



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**ESTUDIO Y PROPUESTA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE
GENERACIÓN DE VAPOR DE LA EMPRESA AGRO INDUSTRIAS NACIONALES, S.A.**

Luis Eduardo Trejo Folgar
Asesorado por el Ing. Esdras Miranda

Guatemala, abril de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO Y PROPUESTA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE
GENERACIÓN DE VAPOR DE LA EMPRESA AGRO INDUSTRIAS NACIONALES, S.A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

LUIS EDUARDO TREJO FOLGAR

ASESORADO POR EL ING. ESDRAS MIRANDA OROZCO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, ABRIL DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|-------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos |
| VOCAL I | Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno |
| VOCAL II | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| VOCAL III | Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón |
| VOCAL IV | Br. Juan Carlos Molina Jiménez |
| VOCAL V | Br. Mario Maldonado Muralles |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos |
| EXAMINADOR | Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda |
| EXAMINADOR | Ing. Fredy Mauricio Monroy Peralta |
| EXAMINADOR | Ing. Osmar Omar Rodas Mazariegos |
| SECRETARIA | Inga. Marcia Ivóne Véliz Vargas |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ESTUDIO Y PROPUESTA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE
GENERACIÓN DE VAPOR DE LA EMPRESA AGRO INDUSTRIAS NACIONALES, S.A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha enero de 2012.



Luis Eduardo Trejo Folgar

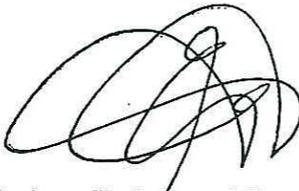
Guatemala, 6 de junio 2011

Ingeniero
Julio Molina
Coordinador de Área Térmica
Escuela de Ingeniería Mecánica
Universidad San Carlos de Guatemala

Ing. Julio Molina

Por este medio le doy a conocer que la revisión que he realizado del Trabajo de Graduación del Estudiante Luis Eduardo Trejo Folgar, carné 9419201, titulado "ESTUDIO Y PROPUESTA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR DE LA EMPRESA AGRO INDUSTRIAS NACIONALES, S.A.", ha concluido satisfactoriamente.

Agradeciendo la atención prestada, atentamente,



Ing. Esdras Miranda Orozco
COLEGIADO 4637

Esdras Feliciano Miranda Orozco
Ingeniero Mecánico
Colegiado No. 4637

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

El Coordinador del Área Térmica de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado ESTUDIO Y PROPUESTA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR DE LA EMPRESA AGRO INDUSTRIAS NACIONALES, S.A., del estudiante **Luis Eduardo Trejo Folgar** recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio César Molina Zaldaña
Coordinador de Área



Guatemala, julio de 2011 .

/behdei.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área Térmica, al Trabajo de Graduación titulado ESTUDIO Y PROPUESTA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR DE LA EMPRESA AGRO INDUSTRIAS NACIONALES, S.A., del estudiante **Luis Eduardo Trejo Folgar**, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR



Guatemala, abril de 2012

JCCP/behdei



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO Y PROPUESTA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR DE LA EMPRESA AGRO INDUSTRIAS NACIONALES, S. A.**, presentado por el estudiante universitario **Luis Eduardo Trejo Folgar**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 24 de abril de 2012.

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

| | |
|--------------------------|--|
| Dios | Jesucristo todopoderoso. Por ser el guía en mi vida y permitirme alcanzar el éxito. |
| Mi madre | Roxanda Folgar Castellanos (q.e.p.d.) Gracias por tu apoyo incondicional y tu ejemplo de amor y vida. |
| Mi padre | Luis Trejo Alvarado, gracias por tu apoyo incondicional y ser mi mejor amigo. |
| Mi esposa | Sindy Janeth Castañeda, por ser parte de mi vida. |
| Mis hijos | Dylan Eduardo y Fares Eliú. |
| Mi hermana | Rossana Elizabeth, gracias por tu apoyo. |
| Mi sobrino | Manuel Antonio, por enseñarme a saber por que seguir adelante. |
| Mi amigo y asesor | Ing. Esdras Miranda por sus consejos y orientación en mi trabajo de graduación. |
| Mi patria | Guatemala. |

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | V |
| LISTA DE SÍMBOLOS | IX |
| GLOSARIO | XI |
| RESUMEN | XV |
| OBJETIVOS | XVII |
| INTRODUCCIÓN | XIX |
| | |
| 1. GENERALIDADES | 1 |
| 1.1. Generalidades de la empresa Agro Industrias Nacionales, S.A. | 1 |
| 1.2. Materias primas que se utilizan para la producción | 1 |
| 1.3. Productos que se elaboran en la empresa | 1 |
| 1.4. Planificación estratégica de la empresa..... | 2 |
| | |
| 2. PROPIEDADES Y APLICACIONES DE VAPOR | |
| 2.1. Introducción | 3 |
| 2.2. Conceptos básicos | 3 |
| 2.3. Descripción de calderas y tipos de calderas pirotubulares | 5 |
| 2.3.1. Tipos de calderas pirotubulares | 5 |
| 2.3.2. Componentes del sistema de vapor..... | 7 |
| 2.4. Eficiencia de las calderas | 9 |
| 2.5. Oportunidades de conservación de energía en sistemas de vapor..... | 10 |
| 2.5.1. Evaluación de los requerimientos de vapor..... | 12 |
| 2.6. Distribución del sistema de vapor | 12 |
| 2.7. Selección de la presión..... | 13 |

| | | |
|---------|--|----|
| 2.8. | Diámetro de la tubería de vapor | 13 |
| 3. | SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DEL VAPOR.. | 15 |
| 3.1. | Descripción técnica de las calderas de la empresa AGRINSA..... | 15 |
| 3.2. | Diagramas unifilares actuales del sistema de generación de vapor | 17 |
| 3.3. | Instrumentos de control, dispositivos de seguridad y equipos auxiliares | 19 |
| 3.3.1. | Manómetros | 19 |
| 3.3.2. | Quemadores | 20 |
| 3.3.3. | Indicadores de nivel | 21 |
| 3.3.4. | Válvulas de seguridad..... | 22 |
| 3.3.5. | Tapón fusible..... | 22 |
| 3.3.6. | Inyectores..... | 22 |
| 3.3.7. | Medidores de caudal..... | 23 |
| 3.3.8. | Medidor de temperatura..... | 23 |
| 3.3.9. | Termómetro para medir la temperatura de agua alimentación | 23 |
| 3.3.10. | Termómetro para medir la temperatura de los gases de la chimenea..... | 24 |
| 3.3.11. | Aparatos de alimentación..... | 24 |
| 3.3.12. | Válvula de cierre | 25 |
| 3.3.13. | Interruptores de bajo nivel..... | 25 |
| 3.3.14. | Descripción del sistema de agua de alimentación del sistema de generación de vapor | 26 |
| 3.4. | Tratamiento actual del agua de alimentación..... | 27 |
| 3.4.1. | Consideraciones en el agua de alimentación | 27 |
| 3.4.2. | Control de sólidos disueltos totales | 28 |
| 3.4.3. | Control de la alcalinidad..... | 29 |

| | | |
|--------|---|----|
| 3.4.4. | Control de dureza total..... | 30 |
| 3.4.5. | Selección del suavizador..... | 31 |
| 3.4.6. | Descripción de los químicos utilizados..... | 32 |
| 3.4.7. | Purga continua | 33 |
| 3.4.8. | Descripción de las purgas actuales..... | 34 |
| 4. | UTILIZACIÓN DEL VAPOR EN FÁBRICA..... | 35 |
| 4.1. | Introducción | 35 |
| 4.2. | Control de calidad de la leche..... | 35 |
| 4.3. | Descripción de los equipos que utilizan vapor en la fábrica | 36 |
| 4.3.1. | Pasteurizador marca Cherry-Burrell..... | 37 |
| 4.3.2. | Marmita | 39 |
| 4.3.3. | <i>Bathc</i> capacidad 1200 litros | 40 |
| 4.3.4. | Tanque para cuajar y desuerar quesos frescos | 41 |
| 5. | ESTUDIO Y PROPUESTA PARA MEJORAR EL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR | 43 |
| 5.1. | Mejoras al diagrama del sistema de vapor | 43 |
| 5.1.1. | Cálculo de longitud equivalente para el sistema de distribución del vapor | 48 |
| 5.1.2. | Diseño del diámetro de las tuberías de retorno de condensados..... | 72 |
| 5.1.3. | Evaluación de los costos del aislamiento de las tuberías de vapor, considerando los costos de ahorro en combustible | 77 |
| 5.2. | Materiales aislantes y sus propiedades | 79 |
| 5.2.1. | Aislamiento térmico de la tubería | 80 |
| 5.2.2. | Causas por falta de aislamiento en las tuberías de vapor | 83 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 5.3. | Aplicaciones de trampas de vapor | 83 |
| 6. | MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR | 97 |
| 6.1. | Inspecciones generales..... | 98 |
| 6.2. | Mantenimiento preventivo de los dispositivos auxiliares del sistema de vapor | 104 |
| 6.2.1. | Costos de mantenimiento | 105 |
| 6.3. | Beneficios de las mejoras propuestas..... | 106 |
| | CONCLUSIONES..... | 109 |
| | RECOMENDACIONES | 111 |
| | BIBLIOGRAFÍA..... | 113 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|---|-----|
| 1. | Caldera pirotubular horizontal | 6 |
| 2. | Caldera pirotubular horizontal de 4 pasos..... | 6 |
| 3. | Sistema de agua de alimentación | 17 |
| 4. | Sistema de vapor | 18 |
| 5. | Pasteurizador de leche 4,000 litros por hora..... | 37 |
| 6. | Marmita para fundir queso kraft | 39 |
| 7. | Tanque pasteurizador con agitador..... | 40 |
| 8. | Tanque para cuajar quesos..... | 41 |
| 9. | Rediseño propuesto del sistema de agua de alimentación | 45 |
| 10. | Manifold del sistema de distribución de vapor..... | 47 |
| 11. | Rediseño propuesto del sistema de distribución de vapor | 48 |
| 12. | Materiales aislantes | 81 |
| 13. | Trampa de vapor de balde invertido..... | 85 |
| 14. | Trampa de flotador libre | 86 |
| 15. | Funcionamiento de la trampa de vapor F&T | 87 |
| 16. | Funcionamiento de la trampa de disco controlado..... | 88 |
| 17. | Funcionamiento de la trampa de vapor termostática | 89 |
| 18. | Inspección visual del funcionamiento de una trampa de vapor | 101 |

TABLAS

| | |
|--|----|
| I. Información de caldera Fulton 100 HP..... | 15 |
| II. Información de los motores con los ventiladores que operan las calderas actualmente..... | 16 |
| III. Información de las bombas con las que operan las calderas actualmente..... | 16 |
| IV. Analisis fisicoquímico del agua cruda..... | 30 |
| V. Costos de operación en Quetzales del año 2010..... | 34 |
| VI. Velocidades de vapor en tuberías..... | 44 |
| VII. Capacidad de tuberías de vapor..... | 46 |
| VIII. Resistencia de válvulas y uniones en longitudes equivalentes en tubo recto..... | 49 |
| IX. Longitud equivalente desde <i>manifold</i> hasta la planta..... | 50 |
| X. Longitud equivalente desde el <i>manifold</i> hasta el <i>Batch 1</i> | 51 |
| XI. Factores de presión para tuberías | 53 |
| XII. Capacidad de tubería y factores de caída de presión..... | 55 |
| XIII. Longitud equivalente desde <i>Batch 1</i> hasta <i>Batch 2</i> | 56 |
| XIV. Longitud equivalente desde <i>Batch 2</i> hasta <i>Batch 3</i> | 58 |
| XV. Longitud equivalente desde la planta al pasteurizador | 60 |
| XVI. Longitud equivalente desde la planta al tanque de 3 500 litros.... | 62 |
| XVII. Longitud equivalente desde la plana hasta el tanque de 4 500 litros..... | 64 |
| XVIII. Longitud equivalente desde la planta hasta la marmita..... | 66 |
| XIX. Longitud equivalente desde la planta hasta el tanque de 50 litros | 69 |
| XX. Demanda requerida vrs. demanda actual de vapor en la fábrica AGRINSA..... | 71 |

| | | |
|---------|--|-----|
| XXI. | Porcentaje en peso del condensado que se convierte en vapor flash..... | 73 |
| XXII. | Caudal de vapor flash (kg/h)..... | 75 |
| XXIII. | Condensación en tuberías aisladas transportando vapor saturado, con eficiencia de aislamiento asumida en 75 %..... | 78 |
| XXIV. | Condensación en tuberías aisladas que llevan vapor saturado en aire sin mover..... | 92 |
| XXV. | Recomendaciones para la instalación de trampas de vapor de equipos en la fábrica AGRINSA..... | 95 |
| XXVI. | Cronograma de mantenimiento preventivo para calderas de vapor de la fábrica AGRINSA..... | 101 |
| XXVII. | Costos de mantenimiento | 105 |
| XXVIII. | Costos totales de la inversión (febrero 2011)..... | 106 |

LISTADO DE SIMBOLOS

| | |
|----------|-----------------------------------|
| HP | Caballos de vapor |
| h_g | Entalpía del vapor (BTU/lb) |
| h_{fg} | Entalpía de vaporización (BTU/lb) |
| psi | Libra por pulgada cuadrada |
| ppm | Número de partes por millón |
| Bar | Presión barométrica |
| Pa | Pascales |
| rpm | Revoluciones por minuto |

GLOSARIO

| | |
|------------------------------|---|
| Aislante térmico | Es el material que tiene la capacidad no exceder ciertos límites de temperatura no deseados. |
| <i>Batch</i> | Tanque de acero inoxidable para pasteurización de líquidos. |
| Caldera | Equipo que se utiliza para calentar el agua en estado líquido a vapor, utilizando combustible. |
| Condensado | Es el vapor enfriado y pasa de su estado gaseoso a líquido. |
| Conductividad térmica | Es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor. |
| Corrosión | Es el desgaste producido en un metal cuando el agua tiene contacto con este y se produce una acción electrolítica, alcalinidad de agua y oxígeno. |
| Dureza del agua | Se le llama así a la concentración de compuestos minerales que hay en una determinada cantidad de agua. |

| | |
|---------------------------------|---|
| Energía | Fuerza que realiza un trabajo. |
| Entalpia de vaporización | La entalpía de vaporización o calor de vaporización es la cantidad de energía por el producto de la presión y el volumen específico (BTU/lb). |
| Homogenizador | Equipo que se utiliza para que la leche exista una separación de grasa láctea, después de un tiempo en reposo. |
| <i>Manifold</i> | Accesorio para la distribución del sistema de vapor. |
| Manómetro | Es un instrumento que sirve para medir la presión que existe en el sistema. |
| Pasteurizador | Equipo cuya función principal es eliminar las bacterias patógenas que causan la descomposición de la leche cruda. |
| Purga | Es la acción que se hace con el fin de drenar un líquido o un gas. |

| | |
|-----------------------------|--|
| Suavizador para agua | El suavizador de agua, también llamado descalcificador o ablandador, es un aparato que por medios mecánicos, químicos y/o electrónicos tratan el agua, para evitar, minizar o reducir, los contenidos de sales minerales y sus incrustaciones en las tuberías y depósitos de agua potable. |
| Trampa de vapor | Es un equipo cuya función es drenar el condensado aire y CO ₂ , tan rápido como sea posible. |
| Válvula | Es un aparato, que abre y cierra, regula, aísla, conecta y desconecta, líquidos y gases. |
| Vapor saturado | Es el estado de un líquido cuando se encuentra en equilibrio a una determinada presión y temperatura. |

RESUMEN

Un diseño de un sistema es una herramienta muy valiosa en un sistema de generación de vapor, ya que ayuda a tener una mejor idea sobre cómo aprovechar la energía térmica, reducción de costos y su mantenimiento, para su funcionamiento.

La experiencia ha demostrado que para mejorar la eficiencia del sistema de vapor, se debe dimensionar bien el sistema de distribución, uso adecuado de aislamiento, retorno de condensados, buen tratamiento químico del agua, y lo más importante, un mantenimiento preventivo adecuado.

Un factor importante es la experiencia y la capacitación que tiene el personal para operar y dar mantenimiento a un equipo, ya que de este depende la conservación del mismo.

El objetivo de este trabajo es diseñar un sistema de distribución de vapor que pueda aprovechar al máximo la cantidad de energía que produzca el generador de vapor, como el condensado que retorna o que debería retornar al generador; también son importantes los costos de mantenimiento ya una falla detectada antes de tiempo, puede reducir un cambio de equipo cuyo costo sea mayor.

OBJETIVOS

General

Diseñar una propuesta para mejorar la eficiencia del sistema de generación de vapor de la empresa Agro Industrias Nacionales en la ciudad de Guatemala.

Específicos

1. Describir los conceptos básicos y principios para un sistema de generación de vapor.
2. Dar a conocer las oportunidades de ahorro en consumo de vapor, para el sistema de generación de vapor.
3. Describir la situación actual del sistema de generación de vapor de la empresa AGRINSA y experimentar un sistema que permita mejorar el funcionamiento y rendimiento de la generación de vapor.
4. Diseñar un método para dimensionar el diámetro de las tuberías de retorno del condensado, así como seleccionar las trampas de vapor y sus aplicaciones.
5. Mejorar el rendimiento del sistema de generación de vapor, minimizando los costos de operación de las calderas.

6. Describir los aislamientos utilizados para las tuberías de vapor.
7. Proponer un programa de mantenimiento preventivo, que optimice el funcionamiento del sistema de generación de vapor.

INTRODUCCIÓN

AGRINSA es una empresa que se dedica a la fabricación de productos lácteos y bebidas cítricas. Cuenta con un sistema de generación de vapor siendo éste el más importante para su producción.

La pasteurización es un proceso importante ya que permite reducir y eliminar el contenido de bacterias microbiológicas que sean dañinas al organismo humano; además es un proceso que ayuda a la conservación del producto. Para la generación de vapor se cuenta con dos calderas tipo pirotubulares, de marca Fulton y Cleaver Brooks de 100 HP y 40 HP, respectivamente.

El presente trabajo de graduación tiene como propósito hacer un estudio de todos los parámetros, y variables de proceso, métodos, equipos y sistema de control que conforman las calderas para la producción de vapor en la empresa, con el fin de mejorar y optimizar la eficiencia de operación del mismo y reducir la producción de vapor en exceso; minimizando los costos de consumo de combustible, evitando pérdidas de energía calorífica y considerando el impacto ambiental positivo que llevará consigo el desarrollo del mismo.

1. GENERALIDADES

1.1. Generalidades de la empresa Agro Industrias Nacionales, S.A.

La empresa Agro Industrias Nacionales, AGRINSA, fue fundada en 1979, comenzó fabricando algunos productos lácteos como requesón, quesos frescos y queso de capas; en los años siguientes fue introduciendo más productos gracias a las preferencias de los clientes, que han contribuido al crecimiento de la empresa.

La empresa se encuentra ubicada en km 13 carretera al Pacífico, municipio de Villa Nueva. En el año 1990, se introdujo el departamento de jugos y refrescos, por lo que actualmente, hay una variedad de productos que fabrica la misma.

1.2. Materias primas que se utilizan para la producción

Para la fabricación de los productos de la empresa AGRINSA, se cuenta con leche entera fluida, proveniente de distintos lugares del país; la leche es recibida a una temperatura entre 2°C y 8°C, ya que esta garantiza la no reproducción de bacterias, generadas por el mismo producto.

1.3. Productos que se elaboran en la empresa

La empresa AGRINSA., produce actualmente, quesos frescos, yogurt, cremas, queso *kraft*, *spread* y jugos preparados, requiriendo pasteurización para que el producto final sea inocuo, y tenga una vida anaquel más larga.

1.4. Planificación estratégica de la empresa

Misión: producir alimentos de alta calidad, mejorando continuamente los procesos de fabricación, asegurando la inocuidad del producto y elevando los índices de eficiencia y productividad.

Visión: ser la empresa líder del mercado de lácteos y refrescos.

2. PROPIEDADES Y APLICACIONES DE VAPOR

2.1. Introducción

El vapor es uno de los medios más utilizados en las empresas industriales, gracias a que el agua se encuentra en cualquier parte, y para transformar de un estado a otro, se requiere de pequeñas modificaciones.

Cuando un líquido se convierte en vapor, este absorbe grandes cantidades de energía calorífica. El vapor es fácil de transportar, por lo que su costo es más bajo comparado con otros medios, que ofrecen el mismo resultado de transferencia de calor.

2.2. Conceptos básicos

De la primera ley de la termodinámica se sabe que la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma. Para la transferencia de calor existen tres mecanismos, los cuales para su comprensión se definirán por separado y son: conducción, convección y radiación.

- **Conducción**

La conducción de calor se lleva a cabo por el efecto de la transmisión de energía por medio de moléculas más activas a una temperatura más elevada chocando con moléculas menos activas a una temperatura más baja.

- Convección

La transferencia de calor por convección se lleva a cabo por el movimiento de un fluido (líquido o gas) en relación con el cuerpo.

Cuando el movimiento es provocado por la diferencia de densidades debidas a la diferencia de temperatura en los diferentes puntos del fluido, se conoce como convección natural. Cuando el movimiento del fluido es provocado por un agente externo como un ventilador, se llama convección forzada.

- Radiación

La transferencia de calor por radiación es un fenómeno electromagnético similar a la transmisión de la luz, rayos X y las ondas de radio.

- Aislantes térmicos

Son una mezcla de materiales, que se combinan para reducir la transmisión de calor. La conductividad térmica, su estructura física y química sirven para conocer su capacidad aislante.

- Proceso de vaporización

El vapor o el agua caliente se producen mediante la transferencia de calor del proceso de combustión, que ocurre en el interior de la caldera, elevando, de esta manera, su presión y temperatura.

Debido a estas altas presiones y temperaturas, se desprende que el recipiente contenedor o recipiente de presión debe diseñarse de forma tal que se logren los límites de diseño deseado, con un factor de seguridad razonable.

Las calderas grandes, se diseñan para diferentes presiones y temperaturas, con base en la aplicación dentro del ciclo del calor, para la cual se diseña la unidad.

2.3. Descripción de calderas y tipos de calderas pirotubulares

Las calderas de vapor se clasifican, atendiendo a la posición relativa de los gases calientes y del agua, en acuotubulares y pirotubulares; por la posición de los tubos, de tubos rectos y de tubos curvados; y por la naturaleza del servicio que prestan, en: fijas, portátiles, locomóviles y marinas. La elección de una caldera para un servicio determinado depende del combustible de que se disponga, tipo de servicio, capacidad de producción de vapor requerida, duración probable de la instalación y de otros factores de orden económico.

2.3.1. Tipos de calderas pirotubulares

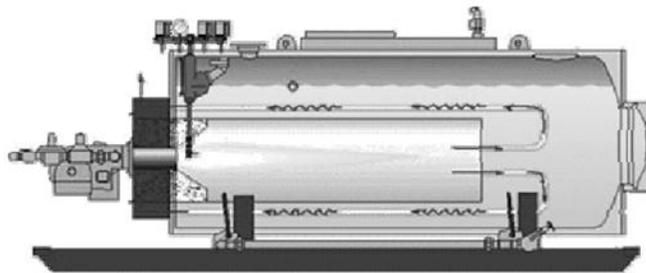
En estas calderas, los gases calientes pasan por el interior de los tubos, los cuales se hallan rodeados de agua. En la actualidad, las calderas pirotubulares horizontales, se utilizan en instalaciones de calefacción a baja presión y algunos tipos más grandes, para producir vapor a presión relativamente baja, destinada a calefacción y a producción de energía.

Una caldera está formada por un cuerpo cilíndrico de disposición horizontal, incorpora interiormente un paquete multitubular de transmisión de calor y una cámara superior de formación y acumulación de vapor.

Calderas horizontales

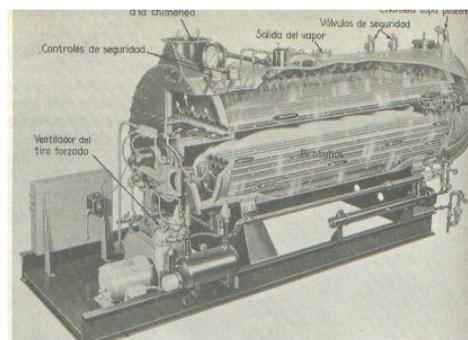
Las calderas de vapor pirotubulares, normalmente se fabrican con producciones comprendidas entre un mínimo de 200 Kg/h y como máximo de 17 000 Kg/h y con presiones que pueden oscilar desde 8 Kg/cm² hasta 24 Kg/cm². Como puede apreciarse, el conjunto configura un sistema de tres pasos de gases, antes de la salida de estos por la chimenea, lo que permite la obtención de altos rendimientos térmicos que garantizan un 89 +/- 2%.

