



Universidad Latina de Costa Rica

Licenciatura en Ingeniería Electromecánica

Trabajo final de graduación

Título

PROPUESTA PARA LA RENOVACIÓN DEL SISTEMA DE VAPOR DEL
LABORATORIO DE SOLUCIONES PARENTERALES DE LA CAJA COSTARRICENSE
DE SEGURO SOCIAL

Autor: Ing. Mauricio Hernández Madriz

Costa Rica, Heredia. 10 de Octubre de 2019



TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: PROPUESTA PARA LA RENOVACION DEL SISTEMA DE VAPOR DEL LABORATORIO DE SOLUCIONES PARENTERALES DE CAJA COSTARRICENSE DE SEGURO SOCIAL, por el estudiante: MAURICIO HERNANDEZ MADRIZ , fue aprobada por el Tribunal Examinador de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Industrial de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Industrial:

Ing. Edwin Andres Phillips Soto

TUTOR

Ing. Samuel Grant Chaves

LECTOR

Ing. Andre Tabash Matamoros

REPRESENTANTE DE RECTORÍA

Heredia, 10 de Mayo de 2019

Sres.

Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación

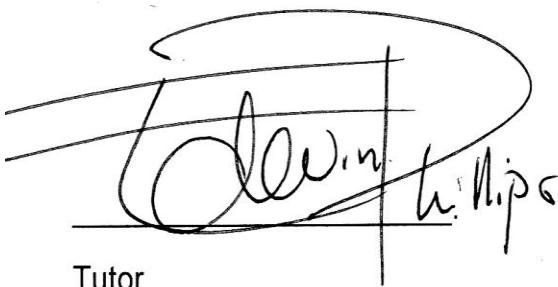
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: PROPUESTA PARA LA RENOVACION DEL SISTEMA DE VAPOR DEL LABORATORIO DE SOLUCIONES PARENTERALES DE CAJA COSTARRICENSE DE SEGURO SOCIAL, elaborado por el (los) estudiante (s) MAURICIO HERNANDEZ MADRIZ puedan optar por la LICENCIATURA EN INGENIERIA ELECTROMECHANICA.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Edwin Phillips', is written over a horizontal line. The signature is stylized and somewhat cursive.

Tutor

Heredia, 10 de Mayo de 2019

Sres.

Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación

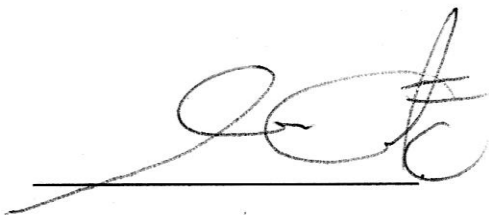
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: PROPUESTA PARA LA RENOVACION DEL SISTEMA DE VAPOR DEL LABORATORIO DE SOLUCIONES PARENTERALES DE CAJA COSTARRICENSE DE SEGURO SOCIAL, elaborado por el (los) estudiante (s) MAURICIO HERNANDEZ MADRIZ puedan optar por la LICENCIATURA EN INGENIERIA ELECTROMECHANICA.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,



Lector

Cartago, 01 de mayo de 2019

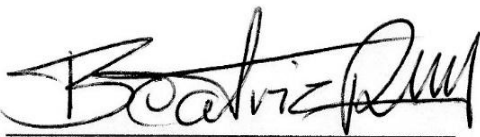
Universidad Latina de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Electromecánica

Estimados señores:

Por este medio yo, Licda. Beatriz Ramírez Montero, mayor, filóloga de profesión, incorporada al Colegio de Licenciados y Profesores, con el número de carné 012143, domiciliada en el Carmen de Cartago, portadora de la cédula de identidad 302550316, hago constar:

1. Que he revisado el Trabajo Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Electromecánica, que lleva como título: *PROPUESTA PARA LA RENOVACIÓN DEL SISTEMA DE VAPOR DEL LABORATORIO DE SOLUCIONES PARENTERALES DE LA CAJA COSTARRICENSE DEL SEGURO SOCIAL*.
2. Que el Trabajo final de Graduación para optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Electromecánica es presentado por el sustentante Ing. Mauricio Hernández Madriz, portador de la cédula número 401870888.
3. Que al trabajo se le ha hecho las correcciones en acentuación, ortografía, puntuación, concordancia gramatical y otras pertinentes del campo filológico, por ello doy fe de que se encuentra listo para ser presentado.

En espera de que mi participación satisfaga los requerimientos de la Universidad Latina de Costa Rica, se suscribe atentamente



Licda. Beatriz Ramírez Montero
Carné No. 012143
Filóloga

“Carta Autorización del autor(es) para uso didáctico del Trabajo Final de Graduación”

Vigente a partir del 31 de Mayo de 2016

Instrucción: Complete el formulario en PDF, imprima, firme, escanee y adjunte en la página correspondiente del Trabajo Final de Graduación.

Yo (Nosotros):

Escriba Apellidos, Nombre del Autor(a). Para más de un autor separe con " ; "

Mauricio Hernández Madriz

De la Carrera / Programa: Licenciatura en Ingeniería Electromecánica

autor (es) del (de la) (Indique tipo de trabajo): Propuesta

titulado:

PROPUESTA PARA LA RENOVACIÓN DEL SISTEMA DE VAPOR DEL LABORATORIO DE SOLUCIONES PARENTERALES DE LA CAJA COSTARRICENSE DE SEGURO SOCIAL

Autorizo (autorizamos) a la Universidad Latina de Costa Rica, para que exponga mi trabajo como medio didáctico en el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI o Biblioteca), y con fines académicos permita a los usuarios su consulta y acceso mediante catálogos electrónicos, repositorios académicos nacionales o internacionales, página web institucional, así como medios electrónicos en general, internet, intranet, DVD, u otro formato conocido o por conocer; así como integrados en programas de cooperación bibliotecaria académicos dentro o fuera de la Red Laureate, que permitan mostrar al mundo la producción académica de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido.

De acuerdo con lo dispuesto en la Ley No. 6683 sobre derechos de autor y derechos conexos de Costa Rica, permita copiar, reproducir o transferir información del documento, conforme su uso educativo y debiendo citar en todo momento la fuente de información; únicamente podrá ser consultado, esto permitirá ampliar los conocimientos a las personas que hagan uso, siempre y cuando resguarden la completa información que allí se muestra, debiendo citar los datos bibliográficos de la obra en caso de usar información textual o paráfrasis de esta.

La presente autorización se extiende el día (Día, fecha) 17 del mes 5 del año 2019 a las 4:00 pm. Asimismo declaro bajo fe de juramento, conociendo las consecuencias penales que conlleva el delito de perjurio: que soy el autor(a) del presente trabajo final de graduación, que el contenido de dicho trabajo es obra original del (la) suscrito(a) y de la veracidad de los datos incluidos en el documento. Eximo a la Universidad Latina; así como al Tutor y Lector que han revisado el presente, por las manifestaciones y/o apreciaciones personales incluidas en el mismo, de cualquier responsabilidad por su autoría o cualquier situación de perjuicio que se pudiera presentar.

Firma(s) de los autores Según orden de mención al inicio de ésta carta:

MAURICIO HERNANDEZ
MADRIZ (FIRMA)

Firmado digitalmente por
MAURICIO HERNANDEZ MADRIZ
(FIRMA)
Fecha: 2019.05.16 18:27:24 -06'00'

AGRADECIMIENTO

Mediante esta tesis, quiero agradecer a cada una de las personas, que de alguna u otra forma me ayudaron en su elaboración y, al grupo compañeros que por cosas de la vida tomamos la decisión de especializarnos y de mejorar profesional y personalmente; que no pusieron objeción alguna para ayudar a desarrollarme como estudiante y profesional y, ante todo, agradecer a DIOS por permitirme cumplir un objetivo más en la vida.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis padres, familiares y allegados que en este largo proceso de vida estudiantil no han dejado de apoyarme.

INTRODUCCIÓN

El Laboratorio de Soluciones Parenterales (para mayor facilidad "LSP") que pertenece a la Caja Costarricense del Seguro Social, se encuentra ubicado frente al costado norte del Centro Comercial Real Cariari y se dedica a la fabricación de soluciones parenterales de gran volumen; estas soluciones se aplican por inyección a través de la piel o la membrana mucosa a pacientes que han perdido el nivel de electrolitos en cirugías u otros padecimientos.

El LSP para fabricar sus productos utiliza vapor. En este proceso de producción de vapor siempre existe pérdidas de energía que afectan al sistema, de las cuales se han identificado casos específicos en el actual sistema de vapor.

En el caso específico del proyecto, se realiza una propuesta para el cambio de una caldera y su respectivo diseño de la red de vapor, en donde permita demostrar el beneficio energético de la recolección de condensados, demostrar que el sistema propuesto permite la implementación de equipos adicionales en la red de vapor y que, el sistema representaría un ahorro en el consumo de combustible.

Contenido

1. PROBLEMA Y PROPÓSITO	15
1.1 Síntomas	15
1.2 Pronóstico.....	15
1.3 Control al pronóstico	15
1.4 Sistematización del problema.....	15
1.5 Objetivo General	16
1.6 Objetivos Específicos	16
1.7 Metodología	16
Investigación y toma de datos	16
Cálculos y generación de plano del sistema de vapor	17
Entrega de la propuesta de rediseño	17
2. MARCO TEÓRICO	19
2.1 Marco situacional:	19
2.2 Antecedentes Históricos de la empresa:.....	19
2.3 Misión de la empresa:	19
2.4 Visión de la empresa:	19
2.5 Valores	19
2.6 Marco Teórico del Objeto de Estudio	21
¿Qué es el vapor?.....	21
Distribución de vapor	21
Fundamentos de la distribución de vapor	21
Elementos de una red de distribución de vapor	23
Pérdidas de Energía	26
Cálculo de la Transmisión de calor	27
Aislamiento de tuberías	29
Espesor óptimo de aislamiento más rentable.....	29
Eficiencia de transferencia de energía	31
Aplicaciones o software de cálculo	31
2.7 Hipótesis:.....	32
2.8 Limitaciones:	32
2.9 Alcances:	32
3. DESARROLLO.....	34
3.1 Diseño del sistema de vapor.....	34
3.2 Descripción de la red de vapor	34
3.3 Dimensionar la caldera.....	34
3.4 Cálculos de las dimensiones de la caldera	36
3.5 Diseño de la red de vapor.....	37
3.6 Evaluar los consumos.....	38
3.7 Dimensionamiento de la tubería.....	38
3.8 Dimensionamiento de las tuberías según la velocidad de vapor	40
3.9 Aislamiento térmico para tubería	43
3.10 Cálculo de red de recuperación de condensado.....	46
3.11 Selección de la trampa.....	48
3.12 Seleccionar bomba de condensados	48
3.13 Eficiencia de la caldera.....	49

3.14	Costos estimados	49
3.15	Retorno de inversión.....	50
	Conclusiones.....	51
	Recomendaciones	52
	Referencias bibliográficas	53
	Anexos.....	54

Índice de tablas

Tabla 1. Consumo total de vapor en L.S.P.....	34
Tabla 2. Tiempo real de trabajo de los equipos.....	35
Tabla 3. Coeficiente de simultaneidad de los equipos	35
Tabla 4. Consumo real requerido, según datos de placa de los equipos	35
Tabla 5. Datos geográficos del L.S.P.....	36
Tabla 6. Cálculo consumo de vapor con sobrediseño.....	36
Tabla 7. Datos de diferencial de presiones geográficas según ubicación de la caldera	36
Tabla 8. Consumos y presiones de los equipos.....	38
Tabla 9. Longitudes equivalentes de las figuras.....	39
Tabla 10. Distancias equivalentes de los equipos a la caldera	39
Tabla 11. Datos origen del destilador.....	40
Tabla 13. Datos iniciales: cálculo de aislante para tubería principal del destilador ...	44
Tabla 14. Resumen: flujo de calor en tubería principal aislada de los equipos	46
Tabla 15. Resumen: condensado en tuberías principales.....	48
Tabla 16. Resumen de costos.....	49

Índice de ilustraciones

Ilustración 1.1 Organigrama administrativo Laboratorio Soluciones Parenterales	20
Ilustración 2.1 Esquema básico de una red de distribución de vapor.....	22
Ilustración 3.0 Coeficiente de radiación C_r	27
Ilustración 4.11 Cuadro comparativo de las temperaturas máximas para cada uno de los materiales aislantes	29
Ilustración 5.1 Distribución del laboratorio.....	37
Ilustración 3.3 Cálculo diámetro de tubería 6	41
Ilustración 7 Caída de presión en tubería.....	42
Ilustración 8 Dimensionamiento de tubería de vapor por velocidad	43

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA Y PROPÓSITO

1.1 Síntomas

El LSP para sus procesos productivos utiliza grandes cantidades de vapor, el cual es generado por un conjunto de calderas que trabajan a base de combustible bunker. Estas cuentan con una capacidad de generación de 300 hp y 125 hp respectivamente, el problema se encuentra que por las características de la caldera de 125 hp no puede solventar en su totalidad la generación de vapor. Por lo tanto, en caso de que ocurra un problema con la caldera de 300 hp, no existe una caldera de respaldo que cubra por completo el consumo de vapor.

