

**EVALUACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS EN UNA PLANTA
DUAL DE PRODUCCIÓN PARA LA EMPRESA HOJALATA Y LAMINADOS S.A.
HOLASA**

JULIAN DAVID YEPES BAENA

INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA

Director del trabajo de grado

DANIEL SANIN VILLA

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO
FACULTAD DE INGENIERÍAS**

MEDELLÍN

2018

RESUMEN

La empresa Hojalata y Laminados S.A (HOLASA) en su planta de producción utiliza vapor saturado para calentar varios tipos de soluciones químicas, por las cuales hace pasar la lámina de acero con bajo contenido de carbono para aplicarle un recubrimiento ya sea de cromo o estaño según lo requerido.

Como producto del calentamiento de dichas soluciones se generan condensados en la tubería de vapor a la salida de los intercambiadores de calor ubicados en cada tanque.

Uno de los inconvenientes que se ha identificado en el proceso es que los condensados generados no cuentan con un adecuado uso, disponiendo estos para la planta de tratamiento de aguas residuales del proceso.

Estos condensados además de salir con altas temperaturas cuentan con excelentes propiedades físicas, similares a las requeridas en la alimentación de la caldera debido a que no entran en contacto directo con otros químicos y no son contaminados. Por consiguiente, existe un notorio desaprovechamiento energético.

El objetivo de este proyecto es diseñar un sistema de recolección de dichos condensados para poderlos recircular en el proceso y emplearlos como agua de alimentación para la caldera, disminuyendo así gastos energéticos asociados al consumo de combustible, disminución de material particulado que se emite a la atmosfera y gastos de agua de suministro.

PALABRAS CLAVE

Intercambiadores de calor, desaprovechamiento energético, recolección, filtrado, condensados.

RECONOCIMIENTOS

Quiero expresar mis agradecimientos principalmente a Dios, quien siempre estuvo a mi lado ayudándome en los momentos difíciles, dándome la salud y la fuerza necesaria para seguir adelante, a mis padres por su apoyo incondicional a lo largo de esta etapa universitaria, por sus enseñanzas y las bases éticas inculcadas en el transcurso de mi vida y que hoy me permiten ser quien soy. Quiero agradecer también al docente Daniel Sanín Villa quien con su paciencia y dedicación fue mi guía asesorándome en la elaboración de este proyecto, por último a todos los docentes que aportaron a mi crecimiento personal y profesional con su preparación e instrucción, proporcionándome el cimiento para culminar satisfactoriamente mis estudios con esfuerzo y dedicación.

ACRÓNIMOS

g: Gravedad

ρ_L : Densidad liquido

ρ_v : Densidad vapor

k_L : Conductividad térmica

C_p : Calor especifico

T_{sat} : Temperatura de saturación

T_s : Temperatura superficial

μ : Viscosidad dinámica

h_f : Entalpia liquido saturado

h_{fg} : Entalpia de vaporización

h_g : Entalpia vapor saturado

TABLA DE CONTENIDO

EVALUACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS EN UNA PLANTA DUAL DE PRODUCCIÓN PARA LA EMPRESA HOJALATA Y LAMINADOS S.A. HOLASA.....	1
RESUMEN.....	2
PALABRAS CLAVE	2
RECONOCIMIENTOS	3
ACRÓNIMOS	4
1. INTRODUCCIÓN	9
2. MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. Conceptos Generales.....	10
2.1.1. ¿Qué es el vapor?.....	10
2.1.2. Tipos de Vapor.....	10
2.1.3. ¿Por qué se utiliza el vapor?	11
2.1.4. Sistemas de generación de vapor	11
2.1.5. ¿Qué es una caldera?	13
2.1.6. Componentes de una caldera	13
2.1.7. Funcionamiento de una caldera.....	14
2.1.8. Clasificación de las calderas	15
2.1.9. Trampas de vapor.....	18
2.1.10. Clasificación de las trampas de vapor	18
2.1.11. Selección de trampas de vapor	21
2.1.12. Mecanismos de transferencia de calor	23
2.1.13. Circuito de vapor	24
2.1.14. Aislantes térmicos	25
2.1.15. Aislamiento térmico de tuberías.....	27
2.1.16. Control químico en aguas del ciclo agua-vapor	29
2.1.17. Parámetros químicos del ciclo agua - vapor	30

2.1.18.	Desaireadores.....	34
2.1.19.	Recuperación de condensados.....	37
2.1.20.	Sistemas de recuperación de condensados	40
3.	DISEÑO DE SISTEMA DE RETORNO DE CONDENSADOS.....	41
3.1.	Proceso de generación de vapor en Holasa S.A.	41
3.2.	Equipos que intervienen en la generación de vapor.....	41
3.2.1.	Unidades suavizadoras.....	41
3.2.2.	Tanque Alimentación de las calderas.....	43
3.2.3.	Cuarto de Calderas	44
3.3.	Equipos alimentados mediante la tubería principal de vapor	47
3.3.1.	Tanque de Limpieza (Soda Caustica).....	47
3.3.2.	Tanque de Decapado (Ácido Sulfúrico)	48
3.3.3.	Secadores 1 y 2.....	49
3.3.4.	Tanque de Aguas Calientes	50
3.4.	Análisis de condensados de la línea principal de vapor	51
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
4.1.	Cálculos asociados a los intercambiadores de calor	54
4.1.1.	Cálculos generación de Condensados tanque de limpieza	54
4.1.2.	Cálculos generación de Condensados Secadores 1 y 2.	57
4.1.3.	Flujo total de condensados.	59
4.2.	Ahorros energéticos asociados a la recuperación de condensados	60
4.3.	Esquema sugerido a implementar para recuperación de condensados en Holasa.....	67
5.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	68
6.	REFERENCIAS	70
7.	APENDICE.....	72

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Elementos que componen un sistema de vapor.	12
Ilustración 2: Componentes de una caldera.	14
Ilustración 3: Trampa de vapor de balde invertido.	19
Ilustración 4: Trampa de vapor termostática.	20
Ilustración 5: Trampa de vapor de flotador y termostato.	20
Ilustración 6: Trampa de vapor de disco controlado.	21
Ilustración 7: Factores de seguridad.	22
Ilustración 8: Diferencia de presiones.	22
Ilustración 9: Sistema de generación y distribución del vapor.	25
Ilustración 10: Representación de la sección transversal de dos tuberías, una al aire y otra enterrada, ambas con dos capas de aislamiento.	28
Ilustración 11: Contaminantes del agua en el ciclo agua vapor y sus efectos en distintas partes de la instalación.	30
Ilustración 12: Rangos admisibles para los distintos parámetros en el vapor.	31
Ilustración 13: Rangos admisibles para los distintos parámetros en el agua de calderín.	31
Ilustración 14: Rangos admisibles para los distintos parámetros en el agua de alimentación y en el agua de condensación.	32
Ilustración 15: Solubilidad del oxígeno del aire a la presión atmosférica.	36
Ilustración 16: Formación de ondas de condensado por causa del flujo de vapor.	38
Ilustración 17: Daño en tuberías por la presencia de gases no condensables.	38
Ilustración 18: Pierna colectora.	39
Ilustración 19: Ahorros de combustible por la recuperación de condensados.	40
Ilustración 20: Unidades Suavizadoras.	42
Ilustración 21: Tanque de alimentación calderas.	44
Ilustración 22: Cuarto de calderas.	47
Ilustración 23: Tanque Soda Caustica.	48
Ilustración 24: Tanque de Decapado.	49
Ilustración 25: Secadores.	50
Ilustración 26: Tanque de Aguas Calientes.	51
Ilustración 27: Esquema actual circuito de vapor Holasa.	53
Ilustración 28: Serpentin tanque de trabajo limpieza.	55
Ilustración 29: Tabla termodinámica del Agua Saturada.	56
Ilustración 30: Esquema de operación secadores.	57
Ilustración 31: Sistema de recuperación de condensados.	66
Ilustración 32: Esquema sugerido a implementar.	67
Ilustración 33: Cotización Spirax Sarco.	72
Ilustración 34: Cotización Tecnifluidos.	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ficha técnica unidades suavizadoras.	43
Tabla 2: Ficha técnica calderas.	45
Tabla 3: Reactivos adicionados al agua de la caldera.	46
Tabla 4: Análisis condensados.	52
Tabla 5: Simbología esquemas.....	53
Tabla 6: Balance de energía serpentín tanque de Limpieza.	55
Tabla 7: Balance de energía secador de flujo cruzado.	58
Tabla 8: Variables asociadas a la producción de vapor.	60
Tabla 9: Datos agua de alimentación.....	61
Tabla 10: Propiedades a diferentes presiones.....	62
Tabla 11: Ahorro total anual	64
Tabla 12: Costos elementos a implementar	65

1. INTRODUCCIÓN

Hojalata y Laminados S.A. – HOLASA es una organización que con años de esfuerzo y voluntad se ha destacado por ser una compañía con vocación de calidad integral, cuya actividad económica es la fabricación de Hojalata Electrolítica y lámina cromada, materia prima para la fabricación de tapas para gaseosas y cervezas, envases para conservas alimenticias y usos varios. Para la producción de dichos elementos requiere el uso de vapor en diversos procesos.

Por tal motivo HOLASA, apoya y promueve la implementación de este proyecto de mejoramiento en su sistema de condensados, con el objetivo de analizar los componentes económicos, técnicos y medioambientales requeridos en su red para la posterior recuperación de condensados, esto conllevaría a una mayor eficiencia y mejora continua en el interior de la organización.

Gracias a la utilización de los componentes técnicos que serán expuestos en este proyecto se darán a conocer diferentes virtudes: Una adecuada utilización de la energía, promoviendo su ahorro y el de la empresa, el valor que posee un sistema de condensado en cualquier industria y su contribución al medio ambiente.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Conceptos Generales

Para el desarrollo del siguiente proyecto se tomarán en cuenta diferentes conceptos que facilitarán el entendimiento del mismo.

2.1.1. ¿Qué es el vapor?

El vapor es un gas, el cual se genera cuando se le agrega energía calórica al agua hasta alcanzar su punto de ebullición. Luego de alcanzar dicho punto de ebullición, cualquier incremento en la energía adicionada convierte el agua en vapor. Es una forma muy eficiente de transferir calor a nivel industrial, para el calentamiento de diferentes sustancias dentro de los procesos.

2.1.2. Tipos de Vapor

En la industria existen tres tipos de vapor:

2.1.2.1. Vapor Saturado

Una vez que comienza la ebullición, el aumento de temperatura se detiene hasta que se evapora todo el líquido. Es decir, si la presión se mantiene constante, durante el proceso de cambio de fase, la temperatura también lo hará. Al final de esta etapa lo que se obtiene se conoce como vapor saturado. El vapor en estas condiciones es ampliamente utilizado en la industria para procesos de calentamiento directo e indirecto (Bohórquez, 2013).

2.1.2.2. Vapor Recalentado

Una vez que se obtiene el vapor saturado, si se continúa añadiendo calor, la presión se mantiene constante; como consecuencia del proceso de calentamiento; y la temperatura empieza a aumentar. En este punto el vapor se vuelve sobrecalentado y es ampliamente utilizado en las plantas termoeléctricas como fluido de fuerza para generar energía eléctrica (Bohórquez, 2013).

2.1.2.3. Vapor Flash

El vapor flash se produce siempre que un condensado a alta presión y una temperatura mayor que la de saturación del líquido, sea descargada a una presión menor. Según el principio de conservación de energía, la cantidad de energía contenida en el fluido en el lado de baja presión de la trampa de vapor debe ser igual a la del lado de alta presión (Bohórquez, 2013).

2.1.3. ¿Por qué se utiliza el vapor?

En los sistemas industriales se usa el vapor por diferentes razones:

- Para su producción se utiliza agua, es abundante, barata y fácil de obtener.
- Es muy controlable, a cada presión le corresponde una temperatura, una energía específica y un volumen específico.
- Tiene un alto contenido de energía por unidad de masa.
- Es estéril, de fácil distribución y control.
- El vapor fluye en las líneas de distribución como respuesta a una caída de presión y no necesita bombas para su circulación.
- El coeficiente de transferencia de calor del vapor es mayor que el del agua en fase líquida, por ende se logra una mayor eficiencia en el intercambio de calor. (Bohórquez, 2013).

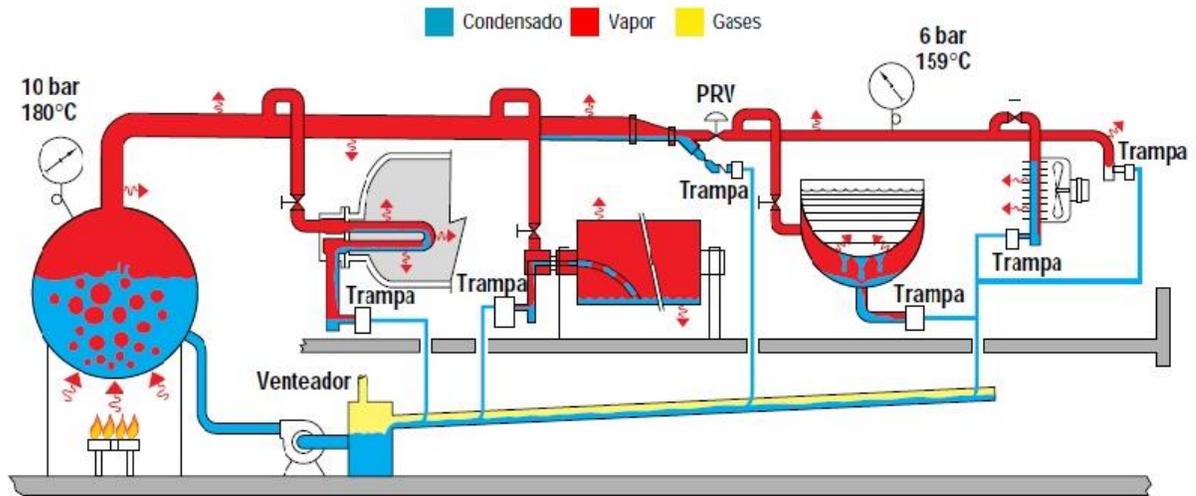
2.1.4. Sistemas de generación de vapor

Los sistemas de vapor en su configuración poseen gran cantidad de elementos en cuanto a operación y control, dentro de ellos se cuentan: (Armstrong, 1998).

- Calderas.
- Controladores de temperatura y presión.
- Válvulas de seguridad.
- Válvulas reguladoras de flujo.
- Bomba de alimentación.
- Tanque de condensados.
- Trampas de vapor.
- Redes de distribución.
- Equipos consumidores.

- Sistemas de recuperación de calor

Ilustración 1: Elementos que componen un sistema de vapor.



Fuente: (Armstrong, 1998).

El vapor es un fluido gaseoso cuya temperatura es inferior a su temperatura crítica. Cuando este se enfría se condensa y se vuelve líquido, comúnmente conocido como “condensados”. Normalmente estos condensados contienen una gran cantidad de calor que puede ser empleada en la realimentación a la caldera una vez que haya sido degasificada para eliminar los gases disueltos como el oxígeno (Sisteaqua, 2011).

El condensado de vapor es usualmente agua de alta pureza a una temperatura moderadamente alta, por lo que es necesario recuperar la máxima cantidad que sea posible para volver a utilizarla en la caldera. El retorno de condensados se hace con el fin de ahorrar: calor, agua de reposición, productos químicos usados para el tratamiento de agua y para reducir el combustible empleado en la caldera. Sin embargo, cuando hay peligro de que el agua de alimentación de la caldera reciba condensado contaminado, éste se debe desechar por medio de un sistema de control automático (Soto, 1996).