Figura 1. **Caldera pirotubular horizontal**



Fuente: www.Olmar.com. Diseño de calderas pirotubulares. Consultado 5 de abril 2010

Figura 2. **Caldera pirotubular horizontal de 4 pasos.**



Fuente: www.Olmar.com. Diseño de calderas pirotubulares. Consultado 5 de abril 2010

Esta última figura representa un generador moderno de vapor pirotubular horizontal de cuatro pasos, el cual puede quemar fuel-oíl o gas, estando completamente equipado con controles automáticos, ventiladores de tiro inducido y forzado, y otros accesorios. La unidad va montada sobre un bastidor que facilita su instalación y transporte. La cámara de combustión se prolonga a lo largo de la caldera; los gases son dirigidos por placas divisorias, de forma que siguen cuatro pasos a través de aquélla.

En los generadores de vapor de este tipo, los tubos son accesibles desde tapas y puertas desmontables situadas en la parte anterior y posterior. Por otra parte, la buena mezcla entre el combustible y el aire, se consigue mediante planchas deflectoras colocadas en la entrada del aire. Los pirotubos sirven para mantener en posición la plancha portatubos contra la presión interna; para este mismo fin en la parte alta de la cámara de vapor va una serie de virotillos y roblones. Las calderas de este tipo se construyen en tamaños comprendidos entre 15 y 500 HP, con presiones relativas de 1 a 17 [kg/cm²].

2.3.2. Componentes del sistema de vapor

- Caldera o generador de vapor

Produce el vapor a la presión requerida en el proceso.

- Línea de vapor

Distribuye el vapor al lugar o maquinaria que lo requiera, a una presión determinada.

- Válvulas reguladoras de vapor

Son válvulas de flujo, dosifican la cantidad de vapor de acuerdo con los requerimientos; en algunos lugares se desea reducir la presión de vapor, para ello se utilizan las válvulas reguladoras de presión.

- Trampas de vapor

Son equipos que ayudan a evacuar el condensado de vapor y el aire almacenado en líneas de vapor, utilizadas generalmente después del proceso y tuberías de gran distancia donde no ha llegado el vapor.

- Retorno de condensado

El condensado en la trampa de vapor, es recirculado al tanque de condensado con el propósito de aprovechar el calor y transferirlo al agua de alimentación.

- Tanque de condensado

Es el depósito que se utiliza para almacenar el retorno del condensado, que se utilizó en los procesos y en algunos casos, también es depósito de agua fresca.

- Bomba de alimentación

Transporta el agua tratada para la caldera y el condensado que retorna de cada proceso.

- Bomba de condensado

Algunas veces se utiliza una bomba para retornar el condensado que proviene de los procesos, se usa generalmente cuando el tramo de la tubería del condensado que retorna es demasiado largo.

2.4. Eficiencia de las calderas

Se dice que la eficiencia de la caldera está relacionada con la cantidad de combustible utilizado para transformar el agua en vapor. Por ejemplo, una caldera genera vapor con un contenido de 1,5 MBTU/h (la energía correspondiente al agua de alimentación es de 0,15 MBTU/h) a una eficiencia del 80 %, que requiere para su operación.

Una caldera puede reducir su eficiencia por ciertas causas, las cuales son:

- El calor que producen los gases después de la combustión, los cuales salen por la chimenea.
- El calor latente del vapor de agua (humedad), presente en los gases de la chimenea y en el aire, el cual se utiliza para la quema del combustible.
- Exceso de aire en la combustión y el exceso de combustible o falta de aire.
- Pérdidas por radiación, de no haber un buen aislamiento térmico.
- El calor que se pierde cuando se hacen las purgas.

La eficiencia total de una caldera se expresa frecuentemente como el 100 %, menos las pérdidas totales (porcentaje). La eficiencia máxima se obtiene cuando la combustión es completa y se reducen al mínimo las pérdidas de calor descritas anteriormente.

2.5. Oportunidades de conservación de energía en sistemas de vapor

Puede decirse que la eficiencia de un sistema de vapor está en el ahorro de combustible y mantenimiento que este requiera. El combustible representa el mayor costo de operación, por lo se debe maximizar su rendimientos

El Ingeniero a cargo del mantenimiento y operación de la caldera, debe tener en cuenta una lista de oportunidades, que le permitan mejorar la eficiencia de la misma:

- Evaluar la posibilidad de reducir la longitud de las tuberías de vapor, mediante una redistribución adecuada a las áreas donde se consume el vapor, ya ayuda a reducir las pérdidas por radiación y la presión.
- Cuando las líneas de vapor sean subterráneas, revisar que estos sectores no estén propensos a inundaciones o acumulación de agua, ocasionando pérdidas por transferencia de calor hacia la superficie.
- Es importante dar mantenimiento al aislamiento térmico de las tuberías de vapor, revisando el material recubridor, ya que un mal recubrimiento produce pérdidas de vapor.
- Considerar el aislamiento de las paredes y el techo de cualquier tanque caliente.

- Hacer un programa de mantenimiento para las trampas de vapor, dejando siempre registros de los trabajos efectuados.
- Remover o sellar trampas de vapor innecesarias.
- Desconectar las líneas de vapor que estén sin uso.
- Reparar las fugas de vapor.
- Revisar operaciones de venteo de vapor a baja presión, pues alrededor del 85 % del calor original permanece en el vapor de escape.
- Revisar y verificar, los requerimientos de vapor en el proceso para reducir el consumo.
- Revisar el diseño de eyectores al vacío, corrigiendo aquellas unidades sobredimensionadas.
- Evaluar los costos de retorno de condensado de vapor, considerando los costos de tratamiento de agua y el ahorro en combustible.
- Revisar el nivel de presión del vapor, utilizado para el calentamiento.
- Evaluar la posibilidad de implementar economizadores o precalentadores de aire, para aprovechar parte del calor que sale de los gases de escape.
- Evaluar la posibilidad de utilizar la corriente de purga mínima como medio de utilización de calor.
- Dar a conocer a los operadores el costo de vapor de la caldera, con el objeto de que visualicen la operación o los cambios realizados en ella.

2.5.1. Evaluación de los requerimientos de vapor

Existen varios métodos para determinar el consumo de vapor en un proceso tales como:

- Evaluar la cantidad de vapor, con base en tablas de consumo.
- Evaluar la cantidad de vapor, con base en balances de energía.
- Evaluar la cantidad de vapor, con base en mediciones directas obtenidas por proceso, siempre dimensionando un 20 % más por posibles ampliaciones.

2.6. Distribución del sistema de vapor

De un adecuado diseño de distribución de vapor depende la eficiencia del sistema de vapor. Ya que un sobredimensionamiento causa pérdidas de energía calorífica, pero hay que tomar también en cuenta la seguridad de este por esta razón es necesario llevar controles y registros de mantenimiento del sistema de vapor.

Para un buen diseño de distribución de vapor, se deben tomar en cuenta los siguientes factores:

- Selección de la presión
- Diámetro de la tubería
- Inclinação adecuada y drenaje de la tubería
- Límite de expansión
- Pérdidas de calor
- Retorno de condensado, si es justificable.

2.7. Selección de la presión

Para una mejor eficiencia del sistema de vapor, es recomendable el requerimiento de la presión, ya que es costumbre utilizar la línea de vapor más cercana, sin evaluar si la presión que se necesita es la adecuada para el proceso.

El vapor a baja presión contiene mayor calor latente o entalpía de evaporación (h_{evap}) por unidad de masa, por eso transporta mayor energía; además el condensado correspondiente al vapor de menor presión es más fácil de operar y produce menor vapor instantáneo al ser descargado a una presión menor.

El vapor a baja presión ocupará mayor volumen, o sea que para distribuir el vapor a baja presión hay que disponer de tubería de mayor diámetro; debido a esta situación el vapor se distribuye a alta presión y luego se reduce lo más cerca posible del lugar de utilización. Distribuir vapor a alta presión significa mayor temperatura en la superficie de la tubería y por consiguiente, mayor pérdida de vapor.

2.8. Diámetro de la tubería de vapor

Las tuberías no necesariamente deben ser del tamaño de las válvulas principales, para esto se utilizan reductores y estos a su vez ayudan a mantener la presión de vapor.

El sobredimensionamiento debe evitarse por dos razones:

- El costo de la tubería es más elevado. También aumenta en la superficie sobredimensionada el costo de accesorios, válvulas, soportes y aislamiento.
- El mantenimiento de la tubería es mayor. Por ser la tubería de mayor diámetro, hay más superficie externa, por lo que aumenta las pérdidas de calor; si la remoción de este condensado adicional no se lleva a cabo, la calidad de vapor disminuirá. Además no se distribuirá el vapor necesario y llegará al lugar de consumo con una presión reducida. Esta caída de presión produce gran velocidad en el vapor, lo que aumenta la probabilidad de un golpe de ariete.

TABLA II. Información de los motores con los ventiladores que operan las calderas actualmente

| | Caldera FULTON | Caldera Cleaver Brooks |
|-------------|----------------|---------------------------|
| Descripción | Ventilador 1 | Ventilador 2 |
| Voltaje | 230/460 | 230/460 |
| PH | 3 | 3 |
| Potencia | 1.5 HP | 1.5HP |
| Frecuencia | 60 Hz | 60 Hz |
| Velocidad | 3450 rpm | 3450 rpm |

Fuente: elaboración propia.

TABLA III. Información de las bombas con las que operan las calderas actualmente

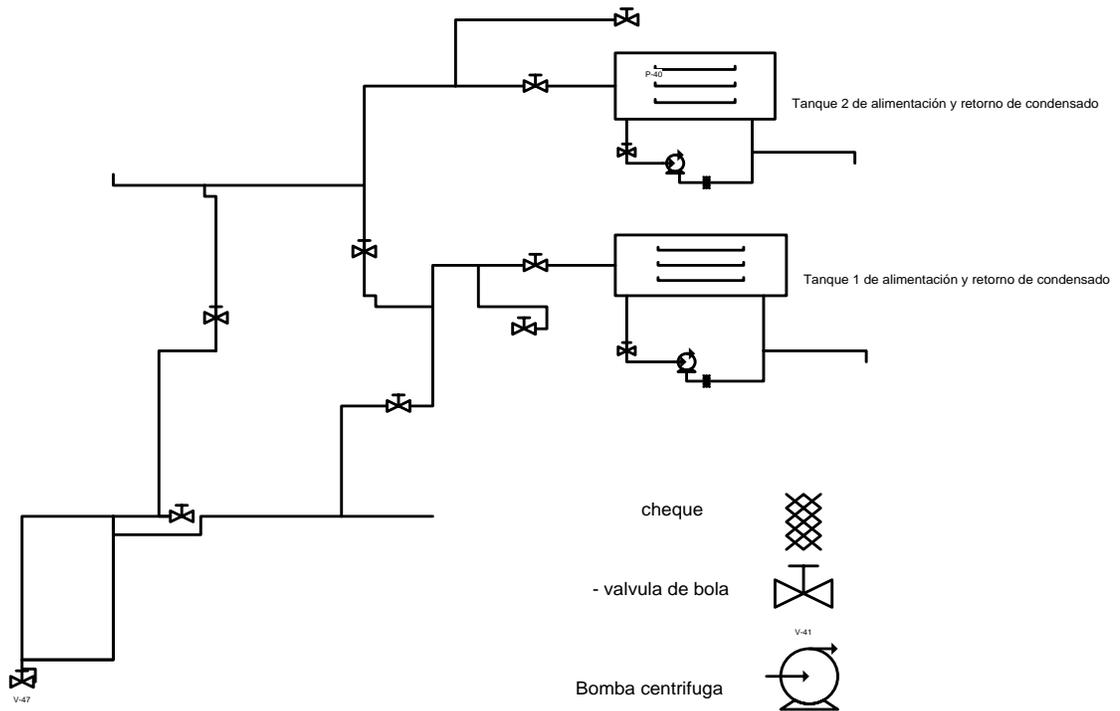
| | Caldera FULTON | Caldera Cleaver Brooks |
|-------------|----------------|---------------------------|
| Descripción | Bomba 1 | Bomba 2 |
| Voltaje | 208/460 | 230/460 |
| Amperios | 70 | 70 |
| Potencia | 7,5 HP | 3,5 HP |
| Frecuencia | 60 Hz | 60 Hz |
| Velocidad | 1750 rpm | 1500 rpm |

Fuente: elaboración propia.

3.2. Diagramas unifilares actuales del sistema de generación de vapor

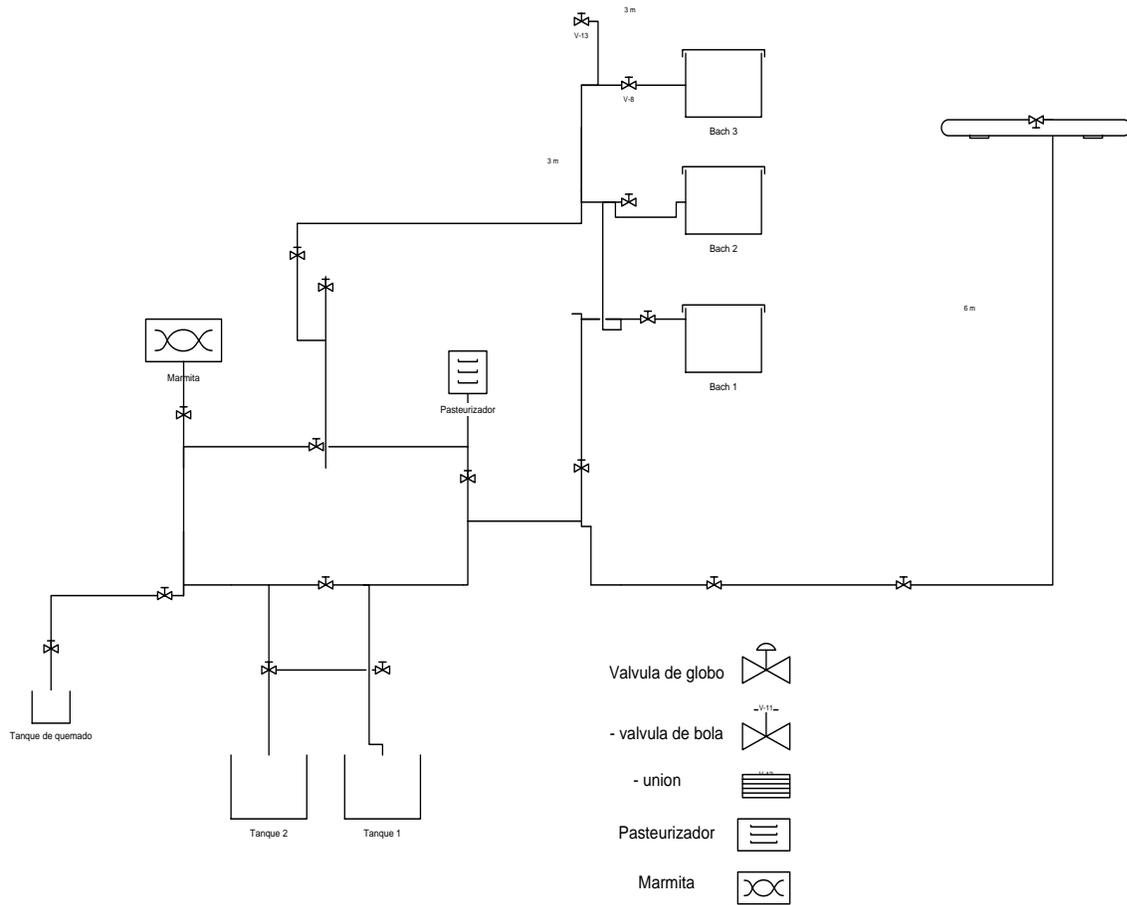
Actualmente en el sistema de tuberías de vapor de empresa AGRINSA, hay ramales, que no se utilizan ya han cambiado de ubicación, los equipos que utilizan el vapor, es necesario hacen una.

Figura 3. Sistema de agua de alimentación



Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Sistema de vapor



Fuente: elaboración propia.

3.3. Instrumentos de control, dispositivos de seguridad y equipos auxiliares

Estos equipos ayudan al operario, para que controle y evalúe el funcionamiento de la caldera, y a la vez proporcionan seguridad al personal que se encuentra alrededor.

3.3.1. Manómetros

El manómetro es un aparato destinado a medir la presión, del vapor en la caldera. La medición de la presión es necesaria, tanto para la seguridad del equipo como del personal y desde el punto de vista generación de vapor.

En la actualidad se emplean dos tipos generales de manómetros, el de láminas y el de resorte tubular.

El primero se basa en la elasticidad de una lámina ondulada sometida en una cara, a la presión de la caldera y en la otra, en la presión atmosférica.

El segundo tipo llamado también manómetro de *Bourdon*, se basa en la tendencia a enderezarse, que experimenta un tubo de bronce curvado, de sección elíptica, cuando la presión que se le aplica en su interior es superior a la atmosférica.

Al actuar la presión del vapor en el interior del tubo, su extremo libre describe un pequeño movimiento, que amplifica el sistema de palancas que actúa sobre el sector dentado, que hace girar al piñón solidario con la aguja indicadora.

3.3.2. Quemadores

Los quemadores son accesorios principales en las calderas. Su objetivo es mezclar el aire con el combustible o viceversa, para luego introducirlo a presión en forma de llama incandescente al interior de la caldera.

De acuerdo con la forma como se alimenta el aire, se puede clasificar a los quemadores en dos categorías:

- Quemadores de alimentación separada de aire y gas.

En este tipo de quemador, los dos fluidos, ambos a presión, llegan separadamente a la punta o “nariz” del quemador; la mezcla se realiza en la cámara de combustión o en la proximidad de esta. Estos quemadores son aplicables a calderas de todas las capacidades.

- Quemadores de mezcla previa

En este tipo de quemador, llamado a veces de llama azul, la mezcla de los dos fluidos, se realiza antes de su introducción en la cámara de combustión.

Los sistemas usados se basan en tres principios diferentes:

- El gas, fluido motor, arrastra por inducción al aire tomado de la atmósfera.
- El aire, fluido motor arrastra al gas cuya presión ha sido reducida previamente a la presión atmosférica.

- La mezcla del airpe y del gas, es realizada por medio de un aparato mecánico.

Esta clasificación es un poco artificial, pues numerosos quemadores poseen caracteres que corresponden, simultáneamente, a varios principios de alimentación.

Se puede hablar también de quemadores:

- De turbulencia
- A presión alta o baja
- De combustión tangencial
- De tipo turbina

A estos se pueden agregar los quemadores mixtos que queman simultáneamente dos combustibles.

3.3.3. Indicadores de nivel

Las calderas deben estar provistas, como mínimo, de dos aparatos que permitan conocer la altura del nivel de agua, constituidos por un indicador de tubo de cristal. Este consiste esencialmente de un tubo en posición vertical y cuyas extremidades se comunican con la cámara de vapor y de agua de la caldera, así el agua de esta última y la que hay en el tubo se encuentran en el mismo nivel. El grifo debe abrirse periódicamente para expulsar las sustancias extrañas que se depositan en el fondo del tubo.

3.3.4. Válvulas de seguridad

La misión de las válvulas de seguridad, es evitar que la presión de la caldera sobrepase el valor normal de trabajo, para la cual se ha proyectado y construido, es decir, que proteja a la caldera de presiones excesivas.

Toda caldera fija debe estar equipada con una válvula de seguridad, que funcione con absoluta confianza. Las calderas móviles deben tener dos válvulas de este tipo.

Las dimensiones de este accesorio, deben permitir que escape a la atmósfera todo el vapor que se genera con la actividad máxima de combustión, cuando la toma de vapor está cerrada.

3.3.5. Tapón fusible

Es un elemento de alarma que se instala en la caldera en aquel punto de la superficie de calefacción más abajo, del cual no debe descender el nivel del agua, por los peligros que esto represente.

3.3.6. Inyectores

Son dispositivos que se utilizan, para alimentar el sistema de ignición combustible a las calderas. Su simplicidad, ausencia de partes móviles y el poco espacio que ocupan, hace que sean preferidos a las bombas de pistón.

El vapor que proviene de la caldera se expande en la tobera que se encuentra en la cámara, abandonándola a gran velocidad y al mezclarse con el agua, se condensa en la tobera, saliendo de allí agua a elevada velocidad.

La energía cinética del vapor se transfiere al agua. Ese chorro de agua entra al difusor, convirtiéndose su energía cinética en energía de presión a medida que su velocidad decrece, hasta que al dejar dicho difusor su presión es mayor que la de la caldera, lo cual le permite entrar en ella. De la cámara sale el agua arrastrada durante la puesta en funcionamiento, agua que aún no ha adquirido suficiente presión para entrar en la caldera.

3.3.7. Medidores de caudal

En las instalaciones generadoras de vapor se usan aparatos para medir y registrar los caudales de vapor, del agua de alimentación y del aire para la combustión.

3.3.8. Medidor de temperatura

Con este medidor registrador se obtiene el valor de la temperatura media de los gases que abandonan la superficie de calefacción de la caldera.

Las calderas de la empresa cuentan con los instrumentos de control generales que todo generador de vapor debe tener: termómetro para medir la temperatura del agua de alimentación, termómetro para medir la temperatura de los gases de chimenea y manómetro para medir la presión de trabajo.

3.3.9. Termómetro para medir la temperatura de agua de alimentación

El tanque de agua de alimentación cuenta con las siguientes especificaciones:

Carátula de 3", caja y vástago de acero inoxidable 304, largo de vástago de 7", diámetro de vástago de ¼", carátula de vidrio plano, conexiones roscadas de ½", rango dual de 0-200 grados centígrados, precisión de +/- 1 %.

3.3.10. Termómetro para medir la temperatura de los gases de la chimenea

Cada caldera cuenta con su propio termómetro, los cuales tienen las siguientes características: carátula de 3", caja y vástago de acero inoxidable 304, largo de vástago de 5", diámetro de vástago de ¼", carátula de vidrio plano, conexiones roscadas de ½", y rango dual de 0-315 grados centígrados. Las calderas de la empresa cuentan con los instrumentos de control generales que todo generador de vapor debe tener: termómetro para medir la temperatura del agua de alimentación, termómetro para medir la temperatura de los gases de chimenea y manómetro para medir la presión de trabajo.

3.3.11. Aparatos de alimentación

Son aparatos destinados a reponer el agua que se está vaporizando. Se los coloca por encima del nivel mínimo de agua tratando de alejarlo de la chapa calentada por el fuego de la cámara de vapor.

Por seguridad se colocan dos aparatos de reposición de agua. Es conveniente que la capacidad de ellos sea superior a la cantidad total de agua que contiene la caldera.

3.3.12. Válvula de cierre

Son válvulas que permiten el pasaje del agua a la caldera e impiden el retroceso de la misma. Estas válvulas son accionadas a mano.

3.3.13. Interruptores de bajo nivel

Todas las calderas de operación automáticas tienen que estar equipadas con un interruptor de bajo nivel de agua, el cual impide el funcionamiento del quemador, mientras no haya suficiente agua en la caldera. Un modelo tipo de este dispositivo consiste en un flotador que actúa sobre un interruptor eléctrico. El indicador de nivel *McDonnell & Miller* es uno de ellos.

Este dispositivo de seguridad, juega un papel muy importante en la seguridad que debe tomarse en cuenta para la operación de las calderas. Se ha estimado un alto porcentaje de explosiones de calderas por falta de agua, lo que ocasiona que la temperatura y presión dentro de la caldera se eleven a un máximo, ocasionando que la caldera explote; es por esto que el control del nivel de agua de una caldera es de suma importancia.

El nivel de agua se podría chequear con un indicador común y corriente y monitorearlo visualmente, pero el ser humano tiende a fallar y a descuidarse. El dispositivo *McDonnell & Miller* ha sido diseñado para controlar el nivel de agua, activando y desactivando automáticamente la bomba de agua de alimentación, según sea el caso de necesidad o de exceso de agua.

Además tiene la función de apagar el ventilador de la caldera cuando detecta un bajo nivel de agua de alimentación, con lo cual la misma dejará de funcionar, eliminando así cualquier riesgo de explosión.

Cada caldera cuenta con un dispositivo que maneja un rango de operación de funcionamiento de 0 a 250 psi (1723 kpa).

Nota: puede incluirse igualmente un interruptor de alarma.

3.3.14. Descripción del sistema de agua de alimentación del sistema de generación de vapor

Descripción del tanque, que utiliza el sistema de vapor *Fulton*, para suministrar agua a la caldera, el cual detalla las siguientes dimensiones:

Forma geométrica =cilíndrica

Largo =0,95 metros

Diámetro= 0,5 metros

Capacidad del tanque =0,75 metros cúbicos.

