{m}^3} * 300 \text{ días/año} = 932,670 \text{ \$/año}$$

En el interior de la empresa se paga arrendamiento de 6,000\$/m² mensual por el espacio, por lo tanto, se debe tener en cuenta el lugar ocupado por cada calderín. El espacio ocupado por cada calderín con sus respectivas mesas de planchado es en promedio de 2.4 m².

$$\begin{aligned} \text{Arrendamiento del espacio} &= 8 \text{ calderines} * 2.4 \text{ m}^2 * 6,000 \frac{\$}{\text{m}^2} * 12 \text{ meses/año} \\ &= 1,382,400 \text{ \$/año} \end{aligned}$$

Además, los calderines son equipos que requieren repuestos constantemente y un mecánico quien esté en función de mantener la máquina en buen estado. Para estos fines el departamento de mantenimiento proporciona el coste mensual de repuestos de los 8 equipos que es de 73 320\$ y la mano de obra del mecánico cuesta 3,001,880 (incluyendo salario y parafiscales) quien aporta en promedio 25% de su tiempo en función de los calderines.

$$\text{Repuestos} = 732,320 \$ * 12 \text{ meses/año} = 8,787,840 \text{ \$/año}$$

$$\text{Mano de obra} = 0,25 * 3,001,880 \$ * 12 \text{ meses/año} = 9,005,640 \text{ \$/año}$$

De esta manera:

Costo del proceso de calderin

$$\begin{aligned} &= \text{Costo de generacion de vapor en calderin} \\ &+ \text{Costo de bombeo de agua en el calderin} + \text{Costo de agua} \\ &+ \text{Arrendamiento del espacio} + \text{Respuestos} + \text{Mano de obra} \end{aligned}$$

Costo del proceso de calderin

$$\begin{aligned} &= 55,836,000 + 609,840 + 932,670 + 1,382,400 + 8,787,840 + 9,005,640 \\ &= 76,554,390 \text{ \$/año} \end{aligned}$$

El costo total del proceso del calderín anual es de 76,554,390\$.

ESPECIFICACIONES DE LA CALDERA

Tabla 6. Especificaciones generales de la caldera ubicada en Lavandería

MARCA	J.C.T.
MODELO	1000H3P165PV
NUMERO DE SERIE	1801
AÑO DE FABRICACIÓN	NOVIEMBRE DE 2003
POTENCIA	1000 BHP
NÚMERO DE PASOS	3
PRESIÓN DE DISEÑO	165 p.s.i.
PRESIÓN DE TRABAJO	150 p.s.i.
PRODUCCIÓN DE VAPOR	34500 lb./hora
SUPERFICIE DE CALENTAMIENTO	4765 ft ²
TIPO DE COMBUSTIBLE	CARBÓN
CONSUMO DE COMBUSTIBLE	1698 Kg./hora @ 11.200 BTU/lb. de carbón
ESPESOR DEL CUERPO	7/8" SA-516-70
ESPESOR DEL HOGAR	3/4" SA-516-70
ESPESOR CÁMARA COMBUSTIÓN	1-1/4" SA-516-70
ESPESOR DE ESPEJOS	1-1/4" SA-516-70
ESPESOR PLACA TRASERA C.C.	1" SA-516-70
ESPESOR PLACA FRONTAL C.C.	1" SA-516-70
TUBERÍA SEGUNDO PASO	Ø 3" X 0,125" esp. X 5290 mm long X 184 und
TUBERÍA TERGER PASO	Ø 3" X 0,125" esp. X 5990 mm long X 153 und
PESO DE LA CALDERA VACÍA	75 toneladas
PESO DE LA CALERA LLENA COMPLETAMENTE	110 toneladas
PESO DE LA CALDERA EN CONDICIONES DE TRABAJO	100 toneladas
FABRICADA POR	CALDERAS J.C.T. S.A.



Imagen 19. Zona de caldera en Lavandería



Imagen 20. Caldera de Lavandería



Imagen 21. Multiciclón de la caldera de Lavandería

CANTIDAD DE VAPOR USADO POR LA CALDERA DE LA SECCIÓN DE LAVANDERÍA EN LA EMPRESA C.I. JEANS S.A.S.