En la actualidad se realizó mejoras en el sistema de vapor; como la implementación de sistemas automatizados en la caldera más pequeña y antigua, cambio de aislantes, entre otros. A partir de estos cambios, el Departamento de Mantenimiento tiene la necesidad y el interés de mejorar la eficiencia del sistema de vapor, a fin de lograr reducir el consumo de combustible.

1.2 Pronóstico

En el proceso productivo de sueros, un paro en la generación de vapor debido a un problema con la caldera de 300 hp, generaría pérdidas económicas, dado que se tiene que disminuir la cantidad de producto terminado, para dar abasto con el vapor producido por la caldera de 125 hp y desperdiciar el personal requerido cuando se trabaja con normalidad.

Adicional a lo anterior mencionado, las pérdidas energéticas por falta de estudios en el sistema de vapor, generan un mayor consumo de combustible, lo que representa un gasto innecesario, el cual incrementa el costo del producto terminado.

1.3 Control al pronóstico

El proyecto realiza el cálculo de una caldera y su red de vapor, en donde facilite demostrar el beneficio energético de la recolección de condensados; que el sistema diseñado permite la implementación de equipos adicionales en la red de vapor y, que el sistema representaría un ahorro en el consumo de combustible.

1.4 Sistematización del problema

Para poder solucionar estos problemas mencionados anteriormente, es necesario el cálculo completo de una nueva caldera y el rediseño del sistema de tuberías de vapor; dichos cálculos se realizan mediante lo especificado en los libros,

Cleaver, B. (1976). Manual de Selmec y Junta de Castilla y León, Manual Técnico Diseño y cálculo de redes de vapor, los cuales presentan cálculos y ejemplos similares a los especificados anteriormente.

1.5 Objetivo General

- Realizar una propuesta para la implementación de una nueva caldera en el Laboratorio Soluciones Parenterales durante el I cuatrimestre del 2019, lo cual permita brindar soluciones técnicas medibles para mejorar la eficiencia del sistema mediante la recolección de condensados y, así provocar una reducción del consumo de combustible.

1.6 Objetivos Específicos

- Realizar el cálculo de un nuevo sistema de tuberías para vapor, utilizando de la mejor manera la energía suministrada por el vapor y sus condensados, con lo cual se logra un ahorro en el consumo de combustible y afecta directamente el precio del producto terminado.
- Calcular una nueva caldera que permita sostener la demanda actual de vapor y que, a su vez, permita el crecimiento de la línea de producción en un futuro cercano.
- Generar un diagnóstico con el estado actual de la caldera en estudio, de acuerdo con el código de calderas vigente, que permita identificar posibles fallos o cambios en el cuarto de calderas, de tal forma que se logre mejorar las instalaciones y el funcionamiento de la empresa según lo dicta el reglamento y las instituciones que rigen este tipo de equipo, mediante un estudio de campo.

1.7 Metodología

Investigación y toma de datos

- Se realiza una investigación acerca de la empresa y la importancia de la generación de vapor para su proceso de producción.
- Se inicia con el levantamiento de datos de las calderas, las cuales generan el vapor para todo el sistema. De igual forma, se toma los datos de cada una de las máquinas que utilizan vapor.
- Se secciona la planta de acuerdo con sus funciones para llevar un orden de trabajo y generar un cuadro de datos más ordenado, se toma las medidas de longitud desde la caldera hasta los equipos que utilizan vapor.

Cálculos y generación de plano del sistema de vapor

- Se inicia con la matriz de cálculo termodinámico y los cálculos referentes al diseño de un sistema de vapor, lo cual permita diagnosticar las dimensiones de las medidas, accesorios, pérdidas, etc.
- Se procede a dibujar el sistema en AUTOCAD, de acuerdo con las dimensiones obtenidas en el proceso de medición de longitudes y los resultados de los cálculos.
- Se calcula los gastos de combustible versus los gastos generados con la implementación del nuevo sistema y, se crea un cuadro comparativo entre los dos sistemas.

Entrega de la propuesta de rediseño

- Se entrega la propuesta ya finalizada a la administración para que sea analizada por la gerencia.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Marco situacional:

Presentar a la gerencia de la empresa una propuesta de mejora del sistema de vapor, el cual permita demostrar el beneficio energético de retornar los condensados a la caldera; demostrar que el sistema propuesto permite la implementación de nuevos equipos y la importancia del aislamiento de toda la red y sus accesorios.

2.2 Antecedentes Históricos de la empresa:

El LSP trabaja a manos del estado a partir del 14 de abril de 1975, siempre se dedica a la producción de sustancias parenterales y hemodiálisis; a través de los años y las diferentes administraciones, se logra una serie de cambios físicos y automatizaciones de procesos. Dichos cambios permiten un mayor rendimiento de la producción de sueros del laboratorio.

Debido a esta serie de modificaciones en que a través de los años el laboratorio se ve involucrado, provoca que los planos existentes se modifiquen; al mismo tiempo, la implementación de ciertos equipos no se realiza con los estudios adecuados para su debida instalación, lo cual provoca una desactualización en los planos civiles y eléctricos, produciendo una falta de información y desorden en muchos departamentos, con lo que se afecta específicamente al área de mantenimiento.

2.3 Misión de la empresa:

Producir soluciones parenterales y para hemodiálisis en forma eficiente, eficaz e innovadora, de acuerdo con la reglamentación vigente, con el fin de cubrir oportunamente la necesidad de las unidades proveedoras de atención integral de la salud.

2.4 Visión de la empresa:

Modernizar y mejorar las condiciones de producción de las soluciones parenterales en relación con las condiciones actuales, en aras de una mayor maximización de los recursos disponibles, con el objetivo de poder satisfacer plenamente las demandas futuras de este importante producto, no solo a nivel de los diferentes Centros Médicos de la Caja Costarricense de Seguro Social, sino también de Clínicas y Hospitales privados del país, así como valorar la posibilidad de establecer una cuota de exportación de producto.

2.5 Valores

- Dignidad

- Responsabilidad
- Honestidad
- Lealtad
- Transparencia
- Compromiso
- Excelencia
- Integridad
- Empatía

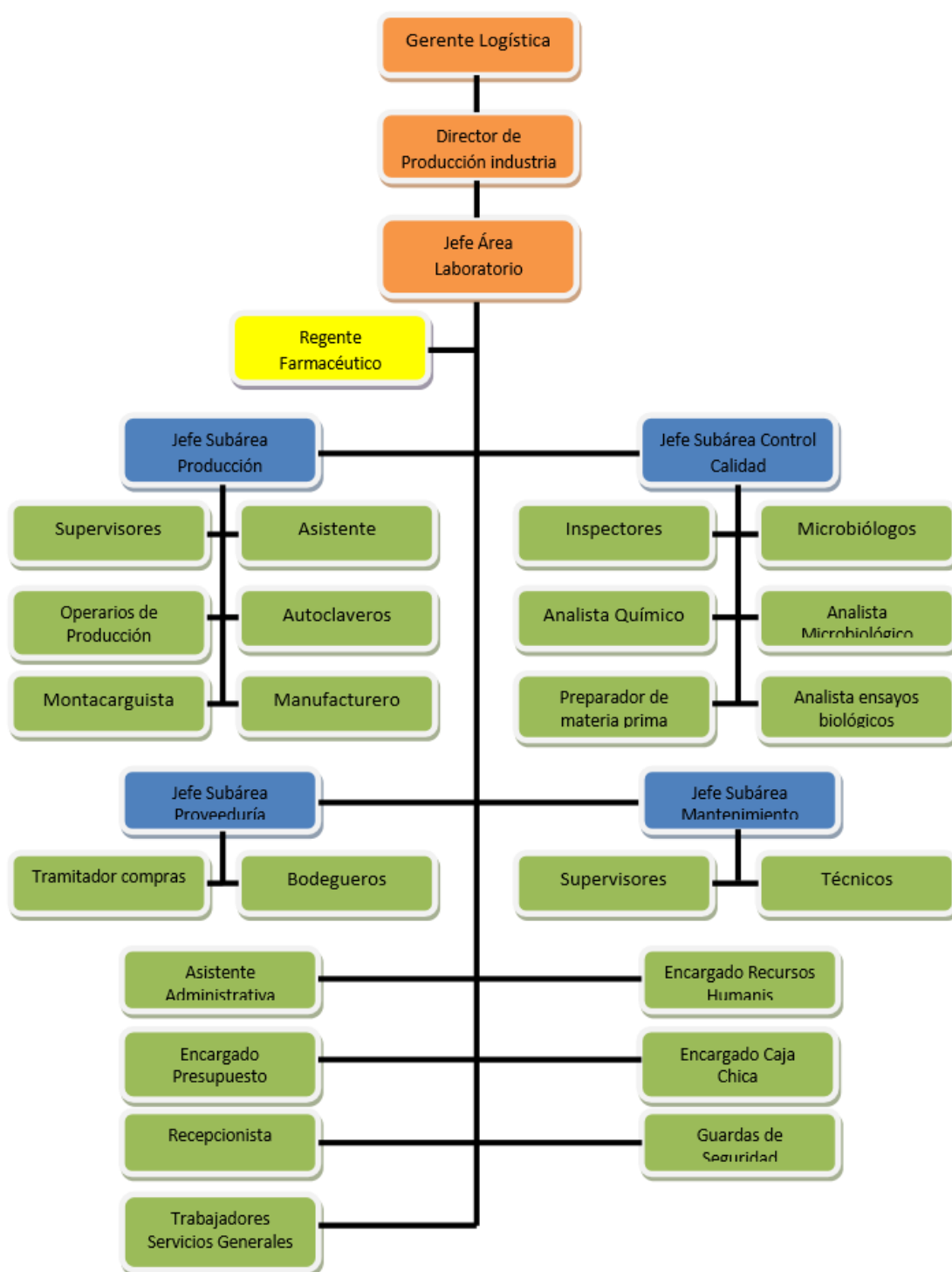


Ilustración 1.1. Organigrama administrativo Laboratorio Soluciones Parenterales

Fuente: elaboración propia

Como muestra la ilustración 1.1, el LSP se encuentra administrado por un jefe de área, el cual delega sobre los jefes de subáreas, los cuales son supervisados por un regente farmacéutico.

La subárea de mantenimiento, específicamente hablando, se encuentra integrada por un jefe o ingeniero electromecánico, un supervisor, el cual se encarga de los mantenimientos preventivos y correctivos, él mismo se encarga de delegar cada trabajo a los técnicos.

2.6 Marco Teórico del Objeto de Estudio

¿Qué es el vapor?

Debido a las características de este trabajo es importante definir qué es el vapor de agua, el cual, consiste en gas formado cuando el agua pasa de un estado líquido a uno gaseoso. A un nivel molecular, esto es cuando las moléculas de agua logran liberarse de las uniones que las mantienen juntas. Esto se produce al calentar agua hasta su punto de ebullición, permitiendo generar el gas transparente que nosotros conocemos como vapor.

Distribución de vapor

El sistema de distribución de vapor es la unión entre la fuente generadora de vapor y el equipo o aplicación. La fuente generadora de vapor puede ser una caldera, esta debe proporcionar vapor de buena calidad en las condiciones de caudal y presión requerida para las aplicaciones, debe contar con las mínimas pérdidas y atenciones de mantenimiento.

Fundamentos de la distribución de vapor

La obtención de vapor se realiza mediante un generador de vapor que habitualmente suele ser una caldera, el agua entra a la caldera de forma líquida y sale de ella en forma de vapor saturado o recalentado.

A la salida de la caldera, el vapor hay que conducirlo por una red de tuberías adecuadas y que permita disponer de él en el punto de utilización.

La entalpia latente a temperatura constante cursa con descenso de la presión y le confiere a la red de distribución de vapor una peculiaridad especial y es que, debido a la diferencia de presiones de las dos redes, el fluido fluye sin necesidad de equipos de bombeo, reduciendo los elementos de bombeo del fluido térmico a las bombas de ingreso de condensado en la caldera, con la consiguiente reducción de costos en la instalación y mantenimiento.