La recolección de condensados debe hacerse de forma que la tubería no interfiera con la operación de las trampas para vapor. Además este puede ser presurizado o no, y se dice que un sistema de condensados presurizado puede ahorrar a una planta industrial como mínimo de un 15% a un 35% los costos de combustible, cuando lo comparamos con un sistema de condensados convencional venteados a la atmósfera (Villacrés y Andrade, 2012).

2.1.5. ¿Qué es una caldera?

La caldera es una máquina diseñada para generar calor en su interior mediante un proceso de combustión, para posteriormente transmitir ese calor a un fluido que sirve para calentar agua sanitaria o calefactar un recinto mediante intercambio térmico; el fluido empleado puede ser agua directamente u otro fluido térmico. Las calderas también pueden emplearse para la producción de vapor que genere energía eléctrica al mover una turbina. En una caldera se busca obtener la mayor eficiencia térmica del proceso de combustión y disminuir al máximo posible las pérdidas de energía que se producen en los intercambios de calor (Entrena, 2014).

2.1.6. Componentes de una caldera

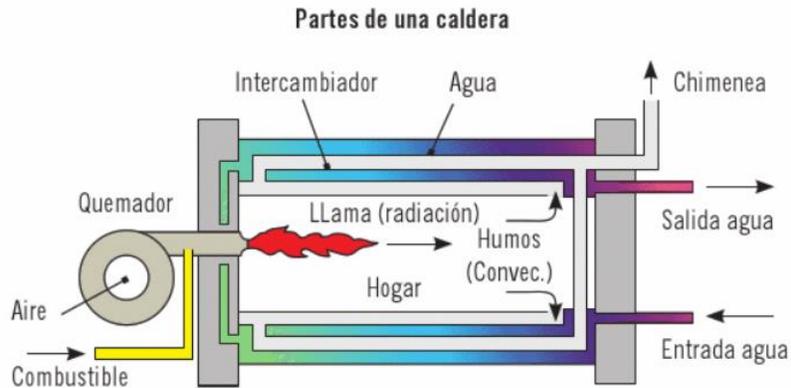
Quemador: es el elemento principal de la caldera; el quemador se encarga de realizar la mezcla del combustible con el comburente, cercanos a la combustión estequiométrica, para obtener el mayor rendimiento posible de la combustión.

Cámara de combustión: también llamada hogar es el elemento de mayor volumen en el interior de la caldera, en este habitáculo se produce la reacción de combustión.

Escape de humos: la combustión genera desechos que en su mayoría son humos y gases, los cuales se vierten hacia el exterior mediante un conducto que une la cámara de combustión con la chimenea.

Intercambiador de calor: es el elemento encargado de realizar la transferencia de energía térmica, resultante de la combustión, con el fluido térmico. El intercambiador es un dispositivo que debe estar correctamente diseñado para reducir al máximo posible las pérdidas térmicas por intercambio de calor (Entrena, 2014).

Ilustración 2: Componentes de una caldera.



Fuente: (Entrena, 2014).

Además de estos elementos, existen otros dispositivos secundarios que montan las calderas con el fin de mejorar la eficiencia y tener un mayor control de los procesos. Algunos de estos dispositivos son: Reguladores, Válvulas, Aislamiento, Bastidores, Válvulas y elementos de seguridad, Compuerta de limpieza, Conducto de alimentación automático, Sistema de vaciado (Entrena, 2014).

2.1.7. Funcionamiento de una caldera

Las calderas son aparatos o dispositivos que se emplean tanto para climatizar una estancia como también para proporcionar vapor en las industrias. Su funcionamiento se basa en quemar un combustible para generar calor que es transmitido de forma eficiente a un fluido. Las calderas también se pueden emplear para accionar una serie de mecanismos o generar energía mediante el movimiento de una turbina, en este caso se denominan calderas o máquinas de vapor. Como se ha visto anteriormente, las calderas están formadas por una cámara de combustión u hogar, uno o varios quemadores, el circuito del fluido y otros dispositivos (Entrena, 2014).

El objetivo principal de una caldera industrial es la generación de vapor, el cual inicia su ciclo en la cámara de combustión donde se quema un combustible ya sea líquido, gas o sólido, generando una llama. En esta cámara se alcanzan temperaturas aproximadas de unos 2000 °C.

El humo resultante de la combustión es dirigido por un ducto al interior de la caldera buscando aumentar la transferencia de calor con el fluido, para luego descargarlo a la atmósfera.

Por otro lado, el fluido que la mayoría de los casos es agua absorbe el calor generado por conducción, convección y radiación, alcanzando temperaturas superiores a las del punto de ebullición y presiones que son controladas dependiendo de la necesidad.

2.1.8. Clasificación de las calderas

2.1.8.1. Según el combustible empleado

Calderas con combustibles sólidos: Las calderas de combustibles sólidos emplean como materia prima leña o carbón. Estas calderas instalan unas parrillas donde se realiza la combustión, que puede estar automatizada mediante un termostato, para regular la compuerta del tiro de la chimenea y así con ella la intensidad de la combustión. Requieren un mantenimiento muy continuo, ya que es necesario limpiar las cenizas que se generan en el proceso.

Calderas con combustibles líquidos: Las calderas de combustibles líquidos emplean el fuel oil y el gasóleo como combustibles. Este tipo de combustibles presenta la ventaja que son más limpios que los combustibles sólidos, sin embargo, requiere del uso de quemadores que los pulvericen o vaporicen el combustible para conseguir una combustión adecuada.

Calderas con combustibles gaseosos: Los gases, por su facilidad a la hora de mezclarse con el aire, obtienen mejores rendimientos en la combustión, además permiten controlar el proceso. El inconveniente que presenta está en la peligrosidad de su transporte, almacenamiento y distribución debido a la fácil inflamabilidad de estos (Entrena, 2014).

2.1.8.2. Según su diseño

Calderas pirotubulares: En las calderas pirotubulares tanto la cámara de combustión, como los conductos de paso y salidas de humos están sumergidos en agua, quedando todo el conjunto envuelto en una carcasa aislada térmicamente. Los tubos trabajan como intercambiadores, de forma que el calor liberado en la combustión se transfiere mediante

la superficie de los tubos al agua que lo envuelve. Las calderas pirotubulares se emplean tanto para combustibles líquidos o gaseosos, ya que consiguen rendimientos muy altos durante su funcionamiento.

Calderas acuotubulares: El diseño de estas calderas hace que el fluido térmico circule por dentro la cámara de combustión en el interior de unos tubos, de esta forma el fluido está en contacto directo con la fuente de calor (gases y llamas) producidas en la caldera. Este tipo de calderas permiten trabajar a mayores presiones y por tanto potencias que las calderas pirotubulares (Entrena, 2014).

2.1.8.3. Según el material de construcción

Calderas de hierro fundido: Donde los elementos principales de la caldera son de hierro fundido que se unen entre ellos mediante manguitos. La unión de estos elementos forma el hogar o cámara de combustión de la caldera en cuyo interior circula el fluido térmico. Todo el bloque queda sellado dentro de una carcasa de acero aislada térmicamente para reducir las pérdidas de calor en la caldera. Casi todas las calderas domésticas emplean esta construcción. Su construcción mediante uniones por manguitos, presenta la ventaja de poder repararse y sustituir algunos de sus elementos deteriorados por otros nuevos.

Calderas de chapa de acero: En su construcción se emplean chapas o tubos de acero al carbono, que se sueldan entre sí eléctricamente. La mayoría de las calderas se construyen mediante éste método ya que presentan un peso menor que las de hierro fundido y son más fáciles de instalar. Además esta clase de calderas puede emplear cualquier tipo de combustible. Generalmente las calderas de chapa de acero al carbono presentan mejores rendimientos térmicos que con las de fundición, sin embargo su vida útil es más corta.

Calderas de materiales especiales: Existen algunas calderas construidas con otros materiales como cobre, aluminio o acero inoxidable, que se usan para aplicaciones especiales o por condiciones de diseños y estética. Generalmente su uso es decorativo, para generar agua caliente sanitaria o calefacción doméstica a la vez que presenta una bonita estética (Entrena, 2014).

2.1.8.4. Según el funcionamiento de la cámara de combustión

Calderas atmosféricas: Son calderas que trabajan con la toma de aire directa del ambiente y cuentan con un tiro natural en el que circula el aire por la diferencia de densidad existente entre el aire exterior de la caldera y los humos calientes que se

generan en el interior de la misma. Lo dificultoso de las calderas atmosféricas es evitar una ventilación deficiente ya que provocaría la combustión incompleta y por tanto la existencia de gases tóxicos.

Calderas en depresión: En esta clase de calderas la cámara de combustión se encuentra en depresión, es decir la presión en la cámara de combustión es inferior a la atmosférica, al llevar instalado un ventilador que fuerza a los humos a salir por el tiro de la caldera. Estas calderas aseguran que los humos quedan fuera del recinto donde está instalada la caldera.

Calderas en sobrepresión: En este diseño se busca que la presión en el hogar sea superior a la atmosférica, para que de esta forma los gases de escape se vean forzados a salir por el tiro. Las calderas en sobrepresión hacen que el aire circule más rápido en su interior.

Calderas estancas: Las calderas estancas disponen de un ventilador que fuerzan el tiro y además montan un doble conducto que permite la evacuación de humos y la entrada de aire del exterior hasta la cámara de combustión (Entrena, 2014).

2.1.8.5. Según el fluido térmico

Calderas de agua: Las calderas que emplean agua como fluido térmico, se emplean fundamentalmente para sistemas de calefacción doméstica. El sistema consiste en calentar el agua hasta temperaturas cercanas a los 90 °C, sin alcanzar el punto de ebullición del agua.

Calderas de agua sobrecalentada: En este caso también se emplea el agua como fluido térmico pero se calienta por encima de los 150 °C llegando a alcanzar los 200 °C. Para alcanzar dichas temperaturas manteniendo el agua líquida sin que pase a su estado de vapor, es necesario aumentar la presión hasta valores cercanos a los 20 bares. Estos sistemas se emplean para sistemas industriales.

Calderas de vapor: Estas calderas emplean vapor de agua como fluido térmico; trabajan con presiones de más de 10 bares y temperaturas comprendidas entre 200 °C y 400 °C. Se emplean fundamentalmente para la calefacción industrial, de locales comerciales y de viviendas.

Calderas de aceite: Son calderas donde el fluido térmico es distinto del agua, generalmente se emplean aceites que permiten guardar el calor por más tiempo (Entrena, 2014).

2.1.8.6. Según la temperatura de escape de los gases

Calderas estándar: En las calderas estándar la temperatura de los humos debe ser superior a 70 °C, para evitar la condensación del agua resultante del proceso de combustión, evitándose problemas por corrosión. La expulsión de los gases de escape calientes produce pérdidas de energía en la caldera.

Calderas de condensación: Se diseñan para evacuar los gases de escape a una temperatura cercana a la temperatura ambiente, para evitar pérdidas de calor en la caldera y recuperar el calor latente de la condensación del vapor de agua. Las calderas de condensación presentan mejores rendimientos respecto a la estándar (Entrena, 2014).

2.1.9. Trampas de vapor

Se utilizan para desalojar condensado de las líneas de distribución o a la salida de los intercambiadores de un equipo consumidor. Estas abren en presencia de condensado y cierran en presencia de vapor. Garantizan el buen funcionamiento de tuberías y elementos de la red y contribuyen al uso eficiente de la energía. Se pueden clasificar según su ubicación en el sistema de vapor o según su forma de operación.

Las trampas para vapor, son empleadas para funciones que no son tan aparentes. Cuando el sistema de vapor se interrumpe o apaga, aire ingresa en las tuberías para ocupar el espacio del vapor en compañía con el condensado generado. Las trampas para vapor deben por tanto desalojar ese aire en el momento de arranque de estos sistemas. En resumen, las tres importantes funciones de las trampas para vapor son:

- Descargar condensado.
- No permitir escape de vapor.
- Ser capaces de desalojar aire y gases (Guallpa, 2016).

2.1.10. Clasificación de las trampas de vapor

2.1.10.1. Según su ubicación

Trampas en la red: Ubicadas en la red de distribución de vapor en lugares donde se produce fácilmente el condensado, por ejemplo depósitos o bolsillos y tramos de tubería con reducciones, también suelen ubicarse trampas al menos cada 30 metros ya que el

vapor que circula pierde energía con el ambiente y puede condensarse. Estas trampas protegen los diferentes elementos de la red contra el efecto martillo (wáter hammer), producido por el choque del condensado a alta velocidad.

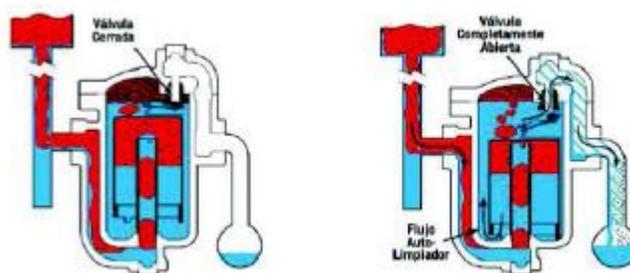
Trampas de proceso: El vapor que ingresa al equipo o proceso demandante de energía cede su calor latente transformándose en condensado. Este debe ser desalojado para evitar pérdidas de calor e inundación del serpentín o intercambiador de calor. Para ello se ubican trampas de vapor a la salida del equipo de intercambio de calor.

Trampas de circuito de calentamiento: Algunas redes de transporte y distribución de líquidos requieren el calentamiento continuo del fluido para mantener bajos niveles de viscosidad haciendo posible el bombeo. Para mantener estas temperaturas se ubican serpentines con circulación de vapor arrollados a la tubería o red de bombeo, el que se transforma en condensado al ceder su energía y posteriormente ser desalojado del sistema mediante la instalación de trampas (Guallpa, 2016).

2.1.10.2. Según su operación

Mecánicas: Las trampas mecánicas trabajan con el principio de diferencia entre la densidad del vapor y la del condensado. Por ejemplo, un flotador que asciende a medida que el nivel del condensado se incrementa, abriendo una válvula, pero que en presencia del vapor la mantiene cerrada o una trampa de balde invertido que en presencia de vapor asciende por la fuerza ejercida por el vapor cerrando la válvula y abre cuando se encuentra con presencia de condensado (Guallpa, 2016).

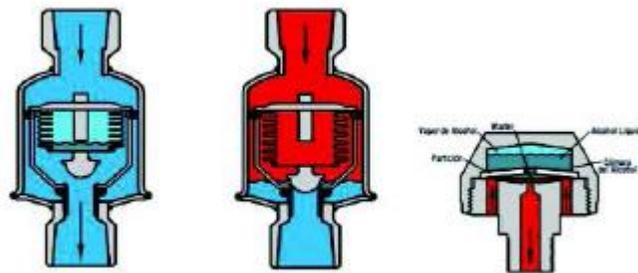
Ilustración 3: Trampa de vapor de balde invertido.



Fuente: (Armstrong, 1998).

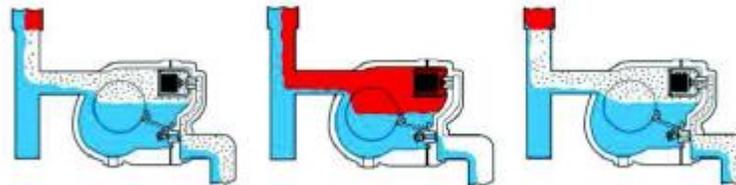
Termostáticas: Las trampas termostáticas operan por la percepción de la temperatura del condensado. Cuando la temperatura cae a un específico valor por debajo de la temperatura del vapor, la trampa termostática abrirá para liberar el condensado, entre ellas se encuentran las bimetálicas que opera por la diferencia de coeficiente de expansión térmica entre varillas que se encuentran unidas, y que empujan un vástago según la temperatura que censan (Gualpa, 2016).

