

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electromecánica



Compañía Nacional de Chocolates



“Rediseño y oportunidades de ahorro de energía en el sistema de vapor de la
Compañía Nacional de Chocolates”

Informe de Práctica de Especialidad para optar por el Título de Ingeniero en
Mantenimiento Industrial, grado Licenciatura

Esteban Araya Urbina

Cartago, Noviembre, 2014

Nombre y apellidos

Profesor Guía

Ing. Oscar Bastos Molina

Asesor Industrial

Ing. Erick López Sancho

Tribunal examinador

Ing. Ignacio Del Valle

Ing. Eligio Astorga

Información del estudiante y de la empresa

Información del estudiante

Nombre: Esteban Araya Urbina

Cédula: 1 1245 0918

Carné ITCR: 200969875

Dirección de residencia en época lectiva: Barrio El Jardín Autopista, La Uruca, San José.

Dirección de residencia en época no lectiva: Barrio El Jardín Autopista, La Uruca, San José.

Teléfonos: (506) 2232 4726, (506) 8583 0538

Email: esteban.araya7@gmail.com

Información del proyecto

Nombre: “Rediseño y oportunidades de ahorro de energía en el sistema de vapor de la Compañía Nacional de Chocolates”

Profesor Asesor: Oscar Bastos Molina

Horario de trabajo del estudiante: De lunes a viernes de 8 a.m. a 5 p.m.

Información de la empresa

Nombre: Compañía Nacional de Chocolates DCR, S.A.

Zona: Heredia

Dirección: 500 m al Sur del Mall Paseo de las Flores, Heredia.

Teléfono: (506) 2261 2222

Actividad principal: Manufactura de chocolates y modificadores de leche.

Agradecimiento

Quiero agradecerle a Dios por haberme bendecido y tener cuidado de mí; y que desde mi profesión pueda cumplir su propósito.

También quiero agradecer enormemente a mis papás Rolando y Marcela, que han sido el respaldo y ayuda incondicionales que me han impulsado a lograr mis metas y me han dado la mejor herencia. A mis hermanos Nacho, Marce, Andy que me apoyan y me estimulan a ser un ejemplo para ellos. A Eu por ser esa motivación especial en mi vida.

Tabla de contenido

Nombre y apellidos	2
Información del estudiante y de la empresa.....	3
Agradecimiento	4
Tabla de contenido.....	5
Índice de Figuras y Tablas	7
Resumen.....	8
Abstract.....	9
Introducción.....	10
Marco Teórico	10
Reseña de la empresa.....	12
Definición del problema.....	13
Antecedentes	13
Objetivos	15
Metodología	16
Capítulo I: Revisión previa del sistema	18
Situación actual del sistema de vapor: Generación de vapor	18
Descripción de los equipos del sistema de vapor	20
Capítulo II: Determinación del consumo de vapor de los diversos equipos	25
Generalidades	25
Levantamiento de planos y codificación de los equipos	25
Métodos para la determinación de consumos	30
Capítulo III: Selección de la caldera.....	33
Factores para selección.....	33
Propuesta de opciones de calderas.....	36
Capítulo IV: Nuevo diseño del sistema de distribución de vapor y retorno de condensados.....	42
Distribución de vapor	42
Tramo A (principal)	44

Tramo AB	45
Tramo AC	46
Recuperación de condensados	49
Piernas o bolsillos de condensado	51
Dimensionamiento de tuberías de condensado.....	52
Selección de trampas de vapor	53
Válvulas reductoras de presión.....	55
Válvulas de seguridad.....	57
Capítulo V: Oportunidades de ahorro de energía.....	59
Oportunidad de ahorro de energía en aislamiento de tuberías	59
Oportunidad de ahorro de energía por caldera de mayor eficiencia	61
Recomendaciones de oportunidades de ahorro de energía	63
Plan de ejecución	64
Conclusiones.....	65
Bibliografía	68
Anexos	69
A1. Factor de evaporización	69
A2. Literatura Técnica GLP.....	70
A3. Propuesta Caldera EcoSolutions.....	71
A4. Dimensionamiento de tramos secundarios.....	72
A5. Catálogo válvulas de seguridad.....	86
A6. Gráfica para dimensionar tubería de condensado.....	87
A7. Estimación de pérdidas de calor por radiación y convección.	88
Apéndices	88