En la sección de Lavandería de la empresa, usan el vapor de agua en las lavadoras de dos maneras. Por un lado, su usa de manera directa, es decir, el vapor entra en contacto directo con los productos, mezclándose en el procedimiento con agua de la tubería. Por otro lado, se usa de manera indirecta, es decir, el agua que entra por la tubería es calentada por un intercambiador de calor, donde el vapor cede su calor al agua y sale en estado líquido, es llevado por la tubería de condensados hasta el tanque donde se almacenan estos, el cuál está ubicado cerca de la caldera para entrar como fluido precalentado a esta y así mejorar la eficiencia de la máquina.



Imagen 22. Almacenamiento de los condensados

El proceso de calentamiento de las prendas en el lavado es usado como tratamiento térmico a los productos. Este proceso tiene como finalidad darles un tinte perfecto a las prendas, ya que con el calentamiento de los hilos estos se hinchan facilitando y optimizando la calidad del proceso.

En la sección de Termijeans, el vapor es usado para diferentes tipos de planchado de las prendas ya terminadas. Usan máquinas con moldes los cuales cierran y le dan una preforma completa a la prenda para pulirla al final de su proceso de fabricación, además tienen planchas para cuando se deben preformar bordes pequeños lo cual con las máquinas anteriormente mencionadas no se puede hacer.

Actualmente la caldera está produciendo un total de 123,000lb/día de vapor, consumiendo en totalidad 30 m³ de agua, este dato fue proporcionado por la planta de tratamiento de aguas, la cual está encargada de la operación de la caldera.

$$\text{Demanda de vapor por hora} = 123,000 \frac{\text{lb}}{\text{día}} * \frac{1\text{día}}{24\text{h}} = 5,125 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

La caldera está diseñada para proporcionar 34,500 lb/h, es decir que la máquina está funcionando actualmente al 14.86% de su capacidad total. El circuito de vapor posee un sistema de control de flujo y oxígeno, el cual está en contacto con la caldera para que garantice una presión mínima de 90psi y 130°C.

CÁLCULO DEL COSTO OPERACIONAL DE LA CALDERA INSTALADA EN LA SECCIÓN DE LAVANDERÍA PARA SUPLIR LA DEMANDA DE VAPOR EN LA SECCIÓN DE CONFECCIÓN

Actualmente la caldera tiene un consumo de carbón de 8,500 kg/día. El costo del carbón para la empresa está en 217\$/kg, por lo tanto, para el consumo actual de vapor generado por la caldera es:

$$\text{Consumo de carbon por hora} = 8,500 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * 217 \frac{\$}{\text{kg}} * \frac{1\text{día}}{24\text{h}} = 76,854.2 \frac{\$}{\text{h}}$$

Entonces, a partir del precio de consumo hora de carbón, se encuentra el precio del carbón para producir una libra de vapor:

$$\text{Costo de producción de vapor por consumo de combustible} = \frac{76,854.2 \frac{\$}{\text{h}}}{5,125 \frac{\text{lb}}{\text{h}}} = 15 \frac{\$}{\text{lb}}$$

Teniendo en cuenta el precio final del carbón producido para cada libra de vapor y ya sabiendo la demanda total de vapor de la sección de confección, entonces:

$$\begin{aligned} \text{Costo de vapor generado por la caldera} \\ = \text{demanda de vapor} * T_{\text{trabajo de la resistenci en 2 turnos}} * 300 \text{ días/año} \\ * \text{Costo de producción de vapor por consumo de combustible} \end{aligned}$$

$$\text{Costo de vapor generado por la caldera} = 281 \frac{\text{lb}}{\text{h}} * 7.05 \text{ horas} * 300 \text{ días/año} * 15 \frac{\$}{\text{lb}}$$

$$\text{Costo de vapor generado por la caldera} = 8,914,725 \text{ \$/año}$$

También se toma en consideración la cantidad de agua usada por la caldera para generar el vapor, teniendo en cuenta que para el total de 5,125 lb/h generado se usa 1,25 m³ de agua, entonces:

$$\text{Agua solicitada} = 281 \frac{\text{lb}}{\text{h}} * \frac{1.25 \text{ m}^3}{5,125 \text{ lb/h}} = 0.07 \text{ m}^3$$

La cantidad de agua requerida cada hora para generar la demanda de vapor en la caldera es de 0.07 m³, entonces se analiza en 16 horas cuánto es el total de agua usada con su respectivo costo.

$$\text{Costo de agua} = 0.07 \text{ m}^3 * 16 \text{ horas} * 7,230 \frac{\$}{\text{m}^3} = 8,097 \text{ \$}$$

$$\text{Costo de agua anual} = \text{Costo de agua} * 300 \text{ días/año}$$

$$\text{Costo de agua anual} = 8,097 * 300 \text{ días} = 2,429,100 \text{ \$/año}$$