Se concluye que, en una instalación de vapor existe un generador, un punto de utilización y una red con dos ramales (distribución de vapor y retorno de condensados), todo en un circuito cerrado.

Un ejemplo sencillo de una red típica de distribución de vapor similar a la descrita es la siguiente:

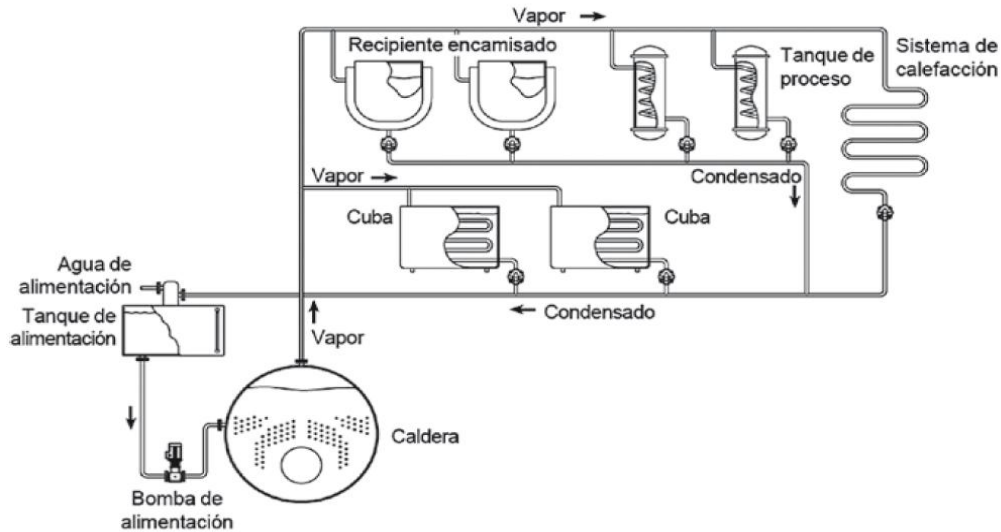


Ilustración 2.1. Esquema básico de una red de distribución de vapor

Fuente: Manual Técnico diseño y cálculo de redes de vapor, pág. 13. Fig. 4

Una caldera puede describirse como un generador de vapor o como “la combinación de equipos para producir o recuperar calor, junto con aparatos para transferir el calor disponible a un fluido” (según el código ASME). Las calderas se dividen en pirotubulares y acuotubulares.

Pirotubulares:

En esta caldera los gases de combustión pasan por el interior de los tubos, estos se hallan en una cámara sumergidos en agua, la cual está rodeada por una carcasa exterior. Al circular por los tubos, los gases calientes ceden su calor al agua.

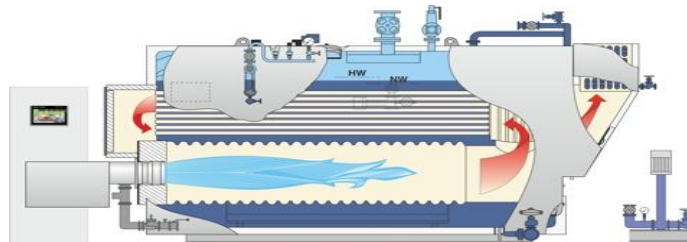


Ilustración 2.2. Caldera pirotubular

Fuente: Recuperado de: <http://www.bosch-climate.co/productos-bosch-industriales/mas-ecologicos/calderas/caldera-zfr.html>

Acuotubulares:

En las calderas acuotubulares el agua se desplaza por los tubos, que se encuentran en una cámara por donde circulan los gases de combustión. Son ideales para procesos donde se requieren elevadas presiones de trabajo o gran producción de vapor.

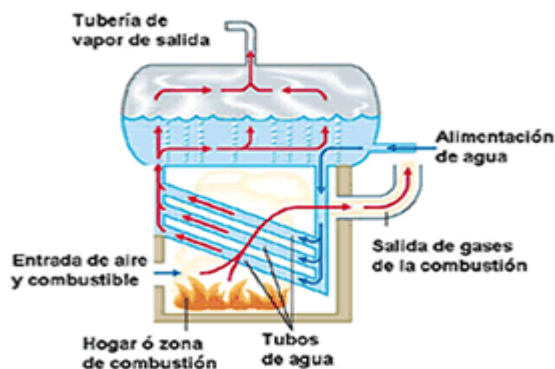


Ilustración 2.3. Caldera Acuotubular

Fuente: Recuperado de http://www.inpsasel.gob.ve/moo_news/Prensa_299.html Condensados

Una vez que el vapor cede, su calor vuelve a estado líquido. Este líquido se forma no solo en los equipos y procesos donde se requiere el calor, sino también en el sistema de distribución debido a la inevitable existencia de radiación.

El condensado es agua caliente que aún posee energía, la cual puede ser aprovechada si se retorna a la caldera, ya que el condensado requiere menos energía para evaporarse que si se utiliza agua a temperatura normal.

Una vez formado este condensado debe ser removido por las siguientes razones:

- La acumulación de condensado puede producir lo que se conoce como golpe de ariete, cuando el vapor viaja a altas velocidades arrastra el condensado a gran velocidad y cuando se encuentra con un cambio de dirección este golpea la tubería.
- El condensado ocupa un determinado espacio, lo cual reduce el espacio para el vapor e impide una adecuada transferencia de calor.

Elementos de una red de distribución de vapor

Toda red de distribución de vapor se compone de tuberías y accesorios. Los accesorios varían dependiendo de la función que cumplan. Estos accesorios permiten controlar la red de distribución, así como mejorar la eficiencia del sistema.

Existe gran cantidad y variedad de accesorios para caldera, dentro de los cuales se encuentran:

Trampas de vapor

Las trampas de vapor son un tipo de válvula automática que filtra el condensado y gases no condensables como lo es el aire, sin dejar escapar al vapor. La eficiencia de cualquier equipo o instalación que utilice vapor, está en función de la capacidad de drenar condensados.

Existen 3 tipos de trampas de vapor las cuales son:

- **Trampa mecánica**

Son trampas de vapor que operan bajo el principio de gravedad específica (únicamente la diferencia en los pesos específicos de agua y vapor). En trampas mecánicas, la válvula se abre y se cierra debido a que internamente el movimiento de un flotador se eleva y se hunde con el flujo de condensado.

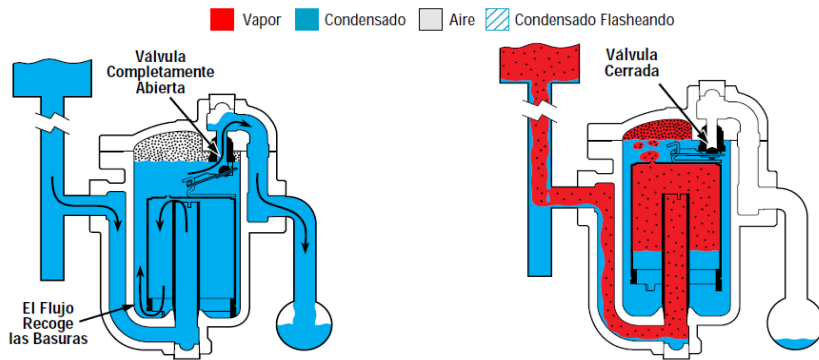


Ilustración 2.4. Trampa de balde invertido

Fuente: Armstrong, Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados, pág.10 (fig. 8-1)

- **Trampa termodinámica**

Estas trampas trabajan con el principio de diferencia entre flujo de vapor sobre la superficie, comparado con el flujo del condensado. Al entrar el vapor este viene con una velocidad mayor y el disco que usan como válvula se cierra, este disco se abre al presentarse la baja velocidad del condensado. Su funcionamiento es relativamente simple ya que en su interior solo poseen una sola pieza en movimiento, un disco flotante.

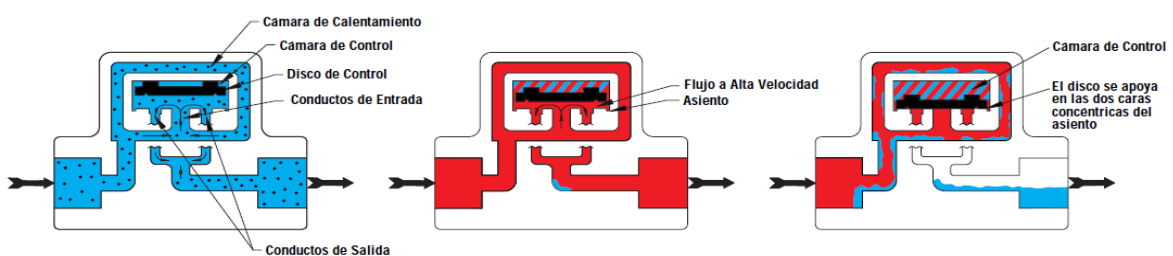


Ilustración 2.5. Trampa termodinámica

Fuente: Armstrong, Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados, pág.13 (fig.11-1)

- **Trampa termostática**

La trampa termostática tiene una cápsula interna que contiene dos metales de diferente aleación. Cuando la temperatura comienza a elevarse producto de la llegada del vapor, el metal interno de la cápsula se dilata rápidamente, haciendo que esta se expanda y asiente en el cuello de la válvula cerrando la trampa. A temperatura de condensado y aire, la cápsula se encuentra abierta.

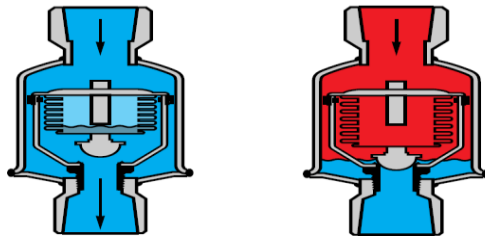


Ilustración 2.6. Trampa termostática

Fuente: Armstrong, Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados, pág.14 (fig.12-1)

Válvula de control

Se puede definir como un aparato mecánico con el cual se puede abrir y cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar el vapor en un sistema de tuberías. Existe gran cantidad de válvulas, algunas de ellas son:

- **Válvula de globo**

Válvula que sirve para regular la cantidad de flujo que pasa por ella. Es de vueltas múltiples, en la cual el cierre se logra por medio de un disco o tapón que cierra o corta el paso del fluido en un asiento que se encuentra paralelo con la circulación de vapor en la tubería.

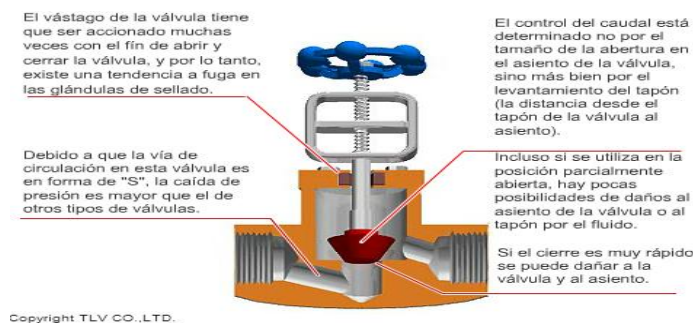


Ilustración 2.7. Válvula de globo

Fuente: Recuperado de: www.tlv.com/global/LA/steam-theory/types-of-valves.html

- **Válvula de retención (antirretorno o check)**

La válvula de retención está diseñada para impedir una inversión en la circulación de vapor o líquido, en el sentido deseado esta abre y, al invertirse la circulación, se cierra automáticamente.

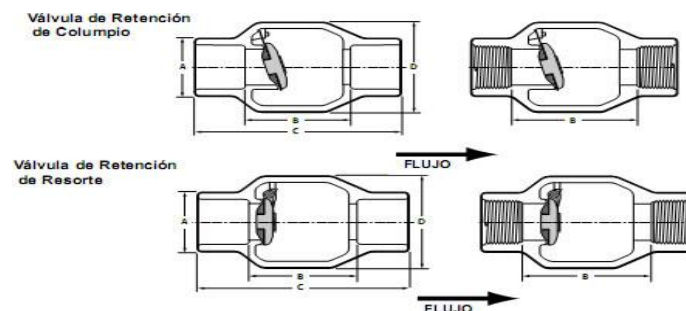


Ilustración 2.8. Válvula Check

Fuente: Recuperado de: www.3gplasticos.com/UtilitySwingSpringCheckValves.php

- **Válvula de compuerta**

Es una válvula que abre mediante el levantamiento de una compuerta. Las válvulas de compuerta se diferencian por tener un sello, el cual se logra mediante el asiento del disco en dos áreas distribuidas.