Ilustración 4: Trampa de vapor termostática.



Fuente: (Armstrong, 1998).

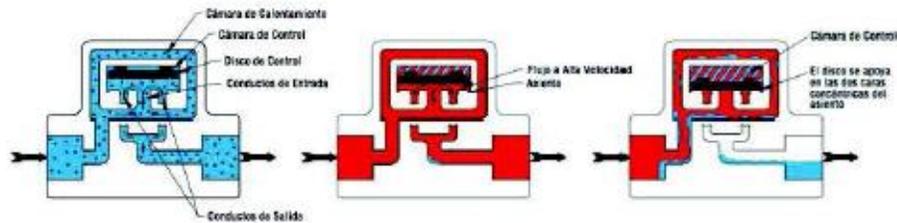
Ilustración 5: Trampa de vapor de flotador y termostato.



Fuente: (Armstrong, 1998).

Termodinámicas: Las trampas Termodinámicas operan con la diferencia entre el flujo del vapor sobre una superficie, comparada con el flujo del condensado sobre la misma superficie. El vapor o el gas fluyendo sobre la superficie crean un área de baja presión. Este fenómeno es empleado para mover la válvula hacia el asiento y así cerrar su paso (Gualpa, 2016).

Ilustración 6: Trampa de vapor de disco controlado.



Fuente: (Armstrong, 1998).

2.1.11. Selección de trampas de vapor

2.1.11.1. Carga de condensado

Este es el aspecto o criterio más importante en la selección de las trampas de vapor de un sistema, ya que las mismas deben seleccionarse en función de la carga de condensado y no del diámetro de la tubería de conexión. Este criterio de selección, además, involucra las distintas aplicaciones de las trampas de vapor, ya que para cada una de estas existe una fórmula diferente de cálculo de la carga de condensado. Existen varias fórmulas para el cálculo de la carga de condensado de acuerdo a la aplicación y al fabricante del equipo. Una de los fabricantes de trampas de vapor que mayormente se aplica en la industria es el fabricante Armstrong; según el mismo la carga de condensado se puede determinar, con su respectiva fórmula, para los siguientes equipos: distribuidores de vapor, líneas de distribución de vapor, líneas tracer, equipos de calefacción, calentadores de aire de proceso, intercambiadores de coraza y tubos, y serpentines sumergidos, serpentines estampados, evaporadores, ollas con camisas de vapor (marmitas), cámaras de vapor cerradas y estacionarias (planchas de prensado), secadoras rotatorias con drenaje por sifón, tanques de revaporizado, y máquinas de absorción (Guallpa, 2016).

2.1.11.2. Factor de seguridad

El factor de seguridad es un criterio vital en la selección de trampas de vapor, es un coeficiente o valor que proporciona un margen suplementario de seguridad sobre el flujo de condensado que puede descargar la trampa de vapor; este es de ayuda cuando el volumen de condensado excede los valores calculados. El factor de

seguridad está influenciado por varios factores de operación del sistema y características de la trampa de vapor; sin embargo, existen algunos rangos de factores de seguridad recomendados, como se muestra en la **Ilustración 7** (Borroto, 2005).

Ilustración 7: Factores de seguridad.

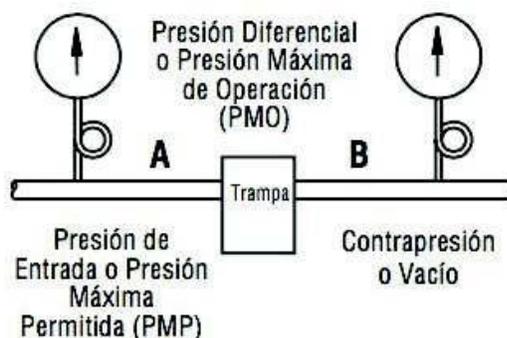
Aplicación	Factor de seguridad
Drenado de líneas	2 a 1
Intercambiadores de calor	2 a 1
Calentadores de agua a vapor	3 a 1
Evaporadores	4 a 1
Cilindros rotativos	8 a 1

Fuente: (Borroto, 2005).

2.1.11.3. Diferencia de presiones

La diferencia de presiones, **Ilustración 8**, es el valor de presión debido a la diferencia existente entre la presión máxima de suministro del vapor al equipo y la presión de descarga o retorno de condensado (Armstrong, 1998).

Ilustración 8: Diferencia de presiones.



Fuente: (Armstrong, 1998).

2.1.11.4. Presión máxima de trabajo

La presión máxima de trabajo es el valor máximo de presión al cual puede trabajar el equipo; ésta por motivos de seguridad, debe ser mayor o igual a la presión del sistema (Armstrong, 1998).

2.1.12. Mecanismos de transferencia de calor

En el estudio de la termodinámica se sabe, que el calor es energía en tránsito que tiene lugar como resultado de las interacciones entre un sistema y sus alrededores, debido a una diferencia de temperatura. La termodinámica clásica trata con sistemas en equilibrio, de modo que puede predecir la cantidad de energía requerida para que un sistema dado, cambie de un estado de equilibrio a otro, pero no puede predecir qué tan rápido tendrá lugar dicho cambio, puesto que este sistema no está en equilibrio durante el proceso. Es en este punto donde la transferencia de calor juega un rol complementario de la termodinámica, dando información acerca de la naturaleza de las interacciones entre el sistema y medio y de la velocidad con la que dichas interacciones se producen. A continuación, se abordan los tres mecanismos básicos de la transferencia de calor, los cuales son: conducción, convección y radiación. Todos los modos de transferencia de calor requieren la existencia de una diferencia de temperatura y todos ellos ocurren del medio que posee la temperatura más elevada hacia uno de temperatura más baja (Borja, 2011).

2.1.12.1. Conducción

Es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de las interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos y gases. En los líquidos y gases la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante el movimiento aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una retícula y al transporte de energía por parte de los electrones libres (Borja, 2011).

2.1.12.2. Convección

Es la transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacentes, que están en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos (Borja, 2011).

2.1.12.3. Radiación

Es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas o fotones, como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas, viajando a la velocidad de la luz y propagándose a un en el vacío (Borja, 2011).

2.1.13. Circuito de vapor

El vapor se genera en una caldera y se transporta hasta el punto de consumo final a través de una red de tuberías. En primer lugar, el vapor generado se transporta por unas tuberías principales de distribución. A partir de estas tuberías, existen otras de menor diámetro que transportan el vapor hasta los equipos individuales de consumo. Al abrir la válvula de la caldera, el vapor se distribuye rápidamente por las tuberías de distribución, las cuales en un primer momento se encuentran frías, por lo que el vapor les transmitirá parte de su energía calorífica. El aire que rodea las tuberías también se encuentra a menor temperatura que el vapor, con lo cual el sistema irradia calor al aire conforme se va calentando (Martínez, 2009).

Esta pérdida de calor a la atmósfera provoca que una parte del vapor condense. El agua formada por condensación se deposita en la parte más baja de la tubería y circula empujada por el flujo de vapor. Cuando una válvula de los equipos individuales se abre, el vapor empieza a fluir por ese sistema, poniéndose de nuevo en contacto con superficies más frías, por lo que, cede parte de su calor y condensa (Martínez, 2009).

De esta forma se establece un flujo continuo de vapor desde la caldera hasta los puntos finales de consumo. Para poder satisfacer esta demanda de vapor es necesario que en la caldera se produzca de forma continua vapor. La generación continua de vapor obliga a inyectar combustible en la caldera y a bombear agua a la misma para compensar la que se evapora (Martínez, 2009).

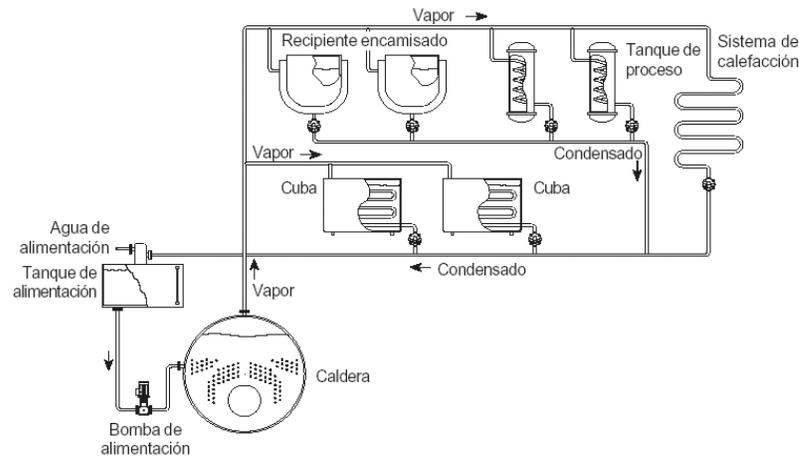
Si se introduce agua caliente en lugar de agua fría a la caldera, la cantidad de calor necesaria para llevarla a ebullición sería menor, con lo que se reduciría el combustible necesario para generar vapor. Por lo que, el condensado que se forma en las tuberías de distribución y en los equipos del proceso se puede reutilizar como agua de alimento de la caldera (Martínez, 2009).

Los componentes principales de un sistema básico de generación y distribución de vapor son:

- Sistema de alimentación y tratamiento de agua para la caldera.

- Quemadores, dispositivos de la caldera donde se lleva a cabo la reacción química del aire con el combustible fósil, para transformarse en calor.
- Caldera, es el lugar donde se transforma el agua en estado de saturación en vapor.
- Sistema de distribución del vapor, está formado por las conducciones que transportan el vapor desde la caldera hasta los puntos de consumo del proceso.
- Sistema de retorno de condensados, sistema de conducciones que permiten retornar el condensado generado en el sistema de distribución y en los equipos del proceso hasta la caldera (Martínez, 2009).

Ilustración 9: Sistema de generación y distribución del vapor.



Fuente: (Martínez, 2009)

2.1.14. Aislantes térmicos

Son materiales o combinaciones de materiales que se usan principalmente para suministrar resistencia al flujo de calor, cabe decir que el aislamiento no elimina la transferencia de calor; simplemente la reduce. La mayor parte de ellos son materiales heterogéneos, los cuales tienen baja conductividad térmica y contienen bolsas de aire. Esto no es sorprendente, ya que el aire tiene una de las conductividades térmicas más bajas y se dispone de él con facilidad. Otro tema importante concerniente a la transferencia de calor son los aislantes térmicos los cuales son fundamentales para el diseño del horno ya que estos representan menos pérdidas de energía (Borja, 2011).

Los aislamientos térmicos. Todos los materiales oponen resistencia, en mayor o menor medida al paso del calor a través de ellos. Algunos muy escasa como los metales, otros una resistencia media como es el caso de los materiales de construcción (yesos, ladrillos, morteros, etc.). Aquellos materiales que ofrecen una resistencia alta se llaman materiales aislantes. Por lo tanto la definición de aislante térmico es aquel material usado en la construcción y caracterizado por su alta resistencia térmica, estableciendo una barrera al paso del calor entre dos medios que naturalmente tenderían a igualarse en temperatura. Por esta razón se utilizan como aislamiento térmico materiales porosos o fibrosos como las lanas minerales (lana de roca o de vidrio), poliestireno expandido, poliestireno extruido, espuma de poliuretano, corcho. (Borja, 2011).

2.1.14.1. Lana de roca

Los paneles de lana de roca están compuestos en un 98 % de roca de origen volcánico (basalto) y un 2% de ligante orgánico. Se obtiene fundiendo la roca a altas temperaturas, sometiéndole a movimiento para fibrarla y aplicando aglomerantes y aceites impermeables del que se obtiene un colchón que es comprimido y dimensionado, transformándolos en paneles, fieltros, mantas. Los productos de lana de roca no retienen el agua, poseen una estructura no capilar, además de ofrecer una fuerte permeabilidad al vapor de agua y además, gracias a su disposición multidireccional, aporta a los elementos constructivos una notable capacidad de aumentar el nivel de aislamiento acústico.

Ventajas:

- Facilidad y rapidez de instalación.
- Seguridad en caso de incendio (es ignífugo).
- Químicamente inerte.
- No hidrófilo ni higroscópico.
- Respetuoso con el medio ambiente (Grupo-Unamacor, 2017).

2.1.14.2. Lana de vidrio

Es un producto de origen natural, mineral, inorgánico, compuesto por un entrelazado de filamentos de vidrio aglutinados mediante una resina ignífuga. Los paneles de lana de vidrio están compuestos principalmente por arena de sílice y carbonato de calcio y de magnesio que le confiere resistencia a la humedad. Se obtiene por un proceso similar a la lana de roca (altas temperaturas, movimiento para fibrarla y aceites y resinas para estabilizarla) (Grupo-Unamacor, 2017).

Los productos de lana de vidrio no retienen el agua, poseen una estructura de fibras cruzadas desordenadamente y gracias a la porosidad abierta, la lana mineral de vidrio permite que el aire quede ocluido en el interior de sus poros, ofreciendo una escasa conductividad, con la consiguiente capacidad como aislamiento térmico y acústico. Aportando además una total garantía de seguridad frente al fuego. Se suministra en forma de mantas y paneles, con diferentes recubrimientos o sin ellos, lo que permite todo tipo de usos específicos en edificación residencial e industrial (Grupo-Unamacor, 2017).

2.1.15. Aislamiento térmico de tuberías

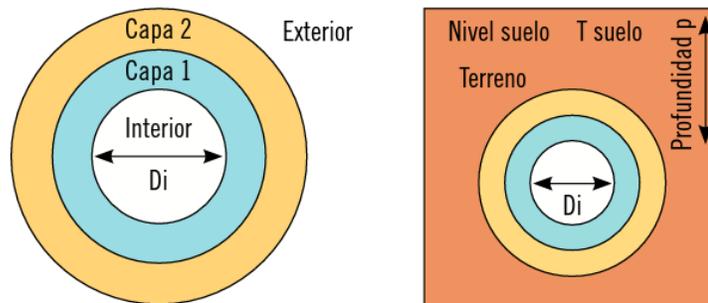
En la red de tuberías y conducciones es donde se producen las mayores pérdidas térmicas del sistema, hasta el punto de que una red de tuberías mal aislada puede llegar a reducir en un 70% la cantidad de calor que llega a un emisor o radiador procedente de la caldera. En las tuberías los mecanismos de transmisión de calor que se dan, y que por tanto son los causantes de las pérdidas térmicas son:

Pérdidas de calor por conducción: el calor se pierde por estar en contacto con una superficie más fría, es el caso de las tuberías que discurren enterradas o empotradas.

Pérdidas de calor por convección: el calor se pierde por el contacto de la tubería con una masa de fluido a distinta temperatura, es el caso de tuberías exteriores en contacto con el aire.

Pérdidas de calor por radiación: el calor se pierde por emisión de calor radiante sin la necesidad de existir una superficie conductora (Entrena, 2014).

Ilustración 10: Representación de la sección transversal de dos tuberías, una al aire y otra enterrada, ambas con dos capas de aislamiento.



Fuente: (Entrena, 2014)

En edificios, el aislamiento de tuberías, además de limitar las pérdidas térmicas, protege a las personas de quemaduras contra contactos directos de forma involuntaria. Otra manera de proteger contra lesiones producidas por quemaduras es limitar la temperatura máxima de los conductos desnudos (que carecen de aislante). El Código Técnico de la Edificación y el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) (*Agencia estatal boletín oficial del estado, 2007*) establecen que aquellas tuberías que transporte fluido caliente sin aislamiento no podrán superar en ningún caso los 60 °C de temperatura.