El material del cual está fabricado el tanque es: lámina negra de 1/8 “de espesor.

Descripción del tanque, que utiliza el sistema de vapor *Cleaver Brooks*, para suministrar agua a la caldera, el cual detalla las siguientes dimensiones:

Forma geométrica =cilíndrica

Largo =0,45 metros

Diámetro = 0,25 metros

Capacidad del tanque = 0,375 metros cúbicos.

El material del cual está fabricado el tanque es: lámina negra de 1/8 “de espesor.

3.4. Tratamiento actual del agua de alimentación

Es inevitable evitar los daños ocasionados por el agua que se utiliza para la caldera pero si se puede retrasar, para ello se debe de tener constantes análisis de agua que se usa para su alimentación y poder recomendar el tratamiento adecuado de agua en la caldera.

3.4.1. Consideraciones en el agua de alimentación

El agua de alimentación de una caldera, generalmente contiene impurezas de distintas clases; los productos químicos agregados para acondicionar y reducir los efectos negativos de tales impurezas, también se consideran como impurezas adicionales. A medida que el agua se evapora, estas impurezas se van concentrando y causan formación de lodos que se depositan en las superficies de calentamiento. La reducción de dichas concentraciones y depósitos, se logra mediante la utilización del sistema de purgas de la caldera.

Las concentraciones permisibles dependen de factores como composición química, cargas de la caldera, presión, temperatura, etc. Estas variables son casi incalculables, por lo que, de acuerdo con la experiencia, los valores deberán mantenerse lo más alejado posible de los límites que se indican en la garantía.

La concentración de sólidos suspendidos y disueltos en el agua de la caldera, se controla por la remoción de agua con alto contenido de sólidos y su reemplazo con agua de alimentación con bajo contenido de sólidos. Este proceso que se conoce con el nombre de purga puede ser intermitente, en el fondo de la caldera o continuo. La purga de fondo o purga de lodos es

necesaria para remover cualquier lodo acumulado en la parte más baja del sistema de la caldera. La purga continua es tomada en el punto más alto de la concentración de sólidos, generalmente de la parte superior del domo de separación de vapor o del cuerpo a la caldera.

3.4.2. Control de sólidos disueltos totales

Cuando el agua es evaporada y los minerales o sólidos disueltos y suspendidos en el agua, permanecen dentro de la caldera. El agua de reposición contiene una carga normal de minerales disueltos, estos hacen que se incrementen los sólidos disueltos totales dentro de la caldera. Después de un periodo de tiempo, los sólidos disueltos totales (TDS) alcanzan niveles críticos dentro de la caldera. Estos niveles en calderas de baja presión se recomienda que no excedan de 3500 ppm (partes por millón o miligramos por litro). Los TDS por encima de este rango pueden causar espuma, lo que va a generar arrastres de altos contenidos de los mismos en las líneas de vapor, las válvulas y las trampas de vapor.

El incremento en los niveles de TDS dentro de la caldera es conocido como “ciclos de concentración”; este término es empleado muy seguido en la operación y control de la caldera.

Para controlar los niveles máximos permisibles de TDS, el operador debe de abrir en forma periódica la válvula de purga de la caldera. La purga es el primer paso para el control del agua en la caldera y esta debe de ser en periodos o intervalos de tiempo. La frecuencia es dependiendo la cantidad de TDS en el agua de reposición y de la cantidad de agua de reposición introducida. En calderas grandes o más críticas las purgas deben de ser automáticas o continuas.

3.4.3. Control de la alcalinidad

Adicionalmente al control de los ciclos de concentración de los TDS, la alcalinidad debe de ser considerada con mucha precaución. Los niveles de alcalinidad, cuando se tienen calderas de baja presión, no deben de exceder las 700 ppm. La presencia de alcalinidad por encima de los 700 ppm puede resultar en un rompimiento de los bicarbonatos produciendo carbonatos y liberando CO₂ (dióxido de carbono) libre en el vapor. La presencia de CO₂ en el vapor generalmente da como resultado un vapor altamente corrosivo, causando daños por corrosión en las líneas de vapor y retorno de condensados.

El nivel de alcalinidad generalmente controla el total de ciclos de concentración en la caldera. Si el agua de reposición contiene 70 ppm de alcalinidad total, en una caldera que no deba de exceder la concentración de 700 ppm, se podrá operar a 10 ciclos de concentración. ($700 \text{ ppm} / 70 \text{ ppm} = 10$ ciclos). La reducción de la alcalinidad puede hacer que el control de la purga y los ciclos de concentración se realicen con base en los niveles de TDS.

La alcalinización es un proceso por el cual el agua suavizada es pasada hacia una unidad que contiene resina aniónica. La resina aniónica remueve aniones como sulfatos, nitratos, carbonatos y bicarbonatos, estos son reemplazados por cloruros. La sal (cloruro de sodio) es empleada para regenerar la resina aniónica cuando esta se satura.

La necesidad de emplear agua suavizada en el equipo desalcalinizador es por el peligro de precipitación de carbonato de calcio y de hidróxido de magnesio en la cama desalcalinizador. Por lo cual, la cama de intercambio iónico del anión obstruirá con materia suspendida. Esto es porque la resina del desalcalinizador es más ligera que la convencional de un suavizador; por lo tanto el retrolavado es mucho menor y este es insuficiente para remover la

materia suspendida. Emplear un suavizador como pretratamiento sirve no solo para eliminar la dureza del agua, si no como protección al desalcalinizador. La concentración permitida en el interior de la caldera de TDS al igual que de alcalinidad, va disminuyendo a medida que la capacidad de las calderas de presión se va incrementando.

3.4.4. Control de dureza total

Hasta ahora se ha descrito en pocas palabras lo correspondiente a la concentración de TDS y alcalinidad dentro de la caldera; el tratamiento y efecto de la dureza total en el agua debe de ser revisada al detalle. La formación de incrustación en las superficies de la caldera, es el problema más serio encontrado en la generación de vapor.

Tabla IV. Análisis fisicoquímico del agua cruda

| TABLA A | | | | |
|--|------------------|--------------------|---------------|-----------|
| Calidad recomendada para Calderas | | | | |
| Caldera de Vapor | Máximo | Máximo | Máximo | |
| Presion (PSI) | TDS (ppm) | Alcalinidad | Dureza | |
| menor | 300 | 3500 | 700 | 20 |
| 301 | 450 | 3000 | 600 | 0 |
| 451 | 600 | 2500 | 500 | 0 |
| 601 | 750 | 2000 | 400 | 0 |
| 751 | 900 | 1500 | 300 | 0 |
| 901 | 1000 | 1250 | 250 | 0 |
| 1001 | 1500 | 1000 | 200 | 0 |
| 1501 | 2000 | 750 | 150 | 0 |
| 2001 | 3000 | 150 | 100 | 0 |

Fuente: www.econext.com.mx. Consultado 6 de febrero 2008.

3.4.5. Selección del suavizador

Lo siguiente representa una caldera típica, donde se calculará la demanda de un suavizador; por tal razón se necesita determinar:

- La dureza en el agua

El análisis recibido o muestreado es en partes por millón (ppm), se convierte a gramos por galón (gpg), dividiéndolo entre 17,1 por lo tanto; $342/17,1 = 20$ gpg.

- Los caballos vapor caldera (caballos de fuerza)

Si la capacidad de la caldera se tiene en libras por hora de vapor, convertirla a caballos (HP), 3450 libras por hora entre 34,5 = 100 HP (ver tabla de conversión).

- La alimentación de agua máxima a la caldera

La capacidad de la caldera es de 100 HP (caballos de fuerza), convertir los HP a galones de agua por hora, necesarios para alimentar la caldera, $HP \times 4,25$ galones por hora, $100 \times 4,25 = 425$ galones por hora.

- La cantidad de condensados de retorno o recuperados, y determinar la alimentación neta a la caldera

La alimentación de diseño es de 425 galones por hora, si el retorno de condensados es del 50 %; por lo tanto en 212,5 galones, la alimentación neta será de $425 - 212,5 = 212,50$ galones por hora.

- La alimentación total requerida por día

Como la alimentación de 212,50 galones por hora, si el sistema opera 16 horas por día, $212,50 \times 16 \text{ horas} = 3400$ galones por día.

- Los granos totales de dureza a remover por día

3400 galones por día con una dureza de 20 gpg (granos por galón) será $3400 \times 20 = 68,000$ granos de dureza, que se necesita remover al día.

3.4.6. Descripción de los químicos utilizados

El Químico ÓNIX 500, es un producto en polvo diseñado para ser utilizado como antincrustante y anticorrosivo en calderas de vapor con presiones media y baja (450-50 psi)(kpa) que son alimentadas con agua dura o semidura (10 – 250 ppm). Posee efectivos inhibidores de incrustación y acondicionadores de lodo que mantienen las superficies libres de incrustación. El calcio y el magnesio que forman la dureza del agua son precipitados como un lodo no adherible, el cual es removido de la caldera por la purga. Contiene secuestrantes de oxígeno los cuales previenen la corrosión por picadura causada por el oxígeno sobre la superficie del metal, prolongando así la vida útil del equipo.

Ventajas: este químico es un excelente tratamiento a base de fosfatos con dispersantes, lo cual lo hace un producto adecuado para diferentes tipos de agua; no necesita secuestrantes de oxígeno o antiespumantes.

Características físico-químicas:

Apariencia: líquido cristalino

pH al 1 %: 7,70 +/- 0,5

El Químico ÓNIX 300, es un efectivo desincrustante en operación, formulado a base de compuestos orgánicos poliméricos, el cual trabaja como un dispersante de las incrustaciones adheridas a la superficie de los tubos de los intercambiadores de calor, como condensadores, evaporativos, calderas y sistemas de enfriamiento, los cuales contienen cobre, aluminio, hierro galvanizado, acero, etc. Además, es un efectivo desincrustante en operación para equipos que contengan incrustaciones a base de CaCO_3 , MgSiO_3 , $\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$, y/o $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

Características físico-químicas:

Apariencia: líquido transparente de color ámbar

Peso específico: 1,02 +/- 0,05

pH: 12,6 +/- 0,6

3.4.7. Purga continua

La purga intermitente de fondo puede ser suficiente si el agua de alimentación es excepcionalmente pura, como en el caso de mantener un alto porcentaje de condensado retroalimentado, o agua de alimentación previamente evaporada. La purga intermitente se realiza manualmente y, por ende, puede ocasionar amplias fluctuaciones en los patrones de purga. Se prefiere la aplicación de purgas cortas y frecuentes, en oposición a las de larga duración e infrecuentes, debido a que son menores las pérdidas del agua tratada y las pérdidas de energía como calor sensible en el agua desperdiciada.

Los ahorros de combustible que utiliza esta técnica dependen de los patrones existentes de purga intermitente.

3.4.8. Descripción de las purgas actuales

De acuerdo con el tratamiento de agua utilizado actualmente y con base en las recomendaciones del proveedor de los químicos, se purga 3 veces al día.

El tipo de purga que se utiliza es intermitente de fondo; esto se realiza a primera hora del primer turno del día, a las 8:00 am, 12:00 pm y 16:00 pm.

El procedimiento para purgar es el siguiente: abrir las llaves ubicadas debajo de la caldera por un tiempo máximo de 4 segundos, luego se vuelven a cerrar. Esto con el fin de mantener el nivel de sólidos disueltos en un máximo de 2500 ppm.

Tabla V. **Costos de operación en quetzales del año 2010**

| Mes | Costo mantenimiento mensual | Costo de mantenimiento trimestral | Químicos | Combustible | Electricidad | Agua | Total |
|------------|-----------------------------|-----------------------------------|----------|-------------|--------------|---------|----------|
| Julio | 2350,00 | 0 | 2500,00 | 50000,00 | 7000,00 | 1000,00 | 62850,00 |
| Agosto | 2350,00 | 0 | 2750,00 | 50000,00 | 7150,00 | 1000,00 | 63250,00 |
| Septiembre | 2000,00 | 2500,00 | 2500,00 | 49000,00 | 6720,00 | 1000,00 | 63720,00 |
| Octubre | 2350,00 | 0 | 2600,00 | 51000,00 | 7300,00 | 1000,00 | 64250,00 |
| Noviembre | 2500,00 | 0 | 2700,00 | 49000,00 | 6930,00 | 1000,00 | 62130,00 |
| Diciembre | 2000,00 | 2500,00 | 2500,00 | 50000,00 | 7100,00 | 1000,00 | 65100,00 |
| Promedio | 1591,67 | 1500,00 | 2591,67 | 49893,33 | 7038,33 | 1000,00 | 63615,00 |

Fuente: elaboración propia.

4. UTILIZACIÓN DEL VAPOR EN FÁBRICA

4.1. Introducción

La leche entera fluida que se utiliza como materia prima para la elaboración de los quesos y demás derivados, que ya se ha mencionado anteriormente, que la fábrica AGRINSA produce, proviene de diferentes razas de ganado bobino, la cual es enfriada en un tanque y esta se mantiene a una temperatura menor de 5⁰C ya que esto disminuye el riesgo, de la cantidad bacteriológica que naturalmente contiene la leche, neutralizando la reproducción de las mismas, para luego ser pasteurizada, eliminando así casi en su totalidad organismos patógenos.

4.2. Control de calidad de la leche

La leche de animales enfermos y la que contiene antibióticos o sedimentos no debe ser aceptada por la industria. Incluso trazas de antibióticos en la leche pueden hacerla inadecuada para la fabricación de productos que son acidificados por cultivos bacterianos, como es el caso del yogurt, queso etc. A continuación se presentan algunas de las pruebas más comunes que se realizan en la industria:

- Sabor y olor
- Pruebas de limpieza
- Pruebas de sedimentos
- Prueba de higiene o de la resazurina
- Conteo de células somáticas

- Conteo de bacterias
- Contenido de proteínas
- Contenido de grasa
- Punto de congelación

4.3. Descripción de los equipos que utilizan vapor en la fábrica

La fábrica Agro Industrias Nacionales, S.A. utiliza el vapor para pasteurización de sus procesos, y así reducir y eliminar las bacterias que se encuentren en la leche que se recibe. Entre la maquinaria y equipo que utiliza vapor se encuentran: los pasteurizadores, marmitas, *batch* o tanques de pasteurización con agitador, tanques para cuajar quesos frescos.

La pasteurización es uno de los más importantes procesos en una central lechera y producción de sus derivados. Su función es la destrucción de todos los organismos patógenos presentes en la leche. El método de pasteurización conocido como HTST (alta temperatura a corto tiempo, iniciales en inglés) es utilizado en esta empresa, siendo la leche calentada a no menos de 72⁰C, y mantenida a esa temperatura durante al menos 15 segundos, procediéndose a un enfriamiento posterior de forma rápida.

Todos los componentes en contacto con el producto deben ser de acero inoxidable. Otros tipos de materiales que pueden utilizarse en los sistemas restantes, son: acero forjado, acero al carbono, cobre y aluminio.

4.3.1. Pasteurizador marca *Cherry-Burrell*

Descripción general:

Pasteurizador a placas para la leche destinada a la elaboración de quesos. Capacidades desde 3 000 a 20 000 litros-hora.

Aspectos importantes que deben tomarse en cuenta:

- Temperatura de leche recibida: 4°C.
- Temperatura de pasteurización: 75°C.
- Tiempo de retención: 20 segundos.

Figura 5. Pasteurizador de leche de 4,000 litros por hora



Fuente: Agro Industrias Nacionales, S.A.

Modelo: Superplate

Marca: *Cherry-Burrell*

Datos generales:

- Placas de alto rendimiento construidas en acero inoxidable.
- Tubo de retención externo completamente desarmable para inspección y limpieza.
- Sistema de calentamiento del agua de pasteurización, compuesto de bomba centrífuga, tanque pulmón, inyector de vapor y válvula modulante con *by pass* para operación manual.
- Sistema de calentamiento del agua de ajuste de la salida, compuesto de bomba centrífuga, tanque pulmón. inyector de vapor y válvula con *by pass* para operación manual.
- Tanque balanceador, bomba centrífuga sanitaria de acero inoxidable para leche y sus cañerías de interconexión.
- Panel de controles electrónicos de las temperaturas de pasteurización y de salidas a tinas.

4.3.2 Marmita

Datos generales:

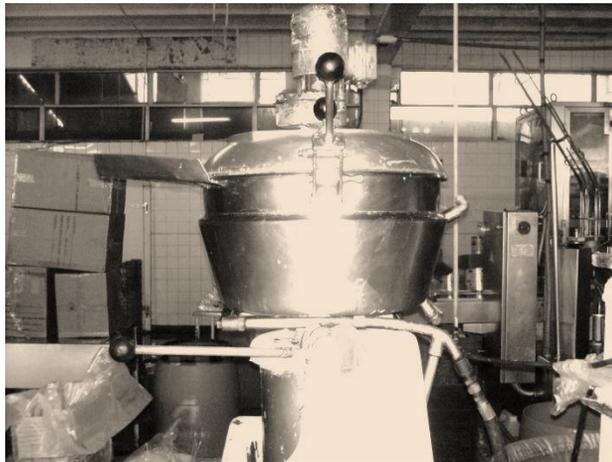
Marca: *Cherry-Burrell*

Modelo: sin placa

Capacidad: 70 lbs.

En el área de procesamiento y pasteurización de quesos *kraft* y *spread*, se cuenta con dos marmitas, las cuales tienen capacidad de 50 libras cada una, con una presión de trabajo de 125 psi y temperatura 95 °C.

Figura 6. **Marmita para fundir queso *kraft***



Fuente: Agro Industrias Nacionales, S.A.

4.3.3. *Batch* capacidad 1200 litros

Datos generales:

Marca: *Cherry-Burrell*

Capacidad: 1200 lts.

En el área de cremas, Yogurt y quesos, se cuenta con tres tanques de pasteurización por medio de agitación; la presión máxima es de 150 psi y una temperatura máxima de 100 °C.

La transferencia de calor es por medio del vapor que calienta directamente las paredes del tanque, ocurriendo una transferencia de calor.

Figura 7. **Tanque pasteurizador con agitador**



Fuente: Agro Industrias Nacionales, S.A.

4.3.4. Tanque para cuajar y desuerar quesos frescos

Datos generales:

Marca: *Cherry-Burrell*

Modelo: sin placa

Capacidad: 4200 lts.

En el área de quesos frescos se cuenta con tanques que tienen capacidad desde 2000 litros hasta 4000 litros.

La leche después de ser pasteurizada es depositada a estos tanques enchaquetados donde por medio de transferencia de calor que recibe de la caldera calientan las paredes del tanque para poder cuajar la leche.

Figura 8. Tanque para cuajar quesos



Fuente: Agro Industrias Nacionales, S.A.

5. ESTUDIO Y PROPUESTA PARA MEJORAR EL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR

Es importante que cuando se diseña el sistema de distribución del vapor se pueda aprovechar el 100% de vapor, esto en la práctica no es posible ya que hay varios factores que afectan la eficiencia, como por ejemplo, el ambiente que nos rodea, el estado de los equipos que reciben el vapor, así también el personal que opera los equipos.

5.1. Mejoras al diagrama del sistema de vapor

- Eliminar los ramales de tuberías que no se estén utilizando, aunque tengan válvulas y estén cerradas; siempre puede ocurrir el riesgo de que el vapor se pase a estas tuberías y se desperdicie calor; por tanto se deben cambiar las tuberías y válvulas que se encuentren dañadas para evitar fugas y poner en riesgo la seguridad del personal de la planta.
- Evaluar el diámetro requerido para la distribución del sistema de vapor, por área.
- Deshabilitar las tuberías de vapor que no estén en uso.
- Tanto los ramales de tuberías de vapor como de retorno de condensado deben llevar una inclinación en dirección al flujo. Un descenso de 1 ½ pulgada por cada 33 pies, para el condensado sea transportado fácilmente por el punto de drenaje.

Hay dos factores principales que definen el diámetro de las tuberías en un sistema de vapor:

- La presión en la caldera y la caída de presión permitida para todo el sistema de tuberías. La calidad total de presión en el sistema no debe de exceder DEL 20% de la presión máxima en la caldera. Este valor debe incluir todas las caídas en: los tubos, los codos, las válvulas, etc.
- Velocidad del vapor. Las velocidades recomendadas para vapor de proceso son de 30 a 60 m/s; y normalmente se tienen más bajas en sistemas de calentamiento a presiones más bajas. Otro factor es el crecimiento en el futuro. Si no se está seguro sobre el futuro, se debe recordar que se tendrán menos problemas con unas tuberías de diámetro más grande que el requerido, que con una tubería de tamaño apenas suficiente para la carga en el sistema.

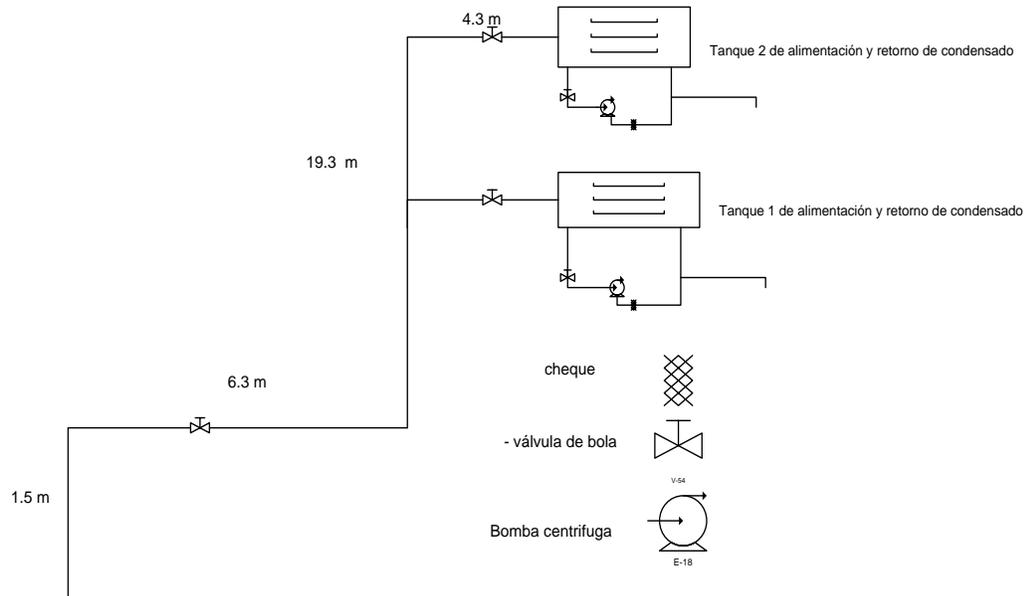
La tabla VI proporciona la designación de colores y las velocidades correspondientes:

Tabla VI. **Velocidades de vapor en tuberías**

| Arriba del color | Velocidad menor que |
|-------------------------|----------------------------|
| Violeta | 30 m/s |
| Amarillo | 40 m/s |
| Azul | 50 m/s |
| Rojo | 60 m/s |
| Verde | 75 m/s |

Fuente: www.armstrong.intl.com. Consultado 14 de abril 2008.