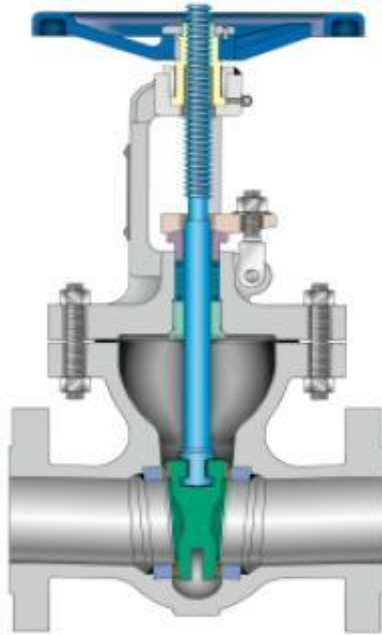


Ilustración 2.9. Válvula de compuerta

Fuente: Recuperado de www.lubosa.com.mx/

Pérdidas de Energía

Transferencia de energía por calor

El calor se define como la forma de energía que se transfiere entre dos sistemas (o entre un sistema y el exterior), debido a una diferencia de temperatura. La transferencia de calor cambia la energía interna de ambos sistemas implicados, de acuerdo con la primera ley de la Termodinámica. La velocidad a la que se da esta transferencia es muy diferente para cada proceso.

La transferencia de calor se produce de 3 formas:

- Conducción:** Se transmite de molécula a molécula, entre más próximas están las moléculas entre sí, la transmisión es más rápida.
- Convección:** Las moléculas en contacto con un cuerpo a mayor temperatura se calientan, disminuye su densidad y se desplazan por gravedad, al entrar en contacto con un cuerpo más frío, ceden su calor y aumenta su densidad y se desplazan en sentido contrario, formando de esta manera un ciclo.
- Radiación:** Se da por ondas electromagnéticas, no necesita un soporte material ya que la radiación se puede dar en el vacío. Todo cuerpo emite calor por radiación y al aumentar la temperatura, aumenta el calor irradiado. Cuando un cuerpo se encuentra en presencia de uno a mayor temperatura, absorbe más energía de la que emite y viceversa.

Cálculo de la Transmisión de calor

La densidad de flujo de calor se puede definir mediante la siguiente fórmula:

$$q = \frac{\theta_i - \theta_e}{\frac{1}{\pi * h_e * D_e} + \frac{\ln \frac{D_e}{D_i}}{2 * \pi * \lambda}} \quad (W/m)$$

Donde:

$\theta_i - \theta_e$ = Diferencial de Temperaturas Interior y ambiente

h_e = Coeficiente superficial externo de transmisión de calor $W/(m^2 * K)$

λ = La conductividad térmica del aislante en $W/(m * K)$

D_e = el diámetro exterior de la capa, en m

D_i = el diámetro interior de la capa, en m

Transmisión Superficial de calor h

En general el coeficiente superficial de calor viene dado por

$$h_s = h_r + h_{cv}$$

Donde:

h_r , es la parte radiante del coeficiente superficial transmisión de calor.

h_{cv} , es la parte convectiva del coeficiente superficial transmisión de calor.

h_r , Coeficiente superficial debido a la radiación, viene dado por:

$$h_r = a_r * C_r \quad (W/m^2K)$$

a_r = es el factor de temperatura

$$a_r = \frac{T_1^4 - T_2^4}{T_1 - T_2} \quad (K^3)$$

C_r , es el coeficiente de radiación W/m^2K^4 , es el resultado de coeficiente de emisión, ϵ por la constante de Stephen Bolzman ($5.67 * 10^{-8}$).

Material	ϵ	Cr W/m2 °C4
Aluminio brillante	0,05	2,80E-09
Aluminio oxidado	0,13	7,40E-09
Chapa de metal galvanizado, limpio	0,26	1,47E-08
Chapa de metal galvanizado, sucio	0,44	2,49E-08
Acero austenítico	0,15	8,50E-09
Plancha de aluminio-zinc	0,18	1,02E-08
Superficies no metálicas	0,94	5,33E-08

Ilustración 30 Coeficiente de radiación C_r

Fuente: Manual Técnico diseño y cálculo de redes de vapor, pág.77

h_{cv} Coeficiente convectivo de radiación

Para el cálculo de diferencia si se encuentra en el interior o exterior de un edificio.

a) Interior de los edificios

Vertical

Convección libre laminar ($D_e^3 * \Delta T \leq 10 m^3 K$)

$$h_{cv} = 1.32 \sqrt[4]{\frac{\Delta T}{D_e}} \quad (W/m^2 K)$$

Convección libre turbulenta ($D_e^3 * \Delta T \geq 10 m^3 K$)

$$h_{cv} = 1.74 \sqrt[3]{\Delta T} \quad (W/m^2 K)$$

Horizontal

Convección libre laminar

$$h_{cv} = 1.25 \sqrt[4]{\frac{\Delta T}{D_e}} \quad (W/m^2 K)$$

Convección libre turbulenta

$$h_{cv} = 1.21 \sqrt[3]{\Delta T} \quad (W/m^2 K)$$

Donde:

$\Delta T = T_{se} - T_a$ en K

T_{se} = Es la temperatura de la superficie de la pared, en K.

T_a = Es la temperatura del aire ambiente dentro del edificio, en K.

D_e = Es el diámetro de la tubería, en m.

b) Exterior de los edificios

Para horizontal y Vertical

Convección libre lámina ($v * D_e \leq 8,55 * 10^{-3} m^2/s$)

$$h_{cv} = \frac{8,1 * 10^{-3}}{D_e} + 3,14 \sqrt{\frac{v}{D_e}} \quad (W/m^2 K)$$

Convección libre turbulenta ($v * D_e \geq 8,55 * 10^{-3} m^2/s$)

$$h_{cv} = 8,9 * \frac{v^{0.9}}{D_e^{0.1}} \quad (W/m^2 K)$$

Donde:

D_e es el diámetro exterior del aislamiento, en m.

v es la velocidad del viento, en m/s.

Aislamiento de tuberías

En las redes de vapor, las pérdidas en las tuberías se producen principalmente porque la temperatura de estas en el exterior es mucho mayor al ambiente que las rodea, lo que produce una transmisión térmica entre la tubería y el ambiente, lo cual es energía que se extrae al vapor y no se utiliza para realizar ningún trabajo productivo. Por esto, en las tuberías que conducen vapor se utiliza materiales aislantes para cubrir su exterior, estos materiales cuentan con una conductividad térmica muy alta por lo que aísla el calor de la tubería del medio ambiente, evitando así gran cantidad de pérdidas y riesgos para el personal.

En la actualidad, existe muchas opciones de aislamiento, las más comunes:

- Lana de Vidrio.
- Lana de roca (lana mineral).
- Fibra cerámica.

Para el montaje del aislamiento se debe tomar en cuenta la temperatura de trabajo, aunque no existe una norma, se utiliza como criterio en Europa lo siguiente: "Temperatura máxima de empleo es aquella en la que el material alcanza una deformación del 5% del espesor bajo una carga uniforme constante de 1.000Pa."

A continuación la tabla comparativa de temperatura máxima de empleo.

Minerales	Plásticos
LANA DE VIDRIO con encolado , 250°C sin encolado, 500°C	POLIESTIRENO expandido, 70°C extrusionado, 85°C
LANA DE ROCA hasta 750°C	POLIURETANO 100°C
FIBRA DE CERÁMICA hasta 1500°C	

Ilustración 4.11. Cuadro comparativo de las temperaturas máximas para cada uno de los materiales aislantes

Fuente: ISOVER, Manual de Aislamiento en la Industria

Espesor óptimo de aislamiento más rentable

El método más utilizado se basa en el Valor Actualizado Neto (VAN). Se debe calcular para cada inversión de aislamiento el VAN de los ahorros energéticos y compararlo con los costes que supone la inversión.

Para determinar el VAN, se determina el Coef. VAN

$$\text{Coef. VAN} = \frac{t(t^n - 1)}{t - 1}$$

Si es t

$$t = \frac{1 + 0,01b}{1 + 0,01r}$$

Donde:

b = Aumento previsible del coste de la energía en %.

r = Tasa de actualización neta en % (equivalente al interés anual del dinero, deducidos los impuestos, menos la inflación prevista).

n = Número de años para los que se efectúa el estudio (horizonte económico).

Para cada espesor de aislamiento "d" se pueden obtener las pérdidas energéticas específicas y su inversión.

Al comparar dos espesores consecutivos, la diferencia de pérdidas energéticas tendrá un valor económico que se actualiza con el coef.VAN para el período considerado. A su vez, existirá una diferencia de inversión de aislamiento.

Se puede comparar:

INCREMENTO DE AHORRO x Coef. VAN	< = >	INCREMENTO DE LA INVERSIÓN
-------------------------------------	-------------	----------------------------

INCREMENTO DE AHORRO = Valor pérdidas energéticas d_n - Valor pérdidas para d_{n+1} .

INCREMENTO DE INVERSIONES = Inversión para d_n - Inversión para d_{n+1} .

Se puede decir entonces que el espesor óptimo económico se da cuando el incremento del ahorro es igual al incremento de la inversión.

Pasos a seguir en el cálculo

1- Espesor de aislamiento d

2- Pérdidas de Energía para cada espesor de aislamiento

$$q = \frac{\theta_i - \theta_e}{\frac{1}{h_e} + \frac{d}{\lambda}} \quad (W/m^2)$$

3- Valor de pérdidas de energía

$$q * E * Z$$

E = Coste de la energía \$ (W * h)

Z = Cantidad de horas de funcionamiento al año, h

4- Valor actualizado de las pérdidas para todo el periodo

$$\text{Pérdidas de energía} * \text{Coef. VAN}$$

5- Incremento del ahorro entre dos espesores consecutivos

Valor actualizado de las pérdidas d_n – Valor actualizado de las pérdidas o d_{n+1}

6- Incremento de la inversión entre dos espesores consecutivos

Inversión en aislamiento d_{n+1} – Inversión en aislamiento d_n

7- Diferencia entre el incremento del ahorro e incremento de la inversión.

El espesor óptimo económico será el valor que se aproxime más a cero, ya sea positivo o negativo.

Eficiencia de transferencia de energía

La eficiencia se representa con el símbolo η y se puede definir eficiencia o desempeño como lo bien que se realiza el proceso de transferencia energética. Esta se expresa como la salida que se desea entre la entrada requerida. Se puede dar el ejemplo de una caldera, la eficiencia sería la relación entre la energía requerida para evaporizar el agua y la energía contenida en el vapor generado.

Se logra obtener la eficiencia de un sistema de vapor mediante la siguiente fórmula

$$\eta = \frac{Q_{salida}}{Q_{entrada}}$$

Aplicaciones o software de cálculo

Para cada uno de los cálculos realizados en este documento se ha referenciado cada una de sus fórmulas como se pudo leer anteriormente, pero para facilitarlos se genera una serie de aplicaciones o software que facilitan y agilizan los resultados esperados.

En este trabajo dichas aplicaciones se utilizan para corroborar cada uno de los resultados deseados; en el mercado existe gran cantidad de marcas y generalidades específicas según lo deseado; para confirmar el cálculo de tuberías se utiliza el software TVL Toolbox, que es una herramienta muy completa con respecto a los cálculos de vapor en general; de igual forma, se utiliza una aplicación para el cálculo del flujo másico de un sistema, facilitando la selección del aislante de tuberías, esta se llama PCTvapor.

Estas herramientas son gratuitas en internet y de fácil uso. Solo requiere llenar lo solicitado en el programa, datos sencillos en las unidades de medida que el usuario seleccione.

2.7 Hipótesis:

En la actualidad, la empresa presenta un consumo de 15140 L. de combustible Bunker, que en colones representa un gasto de ₡ 4.1 millones quincenales aproximadamente.

Mediante la elaboración de este proyecto, se elabora una propuesta de un nuevo diseño para el sistema de vapor del Laboratorio Soluciones Parenterales, de tal forma que permita mejorar la eficiencia del sistema actual, recuperando el condensado del sistema. Así se genera un ahorro energético y una reducción en la factura del combustible.

2.8 Limitaciones:

El estudio realizado acerca de los cálculos se puede considerar como una parte fundamental para el proyecto, con la particularidad de que es bastante laborioso, debido a la falta de información existente en el L.S.P acerca de los equipos en general; dichos equipos tienen gran cantidad de años de estar trabajando y, muchos de ellos se encuentran descontinuados.

Los controles acerca de consumo de agua de la caldera son anotados en una bitácora u hoja de control, a dichos datos no se les da el seguimiento necesario para tener un consumo exacto, por lo que calcularlo toma bastante tiempo.