Debido al buen comportamiento térmico y su ligereza, los aislantes para tuberías suelen fabricarse de fibra de vidrio aglutinadas con resina o formando una lana. El aislante puede llevar recubrimiento, según si es para montaje externo o interno. Los aislamientos para tuberías funcionan en temperaturas comprendidas entre -18 °C y 400 °C, dependiendo del tipo y el espesor del mismo. Además de la baja conductividad térmica que presenta la fibra de vidrio, presenta unas buenas características de absorción de vibraciones producidas por el funcionamiento de la instalación. Otras características que presenta la lana de vidrio son:

- Incombustible: la naturaleza de este material, lo hace resistente al fuego y evita su propagación.
- Higiénico: la lana de vidrio no crea hongos ni bacterias y alarga la vida útil de la tubería.
- Ligero: es el material aislante más ligero.
- Evita la corrosión: la fibra de vidrio no se corroe, lo que permite alargar la vida útil de la tubería que protege.
- Flexible: se adapta con facilidad a cualquier geometría que presente la instalación.

- Bajo mantenimiento: la fibra de vidrio se caracteriza por su larga vida útil, lo que hace que prácticamente no se necesite mantenimiento (Entrena, 2014).

2.1.16. Control químico en aguas del ciclo agua-vapor

Caldera y ciclo agua-vapor se ven afectadas enormemente por las condiciones químicas del agua y del vapor. Los mayores problemas en el rendimiento del circuito agua/vapor de las centrales están relacionados con la acumulación de depósitos porosos en la zona de agua de los tubos de caldera. La mitad de los depósitos provienen del arrastre de los productos de corrosión generados en los sistemas previos a la caldera, y la otra mitad proviene de la corrosión de los propios tubos de la caldera (García, 2012).

Como se ha mencionado anteriormente, la corrosión y las incrustaciones son los efectos más perjudiciales de un control químico inadecuado, y tienen su efecto negativo en la producción de roturas, pérdidas de rendimiento, pérdidas de material, degradación acelerada de elementos y desequilibrios en equipos rotativos. Se puede definir la corrosión como la reacción química o electroquímica que se produce entre un metal y el medio, que provoca su degradación y la pérdida de sus propiedades. Esta corrosión se produce por el oxígeno disuelto en el agua, por el dióxido de carbono o por ácidos (García, 2012).

El ataque químico comienza en la superficie y se propaga hacia el interior. Diferentes zonas de la superficie metálica actúan como ánodo y cátodo. Los iones metálicos por difusión a través de la matriz metálica se oxidan en la zona anódica y los electrones, difundidos de igual modo, reaccionan en el oxígeno disuelto en la zona catódica. El resultado de la corrosión es la pérdida de espesor y de cualidades mecánicas así como el desprendimiento de material que puede acumularse en ciertos puntos de la instalación (García, 2012).

En caldera y ciclo agua-vapor, las partes más afectadas de la instalación serán las partes “frías”, es decir, circuito de alimentación y economizadores, ya que en las partes calientes se forma de manera natural una capa superficial de óxido de hierro denominado magnetita, que impide que la oxidación progrese al interior del metal, formando así una capa protectora. Sin embargo, estas partes calientes si se verán afectadas por los desprendimientos de las partes frías. Las incrustaciones se deben fundamentalmente a las sales de calcio y magnesio que al calentarse se concentran y precipitan dando lugar a depósitos que forman una capa aislante que dificulta el intercambio de calor. Los efectos directamente ocasionados son:

- La reducción del coeficiente de transmisión de calor.
- La reducción de la sección libre de paso de fluido.
- La rotura de tubos por sobrecalentamiento, al ser el intercambio de calor menor.

Las incrustaciones o depósitos también pueden afectar a partes en movimiento, principalmente a válvulas y álabes de turbina de vapor. En este caso, no sólo se producen incrustaciones por sales cálcicas y magnésicas, sino también por deposición de sílice. Esto provoca falta de estanqueidad en válvulas, degradación acelerada de álabes y desequilibrios en el rotor de la turbina de vapor (García, 2012).

Ilustración 11: Contaminantes del agua en el ciclo agua vapor y sus efectos en distintas partes de la instalación.

Contaminante	Origen	Efecto
Cloruro de sodio	Fuga en el circuito de refrigeración principal hacia el vapor	Corrosión
Oxígeno	Fuga de vacío en condensador Mal funcionamiento del desgasificador Dosificación inadecuada de secuestrante de O ₂	Corrosión
Sulfato y carbonato de calcio y magnesio	Fuga en el circuito de refrigeración principal hacia el vapor	Incrustaciones
Sílice	Funcionamiento incorrecto de la planta de desmineralización del agua de aporte Régimen de purgas inadecuado	Incrustaciones en los álabes de la turbina de vapor Erosión en álabes
Fluoruros	Soldaduras en trabajos de mantenimiento	Corrosión
Aceite	Cojinetes de turbina de vapor	Ensuciamiento de elementos de transferencia de calor
Ácidos orgánicos	Agua de aporte. Mal funcionamiento de la planta desmineralizadora	Corrosión

Fuente: (García, 2012).

2.1.17. Parámetros químicos del ciclo agua - vapor

Para conseguir un correcto control químico de la caldera se debe vigilar básicamente tres parámetros: Oxígeno disuelto – pH - Sales y conductividad. Estos tres parámetros se

miden generalmente en continuo con la instrumentación propia de la caldera. Pero además de ellos, hay que conocer las concentraciones de los productos dosificados (que veremos en el apartado siguiente), sílice, cloro, y metales, como sodio, hierro o cobre. Como ejemplo, podemos ver en las ilustraciones siguientes, el conjunto de análisis químicos que se realizan en una caldera de recuperación. Se indica la periodicidad, el rango admisible, la unidad de medida y el parámetro que se mide. Estos cuadros son tan sólo un ejemplo. Dependiendo del tipo de tratamiento químico escogido, cada tipo de caldera necesitará unos parámetros y unos rangos distintos a analizar y controlar (García, 2012).

Ilustración 12: Rangos admisibles para los distintos parámetros en el vapor.

VAPOR			
Parámetro	Unidad	Rango	Periodicidad
Conductividad catiónica	mS/cm	<0.2	Continuo
Conductividad	mS/cm	3-11	Diario
pH	Unid. pH	9.0-9.6	Diario
Fe	mg/kg	<20	Diario
Cu	mg/kg	3	Diario
SiO ₂	mg/kg	<20	Continuo

Fuente: (García, 2012).

Ilustración 13: Rangos admisibles para los distintos parámetros en el agua de calderín.

AGUA DEL CALDERÍN			
Parámetro	Unidad	Rango	Periodicidad
Conductividad	mS/cm	<40	Continuo
pH	Unid. pH	9.1-9.6	Continuo
Fosfato (PO ₄)		>0-2 Alta presión 2-6 Media y baja presión	Diario
SiO ₂	mg/kg	<0.9	Diario
SiO ₂	mg/kg	<20	Continuo

Fuente: (García, 2012).

Ilustración 14: Rangos admisibles para los distintos parámetros en el agua de alimentación y en el agua de condensación.

CONDENSACIÓN Y AGUA DE ALIMENTACIÓN			
Parámetro	Unidad	Rango	Periodicidad
Conductividad catiónica	mS/cm	<0.2	Continuo
Conductividad	mS/cm	3-11	Continuo
pH	Unid. pH	9.0-9.6	Diario
Fe	mg/kg	<20	Diario
Cu	mg/kg	3	Diario
SiO ₂	mg/kg	<20	Diario
O ₂ disuelto	mg/kg	<10	Continuo

Fuente: (García, 2012).

Visto todo lo anterior, se pueden definir los siguientes objetivos en el tratamiento químico del ciclo agua vapor:

- Controlar la cantidad de oxígeno disuelto.
- Controlar el pH de la fase líquida y la fase gaseosa.
- Controlar las concentraciones de sales en la fase vapor.

2.1.17.1. Control del oxígeno disuelto

El control del oxígeno disuelto se realiza con compuestos que secuestran las moléculas de O₂. Tradicionalmente, el compuesto empleado ha sido la hidracina (N₂H₄), que con el O₂ disuelto en agua provoca la siguiente reacción: $N_2H_4 + O_2 \rightarrow N_2 + NH_3 + H_2O$.

El interés de este compuesto reside en el hecho de que los productos de la reacción son inocuos para la caldera, ya que no producen sales ni productos corrosivos. El problema con la hidracina es que se trata de una sustancia sospechosa de provocar cáncer, lo que hace que esté en progresivo desuso, sustituyéndose por otros productos de reciente aparición en el mercado. Aun así, la hidracina sigue siendo ampliamente utilizada.

La velocidad de reacción entre la hidracina y el oxígeno está en función de la temperatura del agua. A temperaturas inferiores a 80°C la velocidad de reacción es lenta. Sin embargo, la sola presencia de hidracina es suficiente para inhibir la acción corrosiva del oxígeno. Al mismo tiempo, debido a su coeficiente de reparto, existe siempre una parte

de hidracina que pasa a la fase vapor, protegiendo también esa zona del circuito. La hidracina contenida en el vapor se condensa antes que éste y aplicando la dosis adecuada, queda también protegida la zona de condensado contra eventuales corrosiones. A temperaturas superiores a 270 °C la hidrazina se descompone en amoníaco (NH₃), lo que contribuye a su vez a la alcalinización del ciclo agua – vapor y condensado.

Las recientes investigaciones de organismos tan prestigiosos como el EPRI (Electric Power Research Institute) apuntan a que el efecto del O₂ disuelto no supone ningún problema, sino más bien una ayuda para favorecer la información de la capa protectora de magnetita. Incluso algunas plantas han introducido sistemas para aumentar la cantidad de O₂ disuelto (García, 2012).

2.1.17.2. Control del PH

En función del material con el que estén contruidos los calentadores del agua de alimentación, el pH debe mantenerse entre 8.8 – 9.2 cuando hay presencia de cobre, y mayor de 9.2 cuando no hay tal presencia. Un pH mayor podría provocar corrosión caustica mientras que un pH menor provocaría corrosión en metales y juntas de estanqueidad.

Para el control del pH en la fase líquida se utilizan diversos fosfatos. El objetivo inicial del empleo de tratamientos a base de fosfatos era la prevención de la formación, en la superficie de transferencia de calor, de incrustaciones duras (carbonatos de calcio y magnesio), debidas a la dureza residual del agua ya que los fosfatos proporcionan un buen amortiguamiento a las mismas, mediante la formación de lodos no adherentes. Posteriormente, con el uso de aguas de alimentación de mayor pureza, estos fosfatos son utilizados principalmente por su capacidad de actuar como tampón de pH, eliminando los pequeños desequilibrios químicos provocados por entradas de agua del condensador o por descomposición de especies químicas.

Se han definido tres formas de control para este tipo de tratamiento con fosfatos, denominadas secuencialmente en el tiempo:

- Control de precisión.
- Control coordinado.

- Control congruente.

Se diferencian en la concentración de fosfato a mantener y en la relación molar Na/PO₄. El objetivo del tratamiento es minimizar la formación de NaOH, producida por la precipitación de fosfato, evitando el ataque caustico. Los límites más adecuados de fosfato a mantener son entre 2 y 4 ppm.

El inconveniente de los tratamientos basados en el empleo de fosfatos es el secuestro/retorno de los mismos y la formación de depósitos asociada. El fenómeno del secuestro se atribuye a la precipitación de sales de sulfato de Ca y Mg debido a solubilidad con la temperatura.

En cuanto al control del pH en la fase vapor, éste se realiza con amoníaco (NH₃) y sus derivados, aminas. Los fosfatos que se emplean en la fase líquida no regulan el pH en la fase vapor porque no son volátiles. Las aminas y el amoníaco sí lo son, y tienen el efecto taponador deseado (García, 2012).

2.1.17.3. Control del contenido en sales

El contenido en sales en el vapor no se controla con un tratamiento químico propiamente dicho, sino con un adecuado régimen de purgas. El contenido en sales se controla de forma indirecta a través de la medida de la conductividad. Si introducimos a través del agua de aportación (también llamada agua de make up) una concentración determinada en sales, y asumimos que el vapor contiene una concentración mucho menor de ellas (se vaporiza el agua, y en mucha menor medida, los iones que forman las sales), la fase líquida que queda en los calderines está mucho más concentrada en sales que la de aporte. Si queremos controlar la cantidad de sales disueltas que pasa a la fase vapor debemos diseñar un régimen de purgas adecuado. En general, se dispone de purgas continuas (que están drenando agua de los calderines continuamente) y de purgas intermitentes (se abren en determinados momentos, bien con una periodicidad fija o bien cuando la conductividad alcanza un valor determinado) (García, 2012).

2.1.18. Desaireadores

Para prevenir la corrosión severa y el pitting (picadura) de las líneas de alimentación de las líneas de alimentación de calderas y tubos de vapor de los mismos, es necesario retirar el oxígeno disuelto en el agua de alimentación de caldera, lo que puede hacerse usando un tratamiento químico. En muchas instalaciones, sin embargo, no es práctico ni económico usar solamente tratamiento químico. En estas circunstancias, es necesario

retirar la mayor parte del oxígeno disuelto por medios mecánicos usando calentadores del agua de alimentación o desaireadores seguidos de una pequeña cantidad de tratamiento para quitar las últimas trazas de gases corrosivos.

Siempre que un sistema de caldera de vapor está abierto a la atmósfera a través de unos recipientes de condensación ventilados, depósitos de agua de alimentación, etcétera, el aire absorbido producirá altas cantidades de oxígeno disuelto. Esto se incrementa en proporción directa a la cantidad de agua de reposición usada, ya que el agua fría bruta de alimentación, alta en contenido de oxígeno disuelto, no solamente incrementará el contenido de oxígeno disuelto, sino también disminuirá la temperatura del agua de alimentación del tanque de condensado de retorno, posibilitando que más oxígeno atmosférico se disuelva en el agua de alimentación. Esto sucede ya que la solubilidad del oxígeno en agua es inversamente proporcional a la temperatura.

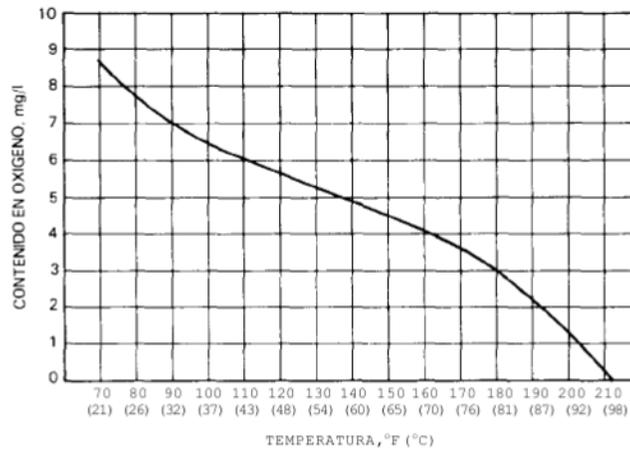
La temperatura de agua de alimentación de las calderas de calefacción a baja presión, trabajando teóricamente con todo el retorno condensado, permanecerá próxima a los 180 a 200°F (82 a 93°C) ya que no se usa en absoluto o se usa poca cantidad de agua de aportación fría. En sistemas como estos no se precisa desaireador ni calentador de agua de alimentación. Esto es porque el diseño normalmente evita usar precalentadores o desaireadores en calderas de calefacción de baja presión. Sin embargo, si la caldera de baja presión de calefacción fuera a operar con vapor perdido como en humidificación de aire en unidades de aire acondicionado o planchas o mesa de vapor o cocederos en una cafetería o restaurante, el agua fría de aportación reemplazaría esa pérdida con un incremento del contenido de oxígeno disuelto.