Índice de Figuras y Tablas

Figura 1	División de la planta en zonas que utilizan vapor	26
Figura 2	Red de distribución de vapor actual	27
Figura 3	Red de retorno de condensado actual	28
Figura 4	Desglose y oferta económica para caldera de Biomasa	39
Figura 5	Rediseño de la red de distribución de vapor	43
Figura 6	Tramo A (principal).....	44
Figura 7	Tramo AB.....	45
Figura 8	Tramo AC.....	46
Figura 9	Tramo AD.....	47
Figura 10	Rediseño de la tubería de retorno de condensados	50
Tabla 1	Codificación de los equipos del sistema de vapor.....	29
Tabla 2	Resumen de datos obtenidos.....	32
Tabla 3	Demanda de vapor del sistema.....	34
Tabla 4	Consumo anual de GLP en la Compañía Nacional de Chocolates en 2013	37
Tabla 5	Cálculo de ahorro por combustible GLP vs Biomasa	38
Tabla 6	Resumen de las dimensiones de las tuberías de vapor en acero SCH 40.....	48
Tabla 7	Diseño de piernas de condensado	52
Tabla 8	Diseño de tuberías de condensado.....	53
Tabla 9	Trampas del sistema de vapor	54
Tabla 10	Válvulas reductoras de presión	56
Tabla 11	Válvulas de seguridad	58
Tabla 12	Análisis de utilización de aislamiento y ahorro estimado.....	60

Resumen

El presente informe de la Práctica Profesional de Especialidad da cuenta de la realización de un estudio técnico del sistema de vapor de la Compañía Nacional de Chocolates, DCR S.A. con el objetivo de proponer un nuevo diseño de distribución de vapor y retorno de condensado, que permita optimizar el uso de la energía. También se analizan las principales oportunidades de ahorro que se pueden ejecutar en este sistema de vapor.

Para el estudio técnico se estima el consumo de vapor de cada uno de los equipos y se recopila información importante como las presiones de trabajo de dichos equipos. Con estos datos se determina la demanda total del sistema de vapor, para dimensionar la caldera que requiere la empresa.

Se le brinda al Departamento Técnico de la Compañía tres opciones diferentes de calderas y se analiza el ahorro por concepto de combustible en las dos principales opciones. Esto, con la intención de ofrecer un criterio de selección ya que existe el proyecto de reemplazar la caldera a inicios del 2015.

Finalmente se dan recomendaciones y conclusiones para el nuevo diseño del sistema de vapor que buscan su seguridad y eficiencia.

Palabras claves: caldera, condensado, presión crítica, demanda vapor, BHP, conchado, aglomerado, biomasa, pellets, deareador.

Abstract

This specialty Professional Practice report consists on a technical study of the steam system of Compañía Nacional de Chocolates, DCR S.A. with the purpose of proposing a new design of the steam distribution and condensate return; to optimize the energy usage. The major saving opportunities that can be achieved with new steam system proposal will be also analyzed.

For the technical analysis, the steam consumption of each equipment is estimated and important data such as work pressures are gathered. With this data, the total steam system demand is determined in order to size the boiler the company requires.

Three different boilers options are provided to the company's technical department and a fuel saving analysis is made for the two main options, this with the intention of offering a selection criterion since there are plans to replace the current boiler in early 2015.

Finally, conclusions and recommendations for new steam system, seeking safety and efficiency, are given.

Keywords: boiler, condensate, critical pressure, steam demand, BHP, conching, agglomerated, biomass, pellets, deareador.

Introducción

Marco Teórico

El vapor de agua se utiliza como fuente de energía para diversas aplicaciones y tuvo un papel muy trascendental en la revolución industrial. La modernización del motor de vapor a inicio del siglo XVIII, llevó a descubrimientos mayores como la locomotora de vapor y el barco de vapor. Hoy en día, los motores de combustión interna y la electricidad prácticamente han remplazado al vapor como fuente de energía en muchos campos. Sin embargo, el vapor aún es ampliamente usado en las plantas de generación eléctrica y para aplicaciones industriales de gran tamaño.