Figura 9. **Rediseño propuesto del sistema de agua de alimentación**



Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. Capacidad de tuberías de vapor

Tabla 45-1. Capacidad de Tuberías de Vapor a 0.3 bar - Tubo Cédula 40

| Tamaño de Tubería (in) | Caída de Presión, Pa/m | | | | |
|------------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | 30 | 60 | 120 | 180 | 240 |
| 1/2 | 1.8 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 3/4 | 5 | 7 | 10 | 12 | 14 |
| 1 | 11 | 14 | 20 | 25 | 28 |
| 1 1/4 | 24 | 31 | 45 | 55 | 64 |
| 1 1/2 | 37 | 46 | 69 | 83 | 96 |
| 2 | 73 | 96 | 138 | 170 | 198 |
| 2 1/2 | 124 | 161 | 230 | 280 | 326 |
| 3 | 225 | 299 | 423 | 519 | 597 |
| 3 1/2 | 335 | 446 | 629 | 772 | 891 |
| 4 | 478 | 629 | 891 | 1 094 | 1 263 |
| 5 | 886 | 1 167 | 1 654 | 2 026 | 2 338 |
| 6 | 1 451 | 1 915 | 2 715 | 3 330 | 3 840 |
| 8 | 3 027 | 3 987 | 5 654 | 6 931 | 7 992 |
| 10 | 5 521 | 7 275 | 10 316 | 12 645 | 14 588 |
| 12 | 8 860 | 11 676 | 16 558 | 20 297 | 23 411 |

Tabla 45-4. Capacidad de Tuberías de Vapor a 4 bar - Tubo Cédula 40

| Tamaño de Tubería (in) | Caída de Presión, Pa/m | | | | | | |
|------------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 30 | 60 | 120 | 180 | 240 | 450 | 1200 |
| 1/2 | 3.7 | 6 | 8 | 10 | 12 | 16 | 25 |
| 3/4 | 9 | 13 | 18 | 23 | 26 | 36 | 59 |
| 1 | 18 | 26 | 37 | 46 | 53 | 73 | 119 |
| 1 1/4 | 41 | 59 | 82 | 101 | 117 | 160 | 261 |
| 1 1/2 | 64 | 91 | 129 | 158 | 182 | 249 | 406 |
| 2 | 130 | 130 | 260 | 318 | 369 | 504 | 825 |
| 2 1/2 | 214 | 304 | 429 | 525 | 607 | 830 | 1 355 |
| 3 | 393 | 555 | 779 | 963 | 1 110 | 1 521 | 2 488 |
| 3 1/2 | 588 | 829 | 1 175 | 1 438 | 1 661 | 2 271 | 3 714 |
| 4 | 829 | 1 175 | 1 663 | 2 056 | 2 350 | 3 221 | 5 253 |
| 5 | 1 530 | 2 170 | 3 069 | 3 755 | 4 350 | 5 934 | 9 723 |
| 6 | 2 523 | 3 560 | 5 046 | 6 184 | 7 119 | 9 771 | 15 943 |
| 8 | 5 235 | 7 419 | 10 506 | 12 856 | 14 837 | 20 322 | 33 223 |
| 10 | 9 584 | 13 547 | 19 123 | 23 500 | 27 140 | 37 142 | 60 455 |
| 12 | 15 344 | 21 703 | 30 734 | 37 669 | 43 544 | 59 428 | 97 042 |

Tabla 45-2. Capacidad de Tuberías de Vapor a 1.0 bar - Tubo Cédula 40

| Tamaño de Tubería (in) | Caída de Presión, Pa/m | | | | | |
|------------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 30 | 60 | 120 | 180 | 240 | 450 |
| 1/2 | 2.3 | 3.7 | 5 | 6 | 7 | 10 |
| 3/4 | 6 | 8 | 12 | 15 | 17 | 23 |
| 1 | 13 | 18 | 25 | 30 | 35 | 49 |
| 1 1/4 | 27 | 38 | 56 | 65 | 74 | 103 |
| 1 1/2 | 42 | 60 | 83 | 102 | 120 | 161 |
| 2 | 83 | 120 | 171 | 208 | 241 | 332 |
| 2 1/2 | 139 | 199 | 278 | 343 | 398 | 543 |
| 3 | 259 | 366 | 514 | 630 | 727 | 996 |
| 3 1/2 | 384 | 546 | 769 | 945 | 1 088 | 1 489 |
| 4 | 546 | 769 | 1 088 | 1 334 | 1 542 | 2 108 |
| 5 | 1 010 | 1 426 | 2 015 | 2 469 | 2 853 | 3 901 |
| 6 | 1 658 | 2 343 | 3 311 | 4 052 | 4 687 | 6 408 |
| 8 | 3 450 | 4 877 | 6 891 | 8 438 | 9 754 | 13 336 |
| 10 | 6 299 | 8 901 | 12 574 | 15 399 | 17 798 | 24 336 |
| 12 | 10 110 | 14 283 | 20 179 | 24 717 | 28 571 | 39 058 |

Tabla 45-5. Capacidad de Tuberías de Vapor a 7 bar - Tubo Cédula 40

| Tamaño de Tubería (in) | Caída de Presión, Pa/m | | | | |
|------------------------|------------------------|--------|--------|--------|---------|
| | 120 | 180 | 240 | 450 | 1200 |
| 1/2 | 10 | 12 | 4 | 20 | 32 |
| 3/4 | 24 | 29 | 33 | 45 | 75 |
| 1 | 47 | 56 | 66 | 91 | 150 |
| 1 1/4 | 103 | 127 | 146 | 200 | 324 |
| 1 1/2 | 160 | 197 | 226 | 310 | 508 |
| 2 | 324 | 400 | 461 | 633 | 1 030 |
| 2 1/2 | 536 | 658 | 762 | 1 038 | 1 697 |
| 3 | 983 | 1 204 | 1 392 | 1 903 | 3 108 |
| 3 1/2 | 1 467 | 1 801 | 2 078 | 2 845 | 4 640 |
| 4 | 2 078 | 2 548 | 2 943 | 4 024 | 6 563 |
| 5 | 3 841 | 4 711 | 5 444 | 7 442 | 12 148 |
| 6 | 6 309 | 7 734 | 8 942 | 12 218 | 19 938 |
| 8 | 13 131 | 16 102 | 18 608 | 25 432 | 41 503 |
| 10 | 23 962 | 29 383 | 33 957 | 46 385 | 75 737 |
| 12 | 38 461 | 47 154 | 54 488 | 74 470 | 121 528 |

Tabla 45-3. Capacidad de Tuberías de Vapor a 2.0 bar - Tubo Cédula 40

| Tamaño de Tubería (in) | Caída de Presión, Pa/m | | | | | |
|------------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 30 | 60 | 120 | 180 | 240 | 450 |
| 1/2 | 3.2 | 4.6 | 6 | 8 | 9 | 13 |
| 3/4 | 7 | 10 | 15 | 18 | 21 | 29 |
| 1 | 15 | 21 | 30 | 36 | 42 | 58 |
| 1 1/4 | 32 | 46 | 66 | 80 | 93 | 127 |
| 1 1/2 | 51 | 72 | 102 | 125 | 144 | 197 |
| 2 | 103 | 146 | 206 | 252 | 291 | 399 |
| 2 1/2 | 170 | 240 | 339 | 416 | 480 | 658 |
| 3 | 312 | 440 | 619 | 763 | 880 | 1 203 |
| 3 1/2 | 457 | 649 | 928 | 1 141 | 1 316 | 1 798 |
| 4 | 656 | 933 | 1 316 | 1 612 | 1 859 | 2 549 |
| 5 | 1 212 | 1 718 | 2 429 | 2 979 | 3 441 | 4 718 |
| 6 | 1 993 | 2 817 | 3 995 | 4 895 | 5 634 | 7 736 |
| 8 | 4 156 | 5 865 | 8 313 | 10 160 | 11 740 | 16 098 |
| 10 | 7 574 | 10 714 | 15 379 | 18 589 | 21 475 | 29 401 |
| 12 | 12 169 | 17 203 | 24 246 | 29 788 | 34 406 | 47 176 |

Tabla 45-6. Capacidad de Tuberías de Vapor a 10 bar - Tubo Cédula 40

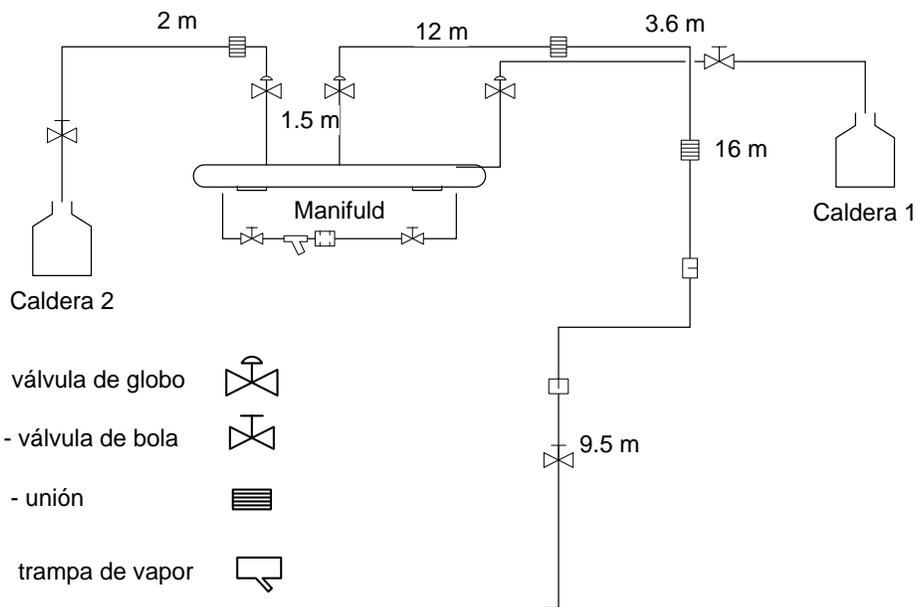
| Tamaño de Tubería (in) | Caída de Presión, Pa/m | | | | |
|------------------------|------------------------|--------|--------|--------|---------|
| | 120 | 180 | 240 | 450 | 1200 |
| 1/2 | 11 | 14 | 16 | 23 | 37 |
| 3/4 | 27 | 33 | 38 | 53 | 86 |
| 1 | 54 | 67 | 77 | 106 | 173 |
| 1 1/4 | 120 | 148 | 170 | 234 | 382 |
| 1 1/2 | 187 | 230 | 266 | 363 | 592 |
| 2 | 380 | 464 | 537 | 735 | 1 204 |
| 2 1/2 | 624 | 767 | 886 | 1 233 | 1 978 |
| 3 | 1 139 | 1 406 | 1 621 | 2 219 | 3 626 |
| 3 1/2 | 1 713 | 2 097 | 2 422 | 3 312 | 5 433 |
| 4 | 2 417 | 2 961 | 3 421 | 4 690 | 7 666 |
| 5 | 4 470 | 5 493 | 6 342 | 8 680 | 14 183 |
| 6 | 7 346 | 9 024 | 10 387 | 14 264 | 23 222 |
| 8 | 15 307 | 18 752 | 21 674 | 29 689 | 48 492 |
| 10 | 27 966 | 34 209 | 39 502 | 54 157 | 88 394 |
| 12 | 44 896 | 55 034 | 63 474 | 86 844 | 141 879 |

Fuente: www.armstrong-intl.com. Consultado 14 de abril 2008.

Diámetro de tuberías

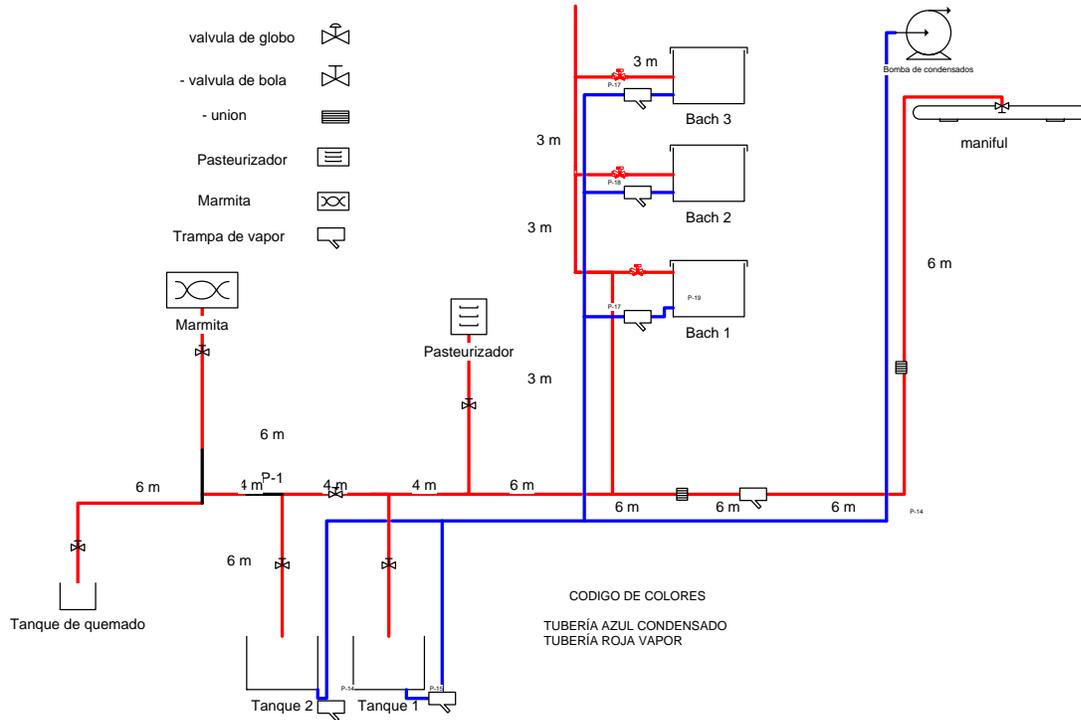
La tubería principal de la fábrica es de 4 pulgadas de diámetro y la está alimentando a 3450 kg/hr a 7 bar. La tubería tiene capacidad de incrementar el flujo hasta 6563 kg/hr. La tabla VII muestra que tiene una caída de presión de 450 Pa/m. Y al incrementar el flujo a 6563 kg/hr la caída de presión es de 1200 Pa/m, a una velocidad menor de 60 m/s. Esta velocidad es aceptable si la caída de presión también lo es. La tubería es aceptable para el flujo de vapor actual.

Figura 10. **Manifold del sistema de distribución de vapor**



Fuente: elaboración propia.

Figura 11. Rediseño propuesto del sistema de distribución de vapor



Fuente: elaboración propia.

5.1.1. Cálculo de longitud equivalente para el sistema de distribución del vapor

Esta longitud es la misma para todos los equipos debido a que el vapor se distribuye de un *manifol* en cuarto de calderas hacia la planta. La resistencia al flujo de vapor u otro fluido a través de un tubo, se incrementan por la presencia de válvulas y uniones y por lo tanto, la capacidad de conducción se ve reducida; los investigadores han determinado la resistencia de válvulas y uniones en términos de longitud de tubo recto. Las resistencias así expresadas son sumadas a la longitud media de la tubería y la suma es llamada longitud equivalente de la tubería. Para poder lograr expresar estas resistencias en

términos de tuberías rectas, debe multiplicarse la cantidad de accesorios del mismo tipo por un factor proporcionado muchas veces por el fabricante y luego sumar estas cantidades. Para el presente estudio se utilizarán los datos de la Tabla VIII donde se debe diferenciar cada accesorio.

Tabla VIII. Resistencia de válvulas y uniones en longitudes equivalentes en tubo recto

| Tamaño de tubería (In) | Longitud en metros a añadir | | | | |
|------------------------|-----------------------------|------------------------|----------------------|------------------|-------------------|
| | Codo estándar | "T" con salida lateral | Válvula de compuerta | Válvula de globo | Válvula de ángulo |
| 1/2 | 0,5 | 0,9 | 0,1 | 5,4 | 2,4 |
| 3/4 | 0,6 | 1,3 | 0,2 | 7,1 | 3,1 |
| 1 | 0,8 | 1,6 | 0,2 | 9,1 | 4,0 |
| 1 1/4 | 1,1 | 2,1 | 0,3 | 11,9 | 5,3 |
| 1 1/2 | 1,2 | 2,5 | 0,3 | 13,9 | 6,1 |
| 2 | 1,6 | 3,2 | 0,4 | 17,9 | 7,9 |
| 2 1/2 | 1,9 | 3,8 | 0,5 | 21,3 | 9,4 |
| 3 | 2,3 | 4,7 | 0,6 | 26,5 | 11,7 |
| 3 1/2 | 2,7 | 5,4 | 0,7 | 30,6 | 13,5 |
| 4 | 3,1 | 6,1 | 0,8 | 34,8 | 15,3 |
| 5 | 3,8 | 7,7 | 1,0 | 43,6 | 19,2 |
| 6 | 4,6 | 9,2 | 1,2 | 52,4 | 23,1 |
| 8 | 6,1 | 12,2 | 1,6 | 68,9 | 30,4 |
| 10 | 7,6 | 15,3 | 2,0 | 86,5 | 38,2 |
| 12 | 9,1 | 18,2 | 2,4 | 103,1 | 45,5 |

Fuente: www.armstrong-intl.com. Consultado 14 de abril 2008.

Los accesorios de un sistema de vapor oponen resistencia al paso del fluido o vapor. La longitud equivalente de tubería es por lo tanto, la longitud de un tubo recto de un tamaño dado que tiene la misma resistencia que el tubo real con sus vueltas, uniones, válvulas y otras partes, se puede también utilizar en

función de codos equivalentes donde un codo equivalente es igual, aproximadamente a 25 veces el tamaño nominal del tubo.

Para el cálculo de longitud equivalente para las tuberías de la planta, se utilizará el método de codos equivalentes. Las dimensiones de la fábrica están dadas en metros, por lo que se transformará los valores a pies;

Cálculo de longitud equivalente desde el *manifold* de la caldera hasta la fábrica donde se utiliza el vapor para su uso.

- *Manifold* 1 hasta la planta 42,6 metros
- Diámetro de la tubería: 2 pulgadas
- Pérdidas por accesorios

Tabla IX. **Longitud equivalente desde *manifold* hasta la planta**

| Accesorios | Diámetro | Cantidad | Factor | Total |
|------------------|----------|----------|--------|-------|
| | 2 pul | 1 | 80 | 80 |
| Válvula de globo | 4 pul | 2 | 40 | 80 |
| Codo 90° | 4 | 1 | 7 | 7 |
| | 2 | 4 | 3,8 | 15,2 |
| TEE | 2 | 4 | 3 | 12 |

Fuente: elaboración propia.

De tabla IX

Por codos equivalentes: $194,2 (25 \cdot 2/12) + 139,76$

L.E. = 948,93 pies

Cálculo de flujo de vapor máximo que llega a cada equipo

Para el cálculo de cada equipo, se harán las medidas de las tuberías a partir del *manifold* de calderas hasta la planta, y luego se sumará la longitud equivalente, obtenida en el punto anterior.

Área de queso crema

Batch No. 1 de acero inoxidable capacidad máxima de 1000 litros

- Longitud de tubería 127,95 pies
- Diámetro de tubería de alimentación 1 pulgada
- Presión de alimentación 100 psi
- Presión de consumo 60 psi
- Pérdidas por accesorios

Tabla X. **Longitud equivalente desde el *manifold* hasta el *Batch* 1**

| Accesorios | Diámetro | Cantidad | Factor | Total |
|------------------|----------|----------|-----------|-------|
| TEE paso recto | 2 pul | 3 | 3 | 9 |
| TEE | 2 pul | 1 | 9 | 9 |
| | 1 pul | 1 | 4,4 | 4,4 |
| Codo 90 | 2 pul | 1 | 3,6 | 3,6 |
| | 1 pul | 1 | 1,8 | 1,8 |
| Válvula de globo | 1 pul | 2 | 40 | 80 |
| | | | Sumatoria | 107,8 |

Fuente: elaboración propia.

Calculando:

$$\text{L.E. } 107,8 (25 \cdot 1/12) + 127,95 + 948,93 = 1301,46 \text{ pies}$$

Calculando el factor de caída de presión (F). Se procede a la utilización de la siguiente fórmula: $(P_1 - P_2)/L = F$

Donde:

P_1 es el factor basado en la presión inicial

P_2 es el factor basado en la presión final

L es la longitud equivalente de la tubería

F es el factor de caída de presión.

Los factores P_1 y P_2 se determinan a partir de la tabla XI

P_1 a la P alimentación (100 psi) = 9750

P_2 a la P consumo (60 psi) = 4265

$F = (9750 - 4265)/1301,46$

$F = 4,21$

Tabla XI. Factores de presión para tuberías

| Presión (Psig) | Volumen (Pies/libra) | Factor de Presión | Presión (Psig) | Volumen (Pies/libra) | Factor de Presión | Presión (Psig) | Volumen (Pies/libra) | Factor de Presión | Presión (Psig) | Volumen (Pies/libra) | Factor de Presión |
|----------------|----------------------|-------------------|----------------|----------------------|-------------------|----------------|----------------------|-------------------|----------------|----------------------|-------------------|
| 26 | 173,0 | 4 | 48 | 6,9 | 3040 | 116 | 3,5 | 12610 | 183 | 2,3 | 28090 |
| 24 | 118,0 | 9 | 49 | 6,8 | 3130 | 117 | 3,4 | 12800 | 184 | 2,3 | 28380 |
| 27 | 91,0 | 15 | 50 | 6,7 | 3225 | 118 | 3,4 | 12990 | 185 | 2,3 | 28650 |
| 20 | 74,8 | 22 | 51 | 6,6 | 3325 | 119 | 3,4 | 13180 | 186 | 2,3 | 28920 |
| 18 | 62,0 | 31 | 52 | 6,5 | 3425 | 120 | 3,4 | 13370 | 187 | 2,3 | 29200 |
| 16 | 53,0 | 41 | 53 | 6,4 | 3525 | 121 | 3,3 | 13560 | 188 | 2,3 | 29480 |
| 14 | 47,5 | 54 | 54 | 6,3 | 3625 | 122 | 3,3 | 13750 | 189 | 2,3 | 29770 |
| 12 | 43,0 | 57 | 55 | 6,2 | 3725 | 123 | 3,3 | 13940 | 190 | 2,3 | 30040 |
| 10 | 39,0 | 83 | 56 | 6,1 | 3825 | 124 | 3,3 | 14140 | 191 | 2,2 | 30340 |
| 9 | 36,8 | 92 | 57 | 6,1 | 3935 | 125 | 3,3 | 14340 | 192 | 2,2 | 30630 |
| 8 | 35,3 | 100 | 58 | 6,0 | 4045 | 126 | 3,2 | 14540 | 193 | 2,2 | 30910 |
| 7 | 34,0 | 110 | 59 | 5,9 | 4155 | 127 | 3,2 | 14740 | 194 | 2,2 | 31200 |
| 6 | 32,8 | 120 | 60 | 5,8 | 4265 | 128 | 3,2 | 14940 | 195 | 2,2 | 31490 |
| 5 | 31,6 | 130 | 61 | 5,8 | 4370 | 129 | 3,2 | 15140 | 196 | 2,2 | 31670 |
| 4 | 30,4 | 140 | 62 | 5,7 | 4485 | 130 | 3,1 | 15350 | 197 | 2,2 | 32070 |
| 3 | 29,3 | 150 | 63 | 5,6 | 4600 | 131 | 3,1 | 15560 | 198 | 2,2 | 32370 |
| 2 | 28,2 | 160 | 64 | 5,6 | 4720 | 132 | 3,1 | 15770 | 199 | 2,2 | 32660 |
| 1 | 27,3 | 170 | 65 | 5,4 | 4840 | 133 | 3,1 | 15980 | 200 | 2,2 | 32810 |
| -5 | 27,0 | 176 | 66 | 5,3 | 4960 | 134 | 3,1 | 16190 | 201 | 2,2 | 32950 |
| Presión (Psig) | | | 67 | 5,4 | 5080 | 135 | 3,0 | 16400 | 202 | 2,1 | 33560 |
| 0 | 26,7 | 183 | 68 | 5,3 | 5200 | 136 | 3,0 | 16620 | 203 | 2,1 | 33860 |
| 1 | 25,1 | 210 | 69 | 5,2 | 5320 | 137 | 3,0 | 16840 | 204 | 2,1 | 34170 |
| 2 | 23,7 | 235 | 70 | 5,2 | 5440 | 138 | 3,0 | 16960 | 205 | 2,1 | 34450 |
| 3 | 22,4 | 265 | 71 | 5,1 | 5560 | 139 | 3,0 | 17180 | 206 | 2,1 | 34780 |
| 4 | 21,3 | 295 | 72 | 5,1 | 5690 | 140 | 2,9 | 17470 | 207 | 2,1 | 35080 |
| 5 | 20,3 | 325 | 73 | 5,0 | 5820 | 141 | 2,9 | 17680 | 208 | 2,1 | 35390 |
| 6 | 19,4 | 355 | 74 | 5,0 | 5950 | 142 | 2,9 | 17910 | 209 | 2,1 | 35700 |
| 7 | 18,6 | 390 | 75 | 5,0 | 6080 | 143 | 2,9 | 18130 | 210 | 2,1 | 35990 |
| 8 | 17,8 | 425 | 76 | 4,9 | 6210 | 144 | 2,9 | 18360 | 211 | 2,1 | 36320 |
| 9 | 17,1 | 450 | 77 | 4,8 | 6350 | 145 | 2,8 | 18580 | 212 | 2,1 | 36630 |
| 10 | 16,5 | 500 | 78 | 4,8 | 6490 | 146 | 2,8 | 18790 | 213 | 2,0 | 36940 |
| 11 | 15,9 | 540 | 79 | 4,7 | 6630 | 147 | 2,8 | 19020 | 214 | 2,0 | 37260 |
| 12 | 15,3 | 590 | 80 | 4,7 | 6770 | 148 | 2,8 | 19250 | 215 | 2,0 | 37570 |
| 13 | 14,8 | 625 | 81 | 4,6 | 6910 | 149 | 2,8 | 19480 | 216 | 2,0 | 37880 |
| 14 | 14,3 | 670 | 82 | 4,6 | 7050 | 150 | 2,8 | 19710 | 217 | 2,0 | 38210 |
| 15 | 13,9 | 715 | 83 | 4,6 | 7190 | 151 | 2,8 | 19950 | 218 | 2,0 | 38550 |
| 16 | 13,5 | 750 | 84 | 4,5 | 7330 | 152 | 2,7 | 20180 | 219 | 2,0 | 38880 |
| 17 | 13,1 | 810 | 85 | 4,5 | 7470 | 153 | 2,7 | 20510 | 220 | 2,0 | 39160 |
| 18 | 12,7 | 860 | 86 | 4,4 | 7610 | 154 | 2,7 | 20650 | 221 | 2,0 | 39510 |
| 19 | 12,4 | 910 | 87 | 4,4 | 7760 | 155 | 2,7 | 20890 | 222 | 2,0 | 39830 |
| 20 | 12,1 | 965 | 88 | 4,4 | 7910 | 156 | 2,7 | 21130 | 223 | 2,0 | 40150 |
| 21 | 11,7 | 1020 | 89 | 4,3 | 8060 | 157 | 2,7 | 21380 | 224 | 2,0 | 40490 |
| 22 | 11,4 | 1075 | 90 | 4,3 | 8210 | 158 | 2,7 | 21610 | 225 | 1,9 | 40820 |
| 23 | 11,1 | 1135 | 91 | 4,2 | 8360 | 159 | 2,6 | 21850 | 226 | 1,9 | 41110 |
| 24 | 10,8 | 1195 | 92 | 4,2 | 8510 | 160 | 2,6 | 22110 | 227 | 1,9 | 41440 |
| 25 | 10,6 | 1255 | 93 | 4,2 | 8660 | 161 | 2,6 | 22350 | 228 | 1,9 | 41780 |
| 26 | 10,4 | 1315 | 94 | 4,1 | 8870 | 162 | 2,6 | 22590 | 229 | 1,9 | 42100 |
| 27 | 10,1 | 1385 | 95 | 4,1 | 8980 | 163 | 2,6 | 22850 | 230 | 1,9 | 42450 |
| 28 | 9,9 | 1445 | 96 | 4,1 | 9140 | 164 | 2,6 | 23150 | 231 | 1,9 | 42790 |
| 29 | 9,7 | 1525 | 97 | 4,0 | 9300 | 165 | 2,6 | 23350 | 232 | 1,9 | 43100 |
| 30 | 9,5 | 1595 | 98 | 4,0 | 9460 | 166 | 2,5 | 23600 | 233 | 1,9 | 43470 |
| 31 | 9,3 | 1665 | 99 | 4,0 | 9620 | 167 | 2,5 | 23840 | 234 | 1,9 | 43810 |
| 32 | 9,1 | 1735 | 100 | 3,9 | 9790 | 168 | 2,5 | 24110 | 235 | 1,9 | 44150 |
| 33 | 8,9 | 1805 | 101 | 3,9 | 9960 | 169 | 2,5 | 24350 | 236 | 1,9 | 44490 |
| 34 | 8,7 | 1875 | 102 | 3,9 | 10130 | 170 | 2,5 | 24620 | 237 | 1,9 | 44830 |
| 35 | 8,6 | 1945 | 103 | 3,8 | 10300 | 171 | 2,5 | 24880 | 238 | 1,8 | 45200 |
| 36 | 8,4 | 2020 | 104 | 3,8 | 10470 | 172 | 2,5 | 25140 | 239 | 1,8 | 45530 |
| 37 | 8,2 | 2100 | 105 | 3,8 | 10640 | 173 | 2,5 | 25400 | 240 | 1,8 | 45870 |
| 38 | 8,1 | 2180 | 106 | 3,7 | 10810 | 174 | 2,4 | 25670 | 241 | 1,8 | 46220 |
| 39 | 8,0 | 2250 | 107 | 3,7 | 10980 | 175 | 2,4 | 25930 | 242 | 1,8 | 46580 |
| 40 | 7,8 | 2340 | 108 | 3,7 | 11155 | 176 | 2,4 | 26200 | 243 | 1,8 | 46935 |
| 41 | 7,7 | 2420 | 109 | 3,6 | 11335 | 177 | 2,4 | 26450 | 244 | 1,8 | 47272 |
| 42 | 7,6 | 2500 | 110 | 3,6 | 11515 | 178 | 2,4 | 26730 | 245 | 1,8 | 47632 |
| 43 | 7,4 | 2590 | 111 | 3,6 | 11695 | 179 | 2,4 | 27010 | 246 | 1,8 | 47995 |
| 44 | 7,3 | 2680 | 112 | 3,6 | 11875 | 180 | 2,4 | 27280 | 247 | 1,8 | 48362 |
| 45 | 7,2 | 2770 | 113 | 3,5 | 12055 | 181 | 2,4 | 27540 | 248 | 1,8 | 48707 |
| 46 | 7,1 | 2850 | 114 | 3,5 | 12235 | 182 | 2,3 | 27830 | 249 | 1,8 | 49079 |
| 47 | 7,0 | 2950 | 115 | 3,5 | 12470 | | | | | | |