En estos casos, es esencial que un precalentador mecánico o desaireador se use para quitar el oxígeno disuelto del agua de alimentación. Sin él, el costo del tratamiento químico para quitar el oxígeno sería excesivo. El más simple desaireador mecánico es el precalentador o calentador abierto de agua de alimentación. Este consiste en una batería cerrada o serpentín colocado en el tanque de condensación ventilado.

Los serpentines o baterías se controlan termostáticamente para mantener la temperatura del agua de alimentación a 180- 200°F (80-95°C) o la temperatura más alta posible sin causar dificultades a la bomba de alimentación de caldera (dificultades tales como cavitación o golpe de ariete). El desaireador es un artilugio más complejo que usa vapor de inyección para lavar el agua de reposición y condensado de todos los gases corrosivos disueltos, oxígeno y dióxido de carbono. En el desaireador el agua se rocía sobre un lecho inerte de fibra de vidrio o relleno plástico o se pasa a través de bailes o persianas

para romper o estirar el agua y suministrar una mezcla última del agua de alimentación con el vapor entrante (Grimm, 1996).

Ilustración 15: Solubilidad del oxígeno del aire a la presión atmosférica.



Fuente: (Grimm, 1996)

El vapor se inyecta a contraflujo del agua entrante que lleva los gases oxígeno y dióxido de carbono hacia la ventilación. La ventilación expulsa sólo los gases no condensables y reduce la pérdida de vapor a un mínimo.

Algunos desaireadores pueden producir un agua de alimentación con un contenido de oxígeno disuelto tan bajo como 0.005 cm³/ litro. Para proteger completamente el equipo, la última traza de oxígeno debe ser arrastrada utilizando un eliminado químico del oxígeno, también incluido con los desaireadores por calentamiento de forma que puedan suministrar una calidad del agua de alimentación de 0.03 cm³/litro de oxígeno disuelto lo que es lo más adecuado para sistemas de calderas de equipos de calefacción, refrigeración y aire acondicionado.

Estos grupos compactos incluyen una unidad completa con calentador desaireador, controles, bombas de alimentación de caldera y controles de nivel. El calentador desaireador consta de tanques de almacenamiento para el condensado y agua de aportación y la sección desaireadora. El agua de alimentación se bombea desde la sección de almacenamiento a través de un manguito-spray a la parte superior de la sección desaireadora.

El vapor se inyecta por medio de una rociadora en la parte inferior de la sección desaireadora y burbujas sobre el agua de alimentación. El vapor conduce el oxígeno y CO₂ al exterior a través de la ventilación. Es importante usar el equipo disponible para

arrastrar los gases corrosivos disueltos del agua de alimentación de caldera para ambas calderas de baja y alta presión cuando se une una parte del vapor producido para cualquier propósito y que por ello se requiera algún porcentaje de agua de aportación nueva. (Grimm, 1996).

2.1.19. Recuperación de condensados

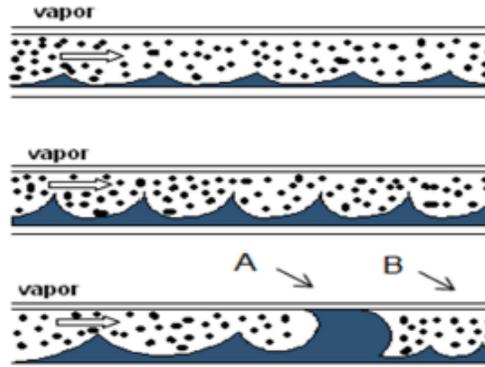
2.1.19.1. Formación de condensados

El condensado es el subproducto de la transferencia de calor en un sistema de vapor. Este se forma en los sistemas de distribución por causas de pérdidas energéticas por radiación y conducción, también en sistemas de calentamiento y equipos de proceso como resultado de la transferencia de calor desde el vapor a la sustancia o material que se va a calentar; como por ejemplo se forma condensado a partir del vapor utilizado en turbinas, deshollinadores, precalentadores de aire e intercambiadores de calor que va cediendo parte de su energía. El condensado que se forma en los sistemas de vapor debe ser removido inmediatamente y usado en la alimentación de las calderas ya que este conserva el 25% de la energía que proporciona la caldera en la producción de vapor y es un subproducto de alto valor al tratarse de agua pura (Armstrong International, 2018)

2.1.19.2. Efectos del condensado en los sistemas de vapor

La presencia de condensado en un sistema de vapor trae consecuencias desfavorables. En el caso de las líneas de distribución, el condensado se acumula en el fondo de ellas y puede ser causante de golpes de ariete. En la figura que se muestra a continuación, el vapor a altas velocidades, transporta el condensado a lo largo de la tubería formando una peligrosa onda que va creciendo hasta bloquear el flujo de vapor A. El condensado en el área B causa un diferencial de presión que permite que el vapor empuje esta masa de condensado a lo largo de la tubería como un ariete, cualquier cambio de dirección del flujo como reducciones, válvulas, té, codos o ciegos pueden ser afectados gravemente al recibir el impacto de este volumen de agua, al mismo tiempo la circulación de líquido a alta velocidad genera problemas de erosión en las tuberías.

Ilustración 16: Formación de ondas de condensado por causa del flujo de vapor.

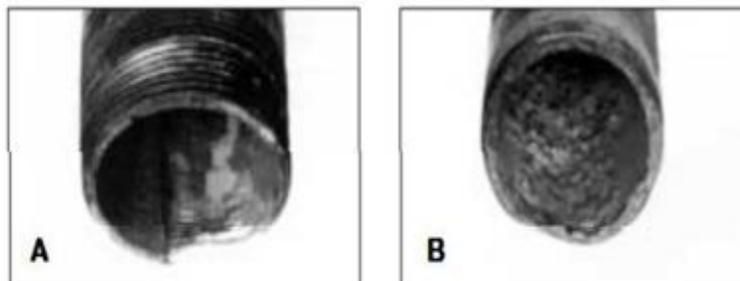


Fuente: (Armstrong, 1998)

Cuando el vapor entra en contacto con el condensado que se encuentra por debajo de la temperatura del vapor, puede producir otro tipo de golpe de ariete denominado “choque térmico”, como el vapor ocupa un mayor volumen que el condensado, las burbujas de vapor generan implosiones dentro de la fase líquida, produciendo peligrosas ondas de choque que pueden producir severos daños al sistema de tubería y accesorios.

Otros efectos negativos del condensado en sistemas de vapor son la corrosión que se produce por la presencia de gases no condensables, como el CO_2 que cuando se combina con condensado que se encuentra a una temperatura más baja que el vapor forma ácido carbónico, que corroe las tuberías y unidades de transferencia de calor y O_2 , que acelera la oxidación del sistema, causando picaduras en las tuberías (Armstrong, 1998).

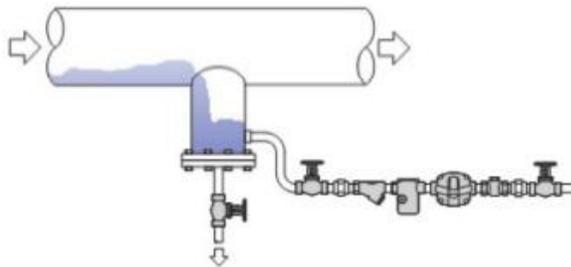
Ilustración 17: Daño en tuberías por la presencia de gases no condensables.



Fuente: (Armstrong, 1998).

Precisamente para remover el condensado formado de la circulación de vapor saturado; especialmente en los cambios de sección y curvaturas de la tubería, una de las soluciones necesarias es instalar piernas colectoras (Armstrong, 1998).

Ilustración 18: Pierna colectora.



Fuente: (Sarco, spiraxsarco, 2017)

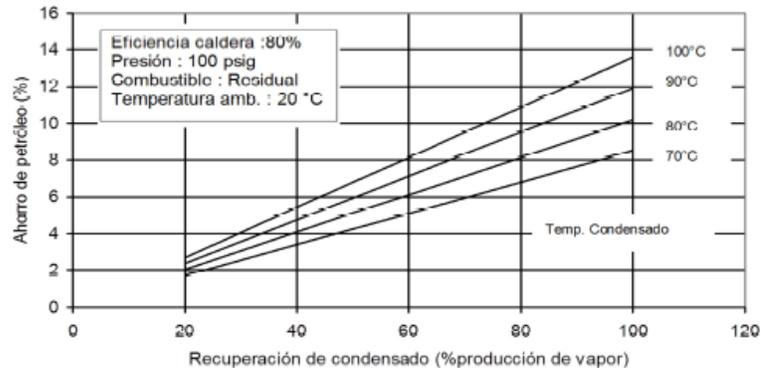
2.1.19.3. Importancia energética del retorno de condensado

La recuperación de condensados implica un ahorro de combustible en la caldera y menores costos de generación de vapor por las siguientes razones:

- El condensado normalmente retorna a una temperatura de 70 a 90 °C, lo cual significa que contiene una cantidad de calor que si no es aprovechada, tienen 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 alimentación tiene que ser tratada, lo cual implica mayores gastos operativos por el tratamiento y el costo del agua misma.
- El agua de alimentación que reemplaza a 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.) (Armstrong, 1998).

En el Gráfico a continuación se muestra cómo son los ahorros de combustible por la recuperación de condensado.

Ilustración 19: Ahorros de combustible por la recuperación de condensados.



Fuente: (CDG – PAE/MEM, 1999)

2.1.20. Sistemas de recuperación de condensados

2.1.20.1. Sistema abierto

El sistema abierto posee un sistema de tuberías de conducción las que llevan el condensado desde las trampas de vapor hacia el tanque flash y/o desagüe, el tanque descarga el vapor flash a la atmósfera que ocasiona una pérdida de energía. Se emplea en sistemas en el que el condensado es frío (71.11°C - 82.22°C) (Navas, 2005).

2.1.20.2. Sistema cerrado

Se diferencia del anterior en que posee un tanque flash cerrado; de esta manera no existe pérdida de energía por venteo. Este sistema es mucho más eficiente que el abierto y es empleado en aquellos equipos que posean un flujo de condensado de gran presión (alta temperatura 100°C). En estos sistemas se obtiene vapor flash de expansión que puede ser utilizado en sistemas que empleen vapor de baja presión (Navas, 2005).

3. DISEÑO DE SISTEMA DE RETORNO DE CONDENSADOS

3.1. Proceso de generación de vapor en Holasa S.A.

El agua utilizada para la generación de vapor en Holasa se obtiene por medio de la tubería del prestador de servicios públicos local que en este caso es EPM, el flujo suministrado se redirige a las unidades suavizadoras las cuales se encargan de captar parte de los sólidos disueltos en éste, para luego pasar al tanque de alimentación de las calderas en el cual se le realizan algunas adiciones y se realiza un precalentamiento al agua para evitar choques térmicos al interior de las calderas.

Luego de ingresar a las calderas y cada cierto tiempo se le adicionan unos reactivos que se encargan de retirar el oxígeno disuelto en el agua, los iones de calcio y magnesio presentes, acondicionar el PH, retirar los residuos de sílice y además servir de inhibidores a la corrosión tanto para las calderas como para la tubería de vapor.

Mediante un estudio realizado por la empresa Azimut consultores para la implementación de piezas helicoidales; que permiten aumentar la turbulencia de los humos, incrementando así la transferencia de calor; llamadas “turbuladores” en Holasa, se obtuvo que el flujo promedio de vapor demandado en la planta de producción durante el año 2017 fue de 1886,5 Kg/h el cual equivale al 34,2 % de la carga total de diseño de ambas calderas las cuales según el estudio estuvieron trabajando con una eficiencia aproximada del 82%.

Luego de cumplir su función de intercambio de calor en los diferentes procesos dentro de la planta de producción, el vapor pierde temperatura lo cual genera gran cantidad de condensados dentro de la tubería, de los cuales una parte es dirigida al tanque de aguas calientes y el resto está siendo evacuado a la planta de tratamiento de aguas residuales.

3.2. Equipos que intervienen en la generación de vapor

3.2.1. Unidades suavizadoras

Estas unidades se encargan como su nombre lo indica de suavizar el agua de alimentación proveniente de la empresa prestadora de servicios públicos de la ciudad

(EPM), cuyo funcionamiento se basa en la utilización de una resina por la cual se hace pasar el agua y ésta se encarga de capturar iones de calcio y de magnesio. Estos minerales son demasiado perjudiciales para la estructura interna de las calderas debido a que propician la oxidación y la formación de costras en la tubería que a largo plazo obstruyen estas. En la **ilustración 20** se muestran las unidades presentes en Holasa.

Ilustración 20: Unidades Suavizadoras.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1: Ficha técnica unidades suavizadoras.

DATOS DEL EQUIPO	
Unidad suavizadora	
Cantidad	2
Plano general	Siderúrgica S.A D-4780
Resina	Lewasitt S-100
Cantidad Resina	7 ft3/Und.
Presión de trabajo	60 P.S.I
Bomba de la Salmuera (Agua Saturada con Sal)	
Marca	Worthington
Modelo	3/4 CN 4
Serie	237
Motor	M-141
Tanque de preparación de salmuera	
Capacidad	500 Litros
Plano general	Siderúrgica 4934
Regeneración	35 Kg de sal (NaCl)
Material de relleno capa 1	Grava tamaño entre 1/2 y 3/4", color café amarillento con partículas blancas
Material de relleno capa 2	Grava tamaños: 3/8", N4 (4.75mm), N10 (2.0 mm) Y N40 (0.42 mm), color café amarillento con partículas blancas

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Tanque Alimentación de las calderas

Este tanque tiene la función de precalentar el agua de alimentación de las calderas proveniente de las unidades suavizadoras, además de permitir realizar las adiciones necesarias para eliminar tanto la resina remanente de las unidades suavizadoras como también el oxígeno, previniendo la corrosión en la caldera y en las tuberías de vapor.

Capacidad del tanque: 1400 Litros

Ilustración 21: Tanque de alimentación calderas.



Fuente: Elaboración propia.

3.2.3. Cuarto de Calderas

Actualmente la empresa tiene dos calderas con las cuales se satisface la demanda de vapor que necesita la planta de producción. Ambas calderas funcionan por separado y solo se pone en funcionamiento una a la vez. En la **Tabla 2** se muestra la ficha técnica de cada una.

Tabla 2: Ficha técnica calderas.

HOLASA Hojalata y laminados S.A.	FICHA TECNICA	
	CALDERA 1	CALDERA 2
DATOS DEL EQUIPO		
Marca	Power Master	Power Master
Tipo	Pirotubular	Pirotubular
Modelo	3-3WBS	3 WBS
N° de pasos	3	3
Potencia	300BHP (10,350 lb/h Vapor saturado@212°F)	300BHP (10,350 lb/h Vapor saturado@212°F)
Presión de diseño	150 psi	150 psi
Presión máxima de trabajo	142 psi	142 psi
Presión normal de trabajo	125 psi	125 psi
Flujo de vapor saturado a 212 °F, 1 atm. y agua de alimentación a 212 °F	10.350 lb/h	10.350 lbs/h
Año de fabricación	1962	1980
N° serie	PM 6930901 (A-316)	PM10-8001-3-300-3 (A-1628)
Quemador	Voriflow 3H	Voriflow 3LHG
Superficie de calefacción	1500 ft ²	1582 ft ²
Tipo de combustible	Fuel No. 6, ACPM	Crudo de castilla, Fuel No. 6, ACPM y Gas Natural
Consumo combustible (Fuel Oil No6)	81.0 galones/h	81.2 galones/h
CONDICIONES DE TRABAJO DEL QUEMADOR		
Presión de atomización	15 PSI	15 psi
Presión combustible	30 – 35 psi	30 – 35 psi
Potencia	6 kW	6 kW
Voltaje	440 v Trifásico	440 v Trifásico
TUBERÍA DE CALEFACCIÓN		
Especificación	Seamless boiler pipe, cold draw, OD 3" Wall thickness 0.120", 4.3 meters long, ASTM-192, JIS G3461, STB35	
N° de tubos	136	
Diámetro interior tubos	3"	
EMPAQUES		
Tapas delanteras	9m empaque de asbesto cuadrado de 1"	
Tapas traseras	6m cordón de asbesto de 3/8"	

Fuente: Elaboración propia.