Un sistema típico de vapor está básicamente constituido por cuatro etapas generales. La primera etapa es la *generación de vapor*. Durante esta etapa, se le aplica energía en forma de calor al agua; esto, en un equipo denominado caldera. Una caldera es un dispositivo de ingeniería que permite intercambiar calor para convertir el agua líquida en vapor de agua. Es un recipiente a presión que utiliza algún combustible para producir calor y transmitirlo al agua. En menos casos, se presentan calderas eléctricas las cuales tienen aplicaciones especiales.

Una vez generado el vapor en la caldera, la siguiente etapa es la *distribución de vapor*; esto es, simplemente, el traslado del vapor de agua por un sistema de tuberías hasta los puntos de consumo. El uso del vapor cualquiera que sea, se denomina *transferencia de calor* y es la tercera etapa.

La última etapa se llama *retorno de condensado* y es la implementación de un circuito de tuberías para recuperar el vapor que se condensa después de haber transferido calor. Esto es muy importante porque es agua con gran cantidad de energía que se puede utilizar en la primera etapa para así realizar un ciclo. Hay aplicaciones específicas en las que después del uso de vapor en los equipos, no se puede recuperar el condensado pero si no es el caso, es vital retornar este.

Como parte del sistema de vapor se deben considerar otros sistemas importantes ligados directamente, como el sistema de alimentación de agua a la caldera, el sistema de alimentación de combustible a esta y también otros aspectos que permiten la mejor eficiencia posible del uso de la energía mediante el vapor.

Reseña de la empresa

La Compañía Nacional de Chocolates DCR S.A. fue fundada el 13 de diciembre del 2004 y actualmente cuenta con 145 colaboradores. Está ubicada en San Pablo de Heredia y tiene una extensión de 21 663 m².

La Junta Directiva de Inversiones Nacional de Chocolates S.A. (hoy en día GRUPO NUTRESA) en desarrollo del programa Corporativo de Expansión Internacional, adquiere esta Compañía a finales del año 2004 a través de la multinacional Nestlé. Es ahí donde se constituye la COMPAÑÍA NACIONAL DE CHOCOLATES, con el fin de manufacturar en el país tanto estos productos, como modificadores de leche. Dentro su cartera de producción están los chocolates Tutto, Choy's, Chokolito, Cookies n' Cream, Choco-Bolas, Tortuguitas, además de chocolate en tabletas para repostería y cobertura de helados. También se encuentran los modificadores de leche como Cocoa Dulce, Johnny's, Chokolisto, y sus diferentes presentaciones de sabores.

La nueva plataforma productiva ofrece al grupo Nutresa la posibilidad de manufacturar desde Costa Rica un portafolio importante de productos, con los cuales se logran grandes ventajas para ingresar a todo el mercado de Centroamérica, México y el Caribe.

Definición del problema

Antecedentes

Para las calderas que se encuentran en funcionamiento actualmente en la empresa, la vida útil recomendada por el fabricante se ha sobrepasado; el buen mantenimiento que se les brinda ha permitido alargar sus años de utilidad; sin embargo, ya se acercan al límite que indican las inspecciones para un funcionamiento seguro. La caldera de 100 BHP tiene 47 años y la caldera de 150 BHP tiene 35 años. Debido a su avanzada edad, el inspector de calderas en su última revisión, recomendó realizarle un análisis por ultrasonido de los espesores a las paredes de la caldera. El resultado de dicho análisis demostró que la caldera de 150 BHP está ya en el límite máximo permitido, mientras que la de 100 BHP alcanzará el límite máximo permitido pronto.

Por esta situación, con el objetivo de continuar siendo productivos, para cumplir con el reglamento de calderas y velando por la seguridad de sus colaboradores, la Compañía Nacional de Chocolates decidió sustituir las calderas del sistema de vapor.