Fuente: Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial
 Ahorro de energía en sistemas de vapor, 1989. p. 34.

Recurriendo a la tabla XI de los datos de F y diámetro de tubería de alimentación, se busca la capacidad en Lb/hr para determinar el flujo de vapor.

De tabla XII se tiene que para $F = 4$ un flujo de 275 lb/hr y para un $F = 5$ un flujo de 310 lb/hr. Interpolando para $F = 4,21$ se obtiene un valor de 282,35 lb/hr de vapor.

Calculando la energía aprovechada en la máquina:

Vapor requerido = 282,35 lb/hr a 60 psi (74,7 psia).

Primero hallamos el contenido del vapor que llega al equipo:

De tablas de vapor saturado, a 74,7 psia, se tiene:

| | | | |
|-------------------|---------|---------|------|
| Presión (psi) | 72,5 | 87 | 74,7 |
| h_g (BTU/lb) | 1184,78 | 1188,26 | X |
| h_{fg} (BTU/lb) | 908,84 | 899,7 | X |

Interpolando se halla que $h_g = 1185,31$ BTU/hr

$$h_{fg} = 907,39 \text{ BTU/hr}$$

El contenido de energía en el vapor es $1185,31 \text{ BTU/hr} * 282,35 = 0,334672 \text{ MBTU/hr}$.

La cantidad de energía aprovechada por el equipo:

$$907,39 \text{ BTU/hr} * 282,35 = 0,256201 \text{ MBTU/hr}$$

La energía eliminada en el condensado es la diferencia entre el total del vapor y la aprovechada por el equipo:

$$0,334672 - 0,256201 = 0,078471 \text{ MBTU/hr}$$

Tabla XII. Capacidad de tubería y factores de caída de presión

| F | 1/4" | 1/2" | 1" | 1 1/4" | 1 1/2" | 2" | 2 1/2" | 3" | 4" | 5" | 6" | 7" | 8" | 9" | 10" | 11" | 12" |
|---------|-------|-------|-----|--------|--------|------|--------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 0.008 x | | | | | | 62 | 113 | 185 | 406 | 735 | 1220 | 1815 | 2600 | 1580 | 4750 | 6150 | 7750 |
| y | | | | | | 8 | 9 | 10 | 12 | 16 | 18 | 20 | 20 | 23 | 23 | 26 | 28 |
| 0.010 x | | | | | 33 | 70 | 128 | 210 | 460 | 830 | 1350 | 2050 | 2930 | 4010 | 5350 | 6930 | 8720 |
| y | | | | | 8 | 8 | 10 | 12 | 14 | 18 | 20 | 22 | 23 | 26 | 26 | 30 | 31 |
| 0.013 x | | | | 23 | 38 | 81 | 147 | 240 | 530 | 955 | 1560 | 2350 | 3560 | 4630 | 6160 | 8000 | 10000 |
| y | | | | 8 | 9 | 10 | 12 | 14 | 16 | 20 | 22 | 24 | 26 | 30 | 30 | 33 | 36 |
| 0.016 x | | | | 26 | 42 | 91 | 165 | 270 | 590 | 1070 | 1750 | 2630 | 3770 | 5200 | 6900 | 9000 | 11200 |
| y | | | | 8 | 10 | 11 | 14 | 16 | 18 | 22 | 24 | 26 | 30 | 33 | 35 | 36 | 40 |
| 0.020 x | | | 16 | 29 | 48 | 102 | 187 | 303 | 665 | 1210 | 1970 | 2980 | 4750 | 5820 | 7800 | 10000 | 12600 |
| y | | | 8 | 10 | 10 | 12 | 16 | 18 | 20 | 24 | 27 | 30 | 33 | 35 | 40 | 42 | 45 |
| 0.025 x | 8,2 | 18 | 33 | 53 | 115 | 210 | 342 | 755 | 1370 | 2220 | 3350 | 4800 | 6600 | 8800 | 11300 | 14200 | |
| y | 8,0 | 10 | 11 | 12 | 14 | 18 | 20 | 23 | 26 | 30 | 35 | 36 | 38 | 44 | 47 | 51 | |
| 0.030 x | 9,0 | 20 | 36 | 59 | 227 | 231 | 380 | 830 | 1500 | 2450 | 3700 | 5300 | 7300 | 2650 | 12500 | 15700 | |
| y | 8,0 | 10 | 12 | 14 | 16 | 19 | 22 | 26 | 30 | 33 | 40 | 40 | 42 | 48 | 52 | 56 | |
| 0.035 x | 9,8 | 21 | 39 | 64 | 137 | 250 | 410 | 900 | 1625 | 2650 | 4000 | 5700 | 7900 | 10500 | 13600 | 17000 | |
| y | 8,0 | 10 | 13 | 14 | 18 | 20 | 24 | 29 | 33 | 36 | 43 | 45 | 45 | 53 | 57 | 61 | |
| 0.040 x | 10,6 | 23 | 42 | 69 | 148 | 270 | 442 | 970 | 1750 | 2860 | 4300 | 6170 | 8500 | 11250 | 14500 | 18200 | |
| y | 10,0 | 12 | 14 | 16 | 20 | 23 | 26 | 31 | 36 | 40 | 48 | 50 | 50 | 56 | 60 | 65 | |
| 0.050 x | 4,0 | 11,9 | 26 | 48 | 78 | 167 | 303 | 500 | 1100 | 1975 | 3220 | 4900 | 6900 | 9600 | 12700 | 16500 | 20500 |
| y | 8,0 | 10,0 | 14 | 16 | 18 | 21 | 25 | 26 | 34 | 40 | 45 | 50 | 55 | 63 | 70 | 73 | |
| 0.060 x | 4,4 | 13,2 | 29 | 52 | 81 | 184 | 336 | 560 | 1220 | 2090 | 3560 | 5400 | 7650 | 10500 | 14000 | 18100 | 22500 |
| y | 8,8 | 12,0 | 14 | 17 | 20 | 23 | 26 | 30 | 38 | 43 | 50 | 56 | 60 | 70 | 80 | 80 | |
| 0.070 x | 4,8 | 14,3 | 31 | 57 | 93 | 200 | 365 | 598 | 1320 | 2370 | 3880 | 5810 | 8300 | 11500 | 15200 | 19700 | 24300 |
| y | 9,6 | 12,0 | 16 | 18 | 21 | 25 | 30 | 33 | 40 | 47 | 55 | 60 | 65 | 76 | 83 | 87 | |
| 0.080 x | 5,2 | 16,0 | 33 | 61 | 100 | 215 | 390 | 642 | 1420 | 2550 | 4150 | 6300 | 8900 | 12250 | 16300 | 21100 | 26100 |
| y | 10,4 | 14,0 | 18 | 20 | 23 | 27 | 33 | 36 | 45 | 50 | 60 | 65 | 70 | 75 | 82 | 90 | 93 |
| 0.10 x | 5,8 | 17,5 | 38 | 69 | 115 | 241 | 440 | 725 | 1800 | 2960 | 4700 | 7100 | 1000 | 13800 | 18300 | 23800 | 30500 |
| y | 11,6 | 16,0 | 20 | 23 | 26 | 30 | 35 | 40 | 50 | 50 | 70 | 70 | 80 | 85 | 92 | 100 | 109 |
| 0.13 x | 6,7 | 20,1 | 44 | 79 | 130 | 280 | 510 | 830 | 1870 | 3300 | 5400 | 8100 | 11500 | 1600 | 21400 | 27700 | 35000 |
| y | 13,4 | 18,0 | 23 | 26 | 30 | 36 | 40 | 45 | 80 | 70 | 80 | 80 | 90 | 95 | 107 | 115 | 125 |
| 0.16 x | 7,5 | 22,5 | 49 | 88 | 145 | 312 | 570 | 935 | 2050 | 3700 | 6020 | 9100 | 13200 | 18000 | 24000 | 31000 | 39200 |
| y | 15,0 | 20,0 | 26 | 30 | 33 | 40 | 45 | 50 | 70 | 80 | 90 | 90 | 100 | 105 | 120 | 130 | 140 |
| 0.20 x | 8,5 | 26,5 | 56 | 99 | 165 | 353 | 640 | 1050 | 2300 | 4160 | 6790 | 10300 | 14700 | 20200 | 27000 | 35000 | 44100 |
| y | 17,0 | 23,0 | 30 | 33 | 36 | 45 | 50 | 60 | 75 | 90 | 100 | 100 | 115 | 120 | 135 | 145 | 158 |
| 0.25 x | 9,6 | 28,8 | 62 | 112 | 184 | 400 | 722 | 1180 | 2600 | 4700 | 7600 | 11700 | 16700 | 23000 | 30300 | 39200 | 49900 |
| y | 19,2 | 26,0 | 30 | 37 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 97 | 110 | 120 | 130 | 135 | 152 | 163 | 176 |
| 0.30 x | 10,7 | 32,0 | 73 | 123 | 202 | 440 | 800 | 1320 | 2880 | 6200 | 8460 | 12800 | 18500 | 25300 | 33600 | 43300 | 56000 |
| y | 21,4 | 30,0 | 36 | 41 | 45 | 55 | 65 | 74 | 90 | 105 | 120 | 130 | 145 | 150 | 168 | 180 | 196 |
| 0.35 x | 11,5 | 34,8 | 74 | 133 | 220 | 478 | 840 | 1420 | 3110 | 5630 | 9180 | 14000 | 20000 | 27400 | 36300 | 47000 | 59500 |
| y | 23,0 | 30,0 | 36 | 45 | 50 | 60 | 70 | 80 | 100 | 115 | 130 | 140 | 160 | 165 | 182 | 195 | 212 |
| 0.40 x | 12,4 | 37,4 | 80 | 143 | 237 | 513 | 930 | 1530 | 3360 | 6070 | 9950 | 15000 | 21500 | 29400 | 39100 | 50500 | 64000 |
| y | 24,8 | 33,0 | 40 | 47 | 54 | 65 | 80 | 90 | 110 | 125 | 140 | 150 | 175 | 180 | 210 | 228 | |
| 0.50 x | 14,0 | 42,1 | 90 | 162 | 266 | 579 | 1050 | 1725 | 3800 | 6800 | 11200 | 17000 | 24200 | 33200 | 44000 | 57000 | 72000 |
| y | 28,0 | 36,0 | 45 | 54 | 66 | 70 | 90 | 100 | 120 | 140 | 155 | 170 | 190 | 200 | 220 | 237 | 257 |
| 0.60 x | 15,4 | 46,6 | 99 | 177 | 292 | 638 | 1150 | 1900 | 4180 | 7600 | 12200 | 18700 | 26800 | 36700 | 48500 | 62800 | 79500 |
| y | 30,8 | 40,0 | 50 | 59 | 70 | 80 | 95 | 105 | 130 | 155 | 170 | 185 | 210 | 220 | 242 | 262 | 284 |
| 0.70 x | 16,8 | 50,7 | 108 | 185 | 320 | 690 | 1250 | 2060 | 4530 | 8220 | 13400 | 20200 | 29000 | 39800 | 52700 | 67900 | 86300 |
| y | 36,6 | 45,0 | 54 | 62 | 70 | 90 | 100 | 120 | 140 | 165 | 185 | 200 | 230 | 240 | 260 | 282 | 308 |
| 0.80 x | 18,0 | 54,4 | 116 | 208 | 342 | 744 | 1350 | 2220 | 4850 | 8800 | 14400 | 21800 | 31000 | 42600 | 56500 | 73000 | 92700 |
| y | 36,0 | 50,0 | 60 | 70 | 80 | 95 | 115 | 130 | 160 | 180 | 200 | 220 | 260 | 260 | 280 | 305 | 331 |
| 1.00 x | 20,0 | 61,5 | 130 | 234 | 386 | 840 | 1550 | 2500 | 5500 | 10000 | 16300 | 24500 | 35000 | 48000 | 64000 | 82200 | 1E+06 |
| y | 40,0 | 60,0 | 70 | 79 | 90 | 100 | 125 | 140 | 180 | 200 | 230 | 250 | 280 | 300 | 320 | 342 | 375 |
| 1.3 x | 23,3 | 71,0 | 150 | 270 | 445 | 975 | 1770 | 2900 | 6300 | 11500 | 18700 | 28200 | 41000 | 55900 | 73700 | 94500 | 120000 |
| y | 46,6 | 60,0 | 80 | 90 | 100 | 120 | 140 | 160 | 200 | 230 | 260 | 285 | 330 | 360 | 370 | 394 | 430 |
| 1.6 x | 26,1 | 80,0 | 168 | 300 | 500 | 1090 | 2000 | 3220 | 7100 | 12800 | 21300 | 31500 | 45500 | 62200 | 82000 | 105000 | 136000 |
| y | 52,2 | 70,0 | 90 | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 | 230 | 260 | 300 | 320 | 360 | 400 | 410 | 438 | 487 |
| 2.0 x | 29,5 | 90,0 | 190 | 345 | 570 | 1225 | 2230 | 3650 | 8000 | 14500 | 23700 | 35600 | 51500 | 70500 | 93000 | 118000 | 153000 |
| y | 59,0 | 80,0 | 100 | 115 | 125 | 160 | 180 | 200 | 260 | 300 | 330 | 360 | 400 | 425 | 465 | 492 | 547 |
| 2.5 x | 33,5 | 101,0 | 213 | 390 | 640 | 1380 | 2510 | 4120 | 9000 | 16400 | 26600 | 39500 | 58000 | 80000 | 105000 | 134000 | 174000 |
| y | 67,0 | 90,0 | 100 | 130 | 140 | 180 | 200 | 230 | 300 | 330 | 360 | 400 | 445 | 475 | 525 | 560 | 618 |
| 3.0 x | 37,0 | 108,0 | 236 | 430 | 700 | 1530 | 2800 | 4550 | 9900 | 18000 | 29300 | 43400 | 64000 | 88000 | 117000 | | |
| y | 74,0 | 100,0 | 120 | 143 | 160 | 195 | 230 | 260 | 330 | 360 | 410 | 440 | 495 | 520 | 585 | | |
| 3.5 x | 40,0 | 117,0 | 255 | 469 | 765 | 1660 | 3000 | 4920 | 10700 | 19500 | 31800 | 46800 | 69500 | 96000 | | | |
| y | 80,0 | 100,0 | 140 | 156 | 180 | 206 | 255 | 290 | 350 | 400 | 455 | 470 | 535 | 565 | | | |
| 4.0 x | 43,0 | 127,0 | 275 | 500 | 820 | 1780 | 3250 | 5300 | 11600 | 20900 | 34000 | 50000 | 74500 | | | | |
| y | 86,0 | 120,0 | 140 | 167 | 180 | 230 | 265 | 310 | 380 | 435 | 490 | 500 | 575 | | | | |
| 5.0 x | 49,0 | 143,0 | 313 | 565 | 930 | 2000 | 3680 | 6000 | 11310 | 23500 | 38500 | 56000 | | | | | |
| y | 98,0 | 140,0 | 160 | 188 | 200 | 260 | 300 | 335 | 420 | 490 | 550 | 560 | | | | | |
| 6.0 x | 53,0 | 158,0 | 342 | 625 | 1020 | 2200 | 4060 | 6600 | 14500 | 25900 | | 42500 | | | | | |
| y | 106,0 | 140,0 | 180 | 208 | 230 | 290 | 330 | 360 | 460 | 640 | | 610 | | | | | |
| 7.0 x | 67,6 | 171,0 | 371 | 680 | 1120 | 2400 | 4400 | 7200 | 15700 | 28100 | | | | | | | |
| y | 115,2 | 160,0 | 200 | 226 | 260 | 300 | 360 | 400 | 500 | 590 | | | | | | | |
| 8.0 x | 62,0 | 183,0 | 400 | 727 | 1200 | 2600 | 4700 | 7600 | 16900 | | | | | | | | |
| y | 124,0 | 160,0 | | | | | | | | | | | | | | | |

Área de crema comercial

Batch No. 2 de acero inoxidable capacidad máxima de 2500 litros

- Longitud de tubería = 29,53 pies
- Diametro de tubería de alimentación 1 pul
- Presión de alimentación 100 psi
- Presión de consumo 50 psi
- Perdidas por accesorios

Tabla XIII. **Longitud equivalente desde *Batch* 1 hasta *Batch* 2**

| ACCESORIOS | DIÁMETRO | CANTIDAD | FACTOR | TOTAL |
|------------------|----------|----------|--------|-------|
| TEE | 1 pul | 1 | 1,5 | 1,5 |
| Válvula de globo | 1 pul | 1 | 20 | 20 |
| | | | Total | 21,5 |

Fuente: elaboración propia.

Calculando la longitud equivalente:

$$\text{L.E.} = 21,5 (25 \cdot 1/12) + 1301,46 + 29,53 = 1375,78 \text{ pies}$$

Calculando el factor de pérdidas de presión (F):

$$P_1 \text{ a la P alimentación (100 psi)} = 9750$$

$$P_2 \text{ a la P consumo (50 psi)} = 4265$$

$$F = (9750 - 3225)/1375,78$$

$$F = 4,74$$

Calculando el flujo de vapor:

De tabla XII

F = 4 ----- 275 lb/hr

F = 5 ----- 310 lb/hr

Interpolando entre estos valores, se tiene que para $F = 4,74$ un flujo de vapor 304,4 lb/hr

Calculando la energía aprovechada en la máquina:

Vapor requerido = 304,4 lb/hr a 50 psi (64,7 psia).

Primero se halla el contenido del vapor que llega al equipo:

De tablas de vapor saturado, a 64,7 psi se tiene:

Interpolando se halla que $h_g = 1182,72$ BTU/hr

$$h_{fg} = 914,09 \text{ BTU/hr}$$

El contenido de energía en el vapor es $1182,72 \text{ BTU/hr} * 304,4 \text{ lb/hr} = 0,360019$ MBTU/hr

La cantidad de energía aprovechada por el equipo:

$$914,09 \text{ BTU/hr} * 304,4 = 0,278248 \text{ MBTU/hr}$$

La energía eliminada en el condensado es la diferencia entre el total del vapor y la aprovechada por el equipo:

$$0,360019 - 0,278248 = 0,081771 \text{ MBTU/hr.}$$

Área de yogurt

Batch No. 3 de acero inoxidable capacidad máxima de 2500 litros

Longitud de tubería = 29,53 pies

Diámetro de tubería de alimentación 1 pul

- Presión de alimentación 100 psi
- Presión de consumo 75 psi
- Pérdidas por accesorios

Tabla XIV. **Longitud equivalente desde el *Batch* 2 hasta *Batch* 3**

| ACCESORIOS | DIÁMETRO | CANTIDAD | FACTOR | TOTAL |
|------------------|----------|----------|--------|-------|
| TEE | 2 pul | 2 | 1,5 | 3 |
| Válvula de globo | 1 pul | 1 | 20 | 20 |
| | | | Total | 23 |

Fuente: elaboración propia.

Calculando la longitud equivalente:

$$\text{L.E.} = 23 (25 \cdot 1/12) + 1375,78 + 29,53 = 1453,23 \text{ pies}$$

- Calculando el factor de pérdidas de presión (F):

$$P_1 \text{ a la P alimentación (100 psi)} = 9750$$

$$P_2 \text{ a la P consumo (75 psi)} = 6080$$

$$F = (9750 - 6080)/1453,23$$

$$F = 2,5$$

Calculando el flujo de vapor:

De tabla XII

$$F = 2,5 \text{ ----- } 213 \text{ lb/hr}$$

Calculando la energía aprovechada en la máquina:

Vapor requerido = 213 lb/hr a 75 psig (89,7 psia).

