



Universidad de Oviedo

ESCUELA SUPERIOR DE LA MARINA CIVIL DE GIJÓN

Trabajo Fin de Máster

MANTENIMIENTO Y OPTIMIZACIÓN
ENERGÉTICA DE UNA PLANTA

Para acceder al Título de Máster Universitario en

TECNOLOGÍAS MARINAS Y MANTENIMIENTO

Autor: García Mejía Jonathan Israel

Tutor: Francisco Rodríguez Fernández J

Junio - 2019

Tabla de Contenido

ÍNDICE DE TABLAS	1
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. INSTALACIÓN DE VAPOR	3
2.1. VAPOR.....	3
2.2. TRATAMIENTO DE AGUA DE CALDERAS.....	5
2.3. TANQUE DE ALIMENTACIÓN O CONDESADOS.....	5
2.3.1 Tanque de Purgas	6
2.4. CALDERAS	7
2.4.1. Clasificación de las Calderas.....	8
2.5. REDES DE DISTRIBUCIÓN DEL VAPOR.....	11
2.5.1. Consideraciones de Diseño	12
2.6. SISTEMA DE AISLAMIENTO	12
2.7. CONTROLES DE TEMPERATURA Y PRESIÓN	13
2.8. VALVULAS DE SEGURIDAD.....	13
2.8.1. Tipos de Válvulas	13
2.9. VÁLVULAS REGULADORAS DE FLUJOS.....	14
2.10. ESTACIONES REDUCTORAS DE PRESIÓN	14
2.11. TRAMPAS DE VAPOR.....	15
2.12. RED DE RETORNO DE CONDENSADOS.....	15
3. SITUACION ACTUAL DE LA EMPRESA.....	16
3.1. HISTORIA	16
3.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA CALDERA.....	17
3.3. DEPÓSITO PARA EL AGUA DE ALIMENTACIÓN DE LA CALDERA.....	17
3.3.1. Potencia Calorífica Útil en la Situación Actual.....	18
3.3.2. Cálculo de la Potencia Calorífica Útil con Mejora.....	18
3.4. CONSUMO ACTUAL DE COMBUSTIBLE EN LA CALDERA.....	19
3.4.1. Calculo del Consumo de Combustible en la Caldera con Mejora.....	20
3.5. COSTE ACTUAL DEL VAPOR.....	21
3.5.1. Cálculo del Coste de Vapor con la Mejora	22
3.6. TRATAMIENTO DE AGUA DE CALDERAS.....	22
3.7. CAUDAL DE LA PURGA.....	23
3.7.1. Cálculo del Caudal de la Purga Recomendado.....	25

3.7.2.	Ahorro Eco - Energético con Purga Recomendada.....	25
3.8.	RECUPERACIÓN DE CALOR EN LA PURGA DE SALES.....	26
3.8.1.	Ahorro Económico Recuperando el Calor de Purga.....	27
3.8.2.	Ahorro energético recuperando el calor del agua residual	28
3.9.	RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR.....	29
3.10.	CONDENSACIÓN EN LAS TUBERÍAS DE DISTRIBUCIÓN	29
3.11.	PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN TUBERÍAS NO CALORIFUGADO.....	31
3.11.1.	Pérdidas de Energía Calorifugado Tuberías.....	31
3.12.	PÉRDIDAS POR CONDESADO NO RECUPERADO	32
3.12.1.	Ahorro Recuperando el Condesado	32
3.13.	CONSUMIDORES DE VAPOR.....	33
3.14.	DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE CONDESADOS	34
3.14.1.	Ahorro recuperando el condesado de los consumidores	35
3.15.	TEMPERATURA DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN.....	36
3.16.	OTRAS ANOMALÍAS DETECTADAS	37
4.	PROPUESTA INICIAL DE MEJORA	37
4.1.	EL MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN DE VAPOR.....	38
4.2.	RESUMEN.....	40
5.	CONCLUSIONES	41
6.	ANEXOS.....	42
7.	BIBLIOGRAFÍA	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis del agua de la caldera y de alimentación.	23
Tabla 2. Tabla de porcentaje de vapor recuperado de acuerdo a la presión de trabajo. (Fuente. Spirax Sarco 2014).	27
Tabla 3. Condensación en la red de distribución de vapor en diferentes condiciones.....	30
Tabla 4. Principales equipos consumidores de vapor con su respectiva carga.....	33
Tabla 5. Cantidad de condesado y revaporizado generado por cada consumidor.	36
Tabla 6. Resumen del ahorro económico y de recursos con la mejora de la planta.	40

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Generación de vapor (Fuente. Física – interesante, 2013).....	3
Ilustración 2. Esquema de una instalación de vapor. (Fuente. Curso de calderas de vapor, 2012)	4
Ilustración 3. Tanque de abastecimiento o condesados. (Fuente. Catalogo Spirax Sarco, 2018)	6
Ilustración 4. Taque de recogida de purgas (fuente Sirax Sarco, 2016)	7
Ilustración 5. Componentes de una caldera (Fuente. Fisair air humidity control, 2010).	7
Ilustración 6. Caldera pirotubular. (Fuente Tecnología de vapor industrial S.R.l)	8
Ilustración 7. Caldera Acuatubular. (Fuente. Maquinas térmicas, blog spot, 2014).....	8
Ilustración 8. Diagrama de circulación natural. (Fuente. Monografias.com, 2013)	10
Ilustración 9. Diagrama de circulación forzada. (Fuente. Monografias.com, 2013)	11
Ilustración 10. Estación reductora de presión. (Fuente. Curso de vapor Spirax Sarco, 2019)	14
Ilustración 11. Trampas de vapor A) Mecánica; B) Termostática; C) Termodinámica. (Fuente QuimiNet, 2012).....	15
Ilustración 12. Sistema de retorno de condesados con sus tres categorías. (Fuente para la industria, 2017)	16
Ilustración 13. Vista aérea de industria POSTRES FRÍOS S.A. (Fuente. Google Maps 2019)	17
Ilustración 14. Diagrama de contenido de oxígeno vs temperatura. (Fuente. Epirax Sarco 2019).	23
Ilustración 15. Límites de impurezas recomendados por un comité investigador de ASME, para el agua de alimentación y el agua de calderas, para calderas a diferentes presiones de trabajo. (Fuente Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos).....	24
Ilustración 16. Sistema de recuperación de condesados con tres líneas.	35

1. INTRODUCCIÓN

El mantenimiento y optimización energética es el punto de partida para mejorar la gestión energética en una planta. Cuando hablamos de optimización nos referimos a la mejora de algo (instalación, proceso, idea, organización, estructura, etc.), cuya mejora significa reducir el consumo energético, mejorar el rendimiento y ahorrar dinero. Todos estos beneficios que se obtienen van de la mano con un buen mantenimiento.

El optimizar procesos e instalaciones en la actualidad juega dos papeles de gran importancia en las industrias; primero, al ser considerado un tipo de mejoras a ayudado a consolidar el concepto de lo que hoy se llama industrias 4.0; y segundo al tener relación con el uso eficiente de la energía colaborando en el escenario internacional con la disminución de factores que provocan el calentamiento global, la gran problemática del siglo XXI.

Este trabajo tiene como finalidad estudiar, analizar y proponer un plan de mejora para el área de calderas y generación de vapor, considerada crítica por el papel muy importante que ocupa en los procesos de industrias Postres Fríos S.A. empresa asturiana dedicada a la repostería.

En esta área se examinará tanto el mantenimiento de instalación como; la generación, transporte y distribución del vapor. Teniendo como objetivo maximizar el rendimiento de los sistemas de vapor, alcanzar su máxima eficiencia y minimizar las pérdidas ocasionadas por diseño, falta de conocimiento y mantenimiento inadecuado.

2. INSTALACIÓN DE VAPOR

2.1. Vapor

En forma general se puede describir al vapor como el cambio de estado que sufre por lo general un líquido al ser sometido a temperaturas cercanas a su punto de ebullición o licuefacción. (Ver Ilustración 1)

El vapor es una de las mejores maneras para transportar energía térmica, su uso es muy requerido en el sector industrial debido a sus múltiples aplicaciones, las largas distancia que puede recorrer sin dejar de ser eficaz, por ser nocivo para la salud y el medio ambiente.

Es importante tener en cuenta que para su producción y distribución se adopten las medidas necesarias para lograr su máxima eficiencia, tanto en el rendimiento energético como en el uso y mantenimiento de las instalaciones.

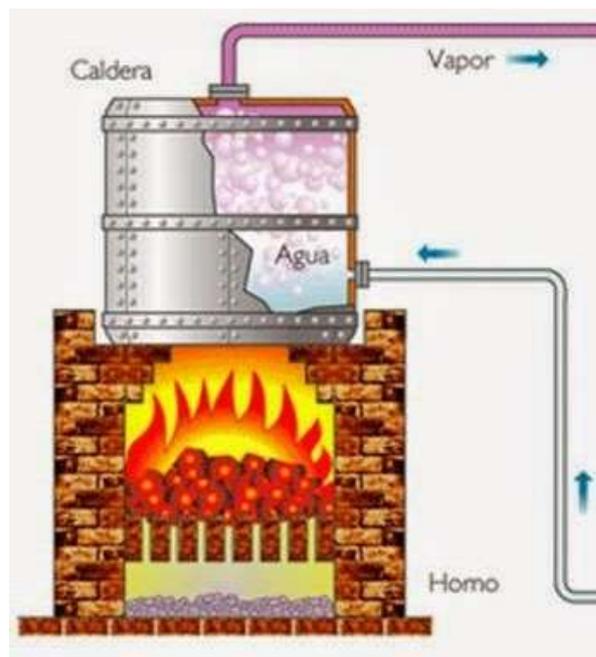


Ilustración 1. Generación de vapor (Fuente. Física – interesante, 2013)

2.1.1. Generación de Vapor

Un sistema típico de vapor está constituido por cuatro secciones, las cuales conforman un ciclo. La primera sección corresponde a la generación, durante esta etapa en la caldera se aplica calor al agua de alimentación para elevar su temperatura, después de que el agua se ha evaporado el vapor resultante pasa a la segunda etapa, la cual corresponde a la

distribución, esto es simplemente el movimiento del vapor de agua en un sistema cerrado a su punto de consumo; la tercera etapa es la transferencia de calor que es el uso del vapor en cualquier ocupación; y la última sección es el complemento del ciclo de vapor, el retorno del condensado. (Armstrong International, 2011)

Un sistema típico de generación de vapor cuenta con los siguientes componentes (Ver Ilustración 2):

- Caldera.
- Controles de temperatura y presión.
- Válvulas de seguridad.
- Válvulas reguladoras de flujos.
- Bomba de alimentación.
- Tanques de condensados.
- Trampas de vapor.
- Redes de distribución.
- Equipos consumidores.
- Sistema de recuperación de calor.

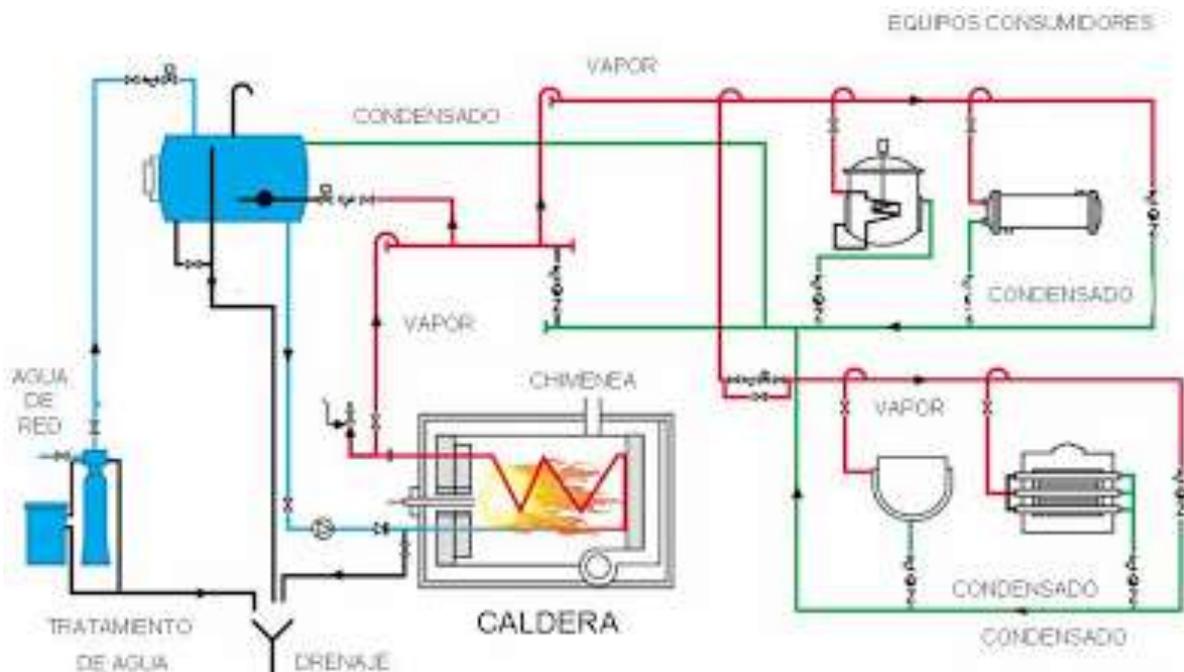


Ilustración 2. Esquema de una instalación de vapor. (Fuente. Curso de calderas de vapor, 2012)

2.2. Tratamiento de Agua de Calderas

El tratamiento de agua de alimentación de calderas, juega un papel muy importante en la producción de vapor, por lo que debe ser tratada antes de ingresar, para disminuir muchos problemas tales como:

- Impedir la corrosión en el sistema de alimentación de la caldera.
- Minimizar la formación de lodos.
- Neutralizar los gases que pudieran quedar en el agua de alimentación
- Evitar los arrastres en el vapor de las calderas

Entre otras cosas, el tratamiento del agua cumple la función fundamental de producir un vapor de alta calidad. Según (Cedron, 2010) el tratamiento de esta agua puede ser:

- Tratamiento externo, el cual consiste en la reducción y eliminación de impurezas del agua en la parte externa de la caldera. Por lo general, se emplea tratamiento externo cuando la cantidad de una o varias impurezas del agua es demasiado elevada como para ser tolerada por la caldera en cuestión, hay una variedad de tratamientos tales como: ablandamiento, evaporación, desaireación, filtros de membrana, etc.
- El tratamiento interno, consiste en el acondicionamiento de impurezas dentro del sistema de la caldera, las reacciones ocurren tanto en las líneas de alimentación como en la misma caldera. El tratamiento interno puede aplicarse sólo o conjuntamente con el tratamiento externo.