Una limitante en este proceso también es la falta de equipo de medición, tanto para vapor como para gases. Actualmente no existen datos acerca de la generación de vapor o las emisiones de gases de la caldera, aparte de las generadas por personal externo a la institución (mensual).

2.9 Alcances:

El diseño de un nuevo sistema de vapor está enfocado en ayudar a la gerencia del L.S.P, de manera que se pueda bajar los costos operativos, aprovechando los retornos de condensados de la caldera existente.

De igual forma, con este estudio se desea ayudar al Departamento de Mantenimiento con la documentación aportada al finalizar el proyecto.

CAPÍTULO III

3. DESARROLLO

3.1 Diseño del sistema de vapor

Como se menciona anteriormente, el empleo del vapor como fluido térmico lleva implícito un esquema básico. Consiste en un punto de generación de vapor, un punto de utilización, los cuales se comunican por medio de tuberías, permitiendo transportar el vapor de un lugar a otro.

3.2 Descripción de la red de vapor

Se deben determinar los consumos de los equipos, a fin de poder realizar los cálculos para las dimensiones de las calderas, se determina las rutas de salida desde la caldera hasta los equipos, una vez efectuado se dimensiona los ramales, para finalizar con el cálculo del aislamiento de los tubos.

1. Dimensionar la caldera.
2. Diseño de la red de vapor.
3. Evaluar consumos.
4. Dimensionamiento de tuberías.
5. Dimensionamiento del aislante.

3.3 Dimensionar la caldera

Para dimensionar la caldera es necesario hacer un estudio de los consumos de cada uno de los equipos que requieren vapor; se crea una tabla, en la cual se especifica cada uno de los equipos individualmente.

Tabla 1. Consumo total de vapor en L.S.P

Equipo	Presión trabajo (PSI)	Presión trabajo (bar)	Total (lb/h)	Total (kg/h)
Destilador	30	2	600	273
Autoclave 1	43	3	2800	1273
Autoclave 2	43	3	2800	1273
Autoclave 3	43	3	2800	1273
Autoclave 4	43	3	2800	1273
Autoclave 5	43	3	2800	1273
Autoclave pequeña amsco 1	35	2	90	41
Autoclave pequeña matachana 2	35	2	90	41
Marmita	25	2	60	27
Total consumos de vapor			14840	6747

Fuente: elaboración propia

Con el propósito de obtener datos más eficientes para calcular las dimensiones de la caldera, es necesario determinar los tiempos de trabajo de los

equipos que requieren vapor, de lo contrario, la caldera sería sobredimensionada en sus cálculos finales. Por lo tanto, se genera un cuadro respectivo:

Tabla 2. Tiempo real de trabajo de los equipos

Equipos	Cantidad	Horas
Autoclaves	5	16.08
Marmita	1	1
Destilador	1	16
Esterilizadores	2	5

Fuente: elaboración propia

Según los datos recolectados, expresados en el cuadro anterior, se observa que los equipos con mayor número de horas operación son las autoclaves y el destilador; analizados los datos es necesario plantear coeficientes de simultaneidad para las distintas secciones. Este se observa en el siguiente cuadro:

Tabla 3. Coeficiente de simultaneidad de los equipos

Área de trabajo	Horas	Porcentaje (%)	Coeficiente
LSP	24	100	1
Autoclaves	16,08	67	0,67
Marmita	1	4	0,04
Destilador	16	67	0,67
Esterilizadores	5	21	0,21

Fuente: Laboratorio Soluciones Parenterales

Obtenidos los coeficientes de simultaneidad mediante una regla de 3, se calcula los consumos reales; para ello se toman los consumos sumados de cada sección y se multiplican por el coeficiente correspondiente:

Tabla 4. Consumo real requerido, según datos de placa de los equipos

Área de trabajo	Consumo (lb/h)	Coeficiente	Consumo final (lb/h)	Consumo final (kg/h)
Autoclaves	14000	0,67	9380	4264
Marmita	60	0,04	2,5	1,1
Destilador	600	0,67	400	182
Esterilizadores	180	0,21	37,5	17
Consumo total			9820	4464

Fuente: Laboratorio Soluciones Parenterales

Este consumo total es el real para poder calcular las dimensiones de la caldera. A este dato se le debe realizar una estimación de crecimiento de la empresa de un 16%, según los datos suministrados por el Ing. Randall Herrera, lo cual es tomado como un aumento en la demanda de vapor.

Elaborado el cálculo anterior, es necesario obtener los datos geográficos* del lugar en donde se va a instalar la caldera:

Tabla 5. Datos geográficos del L.S.P

Ciudad	San Antonio de Belén, Heredia.
Altura	936 msnm
Presión atmosférica	927,38 hPa
Temperatura promedio	23°C

Fuente: tomado de (<http://guiascostarica.com/belen/>)

3.4 Cálculos de las dimensiones de la caldera

Tabla 6. Cálculo del consumo de vapor con sobrediseño

Datos	lb/h	kg/h
Consumo requerido por LSP	9820	4464
Crecimiento de 25 años	1571,2	714,24
Total	11391,24	5178,24

Fuente: Laboratorio Soluciones Parenterales

Es necesario tomar este dato y convertir de lb/h a BHP (boiler horse power)

$$\frac{11391,24 \left(\frac{\text{lb}}{\text{h}}\right)}{34.5} = 330.18 \text{ BHP}$$

Por lo tanto, se puede decir que 330.18 BHP es el valor neto requerido de una caldera a nivel del mar, debido a que ella es utilizada en la zona de San Antonio de Belén, es necesario ajustar este dato a la altura precisa.

Para efectuar los cálculos es preciso realizar la conversión en los datos de presión de hPa a PSI, obteniendo como resultado 13,451 PSI (0.93 bar).

Se aplica la ley general de gases:

$$P1x \frac{V1}{T1} = P2x \frac{V2}{T2}$$

Tabla 7. Datos de diferencial de presiones geográficas según la ubicación de la caldera

Datos diferencial			
Belén	P1	13,451 PSI	13,451 PSI
Mar	P2	14,7 PSI	14,7 PSI
Belén	T1	73,4°F	533°R
Mar	T2	70°F	529,67°R
v1/v2			1,086028

Fuente: tomado de [www.ecured.cu/Belén_\(Costa_Rica\)](http://www.ecured.cu/Belén_(Costa_Rica))

El diferencial de volumen permite ajustar la necesidad de vapor, a causa de la diferencia de alturas entre el mar y el lugar de instalación.

$$330,18 \text{ BHP} \times 1.08 = 356,6 \text{ BHP}$$

Debido a términos de seguridad, es necesario aplicar un 10% al dato anterior (sobre diseño), esto deja como resultado final 392,26 BHP, ajustándose a 400 BHP, lo que permite cotizar a futuro su posible compra para beneficio del laboratorio.

3.5 Diseño de la red de vapor

El diseño de la red de tuberías (ramales, retornos, etc.), se debe hacer según la ubicación actual de las máquinas, con el diseño arquitectónico que fue proporcionado por la institución con base en la última remodelación y, facilitando la corroboración de medidas utilizadas para los cálculos.

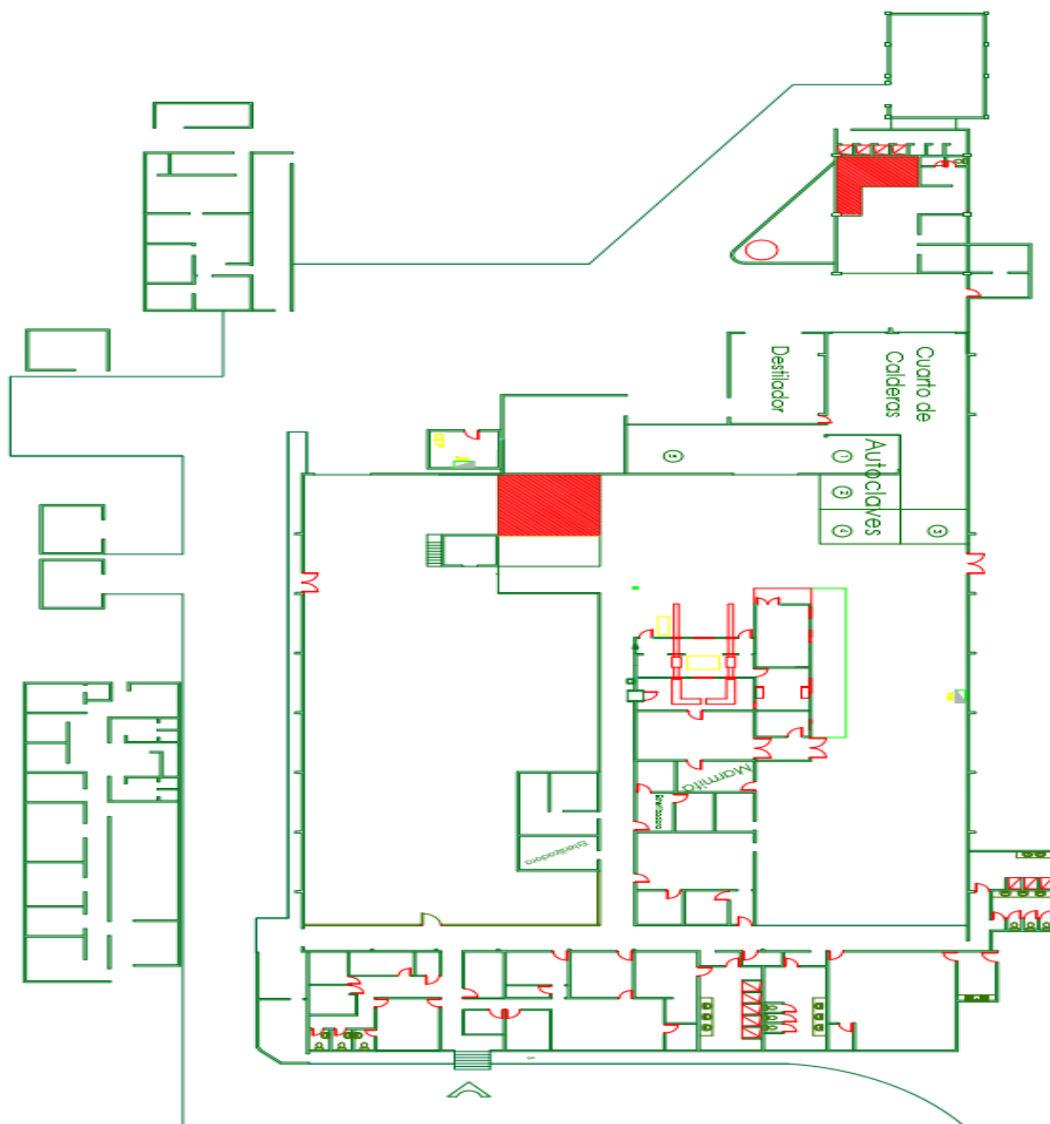


Ilustración 5.1. Distribución del laboratorio

Fuente: elaboración propia

De igual manera se levanta un plano con la nueva distribución de las tuberías, esta inicia desde el cuarto de calderas hasta cada uno de los equipos, buscando la ruta con mayor rendimiento; este esquema ayuda a contabilizar la cantidad de accesorios que intervienen en la red tal como te, reducciones, codos, otros, longitudes de tuberías y demás dispositivos, este esquema se encuentra en anexos.

3.6 Evaluar los consumos

Anteriormente se analiza los consumos y las presiones de los equipos incluidos en el nuevo sistema de vapor; se presenta en el sistema inglés, con el fin de efectuar los cálculos; para mayor facilidad se realiza la conversión al sistema internacional (SI), a saber:

- Caudal en unidades masa

$$1 \text{ lb/h} = 0.0545 \text{ Kg/h}$$

- Presión

$$1 \text{ Psi} = 0.069 \text{ bar}$$

Efectuados estos cálculos se presenta una tabla resumen con los equipos por utilizar y sus respectivos datos:

Tabla 8. Consumos y presiones de los equipos

Equipo	Presión de trabajo de los equipos		Consumo de los equipos	
	PSI	bar	lb/h	Kg/h
Destilador	30	2,07	600	272,4
Autoclave 1	43	2,967	2800	1271,2
Autoclave 2	43	2,967	2800	1271,2
Autoclave 3	43	2,967	2800	1271,2
Autoclave 4	43	2,967	2800	1271,2
Autoclave 5	43	2,967	2800	1271,2
Autoclave pequeña Amsco 1	35	2,415	90	40,86
Autoclave pequeña Matachana 2	35	2,415	90	40,86
Marmita	25	1,725	60	27,24

Fuente: Laboratorio Soluciones Parenterales

Todos estos equipos mencionados en la tabla anterior, son alimentados desde el cuarto de calderas, a partir del colector principal de vapor (manifull), principal hasta la ubicación de estos.