Primero se encuentra el contenido del vapor que llega al equipo:

De las tablas de vapor saturado, a 89,7 psia se tiene:

| | | | |
|-------------------|---------|--------|------|
| Presión (psi) | 87 | 101,7 | 89,7 |
| h_g (BTU/lb) | 1188,27 | 899,27 | X |
| h_{fg} (BTU/lb) | 1191,16 | 890,65 | X |

Interpolando se halla que $h_g = 1188,8$ BTU/hr

$$h_{fg} = 897,66 \text{ BTU/hr}$$

El contenido de energía en el vapor es $1188,8 \text{ BTU/hr} * 213 = 0,253214$ MBTU/hr

La cantidad de energía aprovechada por el equipo:

$$897,66 \text{ BTU/hr} * 213 = 0,191201 \text{ MBTU/hr.}$$

La energía eliminada en el condensado es la diferencia entre el total del vapor y la aprovechada por el equipo:

$$0,253214 - 0,191201 = 0,062013 \text{ MBTU/hr}$$

Área de pasteurización

Pasteurizador Superplate capacidad 3300 litros por hora

- Longitud de tubería = 118,11 pies
- Diámetro de tubería de alimentación 1 pul
- Presión de alimentación 100 psi
- Presión de consumo 65 psi
- Pérdidas por accesorios

Tabla XV. **Longitud equivalente desde la planta al pasteurizador**

| ACCESORIO | DIÁMETRO | CANTIDAD | FACTOR | TOTAL |
|----------------------|----------|----------|--------|-------|
| Unión | 2 | 2 | 3 | 6 |
| TEE | 2 | 1 | 9 | 9 |
| | 1 | 1 | 4,4 | 4,4 |
| Codo 90 ⁰ | 2 | 1 | 3,6 | 3,6 |
| | 1 | 1 | 1,8 | 1,8 |
| Válvula de globo | 1 | 2 | 20 | 40 |
| | | | Total | 64,8 |

Fuente: elaboración propia.

Calculando la longitud equivalente:

$$L.E. = 64,8 (25 \cdot 1/12) + 948,93 + 118,11 = 1202,04 \text{ pies}$$

- Calculando el factor de pérdidas de presión (F):
 P_1 a la P alimentación (100 psi)= 9750
 P_2 a la P consumo (65 psi)= 4840
 $F = (9750 - 4840)/1202.04$
 $F = 4,0$

Calculando el flujo de vapor:

De tabla XII

$$F = 4 \text{ ----- } 275 \text{ lb/hr}$$

Calculando la energía aprovechada en la máquina:

Vapor requerido = 275 lb/hr a 65 psi (79,7 psia).

Primero se halla el contenido del vapor que llega al equipo:

De las tablas de vapor saturado, a 79,7 psia, se tiene:

| | | | |
|-------------------|---------|--------|------|
| Presión (psi) | 72,5 | 87 | 79,7 |
| h_g (BTU/lb) | 1184,78 | 908,83 | X |
| h_{fg} (BTU/lb) | 1188,26 | 899,27 | X |

Interpolando se halla que $h_g = 1186,51$ BTU/hr

$$h_{fg} = 904,08 \text{ BTU/hr}$$

El contenido de energía en el vapor es $1186,51 \text{ BTU/hr} * 275 = 0,326290$ MBTU/hr

La cantidad de energía aprovechada por el equipo es:

$$904,08 \text{ BTU/hr} * 275 = 0,248622 \text{ MBTU/hr.}$$

La energía eliminada en el condensado es la diferencia entre el total del vapor y la aprovechada por el equipo:

$$0,326290 - 0,248622 = 0,077668 \text{ MBTU/hr}$$

Área de tanque No. 1 para cuajada de quesos

Tanque capacidad de 3500 litros

- Longitud de tubería = 124,67 pies
- Diámetro de tubería de alimentación 1/2 pul
- Presión de alimentación 100 psi
- Presión de consumo 90 psi
- Pérdidas por accesorios

Tabla XVI. **Longitud equivalente desde la planta al tanque de 3500 lts.**

| ACCESORIO | DIÁMETRO | CANTIDAD | FACTOR | TOTAL |
|----------------------|----------|----------|--------|-------|
| Unión | 2 pul | 2 | 3 | 6 |
| Codo 90 ⁰ | 2 pul | 1 | 3,6 | 3,6 |
| | ½ pul | 2 | 0,9 | 1,8 |
| TEE | 2 pul | 1 | 9 | 9 |
| | 1 pul | 1 | 4,4 | 4,4 |
| | ½ pul | 1 | 2,2 | 2,2 |
| Válvula de globo | 1 pul | 1 | 20 | 20 |
| | ½ pul | 1 | 10 | 10 |
| Reductor | | 2 | 0,4 | 0,8 |
| | | | Total | 57,8 |

Fuente: elaboración propia.

Calculando la longitud equivalente:

$$\text{L.E.} = 57,8 (25 * \frac{1}{2} / 12) + 124,67 + 948,93 = 1133,81 \text{ pies}$$

Calculando el factor de pérdidas de presión (F):

$$P_1 \text{ a la P alimentación (100 psi) = 9750}$$

$$P_2 \text{ a la P consumo (90 psi) = 8210}$$

$$F = (9750 - 8210)/1133,81$$

$$F = 1,36$$

Calculando el flujo de vapor:

De la tabla XII

$$F = 1,3 \text{ ----- } 23,3 \text{ lb/hr}$$

$$F = 1,8 \text{ ----- } 29,1 \text{ lb/hr}$$

Interpolando se halla que para $F = 1,36$ tenemos 24 lb/hr

Calculando la energía aprovechada en la máquina:

Vapor requerido = 24 lb/hr a psi (104,7 psia).

Primero se halla el contenido del vapor que llega al equipo:

De tablas de vapor saturado a 104,7 psia se tiene:

| | | | |
|-------------------|--------|--------|-------|
| Presión (psi) | 101,52 | 116,03 | 104,7 |
| h_g (BTU/lb) | 2763,5 | 2769,1 | X |
| h_{fg} (BTU/lb) | 2066,3 | 2048 | X |

Interpolando se halla que $h_g = 2764,73$ BTU/hr

$$h_{fg} = 2062,28 \text{ btu/hr}$$

El contenido de energía en el vapor es $2764,73 \text{ BTU/hr} * 24 = 0,066353$ MBTU/hr.

La cantidad de energía aprovechada por el equipo:

$$2062,28 \text{ BTU/hr} * 24 = 0,049494 \text{ MBTU/hr}$$

La energía eliminada en el condensado es la diferencia entre el total del vapor y la aprovechada por el equipo = 0,016859 MBTU/hr

Área de tanque No. 2 para cuajada de quesos

Tanque capacidad de 4500 litros

- Longitud de tubería = pies
- Diámetro de tubería de alimentación 1/2 pul
- Presión de alimentación 100 psi
- Presión de consumo 90 psi
- Pérdidas por accesorios

Tabla XVII. **Longitud equivalente desde la planta hasta el Tanque de 4500 lts.**

| ACCESORIO | DIÁMETRO | CANTIDAD | FACTOR | TOTAL |
|----------------------|----------|----------|--------|-------|
| Unión | 2 pul | 2 | 3 | 6 |
| Codo 90 ⁰ | 2 pul | 1 | 3,6 | 3,6 |
| | ½ pul | 1 | 0,9 | 1,8 |
| TEE | 2 pul | 2 | 9 | 18 |
| | 1 pul | 1 | 4,4 | 4,4 |
| | ½ pul | 2 | 2,2 | 4,4 |
| Válvula de globo | 1 pul | 1 | 20 | 20 |
| | ½ pul | 1 | 10 | 10 |
| Reductor | | 3 | 0,4 | 1,2 |
| | | | Total | 68,5 |

Fuente: elaboración propia.

Calculando la longitud equivalente:

$$L.E. = 68,5 (25 * \frac{1}{2} / 12) + 157,48 + 948,93 = 1177,76 \text{ pies}$$

Calculando el factor de pérdidas de presión (F):

$$P_1 \text{ a la P alimentación (100 psi)} = 9750$$

$$P_2 \text{ a la P consumo (90 psi)} = 8210$$

$$F = (9750 - 8210) / 1177,76$$

$$F = 1,3$$

Calculando el flujo de vapor:

De tabla XII

$$F = 1,3 \text{ ----- } 23,3 \text{ lb/hr}$$

Calculando la energía aprovechada en la máquina:

Vapor requerido = 23,3 lb/hr a psi (104,7 psia).

Primero se halla el contenido del vapor que llega al equipo:

De tablas de vapor saturado, a 104,7 psia se tiene:

| | | | |
|-------------------|--------|--------|-------|
| Presión (psi) | 101,52 | 116,03 | 104,7 |
| h_g (BTU/lb) | 2763,5 | 2769,1 | X |
| h_{fg} (BTU/lb) | 2066,3 | 2048 | X |

Interpolando se halla que $h_g = 2764,73$ BTU/hr

$$h_{fg} = 2062,29 \text{ BTU/hr}$$

El contenido de energía en el vapor es $2764,73 \text{ BTU/hr} * 23,3 = 0,064418$
MBTU/hr

La cantidad de energía aprovechada por el equipo:

$$2062,29 \text{ BTU/hr} * 23,3 = 0,048051 \text{ MBTU/hr}$$

La energía eliminada en el condensado es la diferencia entre el total del vapor y la aprovechada por el equipo:

$$0,064418 - 0,048051 = 0,016367 \text{ MBTU/hr}$$

Área de quesos procesados

Marmita No. 1 capacidad de 70 libras

- Longitud de tubería = 164,04 pies
- Diámetro de tubería de alimentación 1/2 pul
- Presión de alimentación 100 psi
- Presión de consumo 80 psi
- Pérdidas por accesorios

Tabla XVIII. **Longitud equivalente desde la planta hasta la marmita**

| ACCESORIO | DIÁMETRO | CANTIDAD | FACTOR | TOTAL |
|------------------|----------|----------|--------|-------|
| Unión | 2 pul | 2 | 3 | 6 |
| Codo 90° | 2 pul | 1 | 3,6 | 3,6 |
| TEE | 2 pul | 1 | 9 | 9 |
| | 1 pul | 1 | 4,4 | 4,4 |
| | ½ pul | 3 | 2,2 | 6,6 |
| Válvula de globo | 1 pul | 1 | 20 | 20 |
| | ½ pul | 1 | 10 | 10 |
| Reductor | | 3 | 0,4 | 1,2 |
| | | | Total | 60,8 |

Fuente: elaboración propia.

Calculando la longitud equivalente:

$$L.E. = 60,8 (25 \cdot \frac{1}{2} / 12) + 164,04 + 948,93 = 1176,3 \text{ pies}$$

Se busca el factor de pérdidas de presión (F):

$$P_1 \text{ a la P alimentación (100 psi)} = 9750$$

$$P_2 \text{ a la P consumo (80 psi)} = 6770$$

$$F = (9750 - 6770) / 1176,3$$

$$F = 2,53$$

Calculando el flujo de vapor:

De tabla XII

$$F = 2,5 \text{ ----- } 33,5 \text{ lb/hr}$$

$$F = 3 \text{ ----- } 37 \text{ lb/hr}$$

Interpolando se halla que para $F = 2,53$ se tiene 33,7 lb/hr

Calculando la energía aprovechada en la máquina:

Vapor requerido = 33,71 lb/hr a psi (94,7 psia).

Primero se halla el contenido del vapor que llega al equipo:

De las tablas de vapor saturado, a 94,7 psia se tiene:

| | | | |
|-------------------|---------|---------|------|
| Presión (psi) | 87 | 101,5 | 89,7 |
| h_g (BTU/lb) | 1188,27 | 1191,16 | X |
| h_{fg} (BTU/lb) | 899,27 | 890,65 | X |

Interpolando se halla que $h_g = 1189,8$ BTU/hr

$$h_{fg} = 894,69 \text{ BTU/hr}$$

El contenido de energía en el vapor es $1189,8 \text{ BTU/hr} * 33,71 = 0,040108$
MBTU/hr

La cantidad de energía aprovechada por el equipo:
 $894,69 \text{ BTU/hr} * 33,71 = 0,03016$ MBTU/hr

La energía eliminada en el condensado es la diferencia entre el total del vapor y
la aprovechada por el equipo:

$0,040108 - 0,03016 = 0,009948$ MBTU/hr

Área de empaque de quesos frescos

Tanque de agua de 50 litros

- Longitud de tubería = 183,73 pies
- Diámetro de tubería de alimentación 1/2 pul
- Presión de alimentación 100 psi
- Presión de consumo 95 psi
- Perdidas por accesorios

Tabla XIX. Longitud equivalente desde la planta hasta el tanque de 50 lts.

| ACCESORIO | DIÁMETRO | CANTIDAD | FACTOR | TOTAL |
|----------------------|----------|----------|--------|-------|
| Unión | 2 pul | 2 | 3 | 6 |
| Codo 90 ⁰ | 2 pul | 1 | 3,6 | 3,6 |
| | ½ pul | 1 | 0,9 | 0,9 |
| TEE | 2 pul | 1 | 9 | 9 |
| | 1 pul | 1 | 4,4 | 4,4 |
| | ½ pul | 3 | 2,2 | 6,6 |
| Válvula de globo | 1 pul | 1 | 20 | 20 |
| | ½ pul | 1 | 10 | 10 |
| Reductor | | 3 | 0,4 | 1,2 |
| | | | Total | 61,7 |

Fuente: elaboración propia.

Calculando la longitud equivalente:

$$L.E. = 61,7 (25 * \frac{1}{2} / 12) + 183,73 + 948,93 = 1196,93 \text{ pies}$$

Calculando el factor de pérdidas de presión (F):

$$P_1 \text{ a la P alimentación (100 psi)} = 9750$$

$$P_2 \text{ a la P consumo (95 psi)} = 6770$$

$$F = (9750 - 8960) / 1196,93$$

$$F = 0,66$$

Calculando el flujo de vapor:

De tabla XII

$$F = 0,6 \text{ ----- } 15,4 \text{ lb/hr}$$

$$F = 0,7 \text{ ----- } 16,8 \text{ lb/hr}$$

Interpolando se halla que para $F = 0,66$ se tiene $16,2 \text{ lb/hr}$

Calculando la energía aprovechada en la máquina:

Vapor requerido = $16,2 \text{ lb/hr}$ a psi ($109,7 \text{ psia}$).

Primero se halla el contenido del vapor que llega al equipo.

De las tablas de vapor saturado, a $109,7 \text{ psia}$, se tiene:

| | | | |
|-------------------|--------|--------|-------|
| Presión (psi) | 101,52 | 116.03 | 109.7 |
| h_g (BTU/lb) | 2763,5 | 2769.1 | X |
| h_{fg} (BTU/lb) | 2066,3 | 2048 | X |

Interpolando hallamos que $h_g = 2766,66 \text{ BTU/hr}$

$$h_{fg} = 2055,98 \text{ btu/hr}$$

El contenido de energía en el vapor es $2766,66 \text{ BTU/hr} * 16,2 = 0,044819 \text{ MBTU/hr}$

- La cantidad de energía aprovechada por el equipo:
 $2055,98 \text{ BTU/hr} * 16,2 = 0,033306 \text{ MBTU/hr}$
- La energía eliminada en el condensado es la diferencia entre el total del vapor y la aprovechada por el equipo:
 $0,044819 - 0,033306 = 0,011513 \text{ MBTU/hr}$

Tabla XX. **Demanda requerida vs. demanda actual de vapor en la fábrica AGRINSA**

| ÁREA | EQUIPO | PRESIÓN N (psi) | Flujo de vapor (lb/hr) requerida (propuesta) | Flujo de vapor (lb/hr) actual |
|-----------------------------|---------------------------|--------------------|---|--|
| Pasteurización Q. crema | Batch capacidad 1000 lts. | 60 | 282,35 | 291,5 |
| Pasteurización C. comercial | Bach capacidad 2500 lts | 50 | 304,4 | 321 |
| Pasteurización Yogurt | Bach capacidad 2500 lts | 75 | 213,2 | 238 |
| Pasteurización Q. frescos | Past. Superplate | 65 | 275 | 300,5 |
| Desuerado de Q. frescos | Tanque capacidad 3500 lts | 90 | 24 | 39,5 |
| Desuerado de Q. frescos | Tanque capacidad 4500 lts | 90 | 23,3 | 40,9 |
| Quesos procesados | Marmita | 80 | 33,7 | 50,5 |
| Empaque Q. frescos | Tanque capacidad 50 lts | 95 | 16,2 | 22,6 |
| Total | | | 1172,15 | 1304,5 |
| Ahorro | | | | 135,35 |

Fuente: elaboración propia.

Cálculo del diámetro de la red de distribución de vapor

Para tener el cálculo de este diámetro se utiliza la tabla No. XX ya que este tiene el flujo de vapor total de todos los equipos y por seguridad se debe calcular un 15 % a 25 % por futuras ampliaciones.

Utilizando las tablas VII se tiene que para un flujo de 1169,15 lb/hr y con una velocidad menor de 40 m/s el diámetro que se va utilizar es 2 ½ pulgadas.

5.1.2. Diseño del diámetro de las tuberías de retorno de condensados

La manera más sencilla de recuperar el condensado sería devolverlo directamente del purgador a la caldera, pero la inversión de este sistema no justificaría, ya que no es eficiente; es más lógico dirigir el condensado a una misma tubería para que este llegue a la caldera.

Cuando las conducciones del condensado de los equipos consumidores de vapor están conectadas a una misma línea de condensado, la presión diferencial es positiva y los purgadores podrán drenar el condensado. Conectar los purgadores a una misma línea de retorno de condensado no representa ningún problema si está adecuadamente dimensionada. Los purgadores actúan como aislantes de las presiones respectivas en distintos equipos, cuyo valor no tiene influencia en la presión de la línea.

En las líneas de condensado se produce una cierta revaporización de condensado (vapor flash); por la tubería circula una mezcla de líquido vapor; si este hecho no se tiene en cuenta al dimensionar las tuberías, esto ocasiona problemas como atascamientos, corrosión, erosión y mal funcionamiento del equipo de condensado.

Si se sabe que en la tubería pasa solo líquido y se dimensiona una tubería muy pequeña, la presión aumenta por encima de lo previsto; a consecuencia de esto disminuye la presión diferencial a la que trabajan los purgadores, lo que disminuye la capacidad de los equipos, y a menudo se inundan en los momentos de máximo consumo.

Un método para calcular el diámetro para la red de condensado de vapor es: primero, se calcula la cantidad total de condensado que la línea debe circular, como la suma de condensado que produce cada uno de los equipos conectados a la línea. Segundo, se calcula el porcentaje de condensado que se convertirá en vapor flash. Para ello debe conocerse la presión de vapor en los purgadores y la presión que se desea tener en la línea de condensado.

Con esos dos datos de la tabla XXI, se obtiene directamente el porcentaje de condensado que se convierte en vapor flash

Tabla XXI. Porcentaje en peso del condensado que se convierte en vapor flash

| Presión Primaria(barg) | Presión Secundaria (barg) | | | | | |
|------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 0.2 | 0.5 | 1 | 2 | 4 |
| 0,2 | 0,97 | | | | | |
| 0,5 | 2,21 | 1,25 | | | | |
| 1 | 3,9 | 2,94 | 1,71 | | | |
| 2 | 6,38 | 5,44 | 4,22 | 2,54 | | |
| 4 | 9,88 | 8,96 | 7,77 | 6,13 | 3,65 | |
| 6 | 12,4 | 11,5 | 10,33 | 8,72 | 6,28 | 2,7 |
| 8 | 14,4 | 13,55 | 12,4 | 10,81 | 8,41 | 4,88 |
| 10 | 16,12 | 15,24 | 14,11 | 12,53 | 10,17 | 6,69 |
| 12 | 17,63 | 16,76 | 15,63 | 14,08 | 11,74 | 8,3 |
| 14 | 18,95 | 18,09 | 16,98 | 15,44 | 13,12 | 9,72 |
| 16 | 20,15 | 19,3 | 19,3 | 16,67 | 14,37 | 11 |
| 18 | 20,73 | 19,88 | 19,88 | 17,26 | 14,97 | 11,62 |
| 21 | 22,76 | 21,93 | 21,93 | 19,35 | 17,1 | 13,8 |

Fuente: SEDITESA, Hoja técnica No.9. p. 2.

Tercero, se calcula la cantidad de vapor flash que circulará por la línea de condensado, aplicando el porcentaje en el cálculo anterior a la cantidad total del condensado producido.

Cuarto, se dimensiona la tubería como si por ella pasara solo vapor, empleando la tabla XXI. Los datos para esto son la presión de vapor (es decir la presión en la línea de condensado) la cantidad de vapor que circula (que se ha calculado en el paso anterior) y la velocidad de vapor que se elige entre 20 y 30 metros por segundo.

Tabla XXII. Caudal del Vapor Flash (kg/h)

| Presión (barg) | Velocidad (m/s) | DN,mm | | | | | | | | |
|----------------|-----------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| | | 15 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 65 | 80 | 100 |
| 0,5 | 5 | 3 | 6 | 9 | 16 | 22 | 36 | 60 | 83 | 139 |
| | 10 | 7 | 12 | 19 | 33 | 45 | 72 | 120 | 166 | 279 |
| | 20 | 14 | 24 | 39 | 67 | 90 | 144 | 241 | 332 | 559 |
| | 25 | 18 | 30 | 49 | 84 | 113 | 181 | 301 | 415 | 699 |
| | 30 | 21 | 36 | 59 | 101 | 135 | 217 | 361 | 498 | 839 |
| 1 | 5 | 4 | 7 | 12 | 22 | 29 | 47 | 78 | 108 | 183 |
| | 10 | 9 | 15 | 25 | 44 | 59 | 94 | 157 | 217 | 366 |
| | 20 | 19 | 31 | 51 | 88 | 118 | 189 | 315 | 434 | 732 |
| | 25 | 23 | 39 | 64 | 110 | 148 | 237 | 394 | 543 | 915 |
| | 30 | 28 | 47 | 77 | 132 | 177 | 284 | 473 | 651 | 1098 |
| 2 | 5 | 6 | 11 | 18 | 32 | 42 | 69 | 115 | 158 | 267 |
| | 10 | 13 | 23 | 37 | 64 | 86 | 138 | 230 | 317 | 535 |
| | 20 | 27 | 46 | 75 | 129 | 173 | 277 | 461 | 635 | 1071 |
| | 25 | 34 | 58 | 94 | 161 | 216 | 346 | 576 | 794 | 138 |
| | 30 | 41 | 69 | 113 | 193 | 260 | 416 | 692 | 953 | 1606 |
| 3 | 5 | 9 | 15 | 24 | 42 | 56 | 90 | 151 | 208 | 350 |
| | 10 | 18 | 30 | 49 | 84 | 113 | 181 | 302 | 416 | 701 |
| | 20 | 36 | 60 | 99 | 169 | 227 | 363 | 604 | 832 | 1403 |
| | 25 | 45 | 76 | 124 | 211 | 284 | 454 | 755 | 1040 | 1754 |
| | 30 | 54 | 91 | 149 | 253 | 340 | 545 | 906 | 1248 | 2104 |
| 4 | 5 | 1 | 18 | 30 | 52 | 70 | 112 | 186 | 256 | 432 |
| | 10 | 22 | 37 | 61 | 104 | 140 | 224 | 372 | 513 | 865 |
| | 20 | 45 | 75 | 122 | 208 | 280 | 448 | 745 | 1027 | 1730 |
| | 25 | 56 | 93 | 153 | 261 | 350 | 560 | 932 | 1283 | 2163 |
| | 30 | 67 | 112 | 183 | 313 | 420 | 672 | 1118 | 1540 | 2596 |
| 5 | 5 | 13 | 22 | 36 | 61 | 83 | 133 | 221 | 304 | 513 |
| | 10 | 26 | 44 | 72 | 123 | 166 | 266 | 442 | 609 | 1027 |
| | 20 | 53 | 89 | 145 | 247 | 332 | 532 | 885 | 1219 | 2055 |
| | 25 | 67 | 111 | 181 | 309 | 416 | 665 | 1107 | 1524 | 2569 |
| | 30 | 80 | 133 | 218 | 371 | 499 | 798 | 1328 | 1829 | 3083 |

Fuente: SEDITESA, Hoja técnica No.9. p. 2.

Cálculo del diámetro de retorno de condensado de fábrica AGRINSA

De la tabla XX, el vapor utilizado en todos los equipos es 1172,15 lb/hr (533 Kg/hr).

De la tabla XXI a una presión de primaria de 8 bar y una secundaria de 0,5 bar, indica que el 12,4% de condensado se convierte en vapor flash.

La cantidad de vapor flash, que circula por la tubería de condensado es:
 $0,124 \times 533 = 66,09$ Kg/hr.

De la tabla XXII, indica que para una presión 0,5 bar y una velocidad de 20 m/segundo. Una tubería DN 40 puede circular 90 Kg/hr y una DN 32 puede circular solamente 67 Kg/hr. Se debe utilizar por seguridad una tubería DN 40.

El calor contenido en el condensado en sistemas de baja presión representa un 10% del calor total usado para generar el vapor. En sistemas de alta presión puede ser mayor del 15 %. El manejo del condensado lleva al aprovechamiento de este calor y el aumento de la eficiencia total del sistema de vapor.