Su propósito es reaccionar de forma adecuada con la dureza del agua de alimentación, acondicionar los lodos, eliminar el oxígeno y evitar la formación de espumas en el agua de la caldera.

2.3. Tanque de Alimentación o Condesados

Es un recipiente que almacena el condensado que resulta de un sistema generador de vapor, cuya función es el de recuperar el condensado de vapor en forma de agua, para su reutilización ya sea como reserva mínima para alimentar la caldera o su uso en algún proceso industrial. (Satena, 2018)

Por lo general y para una optimización de recursos el tanque y todos sus elementos deben estar calorifugado y tener una apariencia similar a la mostrada a continuación:

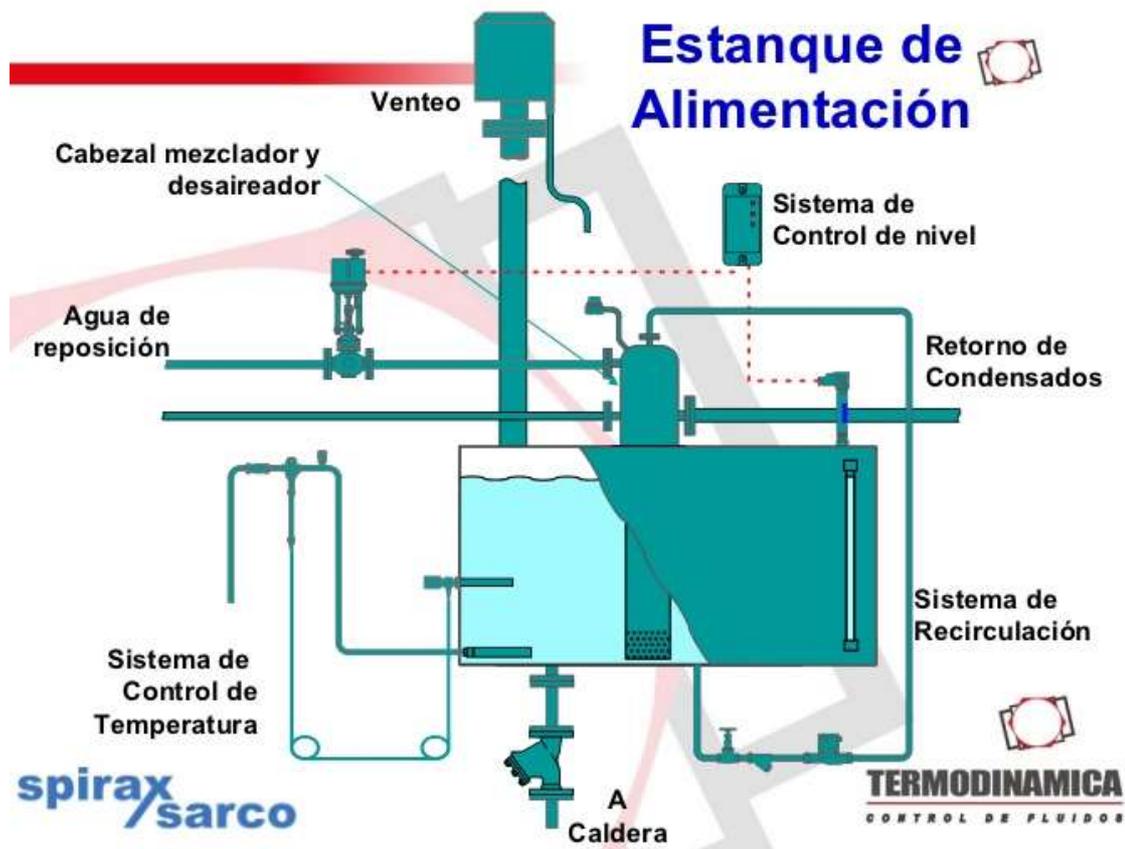


Ilustración 3. Tanque de abastecimiento o condensados. (Fuente. Catalogo Spirax Sarco, 2018)

2.3.1 Tanque de Purgas

El tanque de purgas es un recipiente a presión de alto riesgo, necesario en la operación de calderas de vapor, ya que por normativas medioambientales es necesario que las purgas pasen por un sistema de enfriamiento. Dicho tanque requiere de estricto apego a normas de fabricación por código. (José Bailón Peidró, 2010)

Cuando las purgas se realizan, son transportados a este tanque, donde son enfriados para que puedan ser expulsados a la red de saneamiento. Por la parte de arriba del tanque se expulsa el vapor que se produce por el cambio de presión a una menor, y por la parte inferior se expulsa el agua que aun cuenta con poder calorífico, que puede ser aprovechado. (Ver ilustración 4)



Ilustración 4. Taque de recogida de purgas (fuente Sirax Sarco, 2016)

2.4. Calderas

Es un recipiente rígido, metálico y cerrado, cuya función principal es producir vapor o agua a una temperatura superior a la del ambiente y la presión mayor que la atmosférica. generalmente se produce vapor saturado. Este vapor se crea a través de una transferencia de calor a presión constante en la cual el fluido se calienta y cambia de estado, dicho calor es producido por la quema de combustibles líquidos, sólidos o gaseoso, dependiendo del sistema elegido. (Chávez Oswaldo, 2016)

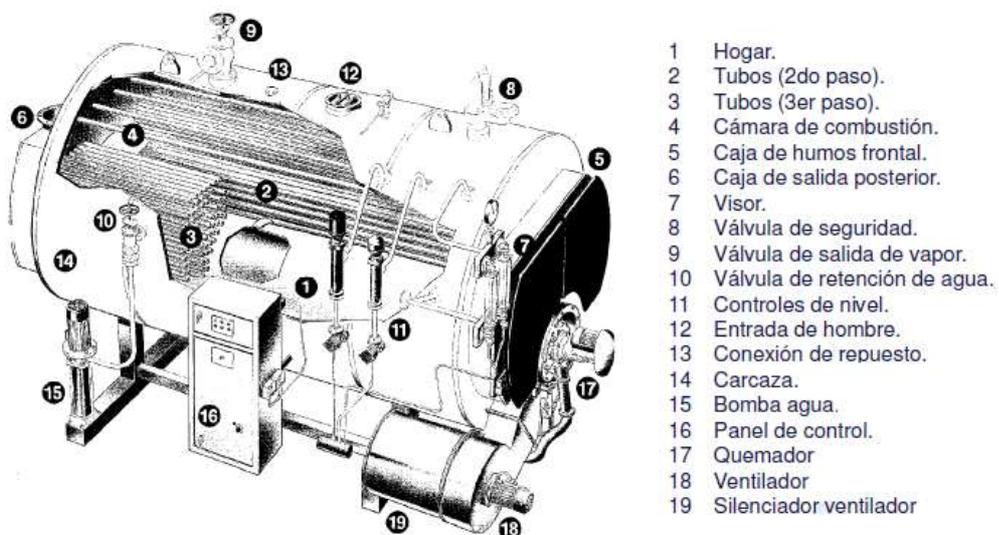


Ilustración 5. Componentes de una caldera (Fuente. Fisair air humidity control, 2010).

2.4.1. Clasificación de las Calderas

Las clasificaciones dependen de muchos criterios tales como:

- A. De acuerdo a la circulación de los fluidos dentro de los tubos de la caldera;
 - I. Calderas pirotubulares o humotubulares. - son aquellas en las cuales el humo y gases de la combustión circula por el interior de los tubos, y el agua es calentada en el exterior de los mismo.

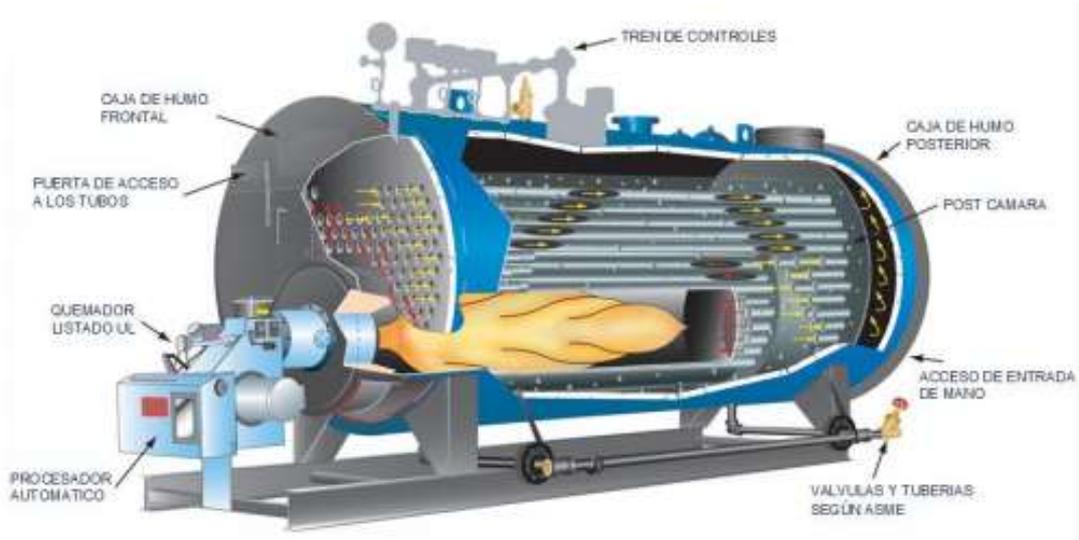


Ilustración 6. Caldera pirotubular. (Fuente Tecnología de vapor industrial S.R.I)

- II. Calderas acuotubulares. - son aquellas en las que el agua circula por el interior de los tubos y los humos de combustión por el exterior de estos. («Calderas pirotubulares y acuotubulares», 2017)

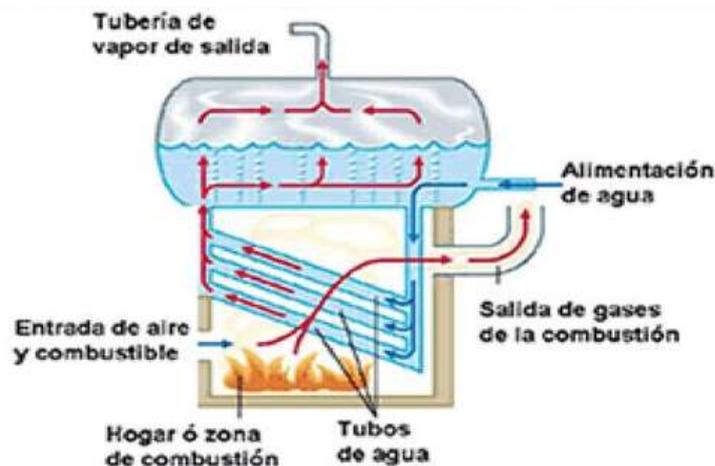


Ilustración 7. Caldera Acuotubular. (Fuente. Maquinas térmicas, blog spot, 2014)

B. De acuerdo a la presión de trabajo de la caldera.

- I. Calderas de baja presión. - son aquellas que producen vapor a baja presión la cual no supera los 4.5 bar. Por lo general son utilizadas para producir agua caliente y no vapor.
- II. Calderas de media presión. - son las que producen el vapor aproximadamente a una presión no mayor a 20 bar, es de aplicación industrial en la producción de vapor saturado.
- III. Calderas de alta presión. - son calderas que trabajan a presiones por encima de los 20 bar, hasta las cercanas a las críticas.
- IV. Calderas supercríticas. - son calderas que trabajan por encima de la presión crítica: 225,56 ata, 374,15fC. Utilizadas en grandes plantas de generación de energía eléctrica, en EEUU, algunos países de Europa y Japón. («CALDERAS», 2017)

C. De acuerdo a la producción de vapor.

- I. Calderas chicas. - su producción de vapor no es superior a 2 toneladas.
- II. Calderas medianas. - pueden producir hasta 20 toneladas de vapor por hora. Por lo general gran parte de las calderas chicas y medianas son pirotubular de baja y media presión.
- III. Calderas chicas. - son calderas acuotubulares que por lo general producen vapor sobrecalentado, partiendo desde 20t/h y siendo común encontrar producciones de 500 0 600 t/h.