Estas calderas para su buen funcionamiento y alargamiento de la vida útil, requieren de unas características especiales del agua de alimentación, la cual se trata con los reactivos mostrados en la **Tabla 3**.

Tabla 3: Reactivos adicionados al agua de la caldera.

Producto	Nombre comercial	Función
Secuestrante de oxígeno	EXRO 829	Este producto reacciona con el oxígeno disuelto en el agua de alimentación para evitar la corrosión ocasionada por la presencia de este compuesto al interior de la caldera. Se presenta una reacción de reducción.
Acondicionador de dureza, pH y sílice	EXRO 849	Este producto, basado en polifosfatos orgánicos, reacciona con los iones de calcio y magnesio presentes en el agua de alimentación, dejándolos solubles y fácilmente eliminables en la purga de superficie. Adicionalmente, reacciona con la sílice, produciendo hidróxidos sedimentables que son retirados por la purga de fondo
Inhibidor de corrosión para condensados	EXRO 859	Este producto, a base de aminas, neutraliza el ácido carbónico formado en la reacción de los condensados con el dióxido de carbono disuelto en el agua

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 22: Cuarto de calderas.



Fuente: Elaboración propia.

3.3. Equipos alimentados mediante la tubería principal de vapor

3.3.1. Tanque de Limpieza (Soda Caustica)

En este tanque se dispone de un intercambiador de calor cerrado, el cual por medio de vapor le entrega poder calorífico a la solución de soda caustica, elevando su temperatura hasta los 80°C. Dicho calentamiento genera una cantidad de condensados de los cuales una parte se distribuye para el tanque de aguas calientes y otra parte se dispone para las aguas residuales de la empresa.

Función en el proceso de producción: Con el fin de retirar el aceite orgánico que protege la lámina de la humedad del aire durante el transporte y almacenamiento, la lámina se somete a una limpieza con una solución alcalina caliente (soda cáustica, agente secuestrante y humectante activador de superficie) y en esta misma solución la lámina se pasa por entre dos placas de polaridad diferente, lo cual genera un sistema electrolítico de limpieza hecho por la lámina y la placa, generando hidrógeno (H₂) y oxígeno (O₂). El sistema se complementa con un enjuague.

Ilustración 23. Tanque Soda Caustica



Fuente: Elaboración propia

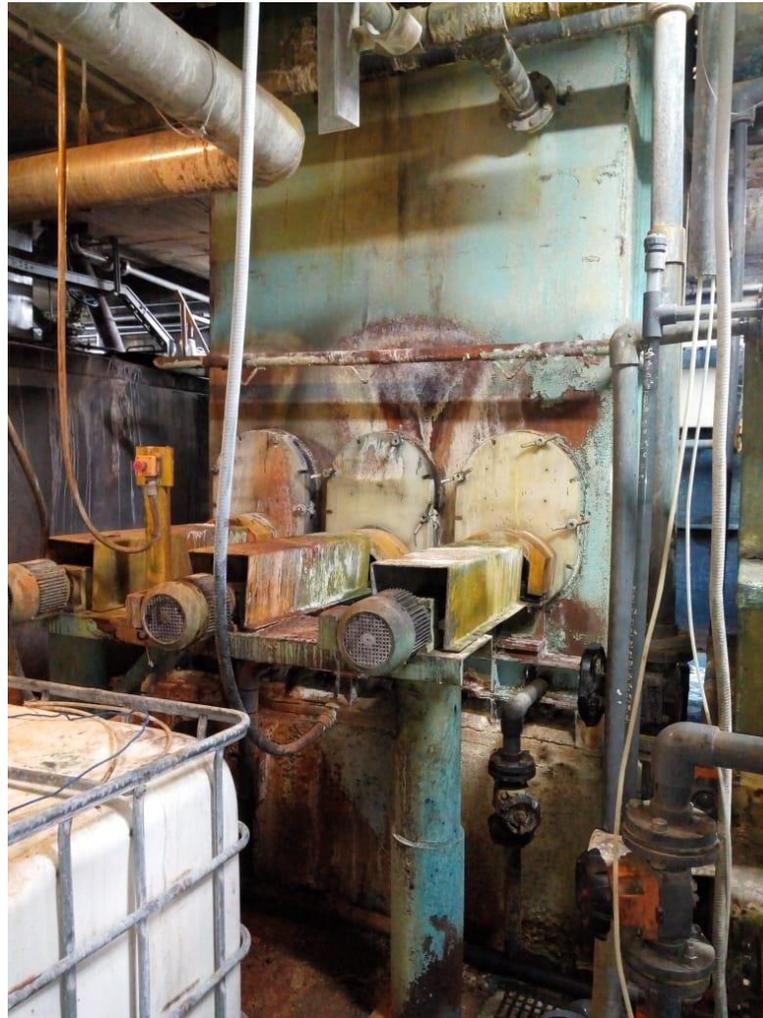
3.3.2. Tanque de Decapado (Ácido Sulfúrico)

Para realizar el calentamiento de esta solución de ácido sulfúrico diluido en agua se le inyecta vapor directo debido a que no es viable instalar intercambiadores de calor sumergidos en el tanque por varias razones entre las cuales se encuentran la generación de fugas en el sistema de tuberías por corrosión y temperaturas elevadas.

Función en el proceso de producción: La lámina se pasa por una solución diluida de ácido sulfúrico (H_2SO_4) caliente con el fin de eliminar cualquier cantidad de óxido de hierro que se haya formado y que podría impedir un buen estañado o cromado posterior. El proceso

permite una activación de la superficie para la recepción del estaño o del cromo metálico. El sistema de decapado también se complementa con un enjuague.

Ilustración 24. Tanque de Decapado



Fuente: Elaboración propia

3.3.3. Secadores 1 y 2

En la línea de producción se cuenta con dos estructuras que se encargan de retirar la humedad a la lámina por medio de aire caliente. Cada secador posee una bomba de aire seco y un intercambiador de calor de fluidos no mezclados y de flujo cruzado, lo cual genera un condensado limpio.

Ilustración 25. Secadores



Fuente: Elaboración propia

3.3.4. Tanque de Aguas Calientes

El tanque de aguas calientes recibe una parte de los condensados generados tanto en los intercambiadores de calor como en la tubería de vapor principal, mezclándose estos con agua de aporte para alimentar el tanque de lavado.

Función en el proceso de producción: En este tanque se calienta agua a una temperatura aproximada de 40°C para la alimentación del tanque de lavado, que mediante una serie de boquillas remueve las diferentes sustancias en exceso que quedan adheridas en la lámina dentro del proceso.

Ilustración 26. Tanque de Aguas Calientes



Fuente: Elaboración propia

3.4. Análisis de condensados de la línea principal de vapor

El sistema de recuperación de condensados es la parte del sistema de vapor que separa el agua condensada del vapor, la recolecta y la transfiere de nuevo a la caldera. En esta parte del sistema se encuentran las trampas de vapor, la tubería de condensados, el tanque de almacenamiento de condensados, la bomba de condensados y el tanque de alimentación de agua a la caldera. La función de esta parte del sistema es proporcionar un medio para recolectar y alimentar agua caliente de alta calidad a la caldera y así reutilizarla para generar más vapor.

Después de recolectar una muestra en la tubería de condensados de la planta de producción, se realizaron varios análisis para definir la viabilidad de recircular los condensados al tanque de alimentación de agua de las calderas. Estos valores se pueden observar en la **Tabla 4**.

Tabla 4: Análisis condensados.

Análisis Condensados línea de vapor @ 28°C	
PH	8,69
LECTURA P	0,15
LECTURA M	0,60
ALCALINIDAD FENOL (ppm CaCO ₃)	3
ALCALINIDAD TOTAL (ppm CaCO ₃)	12
ALCALINIDAD OH (ppm CaCO ₃)	-6
SILICE	0,0
SULFITOS	1,76
DUREZA (ppm)	0,5

Fuente: Elaboración propia.

Los condensados que llegan al tanque de aguas calientes son los correspondientes al serpentín del tanque de trabajo de limpieza y los secadores 1 y 2 en el proceso de hojalata. Para el proceso de lámina cromada, el flujo de condensados se reduce al serpentín del tanque de trabajo de limpieza y el secador 2.

En la **Tabla 5** se presenta la simbología utilizada en los diferentes esquemas.

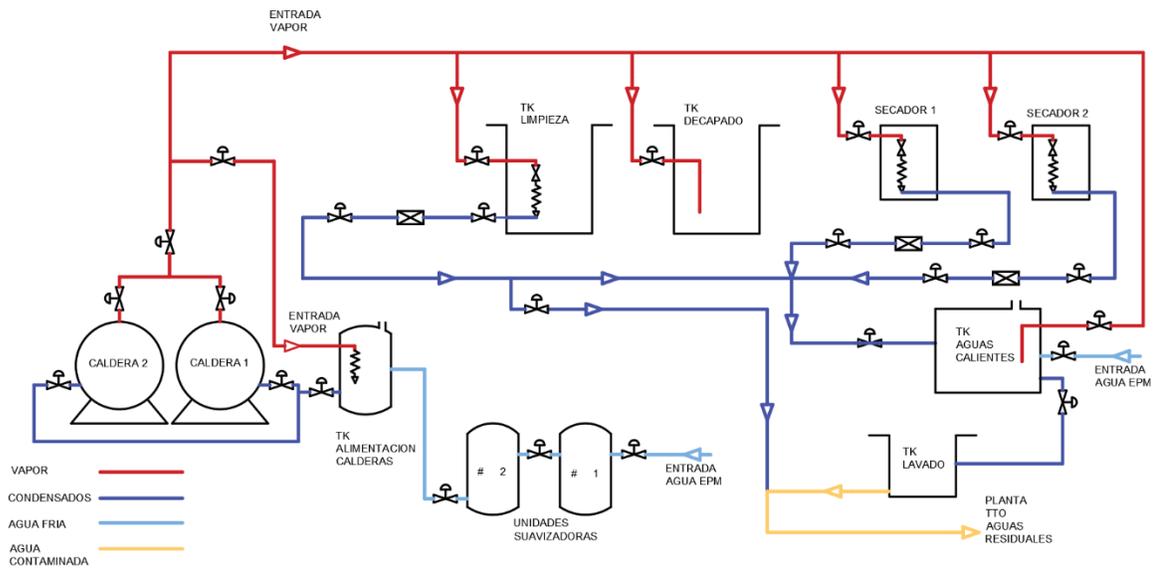
Tabla 5: Simbología esquemas

Válvula Check	
Filtro	
Válvula de Globo con control neumático	
Intercambiador de calor	
Trampa de vapor	

Fuente: Elaboración propia

A continuación en la **Ilustración 26** se muestra un esquema del sistema actual de la tubería de vapor y disposición de condensados en Holasa.

Ilustración 27: Esquema actual circuito de vapor Holasa



Fuente: Elaboración propia

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Cálculos asociados a los intercambiadores de calor

4.1.1. Cálculos generación de Condensados tanque de limpieza

Para el cálculo de la generación de condensados de este serpentín se utiliza el modelo de cálculo correspondiente a la condensación en película dentro de tubos horizontales: (Cengel, 2007)

$$h_{interno} = 0.555 \left(\frac{g\rho_l(\rho_l - \rho_v)k_l^3}{\mu_l(T_{sat} - T_s)} \left(h_{fg} + \frac{3}{8}C_{pl}(T_{sat} - T_s) \right) \right)^{1/4}$$

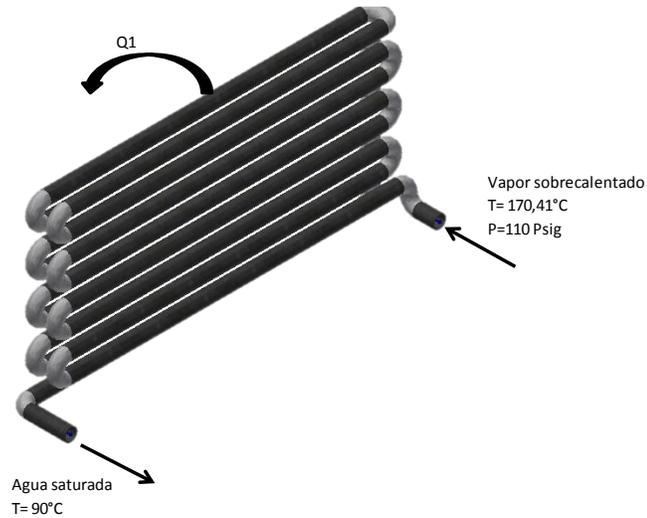
$$h_{interno} = 0.555 \left(\frac{(9,81)(965,2509653)(965,2509653 - 4,160599126)(0,675)^3}{(0,000315)(170 - 80)} \left((2282,5) + \frac{3}{8}(4206)(170 - 80) \right) \right)^{1/4}$$

$$h_{interno} = 1078,123669 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$$

h: Coeficiente de transferencia de calor por convección

El esquema de este serpentín se presenta en la **ilustración 24** y las variables correspondientes al balance de energía se muestran en la **Tabla 6**.

Ilustración 28: Serpentín tanque de trabajo limpieza.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 6: Balance de energía serpentín tanque de Limpieza.

BALANCE ENERGÍA SERPENTÍN		
h_{fg}	2283	kJ/kg
T saturación del vapor	170	°C
T superficial (temperatura De trabajo)	80	°C
Densidad líquido (ρ_L)	965,2509653	kg/m ³
Entalpia del condensado ($h_{condensado}$)	377.04	kJ/kg
Densidad vapor (ρ_v)	4,160599126	kg/m ³
Conductividad térmica liq. (k_L)	0,675	W/(m*°C)
Viscosidad del líquido (μ)	0,000315	kg/(m*s)
Calor específico del líquido (C_p)	4206	J/(kg*°C)
h interno	1,078123669	kW/m ² .°C

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo de la entalpia del condensado ($h_{condensado}$) se recurrió a las tablas termodinámicas **Ilustración 25** usando la temperatura de salida del condensado.