Entre las mejoras a los diagramas del sistema de vapor es la de instalar un medidor de flujo de vapor y condensado. Este tiene como función medir el vapor que pasa a través de la línea de vapor o condensado; esto para mantener el sistema de vapor a una eficiencia máxima. El medidor que se propone es de placa de orificio; este medidor no mide directamente el flujo, únicamente la presión, la cual se puede relacionar con el flujo, ya que la caída de presión que experimenta el vapor o condensado es proporcional a este.

Las placas de orificio son fáciles de instalar y sencillas de fabricar. Son adecuadas en líneas de vapor y condensado con flujos intermedios correspondientes a números de Reynolds entre 5000 y 30000. La exactitud de una placa de orificio sin calibrar es de $\pm 1,5\%$ de escala completa.

5.1.3 Evaluación de los costos del aislamiento de las tuberías de vapor, considerando los costos de ahorro en combustible

El calor fluye de un punto a alta temperatura a un punto con otra temperatura; es lo que se conoce como transferencia de calor. Empezando en la caldera de la cámara de combustión, el calor fluye a través de la pared de los tubos de la caldera hasta el agua. Cuando el vapor fluye al sistema de distribución del vapor el cual tiene contacto con la temperatura ambiente, el vapor de alta temperatura se convierte en agua. Esta es una de las razones por la que las tuberías de vapor se deben de aislar.

Para que la instalación tenga una buena calidad de vapor y retorno de condensado, es necesario aislar las tuberías y accesorios adicionales tales como: junta de expansión, codos, trampas, etc., esto importante ya que, por ejemplo, una junta de expansión sin aislar causa una pérdida equivalente a la de 30 cm de tubería.

Tabla XXIII. Condensación en tuberías aisladas transportando vapor saturado, con eficiencia de aislamiento asumida en 75 %

| Presión psi | | 15 | 30 | 60 | 125 | 180 |
|----------------|---------|---------------------------|------|------|------|------|
| Tamaño tubería | pie/pie | Lb de condensado /h – pie | | | | |
| 1'' | 0,344 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,10 | 0,12 |
| 1 1/4'' | 0,434 | 0,06 | 0,07 | 0,09 | 0,12 | 0,14 |
| 1 1/2'' | 0,457 | 0,07 | 0,08 | 0,10 | 0,14 | 0,16 |
| 2'' | 0,622 | 0,08 | 0,10 | 0,13 | 0,17 | 0,20 |
| 2 1/2'' | 0,753 | 0,10 | 0,12 | 0,15 | 0,20 | 0,24 |
| 3'' | 0,916 | 0,12 | 0,14 | 0,18 | 0,24 | 0,28 |
| 3 1/2'' | 1,047 | 0,13 | 0,16 | 0,20 | 0,27 | 0,32 |
| 4'' | 1,176 | 0,15 | 0,18 | 0,22 | 0,30 | 0,36 |
| 5'' | 1,456 | 0,18 | 0,22 | 0,27 | 0,37 | 0,44 |
| 6'' | 1,735 | 0,20 | 0,25 | 0,32 | 0,44 | 0,51 |
| 8'' | 2,26 | 0,27 | 0,32 | 0,41 | 0,55 | 0,66 |
| 10'' | 2,61 | 0,32 | 0,39 | 0,51 | 0,68 | 0,80 |
| 12'' | 3,34 | 0,36 | 0,46 | 0,58 | 0,80 | 0,92 |
| 14'' | 3,67 | 0,42 | 0,51 | 0,65 | 0,87 | 1,03 |
| 16'' | 4,2 | 0,47 | 0,87 | 0,74 | 0,99 | 1,19 |
| 18'' | 4,71 | 0,53 | 0,64 | 0,85 | 1,11 | 1,31 |
| 20'' | 5,25 | 0,58 | 0,71 | 0,91 | 1,23 | 1,45 |
| 24'' | 6,28 | 0,68 | 0,84 | 1,09 | 1,45 | 1,71 |

Fuente: ALVARADO, Gustavo. Tipos, selección y mantenimiento de trampas de vapor. p. 55.

Con esta tabla se puede calcular la condensación en la tubería con protección térmica y comparar con la tubería sin aislamiento.

Una característica importante del aislante en la estructura. Los espacios o bolsas en el material aislante disminuyen el flujo de calor. De esta manera sola una pequeña cantidad de calor es transmitida por convección de un lado a otro de los espacios.

El aislante se debe colocar de tal manera que por ninguna razón se humedezca. La presencia de agua en el aislamiento causa un aumento muy importante de las pérdidas de calor, a la vez que si ésta es continua, la tubería no tiene un uso continuo y se puede presentar corrosión generalizada.

Lo anterior demuestra la importancia que se le debe brindar a la colocación del aislante térmico sobre la tubería que conduce vapor y retorno de condensado.

Cuando hay pérdidas de energía calorífica por no tener aislamiento, las tuberías de vapor y condensado se pueden minimizar para tener una mejor calidad de vapor y que la energía de retorno sea mayor para mejorar la eficiencia térmica.

5.2 Materiales aislantes y sus propiedades

Principales materiales de aislamiento

- Fibra de vidrio
- Silicato de calcio
- Perlita expandida
- Polietileno
- Poliuretano
- Lana de roca
- Vidrio espumado

Si el material se deteriora, este ya no tiene la capacidad de retener el vapor.

Materiales complementarios

- Materiales de sujeción
- Materiales de acabado
- Barreras de vapor
- Otros materiales

Variables importantes del aislamiento

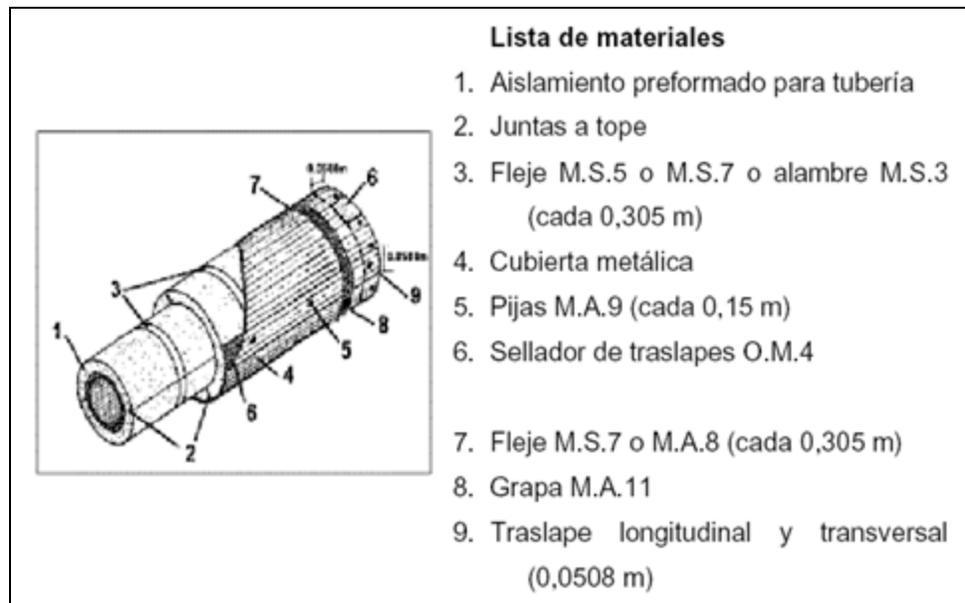
- Temperatura del fluido de proceso ($^{\circ}\text{C}$)
- Espesor del aislantes (mm)
- Tipo de material aislante
- Conductividad térmica del aislante ($\text{wd}/\text{m}^{\circ}\text{K}$)
- Tipo de recubrimiento del material aislante
- Temperatura de superficie ($^{\circ}\text{C}$)
- Diámetro nominal de la tubería (mm)
- Tipo de tubería
- Temperatura de pared ($^{\circ}\text{C}$)
- Temperatura de ambiente

5.2.1. Aislamiento térmico de la tubería

Su función, es reducir sustancialmente o retardar la pérdida de calor a través de las paredes del horno y de tuberías de distribución. Los refractarios son materiales resistentes al calor y trabajan expuestos a temperaturas en rangos de 500°C a 2600°C ; tienen la cualidad de soportar atmósferas muy erosionantes. Los refractarios están hechos y se pueden trabajar en forma de bloques, planchas, láminas, espray y polvo. Los materiales termoaislantes se

clasifican de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-009-ENERG-1995, de la siguiente manera:

Figura 12. **Materiales aislantes**



Fuente: MORROW, L.C. Manual de mantenimiento industrial. p. 570.

Partes del aislamiento

- Fibras minerales

Tipos genéricos:

- Fibras celulares
- Fibras granulares
- Rígidos
- Flexibles

Formas de presentación:

- Colchonetas flexibles
- Cementos monolíticos
- Espumado en sitio
- Servicios a alta temperatura (mayor a 37°C)

Aplicación:

- Servicios a baja temperatura (menor a 37°C)
- Control de la temperatura de proceso
- Conservación de energía

Uso y aplicación:

- Protección al personal
- Anti-condensación
- Aislamiento innecesario

Aislamiento térmico para tuberías de vapor

Las tuberías de vapor, comúnmente están fabricadas de hierro negro, este material es capaz de soportar las altas temperaturas y la presión; pero además, para que el vapor que circula por ellas no baje de temperatura, es necesario colocar alrededor de la tubería un aislante para que dicho vapor no se condense y se pierda energía calorífica.

5.2.2. Causas por falta de aislamiento en las tuberías de vapor

- Las trampas de vapor trabajan más, ya que aumentan el condensado; por tal razón, sufren más desgaste y se les deberán dar mayor mantenimiento.
- Ocurre mayor desgaste en las tuberías de vapor.
- Hay riesgo de golpes de ariete principalmente en las tuberías mal drenadas.

5.3. Aplicaciones de trampas de vapor

La función de una trampa de vapor es drenar el condensado, aire y CO₂ del sistema tan rápido como se empiezan a acumular. Para que la trampa de vapor sea eficiente y reembolse el costo de este equipo, el cual debe ofrecer:

- Pérdida mínima de vapor
- Larga vida y servicio seguro: el desgaste rápido de sus partes resulta en una trampa que no ofrece servicio seguro. Una trampa eficiente ofrece ahorro de dinero al minimizar la necesidad de pruebas, reparaciones, limpieza, interrupción de servicio o cualquier otro requerimiento.
- Resistencia a la corrosión:
Las partes importantes de una trampa deben ser resistentes a la corrosión para que no sufran los efectos dañinos de los condensados cargados con ácidos o con oxígeno. Las partículas que se cuelan por los filtros son erosivas y por lo tanto la trampa de vapor debe ser capaz de

funcionar ante la presencia de suciedad. Una trampa de vapor debe tener lo mencionado anteriormente para que pueda lograr:

- Calentamiento rápido de las unidades de transferencia de calor.
 - Temperatura máxima en las unidades para una mejor transferencia de calor.
 - Funcionamiento a capacidad máxima
 - Máximo ahorro energético.
 - Reducción larga de la mano de obra por unidad.
 - Una vida larga en servicio, sin problemas y de mínimo mantenimiento.
-
- Venteo del aire: el aire puede mezclarse con el vapor en cualquier momento este funciona como un aislante el cual interrumpe la transferencia de calor y produce bloqueos en el sistema.
 - Venteo del CO₂: mediante el venteo del CO₂ a la temperatura del vapor, se evita la formación de ácido carbónico. Por lo tanto la trampa de vapor debe de operar a una temperatura del vapor, ya que el CO₂ disuelve el condensado que se ha enfriado a temperatura menor que la del vapor.
 - Funcionamiento con contrapresión: la presurización de las líneas de retorno puede ocurrir por diseño o por un mal funcionamiento. Una

trampa de vapor debe ser capaz de funcionar aún cuando exista contrapresión en su tubería de retorno al sistema.

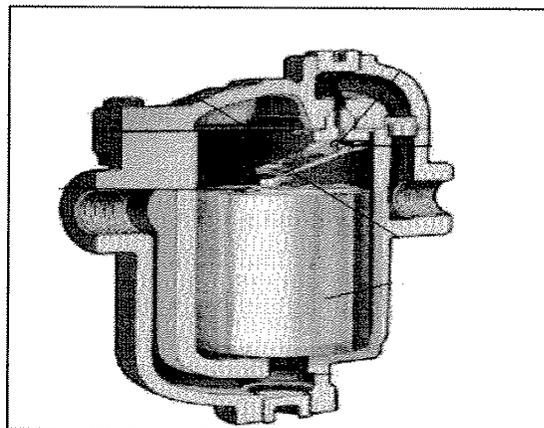
- Libre de problemas por suciedad: la suciedad y basura se encuentran siempre en un sistema de vapor por encontrarse las trampas en los niveles más bajos. El condensado recoge la suciedad y el sarro en las tuberías.

Tipos de trampas de vapor

Trampa de vapor de balde invertido

Estas trampas operan regularmente bajo la diferencia de densidades entre el vapor y el agua. El vapor que entra en el balde invertido y sumergido causa que este flote y que cierre la válvula de descarga. El condensado que entra en la trampa hace al balde más pesado, por lo que se hunde y así se abre la válvula de descarga del vapor.

Figura 13. **Trampa de vapor de balde invertido**



Fuente: www.armstrong.ini.com. Consultado 14 de abril 2008.

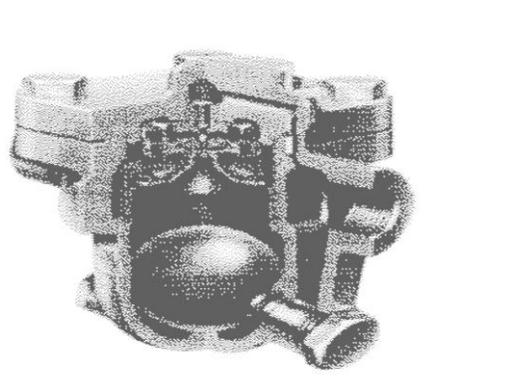
Trampa de vapor de flotador y termostática

Es una trampa mecánica que opera con base en los conceptos de densidad y temperatura. La válvula de flotador opera basada en el concepto de densidad: una palanca conecta la bola de flotador a la válvula y su asiento. El flotador se eleva una vez el condensado llega hasta cierto nivel en la trampa, abriendo el orificio de la válvula y drenando el condensado. El sello de agua formado por el propio condensado evita la pérdida de vapor vivo.

Al estar la válvula de descarga bajo agua, no es posible que se pueda ventear el aire y los no condensables. Cuando la acumulación de aire y gases no condensables causa una caída significativa de temperatura, un venteador termostático en la parte superior de la trampa se abre para descargarlos.

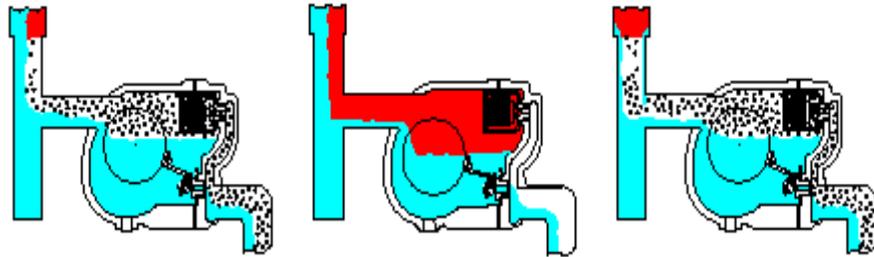
El venteador termostático se activa a una temperatura unos cuantos grados menores que la de saturación, de manera que es capaz de descargar volúmenes grandes de aire, mediante un orificio independiente, pero a una temperatura ligeramente más baja.

Figura 14. **Trampa de flotador libre**



Fuente: www.armstrong.ini.com. Consultado 14 de abril 2008.

Figura 15. **Funcionamiento de la trampa de vapor F&T**



Al arranque, la baja presión en el sistema fuerza al aire a salir por el venteador termostático. Después del venteo del aire, usualmente se tiene una gran cantidad de condensado que eleva el flotador y abre la válvula principal. El aire sigue siendo descargado por el venteador.

Cuando el vapor llega a la trampa, el venteador termostático se cierra al responder a la temperatura más alta. El condensado sigue fluyendo a través de la válvula principal, la cual se abre de acuerdo a la posición del flotador. La abertura de la válvula es suficiente para descargar el condensado con la misma rapidez con que llega.

Cuando se ha acumulado aire en la trampa, la temperatura cae por debajo de la temperatura de vapor saturado. En ese momento el venteador térmico tiene una presión balanceada, se abre y el aire se descarga.

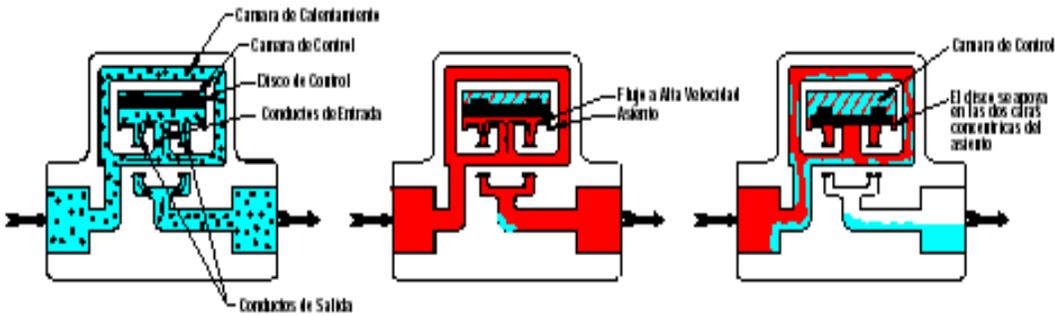
Fuente: www.armstrong.ini.com. Consultado 14 de abril 2008.

Trampa de vapor de disco controlado

Es un sistema que funciona con un retraso de tiempo y que opera con base en el concepto de velocidad. Esta trampa tiene solo un parte móvil: el disco. Debido a que es bastante liviana y compacta, la trampa CD satisface las necesidades en muchas aplicaciones donde el espacio es limitado. Además de las ventajas de simple operación y de tamaño reducido, la trampa CD también ofrece otras ventajas, tales como: resistencia contra impacto hidráulico, descarga total de todo el condensado al abrir y operación intermitente para un purgado continuo.

El funcionamiento de las trampas de disco controlado está basado en el cambio de presiones en la cámara donde se encuentra el disco.

Figura 16. **Funcionamiento de la trampa de disco controlado**



Al arrancar, el condensado y el aire entran a la trampa y pasan por la cámara de calentamiento, alrededor de la cámara de control, y a través de los orificios de entrada. Este flujo separa el disco de los orificios y permite que el condensado fluya por los conductos de salida.

El vapor entra por los conductos de entrada y fluye hasta debajo del disco de control. La velocidad de flujo a lo largo de la cara del disco se incrementa, produciéndose una reducción en la presión que jala al disco hacia al asiento, cerrando la trampa.

El disco se apoya en las dos caras concéntricas del asiento, cerrando los conductos de entrada y trapeando vapor y condensado arriba del disco. Hay una purga controlada del vapor en la cámara de control, y el vapor flash generado ayuda a mantener la presión en la cámara de control. Cuando la presión arriba del disco de su asiento, y si existe condensado, se descarga y básicamente se repite el ciclo.

Fuente: www.armstrong.ini.com. Consultado 14 de abril 2008.

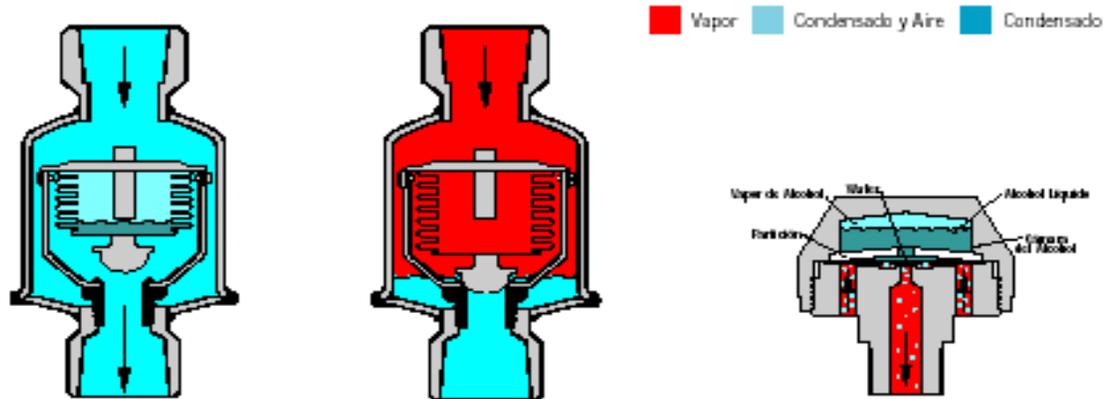
Trampa de vapor termostática

El mecanismo de estas trampas es un fuelle de presión balanceada o con elementos tipo wafer, y están hechas de una gran variedad de materiales, tales como: acero inoxidable, acero al carbono y bronce. Estas trampas son utilizadas para aplicaciones donde se tienen cargas de condensado bastante ligeras. Su funcionamiento se basa en la diferencia entre temperatura del vapor y la del condensado frío y el aire. El vapor incrementa la presión dentro del elemento termostático, cerrando la trampa.

Cuando el condensado y los gases no-condensables se acumulan en el segmento de enfriamiento, la temperatura empieza a disminuir y el elemento termostático se contrae, abriéndose la válvula. La cantidad de condensado acumulado a la salida de la trampa depende de las condiciones de operación, la presión del vapor y el tamaño de la tubería. Es importante hacer notar que una

acumulación de gases no-condensables puede ocurrir detrás de la acumulación de condensado.

Figura 17. **Funcionamiento de la trampa de vapor termostática**



Al arranque el condensado y el aire son empujados por el vapor directamente a través de la trampa. El elemento de fuelle termostático está completamente contraído y la válvula permanece abierta hasta que el vapor llega a la trampa.

Cuando la temperatura dentro de la trampa se incrementa, el elemento de fuelle se calienta rápidamente y la presión del vapor dentro de él se incrementa. Cuando la presión dentro del fuelle es igual a la presión en el cuerpo de la trampa, la característica elástica del fuelle resulta en que se expanda, separando la válvula. Cuando la temperatura en la trampa se reduce unos cuantos grados debajo de la temperatura de vapor saturado, se produce un desbalance en las presiones que contraen el fuelle, abriéndose nuevamente la válvula.

Cuando la temperatura dentro de la trampa se incrementa el wofer se calienta y se incrementa la presión del vapor dentro de él. Cuando la presión dentro del wofer excede la presión de vapor en los alrededores, la membrana del wofer es empujada contra el asiento de la válvula cerrando la trampa. Una caída en la temperatura causada por el condensado o los gases no condensables, enfría y reduce la presión dentro del wofer, permitiendo al wofer despegarse del asiento de la válvula.

Fuente: www.armstrong.ini.com. Consultado 14 de abril 2008.

Consideraciones básicas para la selección de trampas de vapor

Para poder gozar de todos los beneficios de las trampas de vapor es necesario hacer una selección adecuada del sistema de generación de vapor, para lo cual se describirá la información necesaria; deben conocerse lo siguiente:

- Carga de condensación en kg/hr: está determinada por fórmulas e información de los rangos de condensación de vapor y los procedimientos adecuados de selección de trampas.

- El factor de seguridad a usar: los factores de seguridad son proporcionados por los fabricantes de trampas de vapor.
- La diferencia de presiones: diferencial máximo es la diferencia entre la presión de la caldera, o del cabezal de vapor, o la salida de una válvula reguladora de presión, y la presión de la línea de retorno. Una trampa debe ser capaz de abrir venciendo la presión diferencial.
- La presión máxima permitida: la trampa debe ser capaz de aguantar la máxima presión permitida en el sistema o la presión de diseño. Esto no quiere decir que la trampa trabajará siempre a esta presión, pero debe ser capaz de aguantarla.

Instalación de trampas de tuberías principales

Estas tuberías se deben mantener libres de aire y de condensado para garantizar el uso eficiente del vapor que llega a los equipos. Se usa la fórmula siguiente para calcular la carga de condensado:

$$C = \frac{A U (t_1 - t_2) E}{H}$$

En donde:

C = Condensado en kg/hr/m

A = Área exterior de la tubería en metros cuadrados (Tabla XXIV, columna 2)

U = KJ/hrxm²x°C (Carga de condensado por metro cuadrado por temperatura).

t₁ = Temperatura del vapor, en °C

t₂ = Temperatura del aire, en °C

$E = 1$ menos la eficiencia del aislamiento térmico suponiendo un 75% = 0.25,
o sea $E = 0.25$

$H =$ Calor latente del vapor (Ver tablas de vapor)

Para las trampas que se instalan entre la caldera y el final de la tubería, debe aplicarse un factor de seguridad 2. El factor de seguridad 3 se aplica al final de las tuberías, o antes de las válvulas reguladoras y de cierre, que están cerradas por ciertos períodos de tiempo.