D. De acuerdo al combustible utilizado.

- I. Calderas de combustibles líquidos. - son las más comunes se fabrican de todo tipo y tamaño.
- II. Calderas de combustibles gaseoso. - tienen un alto riesgo de explosión por acumulación de gas no quemado, suelen tener quemadores duales que permiten la quema de diferentes combustibles de acuerdo a la disponibilidad y coste. Pueden usar tanto gas natural como GLP, aire propanado o gas obtenido en gasificadores.
- III. Calderas de combustibles sólidos.- existen un sin número de combustibles sólidos partiendo desde la leña de todo tamaño, pasando por desechos de producción y llegando hasta el carbón, lo complejo de estas calderas es que

cada tipo de materia necesita un quemador con la tecnología adecuada para poder quemarlos de la mejor manera, otros de los inconvenientes es que el hogar (lugar donde se quema el combustible) de este tipo de calderas es de mayor dimensión que el de las que utilizan combustibles líquidos y gaseosos. En los países desarrollados este tipo de calderas son utilizados para quemar desechos urbanos.

E. De acuerdo a la circulación del agua dentro de la caldera.

- I. Circulación natural. - esta circulación se hace de forma natural aprovechando la diferencia de densidades en el agua fría y la mezcla agua-vapor. Esta circulación se realiza en un circuito cerrado.

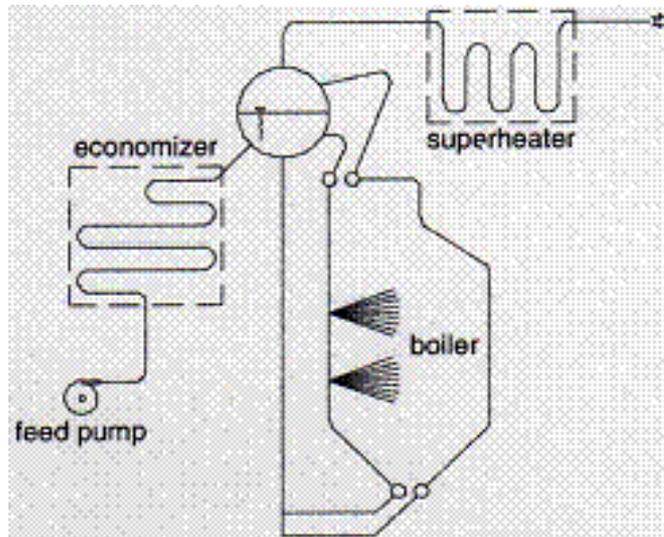


Ilustración 8. Diagrama de circulación natural. (Fuente. Monografias.com, 2013)

- II. Circulación asistida. - En este caso la circulación natural en los tubos de la caldera es complementada por bombas instaladas en el circuito. Este sistema presta más fiabilidad al momento de mayor demanda, es importante contar con un sistema auxiliar para cuando la bomba principal salga de servicio y evitar paradas inesperadas.
- III. Circulación forzada. - se diferencia con los dos anteriores, ya que este cuenta con un circuito abierto. Es este sistema el agua es impulsada por una bomba hasta una primera superficie de intercambio donde se precalienta y luego pasa a una segunda superficie, donde se evapora. Hay casos especiales donde pasan a una tercera superficie, en donde se sobrecalienta.

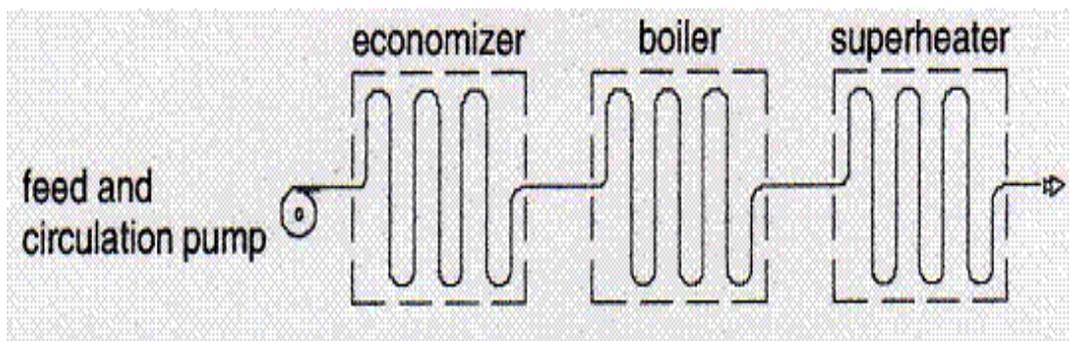


Ilustración 9. Diagrama de circulación forzada. (Fuente. Monografias.com, 2013)

F. De acuerdo al intercambio de calor.

- I. Radiantes, o de radiación total. - por lo general son calderas acuotubulares, que trabajan a altas temperaturas. Solo tienen hogar y allí donde se lleva a cabo el intercambio de calor por irradiación.
- II. Convectivos. – son calderas sin cámaras de combustión, por lo que utilizan fluidos con altas temperaturas proveniente de algún proceso previo (hornos de fundición, motores diese, turbina de gas, etc.)
- III. De calentamiento indirecto. - son calderas donde se hace circular por la superficie de intercambio algún fluido térmico generalmente aceite, el cual genera vapor.

2.5. Redes de Distribución del Vapor

El sistema de distribución de vapor es el enlace principal entre la fuente generadora del vapor y sus consumidores. La fuente generadora del vapor puede ser una caldera o una planta de cogeneración, la cual debe proporcionar vapor de buena calidad, en las condiciones de caudal y presión requeridas, y debe realizarlo con las mínimas pérdidas de calor y atenciones de mantenimiento. (Xpirax sarco, 2017).

Los principales elementos por los que está conformada una red de vapor son:

- Tuberías principales y secundarias.
- Elementos complementarios, soportes, anclajes, abrazaderas, juntas.
- Recubrimiento térmico.
- Válvulas de seguridad y reductoras de presión.
- Separadores de condensación.
- Purgadores.
- Red de retorno de condensados.

2.5.1. Consideraciones de Diseño

Al momento de diseñar la red de distribución se debe tener en cuenta no sobredimensionar ni subdimensionar, porque acarrearía muchos problemas tales como:

- Sobredimensionada.
 - a) Mayor coste.
 - b) Mayores pérdidas de calor.
 - c) Mayor condensado.
- Subdimensionada.
 - a) Mayor velocidad.
 - b) Mayor caída de presión.
 - c) Mayor erosión.

A parte de las consideraciones que se nombró anteriormente, hay que tener en cuenta otros criterios al momento de dimensionar una red de distribución de vapor tales como:

- Que se debe tener el número suficiente de trampas de vapor para garantizar la caridad del vapor.
- Colocar los soportes necesarios para evitar los pandeos en las redes, ya que en estos pandeos se acumula condensado que provocan golpe de ariete, vibraciones perjudiciales para la instalación.
- Los puntos de drenaje deben ser en los puntos bajos y en líneas recta, se recomienda colocarlos cada 50m.
- Se recomienda que los pozos de goteo para el drenaje de condensado sea del mismo diámetro que la tubería, para lograr mayor eficiencia.
- Las tuberías colocadas en línea rectas deben de tener cierto grado de inclinación.
- Se deben colocar eliminador de aire al final de cada línea.
- Las derivaciones de vapor siempre se deben colocar por la parte alta de la cañería principal.

2.6. Sistema de Aislamiento

El sistema de aislamiento o recubrimiento térmico es considerado uno de los factores más importante para la optimización de una instalación. Ya que con solo usar el aislamiento adecuado obtenemos los siguientes beneficios:

- Ahorro energético, ya que se necesita menos energía para mantener la temperatura necesaria en el proceso.

- Disminución del impacto ambiental, ya que se reduce la emisión de CO₂ y el ruido.
- Eficiencia de proceso, se disminuye las pérdidas de calor.
- Seguridad, evitando accidentes de que madura, ya que, por las altas temperaturas del fluido circulantes, la superficie de contacto suele tornarse muy elevada.

2.7. Controles de Temperatura y Presión

En la generación de vapor es muy importante mantener monitoreada la temperatura y la presión ya que cada sistema está diseñado para trabajar a condiciones determinadas y al no ser controladas se puede causar un sin número de averías en los componentes del sistema, disminuir la calidad del vapor generado y por último presentar un sistema ineficiente poco óptimo y gastos económicos altos. Suelen estar ubicados a la entrada y salida de los reductores de presión además de los lugares considerados críticos juntos con las válvulas de seguridad.

Estos dispositivos pueden ser:

- Manuales.
- Digitales.

2.8. Válvulas de Seguridad

Las válvulas de seguridad de alivio de presión están diseñadas para abrir y aliviar un aumento de la presión interna del fluido, por exposición a condiciones anormales de operación o a emergencias. Estas válvulas por lo general liberan la presión al ambiente, pero hay casos que por condiciones de seguridad tienen que ser canalizadas a otro punto. (Antonio Cejalvo Lapeña, 2017).

2.8.1. Tipos de Válvulas

Por lo general se las clasifica en cuatro grupos principales que son:

1. Según su elevación.
 - a) Válvulas de seguridad de apertura instantánea.
 - b) Válvulas de alivio de presión.
2. Según su actuación
 - a) Válvulas de actuación directa.
 - b) Válvulas de actuación indirecta.

3. Según su agrupación
 - a) Válvulas de seguridad sencilla.
 - b) Válvulas de seguridad dobles o múltiples

4. Según su conexión
 - a) Embridadas.
 - b) Roscadas.
 - c) Soldadas.

2.9. Válvulas Reguladoras de Flujos.

Una válvula es un dispositivo que puede iniciar, detener o regular el paso de un fluido, mediante una pieza móvil que abre u obstruye uno o más orificios o conductos. Las válvulas son unos de los instrumentos más esenciales en la industria, debido a su diseño y materiales, las válvulas pueden abrir y cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar una enorme serie de fluidos, desde los más simples hasta los más corrosivos o tóxicos. (Vpica, 2018)

2.10. Estaciones Reductoras de Presión

Estas estaciones son utilizadas generalmente en tramos horizontales, para reducir la presión para cuyos equipos (consumidores) de vapor que trabajan a presiones menores de la producida en el sistema. Esta estación se coloca delante del colector (sistema de distribución para varios consumidores) y basta únicamente con una estación por sistema.

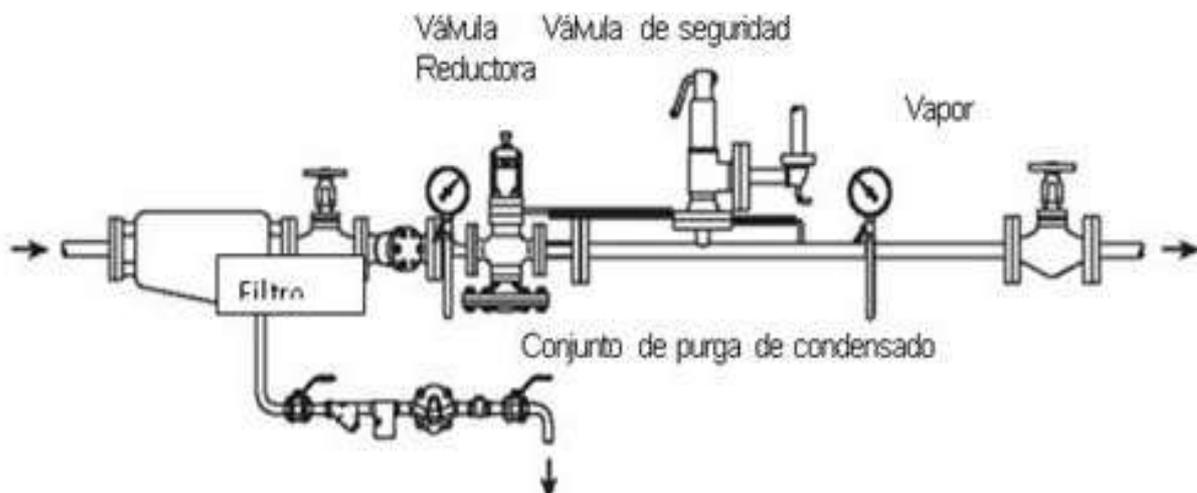


Ilustración 10. Estación reductora de presión. (Fuente. Curso de vapor Spirax Sarco, 2019)

2.11. Trampas de Vapor

Las trampas de vapor permiten la eliminación del condensado y el aire del proceso productivo. Una vez que ha sido extraído el condensado se puede regresar al área de calderas y se logra la maximización del uso de la energía, es decir, no hay desperdicio de energía o este desperdicio se reduce considerablemente. (QuimiNet, 2012)

Existen varios tipos de trampas de vapor, las cuales se dividen en los siguientes grupos:

- a) Mecánicas.
- b) Termostáticas.
- c) Termodinámicas.