En la sección de Confección, existen 3 planchas de vapor instaladas, ocupando un total de 15.6 m², instalando las 18 planchas de confección de la misma manera, entonces el espacio total que se ocupa es:

$$\text{Costo del espacio} = 18 \text{ planchas} * \frac{15.6 \text{ m}^2}{3 \text{ planchas}} = 93.6 \text{ m}^2$$

$$\text{Costo del espacio} = 93.6 \text{ m}^2 * 6,000 \frac{\$}{\text{m}^2} * 12 \text{ meses} = 6,739,200 \text{ \$ anuales}$$

Además, se debe tener en cuenta que para el funcionamiento de una planta centralizada de vapor se debe contar con personas que sirvan como repartidores a las plantas, para este fin se necesitan 3 personas cuya mano de obra se contemplan en los gastos operacionales, la cual asciende a 1,290,780\$ mensuales incluyendo parafiscales:

$$\text{Mano de obra repartidores} = 3 * 1,290,780 = 3,872,340 \text{ \$mensuales} * 12 \text{ meses/año}$$

$$\text{Mano de obra repartidores} = 46,468,080 \text{ \$/año}$$

Teniendo en cuenta las anteriores variables ya mencionadas, se tiene un resultado final:

$$\text{Costo total} = \text{Costo de vapor generado por la caldera} + \text{Costo de agua anual} \\ + \text{Costo del espacio} + \text{Mano de obra repartidores}$$

$$\text{Costo total} = 8,914,725 + 2,429,100 + 6,739,200 + 46,468,080 = 64,551,105 \text{ \$/año}$$

La caldera tiene costos por repuestos y mantenimiento evaluados en 60,000,000\$ anuales aproximadamente; sin embargo, al ser la demanda de vapor en la sección de Confección, tan baja (alrededor del 1%), no es una carga significativa como para entrar a tomarla en cuenta. Por lo que se asume como el costo total anual de generación de vapor desde la caldera 18,083,025\$.

COSTO OPERACIONAL DE LA CALDERA PARA TURNOS DOMINICALES

En algunas ocasiones, se deben hacer turnos dominicales en la sección de Termijean, motivo por el cual la caldera debe permanecer encendida solo para esta sección. Al ser una demanda de vapor muy reducida la caldera trabaja en niveles críticos donde puede llegar a problemas de modulación.

A continuación, se muestra la tabla proporcionada por la planta de aguas, donde se muestra el costo operacional de la caldera en un turno dominical:

Tabla 7. Costo operacional dominical de la caldera

Carbón (kg)	\$ 1,083,553
Agua (m3)	\$ 167,979
Energía	\$ 155,663
Mano de Obra	\$ 428,954
Total	\$ 1,836,150

En vista de que la energía y la mitad del agua usadas mostradas en la tabla 7, son para la planta de aguas y no para la caldera como tal, el costo total de funcionamiento por turno dominical es:

$$\text{Costo dominical de caldera} = 1,836,150 - 155,663 - \frac{167,979}{2} = 1,596,497 \text{ \$ dominical}$$

El costo operacional de los 8 calderines en un día es:

Costo de generacion de vapor en calderín

$$= 10 \text{ kW} * 8 \text{ calderines} * 7.05 \text{ horas} * 1 \text{ día} * 330 \frac{\text{\$}}{\text{kWh}}$$

Costo de generacion de vapor en calderín = 186,120 \$ diarios

$$\text{Costo de agua} = 0.43 \text{ m}^3 * 7,230 \frac{\text{\$}}{\text{m}^3} = 3,108 \text{ \$ diarios}$$

Mano de obra = 150,094 \$ mensuales

Repuestos = 146,464 \$ mensuales

Costo operacional de calderin dominical

*= Costo de generación de vapor en calderín + Costo de agua
+ Mano de obra + Repuestos*

*Costo operacional de calderin dominical = 186,120 + 3,108 + 150,094 + 146,464
= 485,786 \$/día*

Para el caso del calderín se toman en cuenta los siguientes parámetros: se supone que el calderín estará disponible solo para el uso en turnos dominicales, por lo que el tiempo que debe dedicarle el mecánico a su mantenimiento será de 5% proporcionando un equivalente de 150,095\$ mensuales, a diferencia del 25% de tiempo que debe invertir cuando los calderines tienen funcionamiento diario. Los repuestos también disminuyen al 5% de lo que actualmente consume por la razón anteriormente explicada. En cuanto a la mano de obra por operario, no se toma en cuenta debido a que es el mismo precio tanto usando la caldera como el calderín.