3.7 Dimensionamiento de la tubería

La línea de distribución de vapor, que inicia en el manifull de vapor hasta los equipos específicos, consta de una tubería principal y red de derivación, en donde toman forma una serie de accesorios que se acoplan en la tubería para distintas funciones; al considerar que el esquema para la adaptación de los equipos es el mismo, se procede a crear una tabla con las longitudes equivalentes (se sustituye el accesorio por un número determinado de metros de tubería que produce el mismo efecto), las longitudes son independientes de su diámetro, así como de sus caudales y temperaturas.

Tabla 9. Longitudes equivalentes de las figuras

Longitudes equivalentes	
Accesorios	Le/D
Codo 45°	15
Codo 90° radio estándar	32
Codo 90° radio mediano	26
Codo 90° radio grande	20
Codo 90° en escuadra	60
Codo 180°	75
Codo 180° radio mediano	50
Te	60
Acoplamiento	despreciable
Unión	despreciable
Válvula de compuerta	7
Válvula de asiento	300
Válvula angular	170
Válvula de esfera	3

Fuente: Manual técnico diseño y cálculo de redes de vapor pág. 37

A título de ejemplo se puede decir que un codo de 45° para tubería de 100 mm, introduce una pérdida de carga equivalente a 15 diámetros de tubería, es decir, que sería equivalente a tener un tramo de tubería de 1,5 m.

Continuando con el análisis, es necesario crear una tabla con las longitudes totales de tubería de cada uno de los equipos, con el fin de poder observar los elementos que constituyen la red para cada uno de ellos.

Tabla 10. Distancia equivalentes de los equipos a la caldera

Equipo	Longitud (m)	Equivalente (m)
Destilador	15,35	24,61
Autoclave 1	18,13	26,74
Autoclave 2	21,71	30,01
Autoclave 3	15,65	24,35
Autoclave 4	29,86	36,56
Autoclave 5	24,5	45,46
Autoclave pequeña amsco 1	76,87	87,11
Autoclave pequeña matachana 2		
Marmita		

Fuente: Laboratorio Soluciones Parenterales

Obtenidas las longitudes totales de las tuberías, se procede a realizar los cálculos para determinar los diámetros de la tubería. Las tuberías se pueden seleccionar, basándose con cualquiera de estas dos características: velocidad del fluido o caída de presión.

3.8 Dimensionamiento de las tuberías según la velocidad de vapor

Para dimensionar la tubería en función de la velocidad, es necesario que los cálculos se basen en el volumen de vapor que se transporta en relación con la sección de la tubería.

Tabla 11. Datos origen del destilador

Consumo de equipo	2,07 bar
Temperatura	120,9 °C
Entrega de caldera	6,8 bar
Longitud de tubería	24,61 m
Caudal másico	272,4 Kg/h
Rugosidad de tubería	0,05 mm
Presión media	4,435 bar
Densidad	1,129006 kg/m ³
Viscosidad dinámica	0,012963 cp
Viscosidad cinemática	11,48217 cst

Fuente: Datos de placa del equipo. Laboratorio Soluciones Parenterales

Por lo tanto, con los datos anteriores se ingresa a los diagramas prácticos; para iniciar se utiliza la temperatura y la presión que utiliza la caldera, efectuado esto, se alinea con el caudal respectivo del equipo, permitiendo buscar la velocidad de diseño, al determinar un estimado del diámetro de tubería. Este proceso se emplea para cada uno de los equipos que consuman vapor para trabajar.

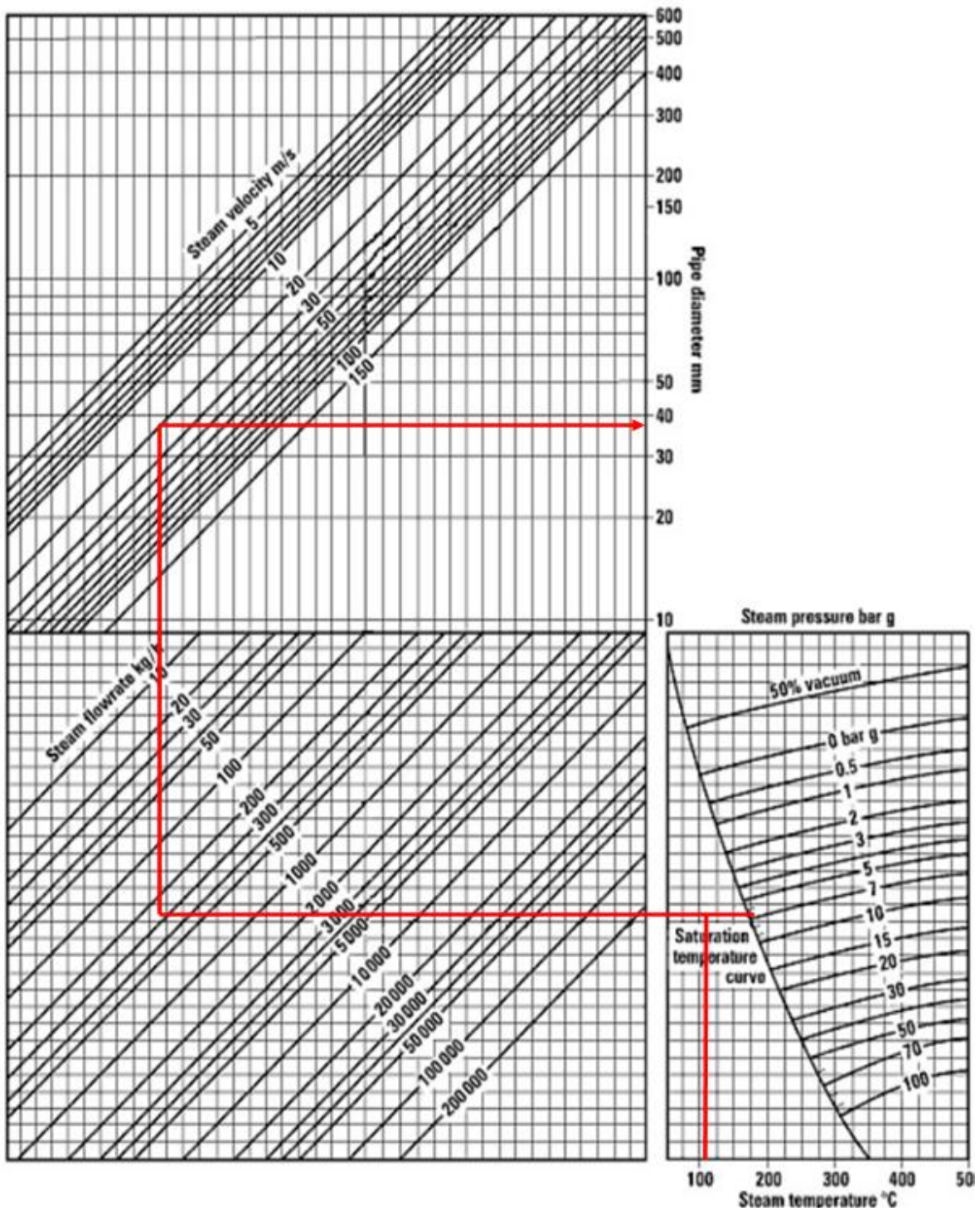


Ilustración 3.3. Cálculo diámetro de tubería 6

Fuente: Manual técnico diseño y cálculo de redes de vapor pág. 54

Obtenido el diámetro, se pasa al siguiente diagrama, el cual permite saber la pérdida de presión en tuberías, así la presión ingresa al equipo. El método por utilizar para trabajar con la gráfica es el mismo elaborado anteriormente.



Ilustración 7. Caída de presión en tubería

Fuente: Manual técnico diseño y cálculo de redes de vapor pág. 54

De acuerdo con las gráficas, el diámetro para destilador es de 38 mm. Según la gráfica para seleccionar el diámetro de tuberías de vapor, continuando con el cálculo, se obtiene que la pérdida en tubería es de 0,6 bares por cada cien metros, de acuerdo con el diagrama para caídas de presión en tuberías de vapor.

Para poder corroborar el dato, se utiliza programas o aplicaciones en este tipo de cálculos y los resultados obtenidos son similares, como se muestra a continuación con la aplicación TLV especialista en vapor.

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
Eficiencia de la Caldera
Recuperación de Condensado
Agua
Aire

Calculadora: Dimensionamiento de Tubería para Vapor por Velocidad



Introducir Datos Unidades SI(bar) ▼

Grado de Tubería	ANSI Sch40	▼
Presión de Vapor	6.8	barG ▼
Rango de Flujo del Vapor	272.4	kg/h ▼
Velocidad Máxima Permisible [?]	20	m/s ▼
Longitud de la Tubería [?]	24.61	m ▼

[Mostrar Opciones Avanzadas](#)

Calcular Limpia

Tamaño de Tubería	NPS1 1/4	
Diámetro Interno Tubería	35.052	mm ▼
Velocidad del Vapor	19.2721	m/s ▼
Caída de Presión	0.12106	bar ▼
Longitud Equivalente a una Tubería Horizontal	24.61	m ▼
Resultados		

Ilustración 8. Dimensionamiento de tubería de vapor por velocidad

Fuente: tomado de <http://www.tlv.com/global/LA/calculator/steam-pipe-sizing-by-velocity.html>

Equipo	Programa TLV		Gráfica	
	Diámetro (mm)	Pérdida (bar/m)	Diámetro (mm)	Pérdida (bar/m)
Destilador	35	0,1	34	0,6
Autoclave 1	78	0,04	88	0,19
Autoclave 2	74,03	0,04	88	0,19
Autoclave 3	77,9	0,03	88	0,19
Autoclave 4	77,9	0,05	88	0,19
Autoclave 5	77.9	0.07	88	0.19
Autoclave pequeña amsco 1	26	0,2	22	1,1
Autoclave pequeña matachana 2				
Marmita				

Fuente: elaboración propia

3.9 Aislamiento térmico para tubería

Para iniciar con el cálculo del aislamiento térmico para la tubería de vapor del destilador, es necesario tener los datos por trabajar, como se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 12. Datos iniciales del cálculo de aislante para la tubería principal del destilador

Diámetro	Nominal	37.5 mm
	Interior	38 mm
	Espesor	3,68 mm
	Exterior	48,3 mm
Temperatura interior		164,95 °C
Temperatura exterior		23 °C
Aislamiento según tabla		51 mm
		25 °C

Fuente: elaboración propia

Para iniciar es preciso evaluar la resistencia térmica del tubo de acero.

$$R_j = \frac{\ln \frac{D_e}{D_i}}{2 * \pi * \gamma_j}$$

Donde $R_j = 6.32 \text{ m/W}$

Continuando con el procedimiento, se calcula el coeficiente de temperatura a_r dado por el diferencial de temperatura en °K

$$a_r = \frac{T_1^4 - T_2^4}{T_1 - T_2} = 104.8 \times 10^6 \text{ } ^\circ K$$

Permitiendo determinar el coeficiente superficial debido a la radiación, donde:

$$h_r = a_r - C_r = 1.06 \text{ W/m}^2 K$$

C_r , es el coeficiente de radiación $\text{W/m}^2 K^4$, siendo el resultado de coeficiente de emisión, ϵ por la constante de Stephen Bolzman ($5.67 * 10^{-8}$).

Analizado lo anterior, es necesario calcular el coeficiente convectivo de radiación. Debido a que las tuberías por calcular se encuentran dentro del edificio, se utiliza la fórmula específica para dicha característica.

Se corrobora que el flujo sea laminar o turbulento,

$$D_e * \Delta T \leq 10 \text{ m}^3 K = \text{laminar}$$

Usando la fórmula para tubería horizontal,

$$h_{cv} = 1.25 * \sqrt[4]{\frac{\Delta T}{D_e}} = 4.43 \text{ W/m}^2 K$$

Es preciso obtener el coeficiente exterior, el cual sería la sumatoria de los coeficientes h_r y h_{cv} :

$$h_e = h_{cv} + h_r = 3.49 \text{ W/m}^2 K$$

Dicho resultado permite averiguar el resultado de la resistencia térmica superficial para paredes cilíndricas:

$$R_{se} = \frac{1}{h_e * \pi * D_e} = 0.64 \text{ mK/W}$$

Se calcula la temperatura superficial, esta se usa para determinar el valor límite de temperatura de la instalación; el valor teórico puede variar por muchas condiciones que rodean al cálculo, este se efectúa mediante la siguiente fórmula:

$$T_{se} = T_a + \frac{T_i - T_a}{\frac{h_e D_e}{2\gamma} * \ln \frac{D_e}{D_i} + 1} = 37.03 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Para finalizar, el cálculo del aislante se obtiene del flujo de calor, el cual emite el tubo por donde pase el vapor:

$$q = \frac{T_i - T_e}{\frac{1}{\pi * h_e * D_e} + \frac{\ln \frac{D_e}{D_i}}{2 * \pi * \lambda}} = 20.7 \text{ W/m}$$

La temperatura puede analizarse y verificar si es correcta o se desvía del valor dado por la tabla, se puede recalcular "q" utilizando el mismo procedimiento anterior.