De acuerdo con el presupuesto del grupo empresarial, se pretende reemplazar la caldera de 150 BHP (que se encuentra ya en el límite de espesor permisible) en el primer trimestre del año 2015, para que la nueva caldera funcione como principal y así dejar como respaldo la caldera de 100 BHP, la cual se reemplazará dentro de un plazo de 2 años.

Para este proyecto de sustitución de calderas, la empresa quiere saber si el tamaño de la caldera actual es el correcto o si por el contrario, está sobredimensionado o subdimensionado. Lo anterior, con el fin de comprar la caldera que se ajuste a la capacidad que demanda el sistema.

Por lo tanto, para el proyecto de práctica profesional se aspira ofrecer un nuevo diseño conforme a los requerimientos de dicha planta. Para esto se espera revisar

todos los equipos que forman parte del sistema de vapor y determinar las respectivas cargas de este para poder conocer el consumo total de la empresa. También revisar las diferentes presiones a las que trabajan estos equipos, puesto que la presión mínima que deberá entregar la caldera será la presión mayor que cualquiera de los equipos demande. Con esto se pretende seleccionar una caldera que cumpla con la capacidad requerida por la planta, tomando en cuenta un factor de ampliación de acuerdo con lo que se indique en la empresa. Además se comparará el sistema de vapor actual con un nuevo diseño propuesto en este proyecto en busca de oportunidades de mejora y oportunidades de conservación de la energía.

Objetivos

Objetivo general

- Diseñar el sistema de distribución de vapor de la Compañía Nacional de Chocolates, DCR.

Objetivos específicos

- Cuantificar el consumo de vapor de los diferentes equipos de la planta para conocer la demanda total requerida.
- Dimensionar y seleccionar la caldera que mejor se adecue a los requerimientos de la planta de acuerdo con el consumo de vapor.
- Diseñar el sistema de distribución de vapor y dimensionar las tuberías respectivas. Recomendar el aislamiento correspondiente para las tuberías.
- Dimensionar y seleccionar válvulas de regulación de presión y válvulas de seguridad para el sistema.
- Dimensionar las tuberías de retorno de condensado y piernas colectoras. Elegir las trampas de vapor y bombas de retorno de condensado.
- Buscar oportunidades de conservación de la energía que se puedan implementar en el sistema.

Metodología

Se explica la metodología propuesta para el desarrollo del proyecto:

1. Consumo de vapor de los equipos.

Se pretende obtener los datos de consumo de vapor como punto de inicio del proyecto para que, a partir de esta información, se pueda iniciar el diseño con el dimensionamiento y selección de la caldera. Para la recopilación de estos datos se buscan fichas técnicas de los equipos en la medida de lo posible y para los equipos en que no se encuentre información de consumo de vapor, se aproxima mediante cálculos.

2. Diseño de distribución de vapor.

Se ubican en un plano de planta, los equipos que requieren vapor. Así se diseña la distribución y se dibuja la propuesta de los tramos principales y secundarios.

3. Dimensionamiento y selección

Se aplica el conocimiento adquirido para dimensionar las tuberías de distribución de vapor, según el diseño previamente propuesto. Además se brinda la recomendación del aislamiento adecuado para las tuberías.

También se dimensiona y selecciona el resto de accesorios del sistema de vapor como son las válvulas de seguridad, y válvulas reguladoras de presión.

4. Retorno de condensado

Se diseña el circuito de retorno de condensado, seleccionando las trampas de vapor correspondientes a cada equipo y las bombas que se ocupen. Se ubican las piernas colectoras necesarias en el sistema

5. Comparación de diseños

Se compara el diseño propuesto con el diseño actual en busca de oportunidades de conservación de energía y con el diseño propuesto se brinda la recomendación de la capacidad de la caldera que se planea sustituir.

6. Análisis económico

Se realiza un análisis económico de las propuestas de calderas que se plantean. También se realiza un análisis económico sobre las posibilidades de ahorro recomendadas.