Es decir, el beneficio de trabajar un turno dominical con calderines en cambio de la caldera es de 1,110,711\$ cada domingo.

OPERACIÓN DE PLANCHADO CON CALDERINES

Actualmente la operación de planchado de las prendas en la sección de Confección se lleva a cabo en cada planta. Las plantas que poseen calderín ubican la máquina en su planta y le instalan las mangueras necesarias para extraer el vapor e iniciar el proceso de planchado, por lo general usan 2 mangueras, el número máximo de mangueras que se pueden acoplar es de 4.

Por otra parte, en la sección de Termijeans también se deben planchar prendas, en esta sección existe la red de vapor desde la caldera. Las mangueras y las planchas usadas en la sección presente son exactamente iguales que las usadas en los calderines. A diferencia de la sección de Confección, Termijeans posee un lugar específico donde se manejan todas las máquinas alimentadas por vapor y las prendas que deben tener este tipo de procesos son llevadas desde y hacia las diferentes plantas ubicadas en la sección.



Imagen 23. Derivación de vapor a Termijeans



Imagen 24. Sistema de planchas en Termijeans

ANÁLISIS FINANCIERO

Inicialmente se debe cotizar los materiales necesarios para la instalación de la ampliación para la red de vapor, esta labor se realiza con la ferretería llamada Tecnifluidos S.A.S., quienes además contribuyen al análisis de optimización de la red que se pretende ampliar. En el valor total suministrado (véase anexo 3), la ferretería hace énfasis en que es el precio base únicamente para la entrega de los materiales, el cual es de 9,313,463 \$; al solicitar la instalación, el costo incrementa en 3,000,000\$, para un total de 12,131,463\$. Con el fin de ubicar la nueva planta, se deben correr las plantas 1 recuadro cada una, con el fin de facilitar el espacio, debido a este movimiento se debe adecuar un riel de corriente eléctrica para un nuevo espacio, este dispositivo tiene un costo de 8,000,000\$.

Ahora bien, para conocer la viabilidad del proyecto, se debe saber cuál es el retorno sobre la inversión que es el precio ya mencionado proporcionado por Tecnifluidos S.A.S. más el costo de los rieles y las ganancias mensuales debidas al ahorro económico en la confrontación caldera vs. calderín.

$$ROI = \frac{\text{Ganancia} - \text{Inversión}}{\text{Inversión}}$$

Para estas condiciones se tiene que:

$$\text{Ganancia} = (\text{Costo total del proceso actual del calderín} \\ - \text{Costo total de generación en la caldera}) + \text{Beneficio dominical}$$

En promedio se trabajan 10 domingos al año, entonces:

$$\text{Ganancia} = (76,554,390 - 64,551,105) + (1,110,711 * 10) = 23,110,395 \text{ \$ anual}$$

$$\text{Inversión} = 12,131,463 + 8,000,000 = 20,131,463 \text{ \$}$$

Entonces

$$ROI = \frac{23,110,395 - 20,131,463}{20,131,463} = 0.1480 * 100 = 14.8\%$$

Es decir, la rentabilidad del proyecto anualmente es de 14.8%. A continuación, se muestra el tiempo que se demora el proyecto en retornar la inversión.

$$ROI = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ganancia mensual}}$$

Donde:

$$\text{Ganancia mensual} = 23,110,395 \text{ \$ anual} * \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} = 1,925,866 \text{ \$ mensuales}$$