Si se toma la longitud de la tubería y las horas de trabajo del equipo, se podrían evaluar sus pérdidas:

$$20.7 \times 10^{-3} * 24.61 \text{ m} * 16 \text{ h} = 8.15 \text{ kwh/dia}$$

PCTaislam – Cálculo de la Transferencia Térmica de una Tubería Aislada			
PROPIEDADES DE TUBO Y AISLANTE			
conductividad térmica del tubo	58 W/m·°C	Fundición y acero	
conductividad térmica del aislante	0,033 W/m·°C	Fibra de vidrio. Tipo IV	
coeficiente de radiación superficie exte Cr	2,80E-09 W/m²·°C⁴	aluminio brillante	
SITUACION DE LA TUBERIA			
posición tubería		horizontal	
situación tubería		interior	
velocidad del aire		m/s	
GEOMETRIA DE LA TUBERIA Y AISLANTE			
diametro exterior tubo	48,3 mm		
espesor aislante	51 mm		
diametro interior aislante	48,3 mm		
diametro exterior aislante	150,3 mm		
TEMPERATURAS DE TRABAJO			
temperatura interior tubo	165,0 °C		
temperatura exterior aislante estimada	25,0 °C	<<<AJUSTAR	
temperatura ambiente	23,0 °C		
TRANSFERENCIA TERMICA			
índice de tipo de flujo	0,007 m²·°C		
tipo de flujo	LAMINAR		
componente convectiva	hcv	2,39 W/m²·°C	
componente radiante	hr	0,29 W/m²·°C	
componente exterior total	he	2,68 W/m²·°C	
densidad lineal de flujo de calor	qi	22,7 W/m	
temperatura pared exterior calculada	Te	40,9 °C	

Ilustración 3.6. Cálculo aislante térmico para tuberías

Fuente: tomado de www.energia.jcyl.es/web/jcyl/.../PCTvapor%20v1.0.xls? (hoja de cálculo PCTaislam)

Ya obtenidos los resultados y comprobados con el software, se procede a realizar los cálculos de aislante en los demás equipos. Los resultados son los siguientes:

Tabla 13. Resumen flujo de calor en tubería principal aislada de los equipos

Equipo	Programa Pctaislam	Cálculo manual
	Flujo de calor (W/m)	Flujo de calor (W/m)
Destilador	20,4	20,05
Autoclave 1	24,1	25,7
Autoclave 2	24,1	25,7
Autoclave 3	24,1	25,7
Autoclave 4	24,1	25,7
Autoclave 5	24.1	25.7
Autoclave pequeña amscó 1	18,8	18,08
Autoclave pequeña matachana 2		
Marmita		

Fuente: Manual técnico diseño y cálculo de redes de vapor pág. 73

En este caso, todos los resultados de la tabla son respecto a un aislante de fibra de vidrio con cubierta de aluminio brillante para cada una de las tuberías.

3.10 Cálculo de red de recuperación de condensado

Como se menciona al principio, uno de los objetivos de dicho estudio es el cálculo de la red de condensados, de modo que estos retornen a la caldera y generen vapor, en busca de mejorar el rendimiento de ella.

Para iniciar con el cálculo de la red de condensados, es necesario determinar las dimensiones de la trampa de vapor para drenar la tubería de los equipos respectivamente. Continuando con el cálculo del equipo usado como referencia, en este caso el destilador:

Se necesita drenar una tubería de 24.61 m (80.74 pies) de longitud, con un diámetro de 1^{1/2} pulgadas, a una presión de trabajo de 6.8 bar (100 PSI), por lo que se procede a utilizar la ¹Tabla II CV para carga de condensados en lb/h.

CARGA DE CONDESADOS EN LBS POR HR. POR CADA 100 PIES DE TUBERIA AISLADA*
Temperatura Ambiente 70°F. Eficiencia del aislamiento 80%

Presión del vapor	TAMAÑO DE LA TUBERIA														0°F Factor de corrección
	2"	2 ^{1/2} "	3"	4"	5"	6"	8"	10"	12"	14"	16"	18"	20"	24"	
10	6	7	9	11	13	16	20	24	29	32	36	39	44	53	1,58
30	8	9	11	14	17	20	26	32	38	42	48	51	57	68	1,5
60	10	12	14	18	24	27	33	41	49	54	62	67	74	89	1,45
100	12	15	18	22	28	33	41	51	61	67	77	83	93	111	1,41
125	13	16	20	24	30	36	45	56	66	73	84	90	101	121	1,39
175	16	19	23	26	33	38	53	66	78	88	98	107	119	142	1,38
250	18	22	27	34	42	50	62	77	92	101	116	126	140	168	1,36
300	20	25	30	37	46	54	68	82	101	111	126	138	154	184	1,35
400	23	28	34	43	53	63	80	99	118	130	148	162	180	216	1,33
500	27	33	39	49	61	73	91	114	135	148	170	185	206	246	1,32
600	30	37	44	55	68	82	103	128	152	167	191	208	232	277	1,31

*Considerando las pérdidas por radiación del capo saturado.

Ilustración 3.7. Tabla II CV carga de condensados en tubería aislada

Fuente: Manual de calderas SELMEC. Pág. 256

¹ Tabla II CV Carga de condensados en lbs/h por cada 100 pies de tubería aislada. Manual de Selmec. Pág. 256

En este caso, para dicho equipo, en la tabla no se encuentra la tubería que este utiliza, 37.5 mm (1^{1/2}"); por lo cual, fue necesario extrapolar para obtener el dato necesario.

De acuerdo con la extrapolación realizada, donde $y = mx + n$, se obtiene como resultado 9 lb/h de condensado para una tubería de 1^{1/2} de diámetro, a una presión de 100 PSI.

Realizado esto se procede a calcular la carga de condensado para la tubería del destilador, esta corresponde a:

$$\frac{67.33 \text{ pies}}{100 \text{ pies}} * 9 \text{ lbs/h} = 6.05 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \left(13.33 \frac{\text{lb}}{\text{h}}\right)$$

Y su equivalente en sistema internacional de medidas es 15.98 kg/h de caudal de condensado. Se debe determinar la cantidad de vapor flash que se va generar en cada uno de los equipos, mediante un balance energético, el cual permite determinar la trampa de vapor que se utiliza y el diámetro de tubería necesario en su canalización hasta llegar al tanque de condensados.

Dicho balance se genera a partir de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ vapor flash} = \frac{hlp1 - hlp2}{hvp2 - hlp2} \times 100$$

Donde:

hlp1: Entalpía específica del líquido a la presión de la red de vapor.

hlp2: Entalpía específica del líquido a la presión de la red de condensado.

hvp2: Entalpía específica del vapor saturado a la presión de la red de condensados.

Continuando con los cálculos del destilador, se determina que su % de vapor flash es de:

$$\% \text{ vapor flash} = 11.3\%$$

Una vez obtenido el resultado, se determina en términos volumétricos la composición de lo que hay realmente en la red de condensados; por tanto, la composición másica inmediatamente del porcentaje de vapor flash producido:

Vapor= 0,11129885 kg/kg condensado

Agua= 0,88870115 kg/kg condensado

Suponiendo que la producción de vapor para este equipo es de 15.98 kg/h, con un 11.3% en masa de producción de vapor flash, en donde, al multiplicar estos datos se obtiene un caudal de 1.5 kg/h de vapor flash en dicho equipo.

3.11 Selección de la trampa

Para seleccionar la trampa se necesita conocer la presión y la operación en la cual se utiliza; obtenidos estos datos se aplica un factor de seguridad, en el caso del destilador se emplea dos o tres, debido a los bajos caudales y el tipo de equipo. Para finalizar, en el cálculo de la trampa es necesario tener en cuenta el diferencial de vapor entre la caldera y la salida de la válvula reguladora del equipo, así como la presión máxima permitida.

Por lo tanto, el cálculo de la trampa de vapor para el destilador es de 47.9 kg/h, esto con el ²factor de seguridad aplicado.

De acuerdo con lo explicado anteriormente se selecciona una trampa balde invertido, que tiene una capacidad de 9091 kg/h en hierro fundido, con un diámetro interno para conexiones de 25 mm (1/2").

En el caso de los otros equipos se utiliza el mismo tipo de trampa con su respectivo diámetro de conexión, de acuerdo con los caudales obtenidos, lo cual permite trabajar con seguridad.

Tabla 14. Resumen condensado en tuberías principales

Equipo	kg/h	FS=3 (kg/h)
Destilador	15,9827184	47,9481552
Autoclave 1	34,7320512	104,1961536
Autoclave 2	38,9793888	116,9381664
Autoclave 3	31,627728	94,883184
Autoclave 4	47,4870528	142,4611584
Autoclave 5	59,0470848	177,1412544
Autoclave pequeña amsco 1	56,5727184	169,7181552
Autoclave pequeña matachana 2		
Marmita		

Fuente: Elaboración propia

3.12 Seleccionar bomba de condensados

En el sistema actual, en particular el tanque de condensados, se encuentra elevado a una altura de 1.70 m del suelo, este es calentado por medio del retorno de vapor directo de la caldera y, tomando en cuenta que la tubería de retorno de condensado viene a nivel del piso dentro de trincheras, es necesaria la instalación de una bomba que permita trasladar el condensado hasta el tanque. En este caso, se tiene un caudal de 853 kg/h, se utiliza una trampa mecánica Spirax Sarco que tiene una capacidad de 1800 kg/h.

² El F.S=3

3.13 Eficiencia de la caldera

La eficiencia de la caldera es la relación que existe entre el calor que aprovecha el fluido y el calor que suministra el combustible al mismo fluido, en un tiempo específico (una hora). En el caso del sistema propuesto, se determina un caudal de 228 kg/h de condensado a 90°C; por lo tanto, de acuerdo al consumo de agua actual y disminuyendo el caudal de condensado antes determinado, para el nuevo sistema se obtiene una generación de vapor de 439 kg/h teóricamente. De igual forma, el consumo de combustible (Bunker C) en la actualidad es de 41.6 l/h, para el nuevo sistema se proyecta una disminución en la alimentación de combustible a la caldera, con un aproximado de 21.6 l/h.

3.14 Costos estimados

La implementación de un nuevo sistema genera costos, los cuales tienen que ser solventados por el Laboratorio Soluciones Parenterales, para poder solucionar los problemas energéticos que actualmente se presentan en el lugar; de acuerdo con los análisis realizados en los precios de los materiales, mano de obra y otros, la instalación del nuevo sistema ronda los 227 millones de colones.

En la siguiente tabla se expresa los gastos requeridos para la instalación y puesta en marcha de la caldera.

Tabla 15. Resumen de costos

Presupuesto	Cantidad	Precio Unitario	Total
Tubo HN C40 Gr B 3 x 5,8 MT sin rosca	15	\$ 77,44	\$ 1.161,54
Tubo HN C40 Gr B 1 1/2 x 6,1 MT sin rosca	3	\$ 47,84	\$ 143,53
Tubo HN C40 Gr B 1 x 5,8 MT sin rosca	16	\$ 34,88	\$ 558,14
Unión sencilla roscable HN Clase 150, 3"	14	\$ 4,12	\$ 57,71
Unión sencilla roscable HN Clase 150, 1-1/2"	2	\$ 2,56	\$ 5,11
Unión sencilla roscable HN Clase 150, 1"	12	\$ 1,78	\$ 21,38
Codo roscable HN Clase 150, 3x90	14	\$ 8,84	\$ 123,73
Codo roscable HN Clase 150, 1-1/2x90	4	\$ 3,89	\$ 15,55
Codo roscable HN Clase 150, 1x90	10	\$ 3,47	\$ 34,74
Tee roscable HN Clase 150	3	\$ 11,45	\$ 34,34
Válvula de compuerta de 3"	2	\$ 174,44	\$ 348,88
Válvula de compuerta de 1-1/2"	2	\$ 78,62	\$ 157,25
Válvula de compuerta de 1"	2	\$ 30,55	\$ 61,09
Bomba para condensado operada con vapor/	1	\$ 15.995	\$ 15.995,49
Caldera 400 HP	1	\$ 286.000	\$ 286.000,00
Consumibles	1	\$ 1.871,85	\$ 1.871,85
		Sub Total	\$ 306.590,34
		Imprevistos	\$ 15.329,52
		Utilidad	\$ 48.287,98
		Total	\$374.098,19
		IVA	\$ 48.632,77

Fuente: Elaboración propia

En caso de que el plan fiscal ya se encuentre en vigencia, es necesario la sumatoria del IVA.