Ilustración 11. Trampas de vapor A) Mecánica; B) Termostática; C) Termodinámica. (Fuente QuimiNet, 2012)

Las selecciones de estas trampas se realizan de acuerdo a la necesidad y aplicación de cada sistema.

2.12. Red de Retorno de Condensados

El condensado de los purgadores, trampa de vapor y consumidores se puede desechar al drenaje justo después de salir de cada elemento, pero esto genera grandes pérdidas de la energía contenida en el agua; o puede ser transportado por tubería hacia otro lugar, para aprovechar su energía.

De acuerdo a («Diseño de Sistemas de Retorno de Condensado en Plantas de Vapor», 2017), recuperar el condensado puede llevar a considerables ahorros de energía y agua en cualquier planta industrial que utiliza vapor, además de mejorar las condiciones de trabajo de los procesos. Un sistema efectivo de retorno de condensados es necesario para transportar el condensado desde los equipos que utilizan el vapor hasta la caldera. Tengamos en cuenta que el condensado ya ha sido tratado para su uso en una caldera, y además contiene calor útil. Sería un gran desperdicio no reusarlo. Este aprovechamiento del condensado disminuye

la cantidad de calor que la caldera deberá aportar para convertirlo de nuevo en vapor y se disminuyen los productos químicos necesarios para tratar el agua.

Los sistemas de retorno de condensados se pueden dividir en tres categorías principales:

- Líneas de purga a los purgadores (a).
- Líneas de descarga sin bombeado desde los purgadores (b).
- Líneas de retorno bombeadas (c)

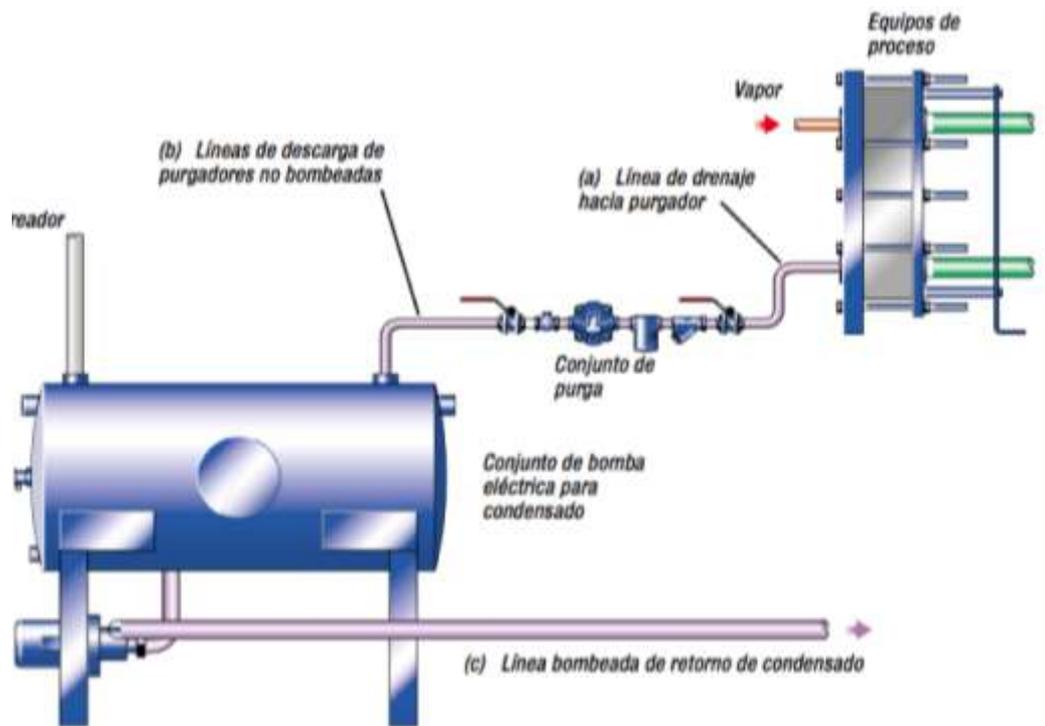


Ilustración 12. Sistema de retorno de condensados con sus tres categorías. (Fuente para la industria, 2017)

3. SITUACION ACTUAL DE LA EMPRESA

3.1. Historia

La industria POSTRES FRÍOS S.A es una empresa líder en España en la elaboración de postres desde 1970, está ubicada Barrio Quintes – Villaviciosa – Asturias. Como figura en su sitio web (www.postresfrios.es), desde el 2013 hasta la actualidad Postres fríos pasó a formar parte del grupo World of Sweet creando uno de los grupos con mayor producción en pastelería congelada en la Península Ibérica. parte del grupo World of Sweet creando uno de los grupos con mayor producción en pastelería congelada en la Península Ibérica.



Ilustración 13. Vista aérea de industria POSTRES FRÍOS S.A. (Fuente. Google Maps 2019)

A continuación, se presenta un análisis detallado de todo el sistema de generación y distribución de vapor de la industria POSTRES FRÍOS S.A

3.2. Características técnicas de la caldera

La caldera con la cual se cuenta actualmente para la generación de vapor tiene las siguientes características:

- Marca: Viessmann.
- Tipo: Pirotubular.
- Presión de diseño: 10 bar.
- Presión de trabajo: 8 bar.
- Producción máxima de vapor (m°): 2000 Kg/h.
- Temperatura de vapor (T_V): saturado a 170° C.
- Temperatura de agua de alimentación (T_I): 25° C.
- Rendimiento: 85%.
- Tipo de combustible: Fuel oil pesado.
- Hora de funcionamiento: 16 horas → 5500 h/año.

3.3. Depósito Para el Agua de Alimentación de la Caldera

La caldera es alimentada desde una cisterna de concreto de 6 metros cúbicos, no se encuentra calorifugado y presenta filtraciones por sus paredes, dicha agua ingresa a la caldera

a una temperatura media de 25°C la cual no es la más adecuada, ya que entre más lejos se encuentre el agua de su punto de ebullición, mayor es la energía necesitada para generar vapor, lo que implica mayor consumo de combustible y en consecuencia elevado costos. Lo más conveniente es que la temperatura este cerca de los 90°C, sin exceder la permitidas por la bomba de alimentación.

3.3.1. Potencia Calorífica Útil en la Situación Actual

De acuerdo a los datos actuales el calor necesario o potencia calorífica útil es la siguiente:

$$Q_u = m_v \cdot (h_v - h_l)$$

$$Q_u = 0,56 \text{ Kg/s} (2768,7 - 104,89) \text{ KJ/Kg}$$

$$Q_u = 1491,73 \text{ KJ/s}$$

Donde:

- Q_u : Potencia calorífica útil.
- m_v : Caudal másico del vapor.
- h_v : entalpía del vapor a 170° C.
- h_l : entalpía del agua de alimentación a 25° C.

3.3.2. Cálculo de la Potencia Calorífica Útil con Mejora

Para disminuir la potencia necesaria útil, solo se necesita aumentar la temperatura del agua de alimentación, lo cual se consigue de varias maneras, aunque la más recomendable es recuperando el condesando y revaporizado. Se plantea que el agua de alimentación se encuentre al momento de ingresar a la caldera a una temperatura media de 84.4°C, tomando en consideración que esta temperatura puede llegar hasta los 90°C sin afectar la bomba de alimentación, a partir de allí podemos causar otros problemas. Partiendo del dato expuesto óptenos los siguiente:

$$Q_{um} = m_v \cdot (h_v - h_l)$$

$$Q_{um} = 0,56 \text{ Kg/s} (2768,7 - 353,43) \text{ KJ/Kg}$$

$$Q_{um} = 1352,55 \text{ KJ/s}$$

Donde:

- Q_{um} : Potencia calorífica útil mejorada.
- m_v : Caudal másico del vapor.
- h_v : entalpía del vapor a 170° C.
- h_l : entalpía del agua de alimentación a 84, 4° C.

Tener en cuenta que los únicos valores que cambia en referencia a los valores actuales es la temperatura del agua de alimentación junto a su entalpia.

Se puede observar que solo con aumentar la temperatura del agua, logramos una reducción de $139,18 \text{ KJ/s}$ de potencia útil. Esta pequeña reducción, significa menos consumo de agua y combustible, que más adelante será traducido a ahorro económico.

3.4. Consumo actual de combustible en la caldera

Los datos de consumos de combustibles se realizaron en base a información técnica proporcionada por misma, debido a políticas internas de la empresa no se pueden proporcionar información económica a personas ajena a la empresa. De tal manera que para calcular el consumo de combustible se necesita los siguientes parámetros:

Caudal volumétrico, el cual se obtiene a partir de la siguiente formula:

$$v_v^\circ = m_v^\circ \cdot v^\circ$$

$$v_v^\circ = (0,56 \text{ Kg/s}) (0,24 \text{ m}^3/\text{Kg})$$

$$v_v^\circ = 0,1344 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde:

- v_v° : Caudal volumétrico del vapor.
- m_v° : Caudal másico del vapor que es el mismo que la producción máxima.
- v° : Volumen específico del vapor a 170° C .

Caudal másico del combustible, se obtiene a partir de la fórmula de rendimiento de la caldera el cual ya viene dado en las características técnicas de la caldera por lo tanto tenemos:

$$n_n = \frac{m_v^\circ (h_v - h_l)}{m_c^\circ \text{PCI}}$$

$$m_c^\circ = \frac{0,56 \text{ Kg/s} (2768,7 - 104,89) \text{ KJ/Kg}}{0,85(42500 \text{ KJ/Kg})}$$

$$m_c^\circ = 0,041 \text{ Kg/s} \cong 148,66 \text{ Kg/h}$$

Donde:

- n_n : Rendimiento de la caldera dada en las características de la caldera.
- m_v° : Caudal másico del vapor.
- h_v : entalpía del vapor a 170° C .

- h_1 : entalpía del agua de alimentación a 25° C.
- m_c° : Caudal másico del combustible.
- PCI: Poder calorífico inferior.

Potencia aportada por el combustible, se obtiene a partir de:

$$Q_c = m_c^\circ \text{PCI}$$

$$Q_c = 0,041 \text{ Kg/s} (42500 \text{ KJ/Kg})$$

$$Q_c = 1742.5 \text{ KJ/s}$$

Una vez hallados todos los parámetros necesarios se procede a calcular el consumo de combustible y los gastos que este genera, para lo cual se sabe que el coste de combustible es 0,45 €/kg o 0,038€/KWh. Entonces se tiene lo siguiente:

- Consumo de combustible por hora: $148,66 \text{ Kg/h}$.
- Coste de combustible por hora $148,66 \text{ Kg/h} \times 0,45 \text{ €/Kg} = 66,90 \text{ €/h}$.
- Consumo anual de combustible $148,66 \text{ Kg/h} \times 5500 \text{ h/Año} = 817630 \text{ Kg/Año}$.
- Coste anual de combustible: $817630 \text{ Kg/Año} \times 0,45 \text{ €/Kg} = 367933.5 \text{ €/Año}$.

3.4.1. Cálculo del Consumo de Combustible en la Caldera con Mejora

Como se dijo anteriormente la disminución del calor necesario con la mejora ahorra recursos y uno de esos recursos es el combustible y partir del nuevo calor necesario se procede a realizar los siguientes cálculos:

$$m_{cm}^\circ = \frac{Q_{um}}{n_n \times \text{PCI}}$$

$$m_{cm}^\circ = \frac{1352,55 \text{ KJ/s}}{0,85(42500 \text{ KJ/Kg})}$$

$$m_{cm}^\circ = 0,038 \text{ Kg/s} \cong 137,11 \text{ Kg/h}$$

Donde:

- m_{cm}° : Caudal másico del combustible con mejora.
- n_n : Rendimiento de la caldera dada en las características de la caldera.
- Q_{um} : Potencia calorífica útil con mejora.
- PCI: Poder calorífico inferior.