Capítulo I: Revisión previa del sistema

Situación actual del sistema de vapor: Generación de vapor

Actualmente la Empresa cuenta con un sistema de vapor que es vital para la manufactura de los productos propios de la Compañía en las distintas etapas de la producción. Dicho sistema básicamente provee vapor de agua a diferentes procesos como el área de cocinas, el sistema de calefacción de tanques y tuberías de trasiego mediante agua, el área de lavado, el proceso de aglomerado del chocolate, los derretidores de grasa, los calentadores de moldes.

El sistema de vapor cuenta con dos calderas (una principal y otra de respaldo) de 100 BHP y de 150 BHP, que alimentan de vapor a 25 equipos en las áreas anteriormente mencionadas. Ambas calderas son considerablemente antiguas y se pretende sustituirlas; inicialmente, una en un corto plazo, y la otra en un mediano plazo.

La caldera del 100 BHP está ajustada para trabajar a una presión de 745 kPa (110 psi) y la caldera de 150 BHP actualmente está ajustada para funcionar a una presión de 585 kPa (85 psi) por recomendación del inspector de calderas. Solo se utiliza una caldera a la vez y en el momento de este estudio, la caldera de 150 BHP es la que está en funcionamiento, pues la otra se encuentra en labores de mantenimiento básico. Se prevé que después de dicho mantenimiento sea la caldera de 100 BHP la que trabaje como principal.

Ambas calderas poseen un sistema de alimentación de agua con bombas, calculado según el Reglamento de Calderas vigente en el país. El agua de alimentación es tratada por medio de suavizadores y químicos para evitar dureza. Se lleva un control del tratamiento, con muestras que se toman diariamente y se revisan para garantizar agua suavizada.

Las calderas tienen quemadores con control eléctrico y utilizan combustible gaseoso (gas licuado de petróleo, GLP). Como parte del sistema de alimentación de

combustible, la empresa cuenta con un tanque de GLP con 21,954 m³ de capacidad volumétrica y la entrada a las calderas se encuentra regulada a una presión 5 kPa (0,7 psi).

Las salidas de vapor de las calderas convergen a una línea común que inicia el circuito de tuberías para el sistema. No posee cabezal de distribución de vapor. Estas salidas actualmente poseen tubería de tres pulgadas de diámetro y luego se ramifican en tuberías en diámetros variables.

Existe una red de retorno de condensado que involucra algunos equipos y finales de tramos de tubería; en muchos de los equipos, por su aplicación, no se puede recuperar el condensado, ya que el vapor se inyecta directamente al producto (en el caso de los modificadores de leche) o al agua del baño María de los tanques que contienen producto por ser conchado.

Descripción de los equipos del sistema de vapor

A continuación se enumeran los equipos pertenecientes al sistema de vapor y se describe brevemente su estado actual (toda la información respectiva fue recopilada a través del personal encargado de producción, de operarios de los equipos y mediciones personales).

Área de Cocinas

Planetario cocinas: se trata de un tanque para mezclar chocolate a una temperatura específica, mediante una chaqueta de agua a la que se le inyecta vapor para alcanzar la temperatura deseada. Este equipo solo se utiliza cuando hay producto de reproceso y el ingreso de vapor es controlado por una válvula solenoide. No hay retorno de condensado, pues una vez que deja de trabajar, se drena el agua de la chaqueta al desagüe. La entrada de vapor está regulada a 200 kPa (30 psi).

Marmita 1 principal: es una especie de olla de cobre con gran capacidad, que tiene una chaqueta de vapor donde se cocinan diferentes ingredientes básicos de los productos que se manufacturan en la empresa. El vapor se regula a 345 kPa (50 psi). Esta marmita funciona en todos los turnos de forma continua y sí hay recuperación de condensado.

Marmita 2 reproceso: similar a la marmita 1 pero su aplicación es para cocinar ingredientes de reproceso de un producto específico. Su empleo está ligado a la programación de la producción del producto específico, lo que implica el reproceso de dicho producto. También ingresa vapor a 345 kPa (50 psi) de presión y hay recuperación de condensados.