$$ROI = \frac{20,131,463}{1,925,866} = 10.45 \text{ meses}$$

El retorno completo de la inversión, basado en el beneficio del ahorro mensual, es en 10.45 meses, aproximadamente a partir del mes 11 se comienza a tener un beneficio económico libre de 1,925,866 \$ mensuales.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Como se puede apreciar a lo largo del proyecto, es evidente que la producción de vapor para la sección de confección a partir de la caldera es mucho más eficiente y menos costosa que suplir la demanda de vapor con calderines como se hace en el momento, con una diferencia económica de 23,110,395\$ anuales.
- En algunas ocasiones, se debe generar vapor en turnos dominicales y la cantidad demandada estos días no suele ser lo suficientemente alta como para usar la caldera, ya que, con la cantidad solicitada, la máquina puede entrar en estado de modulación, además del alto costo monetario ya expuesto. Por esta razón se identifican los calderines ya adquiridos por la empresa como una solución viable para la generación de vapor en turnos dominicales, con una diferencia en la generación respecto a la caldera de 1,110,711\$ por día.
- A pesar de los altos niveles de contaminación que produce la quema de combustibles sólidos, como lo es el carbón mineral usado en el proceso de la caldera, la máquina tiene instalado el dispositivo multiciclón, el cual mejora la eficiencia de la caldera por medio de la recirculación de aire caliente en el interior del proceso y disminuye la producción de partículas contaminantes hasta el 85%, lo cual reduce la huella de carbono en la atmósfera y cumple con las normas de la legislación colombiana.
- Al crear una red de vapor para planchado en la sección de Confección, es necesario hacer modificaciones en la cadena de producción de prendas preformadas, en vista de que, por medio de este método de generación de vapor, se centraliza la entrega de vapor y cada planta deberá desistir del uso de calderín por fuera de turnos dominicales.
- La generación del vapor centralizado tiene como ventaja principal más amplitud para trabajar, es decir, cada planta podrá tener su estación de planchado dentro de la zona de vapor, ya que los límites de entrega de conexiones de plancha están dados por el diseño según la necesidad y, adicionalmente se puede hacer ampliaciones a la zona según lo requerido.
- Los calderines como generadores de vapor a presión dentro de la planta representan un riesgo constante, por ser una máquina que trabaja con altas presiones y estando rodeada de personal. Este tipo de generadores deben ser vigilados muy de cerca en su operación para que esté siempre en las mejores condiciones para trabajar.
- El retorno de la inversión hecha para las adecuaciones es alto, lo cual hace el proyecto económicamente viable, con opción de ser pagado en su totalidad aproximadamente en 10.45 meses, cuyo beneficio será notorio a partir de esta fecha.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Abarca B. Pedro, Dümmer O. Walter. Descripción de calderas y generadores de vapor. ACHS.
- [2] Franz Eberhard. Informe técnico: comparativa de caldera pirotubular y caldera acuotubular. Markus Tuffner, Bosch Industriekessel GmbH.
- [3] Comunidad de Madrid. Guía básica: Calderas industriales eficientes. La suma de todos. 2012.
- [4] Valencia C. Alexánder, Hernández M. Marcelo, Espinosa C. Juan C. Lineamientos para la operación eficiente de sistemas de generación de vapor y reducción de emisiones atmosféricas en plantas del sector palmero. Fondo de Fomento Palmero — Fedepalma—. Bogotá D.C., Colombia. Septiembre de 2015.
- [5] Junta de Castilla y León. Eficiencia energética en redes de vapor. Manual técnico, diseño y cálculo de redes de vapor.
- [6] Spirax Sarco. Guía de referencia técnica, distribución del vapor. Barcelona. Madrid. Bilbao.
- [7] UPME. Eficiencia energética en la industria. Recuperado el 17 de enero de 2021. Disponible en https://www.youtube.com/watch?v=lqMt5avi1Y4&feature=emb_err_woyt. (1.º de febrero de 2016).
- [8] Greg Harrell. Steam system survey guide. The University of Tennessee, Energy, Environment, and Resources center. Oak Ridge National Laboratory. Mayo de 2000
- [9] Vidal R. Esmeralda, Miranda V. Rosa N. Calderas: Clasificación, usos y mecanismos de transferencia de calor. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Agosto de 2018
- [10] Frank P. Incropera, David P. Dewitt. Fundamentos de transferencia de calor. Ediciones Pearson, School of Mechanical Engineering Purdue University, Prentice Hall. México D.F. 4.ª ed. (1999).
- [11] Yunus A. Cengel. Transferencia de calor y masa. Ediciones McGraw Hill. University of Nevada, Reno. México D.F. 3ª ed.
- [12] Yunus A. Cengel, Michael A. Boles. Termodinámica. Ediciones McGraw Hill. University of Nevada, Reno, North Carolina State University. México D.F. 8ª ed.
- [13] Michael J. Moran, Howard N. Shapiro. Fundamentals of engineering thermodynamics. Ediciones Wiley, The Ohio State University, Iowa State University of Science and Technology. London. 5ª ed.
- [14] U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable energy. Improving steam system performance, a sourcebook for industry. Industrial technologies program. Washington D.C.



[15] Amell A. Andrés. Energía, economía y medio ambiente en procesos industriales. Área metropolitana del Valle de Aburrá. Medellín, Colombia. 2007.