Por lo tanto, manteniendo el mismo precio del combustible usado anteriormente, los nuevos consumos y costo de combustibles serían los siguientes:

- Consumo de combustible por hora: $137,11 \text{ Kg/h}$.
- Coste de combustible por hora: $137,11 \text{ Kg/h} \times 0,45 \text{ €/Kg} = 61,70 \text{ €/h}$
- Consumo anual de combustible: $137,11 \text{ Kg/h} \times 5500 \text{ h/Año} = 754105 \text{ Kg/Año}$
- Coste anual de combustible: $754105 \text{ Kg/Año} \times 0,45 \text{ €/Kg} = 339347,25 \text{ €/Año}$

3.5. Coste Actual del Vapor

Para saber el coste que tiene la generación de vapor para la empresa se necesita calcular los siguientes parámetros:

Calor requerido, este es obtenido a partir de la siguiente formula:

$$Q_r = C_e \cdot (T_f - T_i) + h_{fg}$$

$$Q_r = [4,188 \text{ KJ/}^\circ\text{C} \cdot \text{Kg} (170^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})] + 2030,9 \text{ KJ/Kg}$$

$$Q_r = [4,188 \text{ KJ/}^\circ\text{C} \cdot \text{Kg} (145^\circ\text{C})] + 2030,9 \text{ KJ/Kg}$$

$$Q_r = 2638,16 \text{ KJ/Kg} \times 1000\text{Kg}$$

$$Q_r = 2638160 \text{ KJ}$$

Donde:

- Q_r : Calor requerido.
- C_e : Calor específico del agua.
- T_f : Temperatura del vapor generado.
- T_i : Temperatura del agua de alimentación.
- h_{fg} : Entalpía de evaporación a 8 bar.

Combustible real necesario, para encontrar este se toma como referencia la expresión siguiente:

$$C_{Rn} = \frac{Q_r}{\text{PCI}} \left(\frac{1}{n_n} \right)$$

$$C_{Rn} = \frac{2638160}{42500 \text{ KJ/Kg}} \left(\frac{1}{0,85} \right)$$

$$C_{Rn} = 73,03\text{Kg}$$

Donde:

- C_{Rn} : Combustible real necesario.
- Q_r : Calor requerido.
- PCI: Poder calorífico inferior del combustible.
- n_n : Eficiencia de la caldera $85\% \cong 0,85$

A partir de estos valores se obtiene el coste de vapor, que generalmente se expresa en coste por cada 1000kg de vapor producido.

- Coste de vapor: $(73,03\text{Kg}) (0,45 \text{ €/Kg}) = 32,86\text{€/}1000\text{Kg}$

3.5.1. Cálculo del Coste de Vapor con la Mejora

Como se viene realizando anteriormente, se usa las mismas expresiones que se usó en el cálculo anterior, variando únicamente la temperatura del agua de alimentación que es con la que se plantea trabajar en la mejora ($74,5^\circ\text{C}$). Por lo tanto, tenemos lo obtenemos lo siguiente:

- Calor requerido (Q_r): 2389392,8KJ.
- Combustible real necesario (C_{Rn}): 66,14Kg.

Por lo tanto, el nuevo coste de vapor sería:

- Coste de vapor: $(66,14\text{Kg}) (0,45 \text{ €/Kg}) = 29,76\text{€/}1000\text{Kg}$.

Esto supone el siguiente ahorro:

- Ahorro por tonelada de vapor = Coste de vapor actual - Coste de vapor con mejora

$$32,86 \text{ €/}1000\text{Kg} - 29,76 \text{ €/}1000\text{Kg} = 3,10 \text{ €/}1000\text{Kg}$$

- Ahorro por hora en producción de vapor = Ahorro por tonelada x cantidad producida por hora.

$$3,10 \text{ €/}1000\text{Kg} \times 2 \text{ } 1000\text{Kg}/\text{h} = 6,20 \text{ €/h}$$

- Ahorro anual en producción de vapor anual = Ahorro producido por hora x hora al año

$$6,20 \text{ €/h} \times 5500 \text{ h/año} = 34100 \text{ €/Año}$$

3.6. Tratamiento de Agua de Calderas

El tratamiento de agua de la caldera es indispensable ya que por medio de este se limita en gran parte la formación de espuma, reduce la corrosión, evita los sólidos y por último restringe el arrastre de agua de la caldera al circuito de vapor. En la actualidad la empresa cuenta con un ablandador de agua que es muy ineficiente.

En general el agua debe tener un tratamiento químico, ya que con el aumento de temperatura se elimina mayor contenido de oxígeno en el agua, y esta eliminación de oxígeno significa reducción de producto químico. (Ver Ilustración 2)

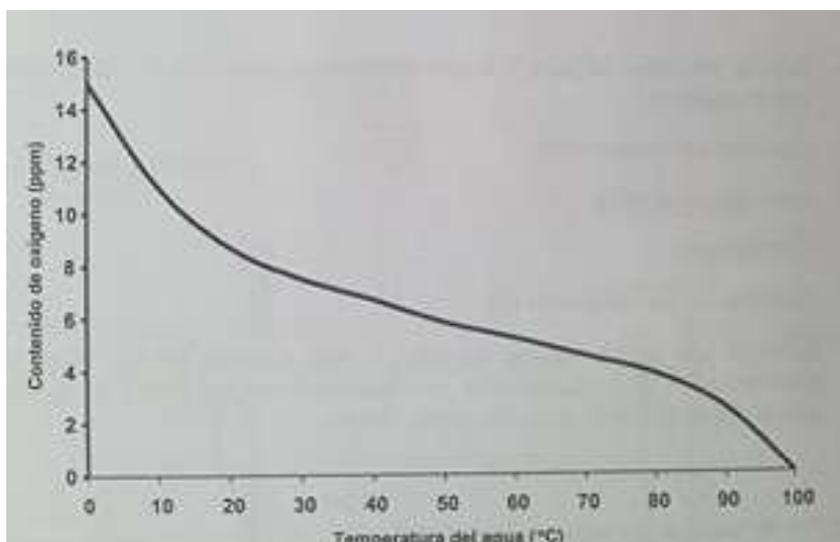


Ilustración 14. Diagrama de contenido de oxígeno vs temperatura. (Fuente. Epirax Sarco 2019).

En la actualidad el precio del agua es de $1,75 \text{ €/m}^3$, ya que en la instalación no se recupera nada de esta agua que se condensa la empresa tiene el siguiente consumo:

- Consumo de agua por hora: $2 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Coste de agua por hora: $2 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1,75 \text{ €/m}^3 = 3,5 \text{ €/h}$.
- Consumo anual de agua: $2 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 5500 \text{ h/Año} = 11000 \text{ m}^3/\text{Año}$.
- Coste anual de agua: $11000 \text{ m}^3/\text{Año} \cdot 1,75 \text{ €/m}^3 = 19250 \text{ €/Año}$.

3.7. Caudal de la Purga

Para determinar si el caudal de la purga es el correcto se procedió a realizar una muestra de agua de caldera y del agua de alimentación, en la que se obtuvieron los siguientes resultados: (Ver Tabla 1.)

Tabla 1. Análisis del agua de la caldera y de alimentación.

Tipo	Análisis 1	Análisis 2
Agua de caldera	$2050 \mu\text{S}/\text{cm}$	$2400 \mu\text{S}/\text{cm}$
Agua de alimentación	$398 \mu\text{S}/\text{cm}$	$384 \mu\text{S}/\text{cm}$

Los valores del agua de la caldera están muy alejados de los normales, según lo recomendado por el comité investigador de ASME (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) (Ver Ilustración 3).

Presión de caldera	Sólidos Totales. ppm ¹	Alcalinidad total, ppm como CaCO ₃ ¹	Silice, ppm como SiO ₂ ²
0-300	3.500	700	75-50
301-450	3.000	600	50-40
451-600	2.500	500	45-35
601-750	2.000	400	35-25
751-900	1.500	300	20-8
901-1.000	1.250	250	10-5
1.001-1.500	1.000	200	5-2
1.501-2.000	750	150	3-0,8
2.001-2.500	500 ⁴	100 ⁴	0,4-0,2
2.501-3.000	500 ⁴	100 ⁴	0,2-0,1

Ilustración 15. Límites de impurezas recomendados por un comité investigador de **ASME**, para el agua de alimentación y el agua de calderas, para calderas a diferentes presiones de trabajo. (Fuente Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos)

Por lo tanto, valores de 3500 ppm ($5000 \mu\text{S}/\text{cm}$) son los aceptables. Si estos valores están por debajo indican una purga excesiva y se está derrochando agua, energía y tratamiento (en este caso la empresa no cuenta con tratamiento). Si los valores están por encima significa que la purga está por debajo de la necesaria ocasionando múltiples problemas como:

- Aumento de espuma en el agua.
- Eficacia energética pobre.
- Suciedad en las superficies de intercambio, válvulas y purgadores.

De tal manera que el caudal actual de la purga es:

$$C_p = \frac{CE_{Aa} \cdot P_{\max}}{CE_{Ac} - CE_{Aa}}$$

$$C_p = \frac{391 \mu\text{S}/\text{cm} \times 2000 \text{ Kg}/\text{h}}{(2225 - 391) \mu\text{S}/\text{cm}}$$

$$C_p = 426,39 \text{ Kg}/\text{h}$$

Donde:

- C_p : Caudal de la purga.
- CE_{Aa} : Conductividad eléctrica del agua de alimentación (valor medio de los dos análisis).
- P_{max} : Producción de vapor.
- CE_{Ac} : Conductividad eléctrica del agua de caldera (valor medio de los dos análisis).

El caudal que se calculó anteriormente es un valor excesivo debido a la conductividad del agua de caldera.

3.7.1. Cálculo del Caudal de la Purga Recomendado

El siguiente cálculo se refiere a caudal de la purga con la conductividad del agua de acuerdo a lo recomendado por las ASME. Empleando la misma expresión anterior, sustituyendo únicamente el valor de la conductividad tenemos:

$$C_{pr} = \frac{CE_{Aa} \cdot P_{max}}{CE_{Ac} - CE_{Aa}}$$
$$C_{pr} = \frac{391 \mu S/cm \times 2000 \text{ Kg/h}}{(5000 - 391) \mu S/cm}$$
$$C_{pr} = 169,67 \text{ Kg/h}$$

Donde:

- C_{pr} : Caudal de la purga recomendada.
- CE_{Aa} : Conductividad eléctrica del agua de alimentación según el criterio de la ASME (Ver Ilustración 15).

Como se puede apreciar se encuentra una diferencia del $256,72 \text{ Kg/h}$ que es el exceso de caudal que conlleva a pérdidas energéticas y económicas.

3.7.2. Ahorro Eco - Energético con Purga Recomendada

Si tomamos como referencia la diferencia de caudal entre el actual y el recomendado, nos arroja un valor que significa ahorro energético con caudal adecuado, este ahorro se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$A_{e1} = \frac{(h_c - h_a) \times D_p}{n_n} - \frac{(h_c - h_{am}) \times D_{pm}}{n_n}$$

$$A_{e1} = \frac{(719,21 - 104,89) \text{ KJ/Kg} \times 426,39 \text{ Kg/h}}{0,85} - \frac{(719,21 - 353,43) \text{ KJ/Kg} \times 169,67 \text{ Kg/h}}{0,85}$$

$$A_{e1} = 308164,59 \text{ KJ/h} - 73013,99 \text{ KJ/h}$$

$$A_{e1} = 235150,6 \text{ KJ/h} \cong 65.37 \text{ KWh}$$

Donde:

- A_{e1} : Ahorro de energía con el nuevo caudal.
- h_C : Entalpía del agua de caldera.
- h_a : Entalpía del agua de alimentación a 25°C.
- h_{am} : Entalpía del agua de alimentación con mejora a 84,4°C.
- D_p : Caudal de purga actual.
- D_{pm} : Caudal de purga mejorado.
- n_n : Eficiencia de la caldera 85 % \cong 0,85.

Una vez encontrado el ahorro energético, este se traduce a valores económicos de la siguiente manera:

$$A_{eco} = A_e \times C_c \times H_{año}$$

$$A_{eco} = 65.37 \text{ KWh/h} \times 0,038 \text{ €/KWh} \times 5500 \text{ h/año}$$

$$A_{eco} = 13662,33 \text{ €/Año}$$

Donde:

- A_{eco} : Ahorro económico con el caudal adecuado.
- A_e : Ahorro de energía con el caudal recomendado.
- C_c : Coste combustible.
- $H_{año}$: Horas de trabajo al año.

Este ahorro se realizó tomando en cuenta un purgado manual automático, si la purga se realiza de forma manual en un lapso de 3 a 5 segundo este ahorro económico puede bajar hasta un 5%.

3.8. Recuperación de Calor en la Purga de Sales

En los momentos actuales no se posee un sistema de recuperación de purga donde se puede recuperar gran parte de su poder calorífico ya que la purga está a la misma presión y temperatura del vapor. En esta recuperación de purga tenemos dos clases de ahorro que son:

- Ahorro energético recuperando el calor de purga.
- Ahorro energético recuperando el calor del agua.