Ilustración 29. Tabla termodinámica del Agua Saturada

TABLA A-4
Agua saturada. Tabla de temperaturas

Temp., T °C	Volumen específico, m ³ /kg			Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
	Pres. sat., P _{sat} kPa	Líqu. sat., v _f	Vapor sat., v _g	Líqu. sat., u _f	Evap., u _{fg}	Vapor sat., u _g	Líqu. sat., h _f	Evap., h _{fg}	Vapor sat., h _g	Líqu. sat., s _f	Evap., s _{fg}	Vapor sat., s _g
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.00	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.02	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.02	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.98	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.91	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.858	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3079	6.0470	7.3540

Fuente 1. (Cengel Y. A., 2009)

- Para calcular la razón de transferencia de calor del intercambiador utilizamos la siguiente ecuación:

$$\dot{Q} = h_{\text{interno}} * \text{Area}_{\text{intercambiador}} * (T_{\text{sat vapor}} - T_{\text{superficial}}) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{s}} \right]$$

$$\dot{Q} = 1,078123669 * 6,27 * (170 - 80)$$

$$\dot{Q} = 608,3851864 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{s}} \right]$$

A continuación calculamos el flujo másico del condensado:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{h_{fg}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

$$\dot{m} = \frac{608,3851864}{2283} \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

$$\dot{m} = 0,26648497 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] * \frac{1 \text{ litro}}{1 \text{ Kg}} * \frac{0,264172 \text{ galones}}{1 \text{ litro}} * \frac{60 \text{ segundos}}{1 \text{ minuto}}$$

$$\dot{m} = 4,223872049 \left[\frac{\text{galones}}{\text{min}} \right] \text{ ó } [gpm]$$

- El aporte de energía al tanque de aguas calientes es:

$$Aporte\ Energetico = \dot{m} * h_{condensado} \left[\frac{kJ}{s} \right]$$

$$Aporte\ Energetico = 0,26648497 * 377,04 \left[\frac{kJ}{s} \right]$$

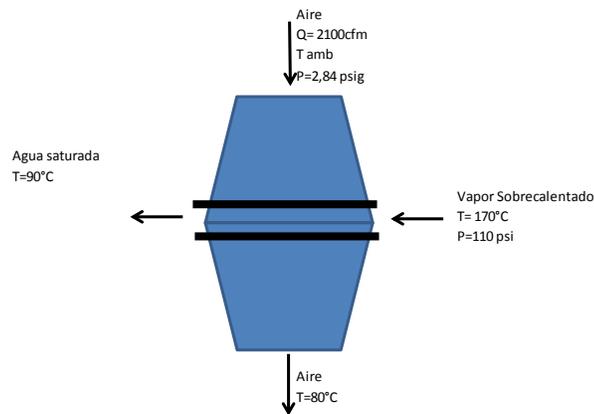
$$Aporte\ Energetico = 100,4754931 \left[\frac{kJ}{s} \right]$$

* De lo anterior, el caudal y la energía aportada al tanque de aguas calientes, independientemente del proceso, es de **4,224 gpm** y **100,5 kJ/s** aprox. respectivamente.

4.1.2. Cálculos generación de Condensados Secadores 1 y 2.

Los secadores 1 y 2 son intercambiadores de calor de flujo cruzado Aire-Vapor cuyo esquema de operación se ilustra en la Ilustración 26. Es importante anotar que para el balance de energía de este equipo se considera que el 100% del flujo a la salida de los tubos es agua saturada a 90°C.

Ilustración 30: Esquema de operación secadores.



Fuente: Elaboración propia

La tabla 7 corresponde a las variables que intervienen en el balance de energía de este intercambiador de calor.

Los valores planteados en la Tabla 7 fueron tomados de Tablas y diagramas de propiedades (sistema Internacional). **Tabla A-15** (Cengel, 2007)

Tabla 7: Balance de energía secador de flujo cruzado.

BALANCE ENERGÍA SECADORES		
Densidad del aire 25°C @ 1 atm	1,184	kg/m ³
Calor específico del aire	1,007	kJ/(kg*°C)
Flujo aire	2100	ft ³ /min
	0,991089645	m ³ /s
Temperatura ambiente	25	°C
Temperatura de operación	90	°C
Temperatura vapor	170,41	°C
Presión vapor	110	Psig
Entalpía vapor	2768,3	kJ/kg
Temperatura condensado	90	°C
Entalpía condensado	377,04	kJ/kg

Fuente: Elaboración propia.

- Calculamos el flujo másico del aire:

$$\dot{m} = \text{Densidad del aire } 25^{\circ}\text{C@ } 1\text{atm} * \text{flujo del aire} \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

$$\dot{m} = 1,184 * 0,991089645 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

$$\dot{m} = 1,17345014 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

- Para calcular la razón de transferencia de calor del intercambiador utilizamos la siguiente ecuación:

$$\dot{Q} = \dot{m} * C_{p\text{aire}} * (T_{\text{operación}} - T_{\text{ambiente}}) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{s}} \right]$$

$$\dot{Q} = 1,17345014 * 1,007 * (90 - 25) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{s}} \right]$$

$$\dot{Q} = 76,80817891 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{s}} \right]$$

A continuación calculamos el flujo másico del condensado:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{h_{fg}} \left[\frac{kg}{s} \right]$$

$$\dot{m} = \frac{76,80817891}{(2768,3-377,04)} \left[\frac{kg}{s} \right]$$

$$\dot{m} = 0,032120379 \left[\frac{kg}{s} \right] * \frac{1 \text{ litro}}{1 \text{ kg}} * \frac{0,264172 \text{ galones}}{1 \text{ litro}} * \frac{60 \text{ segundos}}{1 \text{ minuto}}$$

$$\dot{m} = 0,509118295 \left[\frac{\text{galones}}{\text{min}} \right] \dot{O} \text{ [gpm]}$$

- El aporte de energía al tanque de aguas calientes es:

$$\text{Aporte Energetico} = \dot{m} * h_{\text{condensado}} \left[\frac{kJ}{s} \right]$$

$$\text{Aporte Energetico} = 0,032120379 * 377,04 \left[\frac{kJ}{s} \right]$$

$$\text{Aporte Energetico} = 12,1106677 \left[\frac{kJ}{s} \right]$$

* Realizando el balance de energía se obtiene que el caudal de condensados para cada secador es de **0,51 gpm aprox.** El aporte de energía de cada secador a aguas calientes es de **12.11 kJ/s.**

4.1.3. Flujo total de condensados.

$$\text{Total condensados} = \text{flujo condensados limpieza} + (\text{flujo condensados secador} * 2) \left[\frac{kg}{s} \right]$$

$$\text{Total condensados} = 0,266543345 + (0,032120379 * 2) \left[\frac{kg}{s} \right]$$

$$\text{Total condensados} = 0,330784103 \left[\frac{kg}{s} \right] * \frac{60 \text{ segundos}}{1 \text{ minutos}} * \frac{60 \text{ minutos}}{1 \text{ hora}}$$

$$\text{Total condensados} = 1190,822771 \left[\frac{kg}{h} \right] * \frac{0,264172 \text{ galones}}{1 \text{ litro}}$$

$$\text{Total condensados} = 314,582033 \left[\frac{\text{gal}}{h} \right]$$

4.2. Ahorros energéticos asociados a la recuperación de condensados

En la tabla 7 se observa el ahorro relacionado con la recuperación de condensados en la planta de producción. Los cálculos se realizan con las horas de operación del año 2017, en el cual la producción fue de 36.000 Toneladas por lo tanto, si se incrementa la producción, la cifra correspondiente al ahorro también debe ser mayor.

Tabla 8: Variables asociadas a la producción de vapor.

COSTO DEL COMBUSTIBLE		
Temperatura inicial	24	°C
Temperatura del condensado	90	°C
Calor específico del agua	4,19	kJ/(kg*°C)
masa	1	Kg
Q requerido	276,54	kJ/kg
Cantidad de condensados	1.190,822771	kg/h
Horas de operación	2.467	h/año
Eficiencia de la caldera	0,82	
Energía requerida para calentar el agua	983'573.524	kJ/año
Costo del combustible	1281	\$/m ³
Poder calorífico gas natural	37.258,9465	kJ/m ³

Fuente: Elaboración propia.

- Calculamos la energía requerida para calentar el agua durante un año de operación promedio:

$$Energía\ requerida\ para\ calentar\ el\ agua = \frac{(cantidad\ de\ condensados * Q_{requerido} * horas\ de\ operación)}{Eficiencia\ de\ la\ caldera}$$

$$Energía\ requerida\ para\ calentar\ el\ agua = \frac{(1.190,822771 * 276,54 * 2.467)}{0,82} \left[\frac{kJ}{año} \right]$$

$$Energía\ requerida\ para\ calentar\ el\ agua = 990'741.571,3 \left[\frac{kJ}{año} \right]$$

- Luego calculamos el costo energético del combustible:

$$\text{costo energético del combustible} = \frac{\text{costo unitario gas natural} \left[\frac{\$}{\text{m}^3} \right]}{\text{poder calorífico gas natural} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} \right]}$$

$$\text{costo energético del combustible} = \frac{1.281}{37.258,9465} \left[\frac{\$}{\text{kJ}} \right]$$

$$\text{costo energético del combustible} = \mathbf{0,034381004} \left[\frac{\$}{\text{kJ}} \right]$$

- A continuación indicamos el cálculo del costo anual del combustible (gas natural):

$$\text{costo anual del combustible} = \text{Energía requerida para calentar el agua} * \text{costo energético del combustible} \left[\frac{\$}{\text{año}} \right]$$

$$\text{costo anual del combustible} = 990'741.571,3 * 0,034381004 \left[\frac{\$}{\text{año}} \right]$$

$$\text{costo anual del combustible} = \mathbf{34'062.689,93} \left[\frac{\$}{\text{año}} \right]$$

* EL cálculo de costos asociado al consumo de agua de alimentación teniendo en cuenta la Tabla 7 se presenta a continuación:

Tabla 9: Datos agua de alimentación

COSTO DEL AGUA – ALCANTARILLADO		
Densidad del agua	1000	kg/m ³
Costo unitario agua	4543	\$/m ³

Fuente: Elaboración propia

- Cantidad de agua de alimentación:

$$\text{Agua de alimentación} = \frac{\text{Horas de operación} * \text{cantidad de condensados}}{\text{densidad del agua}} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{año}} \right]$$

$$\text{Agua de alimentación} = \frac{2.467 * 1.190,822771}{1000} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{año}} \right]$$

$$\text{Agua de alimentación} = \mathbf{2.937,759776} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{año}} \right]$$

- Ahora calculamos el costo anual del agua de alimentación:

$$\text{Costo anual del Agua} = \text{Costo unitario agua} * \text{Agua de alimentación} \left[\frac{\$}{\text{año}} \right]$$

$$\text{Costo anual del Agua} = 4543 * 2.937,759776 \left[\frac{\$}{\text{año}} \right]$$

$$\text{Costo anual del Agua} = \mathbf{13'346.242,66} \left[\frac{\$}{\text{año}} \right]$$

* Ahora se presenta el cálculo de costos por el total de condensados producidos:

$$\text{Total costo condensados} = \text{Costo anual de combustible} + \text{Costo anual agua} \left[\frac{\$}{\text{año}} \right]$$

$$\text{Total costo condensados} = 34'062.689,93 + 13'346.242,66 \left[\frac{\$}{\text{año}} \right]$$

$$\text{Total costo condensados} = \mathbf{47'408.932,59} \left[\frac{\$}{\text{año}} \right]$$

Tabla 10: Propiedades a diferentes presiones.

PROPIEDADES VAPOR Y CONDENSADO		
Entalpia	Presión línea de vapor (110 psig)	Presión línea de vapor (12,37 psig)
h_f (agua saturada) [kJ/kg]	734,224	495,462
h_{fg} (calor latente) [kJ/kg]	2037	2207,61
h_g (vapor saturado) [kJ/kg]	2771,22	2703,08

Fuente: Elaboración propia

- Calculo de Vapor Flash:

$$\Rightarrow \% \text{ vapor flash} = \frac{h_{liq. pres. vapor} - h_{liq. pres. cond.}}{h_{vapor pres. cond} - h_{liq. pres. cond.}} * 100\%$$

$$\% \text{ vapor flash} = \frac{734,224 - 495,462}{2703,08 - 495,462} * 100\%$$

$$\% \text{ vapor flash} = \mathbf{10,81\%}$$

$$\text{➤ Cantidad vapor flash} = \text{Cantidad condensado} * \text{vapor flash} \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

$$\text{Cantidad vapor flash} = 1190,822771 * 0,1081 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

$$\text{Cantidad vapor flash} = 128,7279415 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

- Ahora calculamos la cantidad de condensados recuperables:

$$\text{Cantidad condensados recuperables} = \text{Cantidad condensado} - \text{cantidad vapor flash} \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

$$\text{Cantidad condensados recuperables} = 1190,822771 - 128,7279415 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

$$\text{Cantidad condensados recuperables} = 1.062,1 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

* Para calcular el ahorro anual a causa de la recuperación de los condensados generados en la línea de producción debemos utilizar las siguientes ecuaciones:

- Energía requerida para calentar el agua.

$$\text{Energía requerida para calentar el agua} = \frac{(\text{cantidad de condensados recuperables} * Q_{\text{requerido}} * \text{horas de operación})}{\text{Eficiencia de la caldera}}$$

$$\text{Energía requerida para calentar el agua} = 883'646.709,2 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{año}} \right]$$

- Costo Anual del combustible.

$$\text{costo anual del combustible} = \text{Energía requerida para calentar el agua} * \text{costo energético del combustible} \left[\frac{\$}{\text{año}} \right]$$

$$\text{costo anual del combustible} = 30'380.661,05 \left[\frac{\$}{\text{año}} \right]$$

- Agua de Alimentación.

$$\text{Agua de alimentación} = \frac{\text{Horas de operación} * \text{cantidad de condensados}}{\text{densidad del agua}}$$

$$\text{Agua de alimentación} = 2.620,2007 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{año}} \right]$$

- Costo anual agua de alimentación.

$$\text{Costo anual del Agua} = \text{Costo unitario agua} * \text{Agua de alimentación} \left[\frac{\$}{\text{año}} \right]$$

$$\text{Costo anual del Agua} = 11'903.571,78 \left[\frac{\$}{\text{año}} \right]$$

- Costo total condensado.

$$\text{Costo total condensado} = \text{Costo anual de combustible} + \text{Costo anual agua} \left[\frac{\$}{\text{año}} \right]$$

$$\text{Costo total condensado} = 42'284.232,83 \left[\frac{\$}{\text{año}} \right]$$

Tabla 11: Ahorro total anual

AHORRO COSTO CONDENSADOS		
Total costo condensados	\$ 47'408.932	\$/año
Cantidad Vapor Flash	128,7279415	kg/h
% Vapor Flash	10,81	%
Condensados recuperables	1.062,1	kg/h
Ahorro	\$ 42'284.232	\$/año

Fuente: Elaboración propia

En este caso se debe comprar un tanque de almacenamiento de condensado a presión atmosférica, se debe instalar la tubería necesaria para llevar todos los condensados a este tanque y finalmente se debe acoplar una bomba de desplazamiento positivo para enviar los condensados desde el sótano hasta el tanque de alimentación de agua a la caldera. Se recomienda utilizar este tipo de bomba debido que elimina varios problemas como la cavitación al no poseer alabes, no son afectadas por la contrapresión por lo que

no son tan críticos los requerimientos al dimensionarlas y además se facilita su instalación en lugares remotos ya que no requiere electricidad para su funcionamiento. Esto es debido a que tienen una caja fija en la cual contienen engranajes, aspas u otros dispositivos que rotan, atrapando el líquido en pequeñas cantidades entre la caja y el dispositivo en rotación, desplazando este y a su vez impulsando en sistema de rotación para continuar bombeando dicho líquido. Entre sus ventajas están el flujo uniforme, su construcción compacta, velocidades de operación de bajas a altas, pueden funcionar con cargas altas, entre otras.

Se recomienda este tipo bombas en procesos tales como bombeos en pozos profundos, para niveles de agua variable, alimentación de calderas, entre otras. A continuación se relacionan los diferentes accesorios requeridos para la implementación del sistema con los diferentes costos de cada uno.

Cabe resaltar que no se relacionan costos de las trampas de vapor, ni de las válvulas debido a que estos elementos se encuentran en un excelente estado al haber sido instaladas recientemente, por lo anterior estas se pueden reutilizar en el sistema propuesto.

Tampoco se mencionan las válvulas check debido a que las trampas de vapor instaladas poseen un mecanismo que sustituye dichas válvulas.