3.15 Retorno de inversión

Ahora se invierte aproximadamente 4.1 millones de colones a la quincena en la facturación del bunker. Un año laboral consta de 331 días en promedio, en el sector público. En una producción normal de sueros, diariamente se consume 1000 litros de bunker, por lo tanto, al efectuar un cálculo anual, el costo de la ³factura se aproxima a los 91 millones de colones.

De acuerdo con el sistema propuesto, al retornar el condesado a la caldera produce una reducción en el consumo de bunker, reflejándose en el costo de la factura anual de bunker, como se menciona con anterioridad. Dicha factura sería de 47 millones de colones aproximadamente.

Si se relaciona los costos mencionados antes, genera un diferencial de 44 millones de colones, este sería el ahorro anual en combustible generado por el retorno de condesado, y queda pendiente el ahorro en el tratamiento químico del agua que alimenta la caldera.

Asimismo, si se compara los costos estimados del proyecto, casi 227 millones de colones y el ahorro en la factura de combustible, se puede determinar que la inversión se recuperaría en 6 años de funcionamiento del sistema.

³ Costo por litro de bunker C, según RECOPE: ₡271.40

Conclusiones

- En el desarrollo de este trabajo se demuestra que, en el lugar no se aprovecha el retorno de condensados y se deja de percibir los beneficios del poder calorífico de estos.
- El cálculo de tubería permite demostrar que actualmente se está generando pérdidas de vapor por rozamiento, debido a que las tuberías tienen menor o mayor calibre en sus respectivos casos.
- Queda demostrado que el salto de entalpía que debe realizar la caldera para generar vapor con el sistema existente, provoca un mayor consumo de combustible reflejado en el pago de su factura y a su vez, en el producto terminado.
- Actualmente se produce 637 kg/h de vapor, lo cual representa en combustible 41.6 l/h de bunker C, a un precio de ₡ 271.40 por litro según RECOPE; considerando que el nuevo sistema genera 439 kg/h de vapor, por medio de una ponderación lineal, permite determinar una reducción del consumo de combustible igual a 21.6 l/h. Dicho diferencial representa un ahorro anual de 42 millones de colones aproximadamente, de acuerdo con el dato calculado al inicio de esta tesis, en donde se menciona un gasto anual de 89 millones en dicha factura.
- El agua que ingresa a la caldera es tratada químicamente; al retornar el condensado a la caldera, este mantiene el tratamiento químico adquirido a su entrada, por lo que, al llegar al tanque de condensados se mezcla con el agua fresca. Este proceso genera una reducción en la dosificación de químicos, logrando otro ahorro económico para la institución. Este análisis de costos no está incluido en este proyecto.

Recomendaciones

- Se recomienda de manera prioritaria la recuperación de condensados del sistema actual, debido a que este proceso no se realiza y se desaprovecha sus beneficios energéticos debido a las características de este.
- Generar más control sobre los consumos de vapor en cada una de sus líneas o equipos que requieren de este elemento para trabajar; en la actualidad no existe mecanismo que permita medir el vapor generado (aparte de suministro de agua).
- Es necesario aislar las tuberías y accesorios de los equipos alimentados por vapor, dado que el análisis del proyecto propuesto solo toma en cuenta las líneas principales de vapor y, queda pendiente el aislamiento de tuberías y accesorios de los equipos.
- Crear una base de datos de los equipos a los cuales se les suministra vapor con toda la información de consumos de trabajo, caudales y trampas que utilizan, mejorando la información y facilitando el trabajo al personal de mantenimiento.

Referencias bibliográficas

- Armstrong, (1998). *Guía para la Conservación de Vapor en el Drenado de Condensados*.
- Cleaver, B. (1976). *Manual de Selmec, Sociedad Electromecánica, S.A de C.V.*
- ISOVER, *Manual de Aislamiento en la Industria*.
- Junta de Castilla y León. *Manual Técnico Diseño y cálculo de redes de vapor*.
- Yanus A. Cengel, *Termodinámica, 7ta edición, Mc Graw Hill*.

En orden alfabético

Anexos

1. Generador de vapor está en funcionamiento	SÍ	NO
Placa de características		
Presión de diseño: Presión de trabajo: Año:		
Tipo de combustible		
Diesel: Bunker: Gas:		
2. Cuentan con bitácora de trabajo		
3. Operadores de calderas		
Personal que opera las calderas acredita Certificado de		
a. Competencia.		
b. Existe personal operador de caldera suficiente (considerando turnos y equipos) Indique horas de funcionamiento al día : hrs Indique nº operadores :		
c. Los operadores cuentan con elementos de protección personal: calzado de seguridad, casco, guantes, protección auditiva.		
4. Requisitos de Sala de Caldera		
a. Construcción de material incombustible.		
b. Iluminación suficiente y en buen estado.		
c. Sala cuenta con ventilación externa.		
d. Distancia mínima entre caldera y muros, caldera y equipos es de 1 m.		
e. Existe amplitud suficiente para operar en forma segura (Para condiciones normales de trabajo, mantenciones, revisiones e inspecciones).		
f. La Sala tiene dos puertas (abren hacia fuera, tienen direcciones diferentes y libre de obstáculos).		
g. La Sala de Calderas tiene Servicio Higiénico para los operadores, o bien cercano a su lugar de trabajo.		
h. La Sala se encuentra limpia y ordenada.		
5. Condiciones de Seguridad de la instalación de la caldera		
a. Tanque de alimentación de combustible líquido a quemador cuenta con pretil de retención y tubo de venteo hacia el exterior.		
b. El estado de la cubierta metálica de la caldera es bueno y no presenta evidencias de oxidación por infiltraciones de agua ni bordes metálicos cortantes.		
c. Las líneas de suministro de vapor que están al alcance del operador en labores habituales, así también en reparaciones, revisiones y/o mantenciones, están provistas de aislamiento térmica para evitar contacto con superficies calientes.		
d. Instalación cuenta con equipo de extinción de incendios.		

e.	La purga de agua de la caldera proviene del punto más bajo de la caldera destinado a su extracción de lodos y purga de fondo, las que van a dar a un estanque de purga. Las llaves se encuentran operativas y no constituyen un riesgo para el operador.		
f.	La caldera tiene tapas de inspecciones o portezuelas ubicadas en lugares adecuados para permitir acceso al interior y realizar revisión y limpieza de ductos.		
g.	El agua de alimentación a la caldera está dotada de una válvula de retención cerca de la caldera y una válvula de paso entre la caldera y la válvula de retención.		
h.	El suministro de agua tiene al menos dos bombas, una en stand-b.		
i.	El agua de alimentación tiene tratamiento químico para reducir durezas, impurezas y controlar el pH.		
j.	Existe laboratorio externo que verifica la calidad del agua.		
5. Accesorios de Observación			
a.	Existe por lo menos dos indicadores de nivel de agua: grifos de prueba y tubo de nivel, los que se encuentran operativos.		
b.	Existe al menos un manómetro conectado directamente a la cámara de vapor de la caldera.		
c.	El manómetro se encuentra en lugar visible para el operador.		
d.	Entre el manómetro y la caldera existe una llave de paso que facilite el cambio del instrumento.		
6. Accesorios de Seguridad			
a.	Existe al menos una válvula de seguridad conectada a la cámara de vapor.		
b.	El operador acciona manualmente la válvula de seguridad a través de un tirante y no se expone a quemaduras.		
c.	El vapor evacuado por la válvula es conducido fuera del techo del recinto.		
d.	La válvula cierra sola una vez que el operador la ha accionado.		
e.	La caldera cuenta con uno o más sellos o compuertas de alivio de sobre-explosión. Exigible para calderas que utilizan combustibles líquidos y gaseosos.		
f.	Existe alarma acústica y/o visual que funciona cuando el nivel de agua alcanza el mínimo.		


FACTURA

(POR MERCADERIAS, SERVICIOS Y OTROS COBROS)

FECHA: **22/01/2019**

NOMBRE COMPLETO DE LA PERSONA O RAZON SOCIAL A QUIEN DEBE PAGARSE LA CUENTA REFINADORA COSTARRICENSE DE PETROLEO RECOPE	CEDULA JURIDICA 3-101-007749	CEDULA IDENTIDAD
DIRECCION: SAN FRANCISCO GOICOHECHEA	CODIGO PROVEEDOR	552

ORDEN DE COMPRA No. ***	LICITACION No. ***	FACTURA No. 0139661 J
-------------------------	--------------------	------------------------------

CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	CODIGO C.C.S.S.	PRECIO P/UNIDAD	TOTAL-COLONES
15.140	LTS	BUNKER PARA CALDERA, SEGÚN SOLICITUD NO. 28-0139661 J POR COMPRA DE 15.140 LITROS DE BUNKER C. CUENTA NO. 910-08-0 u.l.-----	196060010	₡271,4060	₡4,109,086.84
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;">  </div> <div style="width: 50%; font-size: small;"> ESTA COLUMNA ES PARA USO EXCLUSIVO DE LA CAJA </div> </div>					

VALOR EN LETRAS Cuatro millones ciento nueve mil ochenta y seis colones con 84/100.	₡4,109,086.84
--	----------------------

Ing. Randall Herrera Muñoz
RECIBIDO CONFORME

Ing. German Mathurin Peart
Vg. Bo. ADMINISTRACION GENERAL



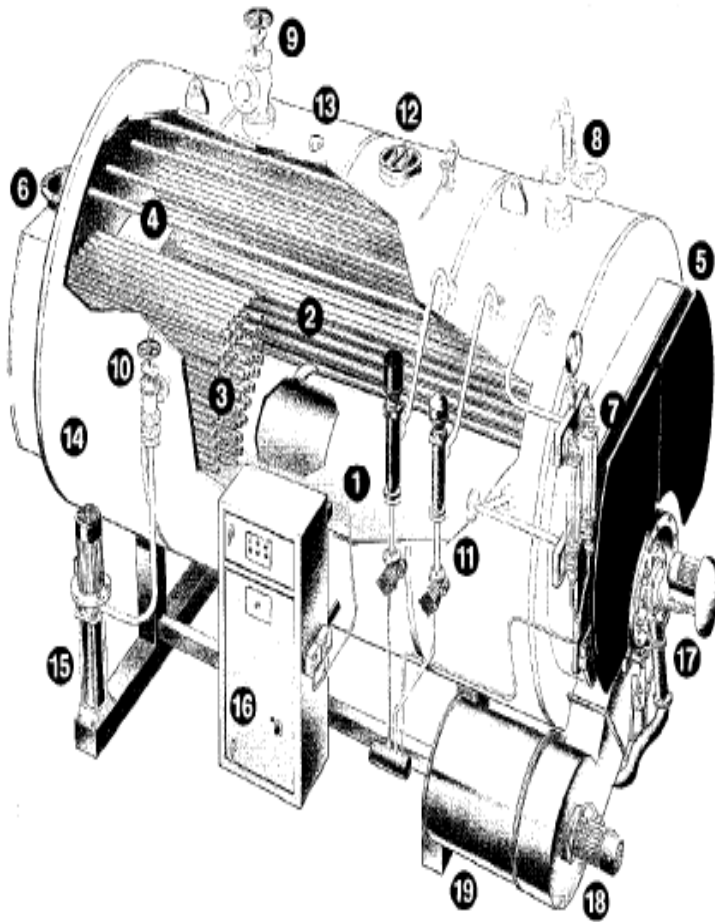
FIRMA DEL ACREEDOR

REVISADO TRAMITE DE PAGOS

CHEQUE No.	COMPROBANTE No.	PAGUESE
------------	-----------------	---------

AUDITORIA

CALDERA



- 1 Hogar.
- 2 Tubos (2do paso).
- 3 Tubos (3er paso).
- 4 Cámara de combustión.
- 5 Caja de humos frontal.
- 6 Caja de salida posterior.
- 7 Visor.
- 8 Válvula de seguridad.
- 9 Válvula de salida de vapor.
- 10 Válvula de retención de agua.
- 11 Controles de nivel.
- 12 Entrada de hombre.
- 13 Conexión de repuesto.
- 14 Carcaza.
- 15 Bomba agua.
- 16 Panel de control.
- 17 Quemador
- 18 Ventilador
- 19 Silenciador ventilador