3.8.1. Ahorro Económico Recuperando el Calor de Purga

Un 80% del calor generado por las purgas es recuperable, lo que corresponde a un gran ahorro energético. Básicamente este sistema está compuesto por los siguientes elementos:

- Tanque de revaporizado.
- Un intercambiador de calor.
- Accesorios.

Pues con un sistema de recuperación básico se puede tener el siguiente ahorro. Sabiendo que el caudal de la purga recomendado es $C_p = 169,67 \text{ Kg/h}$ y el porcentaje de revaporizado es del 13,5 % según la siguiente tabla:

Tabla 2. Tabla de porcentaje de vapor recuperado de acuerdo a la presión de trabajo. (Fuente. Spirax Sarco 2014).

Presión de Caldera bar	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
% Revaporizado	10,3	11,4	12,5	13,5	14,4	15,1	16,0	16,7	17,4	18,0	18,6

De tal manera, la cantidad de revaporizado es la siguiente:

$$V_{\text{rec}} = 13,5\% \text{ de } 169,67 \text{ Kg/h} = 22,91 \text{ Kg/h}$$

Traducido a ahorro económico recuperando el revaporizado, tenemos:

- Ahorro económico con el coste de vapor mejorado:

$$A_{\text{eco1}} = V_{\text{rec}} \times H_{\text{año}} \times C_{\text{Vap1}}$$

$$A_{\text{eco1}} = 0,02291 \text{ t/h} \times 5500 \text{ h/Año} \times 29,78 \text{ €/t}$$

$$A_{\text{eco1}} = 3752,43 \text{ €/Año}$$

Donde:

- A_{eco1} : Ahorro económico recuperando el revaporizado.
- V_{rec} : Vapor recuperado.
- $H_{\text{año}}$: Horas de trabajo al año.
- C_{Vap1} : Coste del vapor mejorado.

3.8.2. Ahorro energético recuperando el calor del agua residual

Mediante un intercambiador podemos recuperar gran parte de calor producido por el agua residual de las purgas. La cantidad de calor producido se encuentra de la siguiente manera:

$$C_{res} = (C_{pr} - V_{rec})(h_c - h_a)(H_{año})$$
$$C_{res} = (169,67 - 22,91) \text{ Kg/h} (419,04 - 353,43) \text{ KJ/Kg} 5500 \text{ h/Año}$$
$$C_{res} = 52959075,8 \text{ KJ/Año}$$

Donde:

- C_{res} : Calor del agua residual.
- C_{pr} : Caudal de la purga recomendado.
- V_{rec} : Revaporizado.
- h_c : Entalpía del agua de caldera.
- h_a : Entalpía del agua de alimentación.
- $H_{año}$: Horas de trabajo al año.

A partir de la recuperación de este calor se produce un ahorro energético que se obtiene con el rendimiento del 85% partiendo de la siguiente expresión:

$$A_{e2} = \frac{C_{res}}{n_n}$$
$$A_{e2} = \frac{52959075,8 \text{ KJ/Año} \times 0,000278 \text{ kWh}}{0,85}$$
$$A_{e2} = 17320,73 \text{ kWh/Año}$$

Donde:

- A_{e2} : Ahorro energético con 85%.
- C_{res} : Calor del agua residual.
- n_n : Eficiencia de la caldera 85 % \cong 0,85.

Y por último este ahorro energético llevado a lo económico se traduce a lo siguiente:

$$A_{eco2} = A_{e2} \times C_c$$
$$A_{eco2} = 17320,73 \text{ kWh/Año} \times 0,038 \text{ €/kWh}$$
$$A_{eco2} = 658,19 \text{ €/Año}$$

Donde:

- A_{eco2} : Ahorro económico recuperando el calor del agua residual.
- A_{e2} : Ahorro energético col 85%.

- C_c : Coste combustible.

Sumando el ahorro obtenido recuperando el calor de la purga y del agua residual se obtiene lo siguiente:

- Ahorro económico total:

$$A_T = 3752,43\text{€/Año} + 658,19\text{€/Año}$$

$$A_T = 4410,62\text{€/Año}$$

3.9. Red de distribución de vapor

El vapor es distribuido a través una red de tuberías de 3" (DN 80) realizando un recorrido de 200 metros (160 lineales + 20% por accesorios), desde la sala de calderas hasta la sala de proceso, hasta este punto se presenta una caída de presión del 0,51 *bar* desde allí es distribuida por 100 metros (75 lineales + 15% por accesorios), de tuberías de 2" (DN 50), a sus principales consumidores, con una caída de presión 1,33 *bar*, teniendo una caída de presión total de 1,84 *bar* que se encuentra dentro del rango permisible de la instalación. Estos cálculos se realizaron en la calculadora para ingeniería de TLV compañía, especialista en vapor y la comprobación del diámetro de que dicha cañería son del diámetro correcto en calculadora (software), herramienta de DLV especialista en vapor (Ver anexo 1).

Como lo dice wordpress en su archivo de formación de profesionales; los elementos tales como: reducciones, codos y "T" son accesorios que equivalen en función de los diámetros de la tubería, a:

- 1"-1,5" a 1 m de tubería.
- :2"-5" a 1,5 m de tubería.
- 5,5"-10" a 2 m de tubería.

3.10. Condensación en las Tuberías de Distribución

De acuerdo a un estudio realizado por Spirax – Sarco S.A en la mayoría de procesos que utilizan vapor como medio de aporte calorífico, solo se aprovecha el calor latente o entalpía de evaporación que el vapor cede al condensar. Esto representa alrededor de 75% de la energía suministrada por la caldera para producir vapor. Aproximadamente el 25% restante, lo conserva el agua condensada.

Además de su contenido calorífico, el condensado formado en la red de distribución es agua destilada: ideal para utilizar como agua de alimentación en la caldera. Por esta razón es conveniente recuperar dicho condensados.

A partir de los datos de las condiciones de trabajo y con ayuda de calculadora Spirax Sarco (Ver anexo 2 y 3), se realiza una tabla de pérdidas en puesta en marcha y pérdidas de funcionamiento que se observa a continuación: (Ver tabla 3)

- Pipe Standard: ANSI – Schedule 40.
- Diámetro nominal: 3 in – 80 mm; y 2 in – 50mm
- Longitud de tubería equivalente: 100 m.
- Presión de vapor: 8 bar.
- Temperatura ambiente: 19.5 °C
- Tiempo de inicio. 10 min.
- Elija la ubicación de la tubería: Expuesto al aire libre

Tabla 3. Condensación en la red de distribución de vapor en diferentes condiciones

<u>Pérdidas en tuberías 3 in – 80mm (100 metros x 2)</u>			
Tasa de Condensación de Arranque	Tasa de Condensación de Arranque	Capacidad mínima de arranque de la válvula	Cantidad mínima de trampas requeridas
	254,902 Kg/h	2,35673Kv	3 unidades
Tasa de Condensación Corriente	Tubería sin aislamiento	Aislamiento de 50mm	Aislamiento de 75mm
	213,470 Kg/h	18,1221 Kg/h	14,3979 Kg/h
Pérdida de calor corriente	Tubería sin aislamiento	Aislamiento de 50mm	Aislamiento de 75mm
	120,388 Kw	10,2201 Kw	8,11983 Kw
<u>Pérdidas en tuberías 2 in – 50mm (100 metros x 1)</u>			
Tasa de Condensación de Arranque	Tasa de Condensación de Arranque	Capacidad mínima de arranque de la válvula	Cantidad mínima de trampas requeridas
	122,823 Kg/h	1,135557Kv	3 unidades
Tasa de Condensación Corriente	Tubería sin aislamiento	Aislamiento de 50mm	Aislamiento de 75mm
	140,801 Kg/h	13,3596 Kg/h	10,9156 Kg/h
Pérdida de calor corriente	Tubería sin aislamiento	Aislamiento de 50mm	Aislamiento de 75mm
	79,406Kw	7,53428 Kw	4,98114 Kw

3.11. Pérdidas de energía en tuberías no calorifugado

Ya que las instalaciones no cuentan con aislamiento se produce una gran pérdida, que varían de acuerdo a la variación de temperaturas interna y exterior de la tubería, estas pérdidas de energía transformada a pérdidas económicas son las siguientes:

- Emisión térmica $\text{Sin/Aisl} = [(2 \times 120,338 \text{ Kw}) + 79,406 \text{ Kw}] \times 5500 \text{ h/año}$
 $= 1760451 \text{ Kwh/año}$
- Gastos económico $\text{Sin/Aisl} = 1760451 \text{ Kwh/año} \times 0,038 \text{ €/Kwh} = 66897,14 \text{ €/año}$

Como se puede observar las pérdidas que lleva esta mala práctica son muy considerables y la única forma de disminuirlas es calorifugando las tuberías.

3.11.1. Pérdidas de Energía Calorifugado Tuberías

El ahorro que se obtiene calorifugando tuberías depende del material y espesor del aislante, sin dejar de un lado la colocación de este, ya que no se debe dejar aplastado, ni mucho menos que se inunde de agua. Ya que de lo contrario el aislamiento húmedo hace que las pérdidas sean 50 veces mayores a las de una tubería sin aislamiento. El aislamiento de las tuberías podría reducir entre un 80 y 90% de las pérdidas de calor dependiendo del espesor del aislamiento, aunque por regla general este debe de tener 1 in (pulgada) de aislamiento por cada 100°F o 25 mm por cada 56°C. Pero en la actual instalación basta con 50 mm de aislamiento para obtener el siguiente ahorro:

- Emisión térmica $\text{Con/Aisl} = [(2 \times 10,2201 \text{ Kw}) + 7,53428 \text{ Kw}] \times 5500 \text{ h/año}$
 $= 153859,64 \text{ Kwh/año}$
- Ahorro económico $\text{Con/Aisl} = 153859,64 \text{ Kwh/año} \times 0,038 \text{ €/Kwh} = 5846,67 \text{ €/año}$

De tal manera que para ver ahorro térmico partimos de la diferencia entre la emisión térmica sin aislamiento y la emisión térmica con aislamiento:

$$\text{Ahorro de calor} = \text{Emisión térmica Sin/Aisl} - \text{Emisión térmica Con/Aisl}$$

$$\text{Ahorro de calor} = 1760451 \text{ Kwh/año} - 153859,64 \text{ Kwh/año}$$

$$\text{Ahorro de calor} = 1606591,36 \text{ Kwh/año}$$

Este ahorro energético traducido a ahorro económico se obtiene el siguiente:

$$\text{Ahorro económico} = \text{Gastos económico Sin/Aisl} - \text{Gastos económico Con/Aisl}$$

$$\text{Ahorro económico} = 66897,14 \text{ €/año} - 5846,67 \text{ €/año}$$

$$\text{Ahorro económico} = 61050,47 \text{ €/año}$$

3.12. Pérdidas por Condesado no recuperado

El no recuperar el condesado por parte de la empresa, genera una pérdida considerable a la que no le han tomado mucha importancia, por lo que se procede a demostrar que dichas pérdidas son bastante considerables. Las pérdidas energéticas se calculan a partir de la siguiente expresión:

$$P_e = \frac{(h_c - h_a) \times C_c \times H_{\text{año}}}{n_n}$$

$$P_e = \frac{(419,04 - 104,89) \text{ KJ/Kg} \times [(2 \times 213,47) + 140,801] \text{ Kg/h} \times 5500 \text{ h/año}}{0,85}$$

$$P_e = 1154067169 \text{ KJ/año}$$

$$P_e = 320574.21 \text{ Kw/año}$$

Donde:

- P_e : Pérdida de energía en el condensado.
- h_c : Entalpía de condesado 100°C.
- h_a : Entalpía del agua de alimentación a 25°C.
- C_c : Caudal del condesado actual.
- $H_{\text{año}}$: Horas de trabajo al año.
- n_n : Eficiencia de la caldera 85 % \cong 0,85.

Obteniendo las siguientes pérdidas:

$$\text{Pérdidas por condesados no recuperados} = \text{Pérdidas de energía} \times \text{Coste de combustible}$$

$$\text{Pérdidas por condesados no recuperados} = 320574.21 \text{ Kwh/año} \times 0,038 \text{ €/Kwh}$$

$$\text{Pérdidas por condesados no recuperados} = 12181,82 \text{ €/año}$$

3.12.1. Ahorro Recuperando el Condesado

Por otra parte, si recuperamos el condesado, considerando la cantidad de condesado que se producirá con un aislamiento de 50 mm, mostrado en la tabla de condensación en la red de distribución de vapor en diferentes condiciones (Ver tabla 3). Para realizar este cálculo se

toma la expresión utilizada anteriormente en las pérdidas de condensado, por lo que el ahorro sería el siguiente:

- Energía recuperada:

$$\text{Ahorro energético} = 5849,60 \text{ Kwh/año}$$

- Ahorro económico:

$$\text{Ahorro de economico} = 5849,60 \text{ Kwh/año} \times 0,038 \text{ €/Kwh}$$

$$\text{Ahorro economico} = 222,28 \text{ €/año}$$

3.13. Consumidores de Vapor

Los consumidores de vapor son aquellos equipos que utilizan el vapor para una actividad necesaria en un proceso determinado.