Tabla 12: Costos elementos a implementar

COSTOS ELEMENTOS			
CANT.	ELEMENTO	PROVEEDOR	COSTO [COP]
1	Paquete PTC simplex 2x2 (sistema de recuperación de condensados, Ilustración 30) (TMR 28/02/18 \$2.937,09)	Spirax Sarco	\$ 43'762.641
4	Filtro en "Y"	Tecnifluidos Ltda.	\$ 3'442.520
10	Codo acero inoxidable 304 de 2" SCH 40	Tecnifluidos Ltda.	\$ 216.000
1	Tubería acero inoxidable 304 de 2" x 70m SCH 40	Tecnifluidos Ltda.	\$ 4'701.690
4	Brida acero inoxidable para soldar 2"	Tecnifluidos Ltda.	\$ 185.400
TOTAL			\$ 52'308.251

Fuente: Elaboración propia

Se anexan las diferentes cotizaciones en el Apéndice.

Ilustración 31: Sistema de recuperación de condensados.



Fuente: (Sarco, 2018)

El beneficio ambiental asociado al ahorro de 26.398 m³ de combustible al año es de **56 T de CO₂**. Esta cifra se calcula considerando que debido a la combustión de 1 m³ de gas natural se generan 2,15 kg de CO₂. (Climatic, 2011)

Ahora calculamos el tiempo estimado de retorno de la inversión.

$$\text{Retorno de la inversión} = \frac{\text{Costo de la inversión}}{\text{Ahorro anual}} [\text{años}]$$

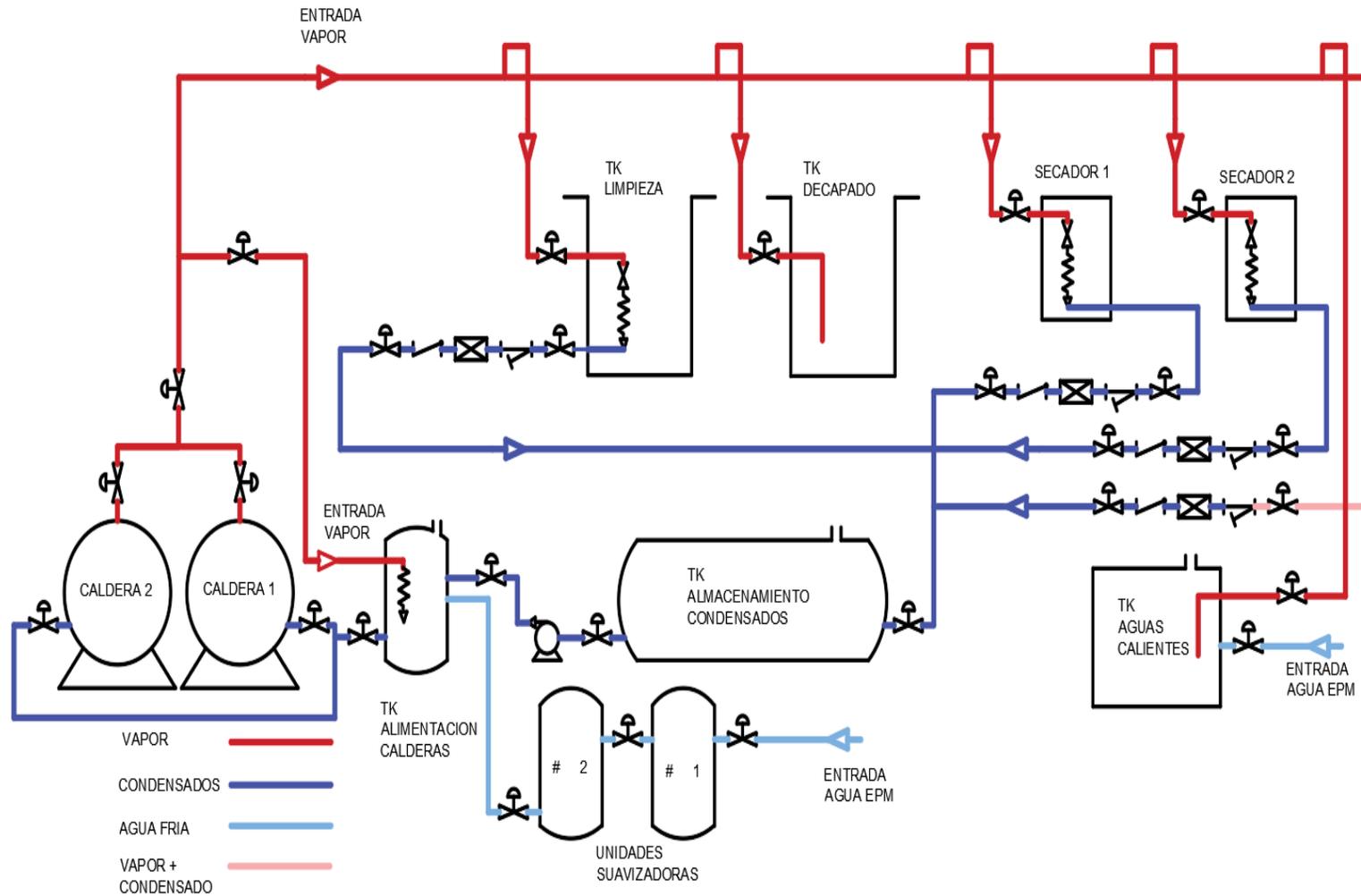
$$\text{Retorno de la inversión} = \frac{52'308.251}{42' 284.232} [\text{años}]$$

$$\text{Retorno de la inversión} = 1.237[\text{años}]$$

Finalmente, el tiempo de retorno de la inversión para la red de condensados es de: **1 año, 2 meses y 3 semanas.**

4.3. Esquema sugerido a implementar para recuperación de condensados en Holasa.

Ilustración 32: Esquema sugerido a implementar



Fuente: Elaboración propia

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- Se demuestra el impacto tanto ambiental como económico que conlleva para la empresa Holasa la recuperación de condensados asociados a la línea principal de vapor, la cual disminuye considerablemente la cantidad de gases de combustión arrojados a la atmosfera y el consumo de recursos naturales, aumentando así la eficiencia del proceso como se puede evidenciar en la página 66, donde se relaciona la cantidad de combustible que se ahorra en el proceso y la cantidad de CO₂ que se evita verter en la atmosfera.
- Se lograron recuperar datos durante el proceso de producción acerca de la cantidad de condensados que se producen en la elaboración de lámina cromada y hojalata electrolítica, lo cual muestra en parte la viabilidad del estudio de la recirculación de estos en el proceso de generación de vapor.
- Se establecen mediante análisis físico- químicos realizado en el laboratorio ubicado dentro de las instalaciones de Holasa, las diferentes propiedades de los condensados, las cuales dan vía libre para la recirculación de éstos en la alimentación de las calderas.
- Se demuestra mediante cálculos matemáticos el aumento en la eficiencia energética, la disminución tanto de los gases de combustión como el consumo de combustible asociado a las calderas durante el proceso de producción normal.
- Se relacionan los costos de inversión iniciales por parte de la empresa para la puesta en marcha del proyecto y además el tiempo de retorno de dicha inversión, anexando las cotizaciones pertinentes de los accesorios.

- Se elaboró un esquema detallado donde se indican cada uno de los componentes necesarios para la recirculación de los condensados generados en la línea de producción.

6. REFERENCIAS

- Armstrong. (1998). *Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados: Evaluación y selección de trampa de vapor*. [Manual]. Recuperado de: <https://www.armstronginternational.com/sites/default/files/resources/documents/n101spanish.pdf>
- Bohórquez, G. R. D. (2013). *Auditoria energética al circuito de vapor y condensado de una planta de la elaboración de café liofilizado*. Espol. Fimcp, Guayaquil. 184. Recuperado de: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/31327>
- Borja, A. J. E. (2011). *Mejoramiento en la red de recuperación condensadores en la línea uno de vulcanización de la compañía Michelin Colombia* (Bachelor's thesis, Universidad Autónoma de Occidente). Recuperado de: <http://red.uao.edu.co/bitstream/10614/3246/1/TME00999.pdf>
- Borroto, A. (2005). *Ahorro de energía en sistemas de vapor*. Editorial Universidad de Cienfuegos, Cuba.
- Cengel, Y. A. (2007). *Transferencia de calor y masa. Un enfoque práctico* tercera edición. México D.F., México: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Ecured. (2017). *www.ecured.cu*. Recuperado de: https://www.ecured.cu/Trampa_de_vapor
- Entrena, G. F.J. (2014). *Eficiencia energética en las instalaciones de calefacción y ACS en los edificios*. IC Editorial. Recuperado de: <https://books.google.com.co/books?id=HdKNCwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Eficiencia+energ%C3%A9tica+en+las+instalaciones+de+calefacci%C3%B3n+y+ACS+en+los+edificios&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjS3rSlv8HZAhVK4VMKHc9LCV0Q6AEIjAA#v=onepage&q=Eficiencia%20energ%C3%A9tica%20en%20las%20instalaciones%20de%20calefacci%C3%B3n%20y%20ACS%20en%20los%20edificios&f=false>
- García, G. S. (2012). *Control químico de aguas de caldera y de refrigeración de centrales de ciclo combinado*. Editorial Díaz de santos. Recuperado de: https://books.google.com.co/books?id=RMMsS6xuSLUC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- General Water Company Argentina. (2017). Recuperado de: <https://gwc.com.ar/tienda/ablandador-de-agua-por-intercambio-ionico-aih1000/>
- Goldenberg, F. R. (2014). *es.slideshare.net*. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/ilcardozo/trampas-de-vaporgeneralidades-37008991>

- Grimm, N. R. (1996). *Manual de diseño de calefacción, ventilación y aire acondicionado*. McGraw-Hill Interamericana. Recuperado de: https://books.google.com.co/books/about/Manual_de_dise%C3%B1o_de_calefacci%C3%B3n_ventil.html?id=KGJSnQAACAAJ&redir_esc=y
- GrupoUnamacor. (2017). www.grupounamacor.com. Recuperado de: <http://www.grupounamacor.com/?p=1147>
- Gualpa, T. C. V. (2016). *Determinación de la fracción de trabajo de trampas de vapor en la industria ecuatoriana usando el método ultrasónico* (Bachelor's thesis, Quito, 2016.). Recuperado de: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16635/1/CD-7261.pdf>
- Martínez H. M. (2009). *Sistema de recuperación de condensados de una línea de decapado de bobinas laminadas en caliente*. Recuperado de: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/11306/Memoria_final.pdf?sequence=1
- Navas, J. (2005). *Sistemas de Vapor*. Impromaq LTDA.
- Sarco, S. (23 de 02 de 2018). Spirax Sarco. Recuperado de Spirax Sarco: <http://www.spiraxsarco.com/global/cl/Pages/PTC-Pivotrol.aspx>
- Sisteagua. (2011). *Tratamiento calderas de vapor*. Recuperado de: <https://paginas.seccionamarilla.com.mx/sistemas-de-filtracion-y-purificacion-para-aguasisteagua/purificadores-de-agua/distrito-federal/ciudad-de-mexico/alvaro-obregon/jose-mariapino-suarez/>
- Sotermic. (2017). www.sotermic.cl. Recuperado de: <http://www.sotermic.cl/trampas-de-vapor>
- Soto, C. J. J. (1996). *Fundamentos sobre ahorro de energía*. Uady. Recuperado de: https://books.google.com.co/books?id=ewrmHThYQIUC&pg=PR13&lpg=PR13&dq=fundamentos+sobre+ahorro+de+energia+juan+jose+soto+cruz&source=bl&ots=CK0PMEFRsQ&sig=K4QPe05NdklwQKK_UsFktzuInTk&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiMme2XisDZAhWqwVkkHQ7yCGkQ6AEIKzAB#v=onepage&q&f=false
- Steamcontrol. (2014). www.steamcontrol.com. Recuperado de: <http://www.steamcontrol.com/wp/documentos/Trampas%20para%20Vapor.pdf>
- Stilar.net. (2010). <http://wsdelr.blogspot.com.co>. Recuperado de: <http://wsdelr.blogspot.com.co/2010/07/circuitos-de-vapor.html>
- Termodinámica, S. (2011). <https://es.slideshare.net>. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/TermoEficiente/uso-eficiente-de-la-energa-del-vapor>

7. APENDICE

Ilustración 33: Cotización Spirax Sarco

 <p>Spirax-Sarco Colombia SAS NIT 900.498.582-7 Carretera Panamericana #3-150 Jamundi Valle del Cauca Colombia Tel. (57 2) 514 26 26 yady.alvarez@co.SpiraxSarco.com</p>	<p align="center">COTIZACION Nro COT-X-0001-00007247</p> <p align="right">Version: 0</p>			Fecha de Emision: 13/02/2018 Fecha de Validez: 28/02/2018 Página 1 / 1			
	Cliente: 7734_0 HOLASA HOJALATA Y LAMINADOS S.A D Calle 17 No 43F - 122 Medellín Medellín - COLOMBIA - Antioquia	Referencia		Moneda: US\$ Cond. Venta: Via Despacho			
Contacto: Telefono (574) 261 98 98	Usuario: Daniel Posada daniel.posada@co.spiraxsarco.com Vendedor Comercial Daniel Posada Vendedor Técnico Daniel Posada		Cond. Pago: STD CONDITION Transporte General				
Item	COD. ART	GPC	Codigo TAG	Cantidad	Plazo en Semanas	Precio Unit	Total
	DESC. ART						

1	9100050			1	4	14,900.00	14,900.00	14,900.00
	PAQUETE PTC SIMPLEX 2X2							
2	9100718			1	4	3,900.00	3,900.00	3,900.00
	ESTACION DE SECADO S3 4" ANSH25 CON TRAMPEO FTI-125 (PURGA, FILTRO, CHECK Y VALVULAS DE CORTE)							

IVA NO INCLUIDO

Salvo Previa Venta

NOTA: La Orden de Compra se procesará en COP\$ a la TRM vigente el día de emisión del pedido O la facturación se realizará con la TRM vigente el día del despacho de la mercancía

Este producto tiene respaldo de garantía directa con fábrica Spirax Sarco, certificamos materiales y fabricación del elemento adecuado para las condiciones de trabajo Cuenta con un año de garantía contados a partir de la fecha del despacho

Para Soluciones amadas, el tiempo de entrega, se estima a partir del recibimiento de los planos firmados
 EL TIEMPO DE ENTREGA SE CONSIDERA A PARTIR DE LA RECEPCION DE SU ORDEN DE COMPRA

Lugar de Entrega: Planta cliente

Observaciones

Notas Importantes

- 1- En caso de resultar esta cotización en una Orden de Compra, por favor mencionar el Nro de Cotización en la misma.

TOTAL:	18,800.00
---------------	------------------

Ilustración 34: Cotización Tecnifluidos



TECNI - FLUIDOS
TÉCNICOS EN FLUIDOS
VAPOR - GASES - LÍQUIDOS

Página 1 de 1

Medellín, 28 de febrero de 2018

Señores
Sr. Julian Yepes
Ciudad

Asunto: Cotizacion N° 8089

Estamos cotizando el siguiente material

ITEM	CANT	DETALLE	V/UNIT.	V/TOTAL
1	70	Metros de Tubería en acero Inoxidable 304 sch 40 de 2"	\$ 67,167	\$ 4,701,690
2	10	Codos en acero inoxidable para soldar 304 sch 40 de 2"	\$ 21,600	\$ 216,000
3	1	Filtros en "Y" acero inoxidable conexión de brida de 2"	\$ 860,630	\$ 860,630
4	4	Bridas en acero inoxidable para soldar	\$ 46,350	\$ 185,400
			SUB-TOTAL	\$ 5,963,720
			IVA	\$ 1,133,107
			TOTAL	\$ 7,096,827

VALIDEZ DE LA OFERTA: OCHO (8) DIAS
FORMA DE PAGO: CONTADO
ENTREGA: INMEDIATA
DESCUENTO: INCLUIDO

Ana Maria Ramirez S
Tecnifluidos Ltda
2626233