La trampa de Balde Invertido (IB) es la recomendada para la aplicación de tuberías principales, ya que es resistente a la suciedad y el condensado acumulado y resiste el impacto hidráulico. Además, en caso de que llegue a fallar la trampa, lo hace en posición abierta, permitiendo el paso del condensado y vapor.

Tabla XXIV. **Condensación en tuberías aisladas que llevan vapor saturado en aire sin mover**

| Tamaño de tubo (in) | 1 | 2 | 4 | 8 | 12 | 16 | 32 | 40 | 60 |
|---------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Kilos de condensado por hora por metro | | | | | | | | |
| 0,5 | 0,4 | 0,05 | 0,07 | 0,09 | 0,1 | 0,12 | 0,17 | 0,19 | 0,25 |
| 0,75 | 0,5 | 0,06 | 0,08 | 0,11 | 0,13 | 0,14 | 0,21 | 0,23 | 0,3 |
| 1 | 0,6 | 0,08 | 0,1 | 0,13 | 0,15 | 0,18 | 0,25 | 0,29 | 0,37 |
| 1,25 | 0,8 | 0,09 | 0,12 | 0,16 | 0,19 | 0,22 | 0,31 | 0,35 | 0,45 |
| 1,5 | 0,9 | 0,11 | 0,13 | 0,18 | 0,21 | 0,24 | 0,35 | 0,4 | 0,51 |
| 2 | 0,11 | 0,13 | 0,16 | 0,22 | 0,26 | 0,3 | 0,43 | 0,48 | 0,63 |
| 2,5 | 0,13 | 0,15 | 0,19 | 0,26 | 0,31 | 0,35 | 0,5 | 0,57 | 0,75 |
| 3 | 0,15 | 0,18 | 0,23 | 0,3 | 0,37 | 0,42 | 0,6 | 0,69 | 0,89 |
| 3,5 | 0,17 | 0,2 | 0,26 | 0,34 | 0,41 | 0,47 | 0,68 | 0,78 | 1,01 |
| 4 | 0,19 | 0,23 | 0,29 | 0,38 | 0,46 | 0,52 | 0,76 | 0,86 | 1,12 |
| 5 | 0,23 | 0,27 | 0,35 | 0,46 | 0,56 | 0,64 | 0,92 | 1,05 | 1,36 |
| 6 | 0,27 | 0,32 | 0,41 | 0,54 | 0,65 | 0,75 | 1,08 | 1,23 | 1,6 |
| 8 | 0,34 | 0,41 | 0,42 | 0,69 | 0,83 | 0,95 | 1,38 | 1,57 | 2,05 |
| 10 | 0,41 | 0,5 | 0,63 | 0,84 | 1,02 | 1,16 | 1,69 | 1,93 | 2,51 |
| 12 | 0,48 | 0,58 | 0,74 | 0,98 | 1,19 | 1,36 | 1,98 | 2,26 | 2,95 |
| 14 | 0,52 | 0,63 | 0,81 | 1,07 | 1,3 | 1,48 | 2,16 | 2,46 | 3,22 |
| 16 | 0,59 | 0,72 | 0,91 | 1,21 | 1,47 | 1,68 | 2,44 | 2,79 | 3,65 |
| 18 | 0,66 | 0,8 | 1,02 | 1,35 | 1,64 | 1,87 | 2,73 | 3,12 | 4,08 |
| 20 | 0,72 | 0,88 | 1,12 | 1,49 | 1,8 | 2,07 | 3,01 | 3,44 | 4,5 |
| 24 | 1,04 | 1,25 | 1,59 | 2,1 | 2,52 | 2,88 | 4,14 | 4,72 | 6,12 |

Fuente: elaboración propia.

Instalación de trampas de ramales de tuberías

Los ramales de tuberías son los que salen de las tuberías principales de vapor y lo llevan al vapor donde será utilizado. La fórmula para el cálculo de la carga de condensado es la misma de las tuberías principales de vapor. Se recomienda un factor de seguridad de 3.

Separadores

Los separadores de vapor están diseñados para remover cualquier condensado que forme un sistema de vapor; estos deben instalarse antes de cada equipo; los separadores son para los equipos donde el vapor requerido es seco.

Ya que se instalará un separador antes de que llegue el vapor a los equipos se utilizará una trampa de balde invertido con un venteador grande (IBLV).

Instalación de trampas de tanques de cuajado de quesos frescos

Para calcular la carga de condensado se aplica la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{L Sg C_p \Delta T}{H t}$$

En donde:

Q = Carga de condensado, en kg/hr

L = Volumen de líquido a ser calentado (litros)

Sg = Gravedad específica

C_p = Calor específico del líquido (kJ/kg x °C)

- ΔT = Aumento de temperatura del líquido
1 = Kg/lit de agua
H = Calor latente del vapor (kJ/kg)
t = tiempo de calentamiento del producto, en hr

Con base en los requerimientos y problemas típicos que se encuentran en estos equipos con drenaje fijo por gravedad, el tipo de trampa más eficiente es el de balde Invertido (IB). La trampa ventea el aire y el CO₂ a la temperatura del vapor y ofrece operación eficiente en presencia de contrapresión.

Instalación de trampas de equipos con cámaras de vapor cerradas y estacionarias (*Batch*)

La carga de condensado para estos equipos se puede calcular mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$Q = A R S$$

Donde:

- Q = Carga de condensado, en kg/hr
A = Área total de la superficie de las placas en contacto con el producto, en m²
R = Capacidad de condensación, en kg/m²/hr (Cuando se especifica la trampa, el valor de 35 kg/m²/hr se puede usar para la capacidad de condensación)
S = Factor de seguridad (para estos equipos es 3)

Las trampas de vapor con capacidad de purgado y venteo de grandes volúmenes de aire son necesarias para tener una operación eficiente. La

trampa de Balde Invertido en combinación con un venteador termostático, en el nivel más alto de la cámara, es la recomendada, porque conserva vapor, purga el sistema y resiste el impacto hidráulico.

Tabla XXV. Recomendaciones para la instalación de trampas de vapor de equipos en la fábrica AGRINSA

| Equipo con trampas | 1era. opción y códigos | Otras opciones |
|---------------------|------------------------|----------------|
| Tubería principal | IB | F&T |
| Ramales | IBLV | DC |
| Tanques de cuajado | IBLV | F&T |
| Tanques encamisados | IBLV | F&T |

Fuente: elaboración propia.

Como una segunda opción, también existen programas por computadora que ofrecen una selección de acuerdo con cada necesidad, la cual es proporcionada por el fabricante de estos equipos.

6. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR

Para que el mantenimiento preventivo sea lo más eficiente, se debe hacer una planificación adecuada. Las instalaciones y las máquinas deben tener un programa, para que el departamento de mantenimiento no provoque interrupciones debido a la utilización de los equipos.

La planeación consiste en la determinación del curso concreto en acción que se habrá de seguir, fijando los principios que lo presidan y orienten

Para efectuar el mantenimiento con los menores costos es necesario usar herramientas de la planeación, entre la cuales están: procedimientos y/o políticas y estrategias.

- Procedimientos: estos permiten que se cumpla con las metas y no son más que secuencias de operaciones y métodos.
- Políticas: son esenciales para que se cumplan las metas.
- Estrategias: es el ordenamiento de recursos y esfuerzos para alcanzar los objetivos trazados. Los tipos de estrategias son: lógicas, cuando son a mediano plazo y tácticas, cuando son a largo plazo. Las políticas que se podrían utilizar para llevar a cabo la implementación del proyecto son:

Para el operario:

- Respetar la secuencia de procedimientos que son necesarios para realizar el mantenimiento preventivo para la maquinaria.

- Respetar la jornada laboral.
- Realizar los procedimientos necesarios para llevar a cabo el mantenimiento con responsabilidad.
- Informar anomalías (cuando existiesen), que se presenten en la maquinaria, en el momento que se realiza el mantenimiento preventivo.
- Informar ruidos o fenómenos no comunes en la maquinaria, cuando esta se encuentra en operación.
- Mantener el área de trabajo limpia y ordenada, reportando cualquier riesgo industrial.
- Utilizar equipo de protección cuando se requiera.
- Utilizar la herramienta adecuada, para cada actividad si no se cuenta con la herramienta, reportarlo al jefe inmediato.

6.1. Inspecciones generales

- Examinar cuidadosamente la caldera antes de poner en marcha la caldera.
- Antes de poner en línea la caldera al sistema de distribución de vapor, verificar que las tuberías no estén agrietadas o quebradas, y que todas las válvulas de vapor del sistema estén cerradas, para que no ocurra un accidente.
- Abrir lentamente las válvulas de vapor donde es utilizado.

- El cuarto de la caldera debe mantenerse limpio; por esto es importante que tenga un drenaje grande que permita la rápida salida del agua cuando sea necesario desocupar la caldera.
- El cuarto de la caldera debe mantenerse seco y bien ventilado, para que permita la llegada de suficiente aire al quemador para una combustión adecuada.
- El área transversal del conducto de salida no debe ser menor que el área transversal de salida de gases en la caldera, no debe tener curvas fuertes y deben evitarse los tramos horizontales, inclinando el conducto para que aumente su altura a medida que se aleja de la caldera.
- La chimenea debe ser de sección circular para obtener un flujo de gases silencioso y poco turbulento. En la salida de la chimenea se debe colocar una cubierta.

Rutina de mantenimiento para calderas pirotubulares

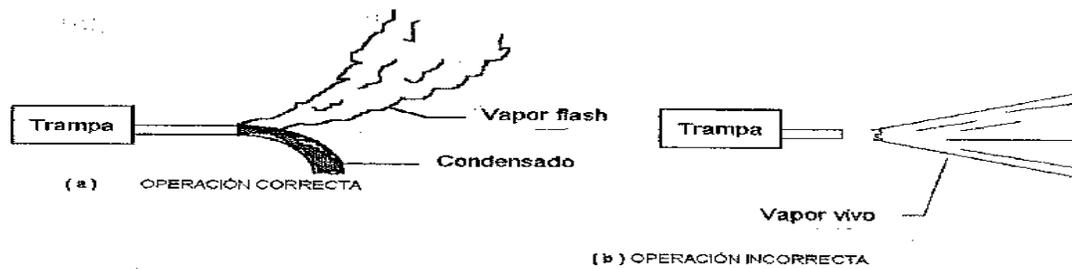
La operación más importante antes de poner en servicio una caldera, es realizar una minuciosa inspección con el objeto de garantizar, por una parte la seguridad y por otra, el adecuado funcionamiento.

Mantenimiento preventivo de trampas de vapor

Para dar un mantenimiento efectivo a una trampa de vapor hay que conocer las inspecciones y pruebas que deben hacerse dependiendo del tipo de trampa. Estas como cualquier equipo mecánico, requieren de una inspección y mantenimiento regulares. Entre los métodos más usados para evaluar las trampas de vapor están:

- Temperatura: cuando se salpica la tubería de vapor con agua para ver si se evapora, si la trampa y la tubería de descarga están frías y un chequeo del sistema revela que hay alimentación de vapor al sistema, se puede concluir que la trampa ha fallado cerrada. La prueba de la temperatura se basa en el hecho de que el vapor a alta presión de un lado de la trampa, tiene una temperatura más alta que el condensado a baja presión del otro lado. Aunque esto es cierto, la temperatura de lado del condensado corresponderá a la presión de saturación y una alta temperatura del lado del condensado puede indicar alta contrapresión y no una mala trampa.
- Sonido: puede utilizarse desde un simple destornillador con un mango plástico colocándolo directamente sobre la trampa y pegando el oído a la parte plástica del destornillador para escuchar el sonido, en el cual se escuchará el sonido de un gas, un líquido y el cerrar de una válvula metálica.
- Inspección visual: es necesario reconocer la diferencia entre “vapor vivo” y “vapor instantáneo” (o vapor *flash*). El vapor vivo es un chorro fuerte y bien definido, e invisible hasta la primera pulgada después de la salida de la tubería. Mientras el vapor instantáneo o flash es de baja velocidad y normalmente aparece con el condensado. Ver figura 18.

Figura 18. Inspeccion visual del funcionamiento de una trampa de vapor



Fuente: LIEB NÁJERA, Augusto Enrique. Propuesta de mejoramiento de la administración energética en el sistema de vapor de una planta de confitería, p 162.

Tabla XXVI. Cronograma de mantenimiento preventivo para calderas de vapor de la fábrica AGRINSA

| QUEMADOR Y SUS PARTES | Semanal | Mensual | Trimestral | Semestral | Anual |
|--------------------------------|---------|---------|------------|-----------|-------|
| Chequear el quemador | X | | | | |
| Revisar las boquillas | | X | | | |
| Limpiar el quemador | | | X | | |
| Limpieza de electrodos | | X | | | |
| Revisar aisladores de ignición | | X | | | |
| Revisar cables de ignición | | X | | | |
| Piloto de gas | | | X | | |
| Fotoceldas | | X | | | |

Continuación de tabla XXVI.

| CUERPO DE LA CALDERA | Semanal | Mensual | Trimestral | Semestral | Anual |
|-------------------------------------|----------------|----------------|-------------------|------------------|--------------|
| Limpieza del lado de agua | | | | X | |
| Limpieza del lado de fuego | | | | | X |
| Fugas en tubos de fuego | | | | X | |
| Conexiones y línea de alimentación | | | | X | |
| Revisión de materiales refractarios | | | | X | |
| Cambio de empaques | | | | X | |
| Revisión de pernos y tuercas | | | | X | |
| Fugas de agua, vapor y combustión | x | | | | |

| SISTEMA DE COMBUSTIBLE | Semanal | Mensual | Trimestral | Semestral | Anual |
|----------------------------------|----------------|----------------|-------------------|------------------|--------------|
| Revisar la línea de alimentación | x | | | | |
| Limpiar filtro de alimentación | x | | | | |
| Alineación de bomba al motor | | | | | X |
| Revisión de bomba de combustible | | | | | X |
| Revisión de válvula solenoide | | | | X | |

| SISTEMA DE AIRE SECUNDARIO | Semanal | Mensual | Trimestral | Semestral | Anual |
|-----------------------------------|----------------|----------------|-------------------|------------------|--------------|
| Limpieza de malla del ventilador | | x | | | |
| Lubricación del motor ventilador | | | | X | |
| Cambio de cojinetes | | | | X | |
| Revisión de fajas de transmisión | | | | X | |
| Vibraciones del motor ventilador | | | | | X |

Continuación de tabla XXVI.

| CONTROL DEL NIVEL DE AGUA | Semanal | Mensual | Trimestral | Semestral | Anual |
|----------------------------------|----------------|----------------|-------------------|------------------|--------------|
| Tubo de nivel | | x | | | |
| Nivel de operación | x | | | | |
| Limpieza de flotador | | | | | X |
| Diagrama de flotador | | | | | X |
| Columna de Mc. Donnell | | | | | X |
| Válvula de purga de nivel | X | | | | |

| SISTEMA ELÉCTRICO | Semanal | Mensual | Trimestral | Semestral | Anual |
|-----------------------------------|----------------|----------------|-------------------|------------------|--------------|
| Revisar terminales | | | x | | |
| Limpieza de platinos | | | | | X |
| Revisar fusibles | | x | | | |
| Limpiar el programador | | | x | | |
| Limpiar el presurestol | | | x | | |
| Revisar cápsulas de mercurio | | x | | | |
| Revisar termostatos y contactores | | | x | | |

| OTROS | Semanal | Mensual | Trimestral | Semestral | Anual |
|--------------------------------|----------------|----------------|-------------------|------------------|--------------|
| Válvulas de seguridad | x | | | | |
| Termómetros | | | | | X |
| Válvulas en general | | x | | | |
| Trampas de vapor | | | x | | |
| Limpieza de chimenea | | | | | X |
| Pintura en general | | | | | X |
| Manómetros | | | | | X |
| Aislantes térmicos de tuberías | | x | | | |

Fuente: elaboración propia.

6.2. Mantenimiento preventivo de los dispositivos auxiliares del sistema de vapor

Debe cumplirse con los siguientes pasos:

- Verificar el funcionamiento del quemador: para chequear el quemador, verlo a través del ojo de vidrio, situado en la parte delantera y trasera de la caldera y comprobar si este está encendido; revisar cuidadosamente las líneas de combustible con el fin de corregir cualquier fuga que pudiese existir.
- Revisión de boquillas: desmontar la boquilla y desarmarla cuidadosamente para poder limpiar el filtro; la limpieza se debe de realizar con diesel o tinner.
- Limpieza del quemador: esta puede hacerse con tinner o con diesel, en todas sus partes, tanto internas como externas.
- Limpieza de electrodos: desmontarlos con cuidado para evitar quebraduras en el aislante, si esta tuviera grietas o rajaduras cambiarlas de inmediato.
- Revisión de aisladores de ignición: revisar el estado de las porcelanas y cambiarlas si estas se encontraran con quebraduras o rajaduras.
- Revisión de cables de ignición: comprobar el estado del o los cables de ignición con un milímetro colocado para medir continuidad.

6.2.1. Costos de mantenimiento

En la tabla se detallan los costos de mantenimiento preventivo del sistema de vapor.

Tabla XXVII. Costos de mantenimiento

| Costos del mantenimiento | | | |
|---|------------------|-----------------|-------------------------|
| Descripción | Materiales | Mano de obra | Costo mensual |
| Inspección de los dispositivos de seguridad | Q - | Q 37,50 | Q 37,50 |
| Evaluación y calibración de los equipos de medición | Q - | Q 210,34 | Q 210,34 |
| Lubricación de motores de los ventiladores | Q 12,50 | Q 12,00 | Q 24,50 |
| Balanceo de los ventiladores | Q - | Q 112,50 | Q 112,50 |
| Lubricación de la bombas de alimentación | Q 7,33 | Q 25,00 | Q 32,33 |
| Regeneración del suavizador | Q 66,38 | Q 25,00 | Q 91,38 |
| Tratamiento de agua de alimentación de calderas | Q 2280,15 | Q - | Q 2280,15 |
| Total | Q 2366,36 | Q 422,34 | Q 2788,70 |
| | | | Costo Trimestral |
| Limpieza y revisión del lado de fuego | Q 223,45 | Q 190,80 | Q 414,25 |
| Limpieza mecánica con agua a alta presión | Q 345,70 | Q 209,00 | Q 554,70 |
| Cambio de estopas de la bomba | Q 150,12 | Q 150,12 | Q 300,24 |
| Total | Q 719,27 | Q 549,92 | Q 1269,19 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Costos totales de la inversión (febrero 2011)**

| Costos totales de inversión | | | | |
|---|-------------------|---------------------|---------------|--------------------|
| Descripción | Materiales | Mano de obra | Equipo | Costo total |
| Rediseño del sistema de distribución de vapor | Q 5000,00 | Q 4000,00 | | Q 4500,00 |
| Cambio de válvulas de vapor | Q 400,00 | Q 1000,00 | Q 4000,00 | Q 4500,00 |
| Trampas de vapor | Q 500,00 | Q 1500,00 | Q 15000,00 | Q 17000,00 |
| Aislamiento térmico | | Q 1500,00 | Q 5400,00 | Q 6900,00 |
| Diseño del retorno del condensado | Q 9000,00 | Q 2000,00 | | Q 11000,00 |
| | | | | |
| Totales | | | | Q43900,00 |

Fuente: elaboración propia.

6.3. Beneficios de las mejoras propuestas

- El vapor llega más rápido con la presión y temperatura necesarias, y sin condensado en los equipos que estén en uso.
- Los equipos no sufren daños producidos por cambios bruscos de presión y temperatura, protegiendo al personal y el equipo que se operan.
- Menor desperdicio de energía calorífica en tuberías que no se estén utilizando, se obtiene un ahorro aproximado de un 5 % en combustible.

- Menor tiempo utilizado al realizar mantenimientos y servicios.
- Al cambiar las válvulas dañadas se ahorra aproximadamente un 10 % de combustible, ya que estas fugas son expuestas al ambiente; además, se está evitando un riesgo de seguridad en la planta y a los operarios.
- La implementación de trampas, evita un riesgo de daño en los equipos que utilicen vapor.
- Aislamiento de tuberías.
- Se logra un ahorro aproximado del 20 % del combustible, ya que el contacto de las tuberías con el ambiente produce una pérdida de calor.
- Se evitan accidentes de quemaduras al personal, ya que existe el riesgo de tocar tuberías calientes.
- El vapor llega con temperatura más alta y menor condensado a los equipos.
- Retorno de condensados
- El condensado que retorna al agua de alimentación representa un ahorro significativo ya que ha sido tratado, por lo que disminuye el uso de los químicos para el agua de alimentación.
- La caldera necesita menor tiempo para calentar el agua de alimentación, ya que el condensado que regresa tiene una temperatura mucho mayor a la de alimentación.

- Un regulador de presión proporciona una protección a los equipos ya que trabajan con presión y temperatura máxima, a la que no se puede exceder; además, se evita el riesgo de accidente por cambios súbitos de presión y temperatura.

CONCLUSIONES

1. Los conceptos y principios básicos del sistema de generación de vapor, proporcionan al personal encargado, los conocimientos necesarios, que ayuden a mejorar el funcionamiento del sistema.
2. Todas las empresas buscan minimizar sus costos de operación para poder ser competitivas, dar a conocer las oportunidades de ahorro de energía constituye una herramienta que además de disminuir su consumo, ayuda a la conservación de los equipos generadores.
3. La situación actual de la empresa AGRINSA, permitió hacer un análisis del proceso de generación de vapor, para lo cual se rediseñó un sistema de distribución de vapor, que reducirá considerablemente el consumo del combustible que se va a utilizar en la fábrica.
4. El dimensionado de diámetro de tuberías de retorno de condensado correcto, maximiza los costos de operación, la utilización de las trampas de vapor y su aplicación, optimiza la recuperación de energía que retorna al sistema de agua de alimentación para la caldera.
5. Una descripción de los aislamientos y sus propiedades proporciona la mejor selección en cualquier sistema de generación de vapor.
6. Un programa de mantenimiento preventivo, maximiza la vida útil de los equipos, y minimiza los riesgos de accidentes por causas de equipos en mal estado.

RECOMENDACIONES

1. Realizar los cambios propuestos en la red de distribución de vapor, y colocación de aislamiento térmico en tuberías, ya que en la actualidad no se utilizan ciertos ramales de tuberías de vapor, lo que produce desperdicio de calor, colocar aislante térmico en las tuberías para que el vapor mantenga su temperatura y así tener una mejor calidad de vapor.
2. Instalar trampas de vapor en cada uno de los equipos, para aprovechar la mayor cantidad de calor y de retorno de condensado.
3. Instalar las tuberías de retorno de condensado, para aprovechar el calor del condensado, además, se le ha realizado tratamiento para suministrar agua a la caldera.
4. Implementar el programa de mantenimiento preventivo propuesto, para mantener en condiciones óptimas el equipo y reducir costos de operación y mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. GARCÍA CEREZO, Alfonso José. *Centrales de vapor*. Juan J. Maluquer. Trad. 3ª ed. España: ed. Reverté, 1981. p. 612..
2. INTECAP. *Ahorro de energía en sistemas de vapor*. Guatemala: Intecap 1989. p. 74.
3. KADAMBI, V. ; PRASAD, M. *Conversión de energía, ciclos de conversión de energía*. 2ª ed. Vol. 2. México: Limusa, 1984. p. 41.
4. LIEB NÁJERA, Augusto Enrique. *Propuesta de mejoramiento de la administración energética en el sistema de vapor de una planta de confitería*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2007.
5. Manual N – 101S 5M 7/98 en www.Armtrong.intl.com. Consultado 14 de abril 2008.
6. MOLINA IGARTÚA, L.A. ; ALONSO GIRÓN J.A., *Calderas de vapor en la industria*. Bilbao, España: CADEM, ente Vasco de la Energía (EVE), 1996.
7. MONTERROSO LUCAS, Danilo Antonio. *Estudio y propuesta del mejoramiento de operación del sistema de generación de vapor de la empresa Maderas Milpas Altas*. Trabajo de graduación Ing. Mecánico Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala: 2004. p. 69.

8. MORROW, L.C. ; *Manual de Mantenimiento Industrial*. México Cía. Ed. Continental, S.A. de C.V. p. 572.

9. PALENCIA SÁNCHEZ, Jorge Vinicio. *Propuesta para el mejoramiento de un sistema de vapor en su generación, distribución y utilización en la producción de cal de una industria cementera*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala: 2007. p. 23.