Los principales equipos consumidores de vapor son los siguientes:

Tabla 4. Principales equipos consumidores de vapor con su respectiva carga

Equipo	Cantidad	Presión de trabajo	Consumo Unitario	Consumo Total
Marmitas	2	2 bar	100 Kg/h	200 Kg/h
Pasteurizadores	5	7 bar	100 Kg/h	500 Kg/h
Cip	1	7bar	400 Kg/h	400 Kg/h
Pasteurizador	1	7bar	500 Kg/h	500 Kg/h
Pistolas de Limpieza	2	7 bar	50 Kg/h	100 Kg/h
Total				1700 Kg/h

De los consumidores es de donde se puede aprovechar la mayor cantidad de condesados, pero también se tiene que entender que no de todos los equipos se puede aprovechar los condesados ya que en algunos es imposible. Para este caso se tendrá en cuenta los siguientes equipos, más el condesado de tuberías eliminados por los purgadores:

- 2 marmitas.
- 5 pasteurizadores.
- 1 pasteurizador.
- Purgadores.

La cantidad de condensado recuperado en cada equipo será la misma que consume ya que el vapor no entra en contacto con el producto, se mantiene en un sistema cerrado (intercambiador de calor).

3.14. Dimensionamiento de la Red de Condesados

Para recuperar los condensados se debe tener en cuenta que al igual que en la distribución debe evitarse en todo lo posible las pérdidas de calor por radiación antes de que llegue al tanque de alimentación de la caldera. Por esta razón las líneas del condensados deben ser calorifugado.

Básicamente hay que considerar tres fases en el funcionamiento de una planta:

1. En el arranque hay que descargar algo de aire a la línea de retorno a través del purgador.
2. A continuación, llegara una gran cantidad de agua fría. Puesto que toda la instalación esta fría, el vapor condensa muy rápidamente, con lo que durante este periodo la cantidad de condensado puede ser igual o duplicarse. Así, durante este periodo hay gran cantidad de condensado, poca o nula formación de revaporizado y pequeña presión diferencial a través de los purgadores.
3. Cuando se alcanza la temperatura de régimen, la cantidad de condensado se reduce, pero aproximarse su temperatura a la del vapor saturado, se forma revaporizado en la descarga.

Por lo general al dimensionar la red de condensados se recomienda dimensionarla para la cantidad de condensado en el periodo de arranque, y en caso de que se haga a régimen se debe duplicar la cantidad. El dimensionamiento de la red de recuperación de condensado se realizó por medio del software de cálculos y herramientas propiedad de Spirax Sarco (Ver anexo 4).

Los diámetros de las tuberías son los siguientes:

- Línea de descarga de diámetro nominal ($L_1 = 2 \frac{1}{2}$ in).
- Línea de descarga de diámetro nominal ($L_2 = \frac{1}{2}$ in).
- Orificio nominal de línea común ($C_a = 2 \frac{1}{2}$ in).
- Línea de descarga de diámetro nominal ($L_3 = \frac{3}{4}$ in).
- Orificio nominal de línea común ($C_b = 2 \frac{1}{2}$ in).

En la siguiente imagen se muestran el sistema con las tres líneas de descarga (Ver imagen 16.)

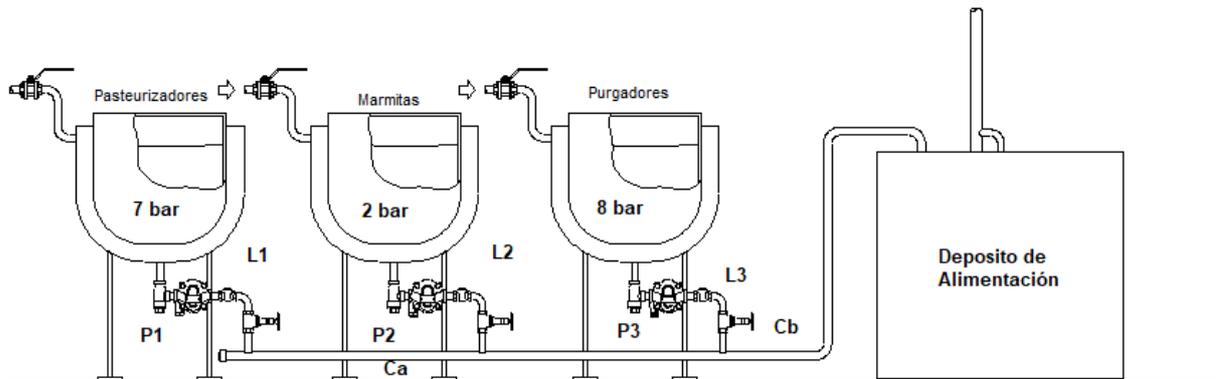


Ilustración 16. Sistema de recuperación de condensados con tres líneas.

La presión a lo largo de la tubería de condensación no va a ser superior a un bar y una temperatura de 116°C a lo largo del recorrido, llega al depósito de alimentación con un 10% menos de temperatura, se usará un recubrimiento igual al de la red de distribución 50mm.

3.14.1. Ahorro recuperando el condensado de los consumidores

El recuperar los condensados ayuda principalmente a disminuir el consumo de agua y a elevar la temperatura del agua de alimentación de la caldera, aunque esta segunda no siempre se puede dar. El ahorro en agua será el siguiente:

- Ahorro de agua por hora: $1131,71 \text{ Kg/h}$.
- Ahorro de agua por año: $1131,71 \text{ Kg/h} \times 5500 \text{ h/Año} = 6224405 \text{ Kg/Año}$.
- Ahorro económico en agua por hora: $1131,71 \text{ Kg/h} \times 1,75 \text{ €/1000Kg} = 1,98 \text{ €/h}$.
- Ahorro económico en agua por año: $1,98 \text{ €/h} \times 5500 \text{ h/Año} = 10890 \text{ €/Año}$

De esta manera recuperando la cantidad de condensado expresado anteriormente tenemos un menor gasto en agua. Manteniendo el precio actual de $1,75 \text{ €/m}^3$ tenemos lo siguiente:

- Consumo de agua por hora: $0,8683 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Coste de agua por hora: $0,8683 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,75 \text{ €/m}^3 = 1,52 \text{ €/h}$.
- Consumo anual de agua: $0,8683 \text{ m}^3/\text{h} \times 5500 \text{ h/Año} = 4775,60 \text{ m}^3/\text{Año}$.
- Coste anual de agua: $4775,60 \text{ m}^3/\text{Año} \times 1,75 \text{ €/m}^3 = 8357,30 \text{ €/Año}$.

3.15. Temperatura del Agua de Alimentación

El siguiente cálculo es una verificación del valor que se planteó al inicio de la unidad en el punto 3.3.2. (Cálculo de la Potencia Calorífica Útil con Mejora) donde se planteaba llegar a cierta temperatura en el tanque de alimentación.

Una vez establecida la cantidad y temperatura de los condensados que se van a mezclar en el tanque de abastecimiento de agua para la caldera, se procede a comprobar la temperatura con la cual esta va ingresar a la caldera, tener en cuenta los valores de la siguiente tabla que se obtuvieron por medio de la calculadora Spirax Sarco.

Tabla 5. Cantidad de condesado y revaporizado generado por cada consumidor.

Equipos	Condesados	Revaporizado	Presiones
Marmitas	200 Kg/h	6,70 Kg/h; 3,35%	De 2 bar a 0,75 bar
Pasteurizadores	1000 Kg/h	105,47 Kg/h; 10,55%	De 7 bar a 0,75 bar
Purgadores	49,6 Kg/h	5,72 Kg/h; 11,53%	De 8 bar a 0,75 bar

$$T_f = \frac{C_e m_1 T_1 + C_e m_2 T_2}{C_e m_1 + C_e m_2} + \frac{Q_{rev}}{m_3 \times C_e}$$

$$T_f = \frac{1131,71 \text{ Kg/h} \times 100^\circ\text{C} + 1368,29 \text{ Kg/h} \times 25^\circ\text{C}}{2500 \text{ Kg/h}} + \frac{266077,73 \text{ KJ/h}}{4,18 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C} \times 2500 \text{ Kg/h}}$$

$$T_f = 58,95^\circ\text{C} + 25,46^\circ\text{C}$$

$$T_f = 84,4^\circ\text{C}$$

Donde:

- T_f : Temperatura del agua de alimentación para la caldera.
- m_1 : Cantidad de condesado.
- T_1 : Temperatura con la que llega el condesado.
- m_2 : Cantidad de agua de compensación.
- C_e : Calor específico del agua.
- T_2 : Temperatura del agua de compensación.
- Q_{rev} : Calor que aporta el revaporizado al agua de alimentación.
- m_3 : Masa total de agua ($m_1 + m_2$).

Tener en cuenta que el calor específico del agua varía poco con la temperatura por lo que asumimos el mismo valor para ambas masas.

3.16. Otras anomalías detectadas

A lo largo del recorrido se pudo observar otras irregularidades con menos gravedad pero que al final termina afectando a la optimización de la instalación.

Las anomalías son las siguientes:

- No cuenta con purgadores de aire a final de las líneas.
- Se observa purgadores con fugas.
- Se visualiza pandeos en ciertos tramos de la distribución de vapor.
- Fugas de vapor entre bridas de unión.
- Existe corrosión en varios puntos de la instalación (válvulas de seguridad, actuadores y acoples)
- Faltan válvulas de interrupción en la salida de purgadores
- En el circuito de vapor falta válvulas de retención
- Equipos consumidores trabajan a presiones no recomendadas.
- Faltan filtros antes de cada purgador.
- Tanque de revaporizado presenta corrosión excesiva.
- Una derivación de vapor colocada en la parte inferior de la tubería principal.

4. Propuesta Inicial de mejora

En base a la situación actual de la empresa y al estudio realizado a la instalación generadora de vapor de la industria Postres fríos se proponen mejoras que ayuden a lograr un sistema eficiente basados en un criterio técnico – económico.

Estas mejoras son las siguientes:

- Instalación de un tanque de agua de alimentación de acero inoxidable calorifugado de $3 m^3$ con cabezal mezclador y desaireador para asegurar que el agua alcance la temperatura planteada. (Ver ilustración 3)
- Instalar una red de retorno de condensados de acuerdo a las especificaciones del apartado 3.14 (Dimensionamiento de la Red de Condesados), la cual tiene que estar calorifugado.
- Se recomienda la instalación de un sistema de detección de condensados contaminado para garantizar su estado.

- Calorífugar toda la red de distribución y accesorios con un aislamiento de 50mm para disminuir las pérdidas y la cantidad de condensados.
- Instalar o mejorar el sistema de tratamiento de agua con mejor eficiencia.
- Se recomienda implementar 3 trampas o purgadores de vapor con todos sus elementos además de revisar las que ya están instaladas.
- Colocar al final de línea eliminador termostático de aire o válvula de desaireación.
- Sustitución o reparación de la estación reductora de presión para garantizar que los equipos trabajen con la presión adecuadas.
- Instalar un intercambiador de calor para aprovechar el calor del agua residual de purgas.
- Faltan drenaje en la red de distribución, se recomienda la instalación de pozos de goteo con purgador, para eliminar el condensado y en lo posible remplazar los existentes por el sistema indicado.
- Instalar un sistema de recuperación de purgas (tanque de revaporizado) y automatizar dichas purgas. (Ver ilustración 4)
- Corregir todas las anomalías mencionada anteriormente en el apartado 3.16, tales como; fugas de vapor, pandeo en la red de distribución, corrosión en ciertos equipos etc.
- Corregir la derivación de vapor que se encuentra el parte inferior de la red de distribución para evitar el arrastre de agua y conseguir un mejor vapor
- Revisar y sustituir los filtros de los purgadores
- Implementar, mejorar o actualizar el plan de mantenimiento de la instalación

4.1. El mantenimiento de la instalación de vapor

El mantenimiento es uno de los puntos más importantes en la producción de vapor, ya que, si no es el correcto, en una planta no se pondrán mantener las condiciones óptimas de funcionamiento, lo que perjudica el rendimiento del sistema causando pérdidas tanto económicas como energéticas.

Por lo tanto, para que esta instalación sea energéticamente eficiente, deben de cuidar con esmero los siguientes detalles:

- Verificar diariamente los parámetros de funcionamientos tales como presión, temperatura, caudal etc.
- Llevar un control de partículas del agua de alimentación.
- Eliminar fugas de vapor o agua, que por muy pequeñas que sean con el pasar del tiempo afectará el rendimiento.

- Los aislamientos deben de ser revisado periódicamente para comprobar que estén seco ya que de lo contrario será más perjudicables.
- Realizar semanalmente pruebas para comprobar el correcto funcionamiento de los purgadores, válvulas reguladoras y válvulas de seguridad.
- Realizar limpieza de las trampas de vapor cada cierto tiempo de acuerdo al plan de mantenimiento.
- Mejorar la calidad del vapor, eliminando el condensado que se ha producido en el recorrido y eliminando el aire que se puede haber introducido por parada de la instalación.
- Revisión de las válvulas de seguridad para comprobar su correcto funcionamiento.
- En la caldera la presión de trabajo debe de ser la aconsejada por el fabricante, (próxima a la de diseño).
- En los puntos de consumo se debe de trabajar con la presión requerida por el equipo, ya que trabajar con presiones muy altas (independiente de las condiciones de seguridad) es ineficiente energéticamente.
- Instalación de un módulo economizador.

4.2. Resumen

En la siguiente tabla se resumen el ahorro económico y la optimización de recursos que se prevé con la mejora de la instalación.

Tabla 6. Resumen del ahorro económico y de recursos con la mejora de la planta.

Descripción	Actual	Mejora		Ahorro
Temperatura del agua de alimentación	25° C	84.5° C		59.5° C
Coste de la tonelada de vapor	32,86 €/Ton	29,76 €/Ton		3,10 €/Ton
Coste del consumo de combustible	367933.5 €/Año	339347,25 €/Año		28586,25 €/Año
Coste en consumo de agua	19250 €/Año	8353,30 €/Año		10896,7 €/Año
Pérdidas		Pérdidas		Ahorro
Por no calorifugar la red de distribución	66897 €/Año	Aislar tuberías y elementos	5846,67 €/Año	61050 €/Año
Por no recuperar las purgas de la caldera	17905,03 €/Año	Recuperar y tener el caudal correcto	4410,62 €/Año	13494,41 €/Año
Pérdidas por la generación de condensados en tuberías que no se recuperan.	12181,82 €/Año	Recuperar el condensados de la red	0 €/Año	12181,82 €/Año
Pérdida por no recuperar los condensados de los consumidores	11555 €/Año	Recuperando el condensados de los consumidores	657,29 €/Año	10.890 €/Año
Total, de pérdidas	108538,85 €/Año	Total, de pérdidas	10746,66 €/Año	97792.19 €/Año

Tener en cuenta que en este análisis de ahorro económico no se evaluó el coste del tratamiento.

5. Conclusiones

Hoy en día, tener una instalación operando en estas condiciones no solo es perjudicial para la economía de una empresa, si no, es un atentado al medio ambiente ya que se está invirtiendo recursos para contaminar el planeta.

En gran mayoría las empresas que operan en condiciones como la descrita anteriormente, lo hacen por desconocimiento, valor de la inversión que supone mejorarla o por el trabajo que esta conlleva, pero cuando se conoce la cantidad de energía y dinero derrochado se puede llegar a cambiar de opinión.

Este trabajo ayuda a comprender la importancia de conocer y comprender los conceptos y principios básicos de cada instalación en la que se labora, ya que por medio de las diferentes herramientas tecnológicas que nos ofrece las diferentes compañías especializadas en cada sector, se puede alcanzar un gran beneficio tanto económico como ambiental.

Además, se pudo evidenciar que la falta de concientización por parte del personal involucrado es otro de los grandes problemas que presentan las industrias al momento de optimizar recursos ya que no son conscientes del daño que están causando al planeta.

Y, por último, se puede entender que el optimizar una planta no solo depende de la instalación y equipo que se posean, sino del control de los parámetros de funcionamiento y plan mantenimiento que se aplique.

6. Anexos

Anexo 1. Caída de presión mediante la calculadora de TLV. Compañía especialista en vapor.

TLV Compañía Especialista en Vapor Español (América Latina)

Productos Servicio Entrenamiento & Recursos Compañía Contáctenos

[Inicio](#) > [Calculador para Ingeniería](#) > Calculadora: Caída de Presión de Vapor en la Tubería

Calculador para Ingeniería

- Vapor
- Diseño de Tubería
- Dimensionamiento de Tubería por Caída de Presión
- Dimensionamiento de Tubería por Velocidad
- Dimensionamiento de Tubería por Venteo de Vapor
- Caída de Presión en la Tubería**
- Velocidad del Vapor Dentro de la Tubería
- Rango de Flujo de Vapor en la Tubería
- Grosor del Aislamiento Económico
- Orificios y Válvulas
- Carga de Condensado
- Mejora de la Sequedad del Vapor
- Efecto de la Mezcla de Aire en el Vapor
- Costo Unitario de la Energía y el Vapor

Calculadora: Caída de Presión de Vapor en la Tubería

Inscríbese en la Revista por e-mail!

Introducir Datos Unidades

Grado de Tubería	<input type="text" value="DIN 2448"/>	<input type="button" value="v"/>
Tamaño de Tubería	<input type="text" value="DN80"/>	<input type="button" value="v"/>
Presión de Vapor	<input type="text" value="8"/>	<input type="button" value="barG v"/>
Rango de Flujo del Vapor	<input type="text" value="2000"/>	<input type="button" value="kg/h v"/>
Longitud de la Tubería [?]	<input type="text" value="200"/>	<input type="button" value="m v"/>

[Mostrar Opciones Avanzadas](#)

Resultados

Caída de Presión	0.514418	<input type="button" value="bar v"/>
Velocidad del Vapor	22.3	<input type="button" value="m/s v"/>
Longitud Equivalente a una Tubería Horizontal	200	<input type="button" value="m v"/>

Anexo 2. Cálculo de la cantidad de condensados y pérdidas de energía de una cañería de 2 in de acuerdo al espesor del aislamiento por medio de la calculadora Spirax Sarco.

Pipe Standard	ANSI - Schedule 40
Nominal Pipe Size	2 in, 50 mm
Equivalent Pipe Length	100 m
Steam Pressure	8 bar gauge
Ambient Temperature	19.5 °C
Start Up Time	10 min
Choose Pipe Location	<input type="radio"/> Indoor <input checked="" type="radio"/> Outdoor Sheltered <input type="radio"/> Outdoor Exposed
	<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>

Start Up Condensing Rate

Start Up Condensing Rate	122.823 kg/h
Minimum Start Up Valve Capacity	1.13557 Kv
Minimum Number of Traps Required	3.00000

Running Condensing Rate

Un-insulated Pipe	140.801 kg/h
50mm Insulation	13.3596 kg/h
75mm Insulation	10.9156 kg/h
100mm Insulation	8.83244 kg/h

Running Heat Loss

Un-insulated Pipe	79406.0 W
50mm Insulation	7534.28 W
75mm Insulation	6155.95 W
100mm Insulation	4981.14 W

Anexo 3. Cálculo de la cantidad de condensados y pérdidas de energía de una cañería de 3 in de acuerdo al espesor del aislamiento por medio de la calculadora Spirax Sarco.

Pipe Standard	ANSI - Schedule 40
Nominal Pipe Size	3 in, 80 mm
Equivalent Pipe Length	100 m
Steam Pressure	8 bar gauge
Ambient Temperature	19.5 °C
Start Up Time	10 min
Choose Pipe Location	<input type="radio"/> Indoor <input checked="" type="radio"/> Outdoor Sheltered <input type="radio"/> Outdoor Exposed
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>	

Start Up Condensing Rate

Start Up Condensing Rate	254.902 kg/h
Minimum Start Up Valve Capacity	2.35673 Kv
Minimum Number of Traps Required	3.00000

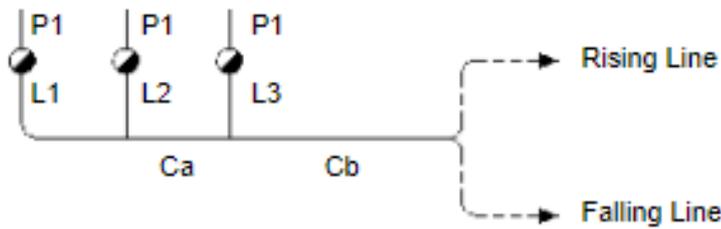
Running Condensing Rate

Un-insulated Pipe	213.470 kg/h
50mm Insulation	18.1221 kg/h
75mm Insulation	14.3979 kg/h
100mm Insulation	11.8911 kg/h

Running Heat Loss

Un-insulated Pipe	120.388 kW
50mm Insulation	10.2201 kW
75mm Insulation	8.11983 kW
100mm Insulation	6.70611 kW

Anexo 4. Dimensionamiento de la red de condensados por medio de la calculadora Spirax Sarco.



Pipe Material	Steel ▼	
Flash Steam Velocity	15	m/s ▼
Condensate Velocity	3	m/s ▼
Condensate Pressure	0.75	bar gauge ▼
	<input type="radio"/> Rising Line <input checked="" type="radio"/> Falling Line	
Discharge Line (L1)		
Upstream Pressure (P1)	7	bar gauge ▼
Mass Flow Rate	1000	kg/h ▼
Discharge Line (L2)		
Upstream Pressure (P1)	2	bar gauge ▼
Mass Flow Rate	200	kg/h ▼
Discharge Line (L3)		
Upstream Pressure (P1)	8	bar gauge ▼
Mass Flow Rate	100	kg/h ▼
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Discharge Line Nominal Bore (L1)	2 1/2	in ▼
Discharge Line Nominal Bore (L2)	1/2	in ▼
Common Line Nominal Bore (Ca)	2 1/2	in ▼
Discharge Line Nominal Bore (L3)	3/4	in ▼
Common Line Nominal Bore (Cb)	2 1/2	in ▼
Total Mass Flow Rate	1300.00	kg/h ▼

7. Bibliografía

- Calculadora: Vapor Flash Generado por Condensado Caliente | TLV - Compañía Especialista en Vapor (América Latina). (s. f.). Recuperado 9 de junio de 2019, de <https://www.tlv.com/global/LA/calculator/flash-steam-generation.html>
- CALDERAS. (2017, noviembre 12). Recuperado 12 de mayo de 2019, de LACTO EQUIPOS website: <https://lactoequipos.wordpress.com/2017/11/12/calderas/>
- Calderas con tubos múltiples de humo - Piro tubulares | Absorsistem. (s. f.). Recuperado 16 de abril de 2019, de <https://www.absorsistem.com/tecnologia/calderas/pirotubulares>
- Calderas pirotubulares y acuotubulares. (2017, julio 24). Recuperado 16 de abril de 2019, de VYC industrial website: <https://vycindustrial.com/calderas-de-vapor-pirotubulares-y-acuotubulares/>
- Cedron, M. A. (2010, febrero 5). Tratamiento de aguas de calderas. Recuperado 29 de abril de 2019, de Problemas y tratamiento del agua de calderas website: <http://tratamientosdeaguasdecalderas.blogspot.com/>
- Diseño de Sistemas de Retorno de Condensado en Plantas de Vapor. (2017, octubre 10). Recuperado 17 de mayo de 2019, de [//vaporparalaindustria.com/disenio-de-sistemas-de-retorno-de-condensado/](http://vaporparalaindustria.com/disenio-de-sistemas-de-retorno-de-condensado/)
- Fundamentos-y-conceptos.pdf. (s. f.). Recuperado de <http://historico.energia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/4.1-Fundamentos-y-conceptos.pdf>
- Pérdidas de energía calderas. (s. f.). Recuperado 7 de mayo de 2019, de <http://www.vapormat-saacke.com/perdidas-de-energia-en-calderas>
- Recursos y herramientas de diseño. (s. f.). Recuperado 9 de junio de 2019, de <https://beta.spiraxsarco.com/resources-and-design-tools>
- Sateña - Pressure Vessels & Engineering. (s. f.). Recuperado 17 de abril de 2019, de <http://www.satena.com.mx/tanque-condensados.html>

- sist_dist_v.pdf. (s. f.). Recuperado de http://www.pesint.com/files/sist_dist_v.pdf
- Sistema de Tubería para vapor y Condensado.pdf. (s. f.). Recuperado de https://aulavirtual.fio.unam.edu.ar/pluginfile.php/25651/mod_resource/content/3/Sistema%20de%20Tuber%C3%ADa%20para%20vapor%20y%20Condensado.pdf
- TODOPRODUCTIVIDAD: Algunas técnicas para optimizar los sistemas de vapor (1ª PARTE). (2011, abril 3). Recuperado 20 de abril de 2019, de TODOPRODUCTIVIDAD website: <http://todoproductividad.blogspot.com/2011/04/algunas-tecnicas-para-optimizar-los.html>
- Tratamiento de agua de calderas. (s. f.). Recuperado 12 de mayo de 2019, de <https://www.lenntech.es/aplicaciones/proceso/caldera/tratamiento-de-agua-de-calderas.htm>
- unidad 4 (La termodinámica) - Seminario de Matemática y Física. (s. f.). Recuperado 12 de mayo de 2019, de <https://sites.google.com/site/serlyn03conventero/unidad-4-la-termodinamica>
- Vidal, J. (s. f.). Programa de mantenimiento de los generadores de vapor de las centrales de agua a presión. 97.