Marmita 3 secundaria: al igual que las otras, se utiliza para cocinar ingredientes de productos. El vapor ingresa a 345 kPa (50 psi). Se emplea entre 16-33 % del tiempo de uso de la marmita 1 y su aplicación es cocinar otra receta de forma simultánea o de respaldar la cocción de la receta que se está cocinando en la marmita 1. Tiene retorno de condensados

Tanque de jarabes: es también una marmita, en este caso de acero inoxidable; se utiliza para cocinar los jarabes que se le añaden a los diversos productos. Trabaja igual que la marmita 1 (todos los turnos) y recupera condensados. La entrada de vapor está regulada a 345 kPa (50 psi) de presión.

Fondanera: es una máquina batidora y calefactora que se utiliza para hacer fondant (una especie de pasta acaramelada). Para adicionar el vapor, el operario abre o cierra una válvula de aguja, según requiera mayor o menor temperatura, por lo que la presión de trabajo es prácticamente la presión de la caldera (745 kPa o 110 psi). Sí hay retorno de condensado.

Área de Coberturas

Derretidores de manteca 1 y 2: cada uno consiste en una parrilla cerrada y hueca donde pasa el vapor y se ponen los bloques de manteca para que se derrita; cae en forma líquida en un tanque para eventualmente ser bombeada para su utilización en equipos mezcladores correspondientes. La entrada de vapor está regulada a 200 kPa (30 psi) de presión y sí hay retorno de condensado.

Planetario coberturas: igual que el planetario del área de cocinas, está regulado a 200 kPa (30 psi) y se controla el ingreso de vapor mediante válvula solenoide. No recupera condensado, pues es drenado al desagüe después de ser inyectado a agua fresca.

Concha R-4: es un equipo que posee una chaqueta térmica para calentar el contenido de la concha con vapor o agua caliente. En el caso de la empresa, se inyecta vapor directamente al agua dentro de la chaqueta; este vapor no tiene reducción de presión e ingresa a la presión de trabajo de la caldera. La concha bate chocolate como parte del proceso de producción y una vez que se ha calentado, la fricción de las espas batidoras mantiene casi estable el calor y no es necesario inyectar más vapor. Tampoco se recupera condensado en este equipo.

Conchas Petz Hold 1 y 2: estos también son equipos con chaqueta donde se introduce agua y se inyecta vapor regulado a 200 kPa (30 psi). La fricción colabora con la calefacción del producto. No hay retorno de condensado.

Concha Homega: una concha de gran capacidad y con subsistemas propios de calefacción. Tiene una entrada de vapor regulada a 345 kPa (50 psi) que actualmente se utiliza poco; y tiene la salida de condensado que se retorna a la línea de condensados.

Concha horizontal: otra concha de tamaño considerable que tiene una chaqueta. Se inyecta vapor sin regulación al agua dentro de dicha chaqueta. No se recupera condensado porque el agua ya utilizada se drena.

Concha R-50: similar a las anteriores; el vapor ingresa directamente de la línea principal sin regulación. Tampoco retorna condensados.

Tanque de calefacción: forma parte de una red de calefacción mediante agua que mantiene a una temperatura específica el chocolate y ayuda conservarlo así en las tuberías de trasiego hacia las líneas de producción. El agua es calentada con un intercambiador de serpentín por el cual pasa vapor regulado a 200 kPa (30 psi). Sí hay retorno de condensado.

Área de Lavado

Lavadora nueva de moldes (toma A y B): se trata de un equipo de lavado automático que tiene dos tomas de vapor regulado a 200 kPa (30 psi), que se inyecta al agua para calentarla. Es un equipo con alto consumo másico de vapor. No hay retorno de condensado; sin embargo, existe una recuperación de condensado al final del tramo de tubería en este punto de la planta.

Pilas (mezclador): es una toma de agua caliente que utiliza un dispositivo comercial para mezclar vapor con agua y se regula según la temperatura deseada (Steamix). El

vapor que llega a este dispositivo está regulado a 480 kPa (70 psi). Esta toma de agua se utiliza para lavar distintos componentes de los equipos de la fábrica. Se recupera condensado, pero no se retorna a la línea, sino que se descarga en un tanque de agua caliente que está en el cuarto de pilas.

Pilas (manguera): se trata de una manguera para vapor vivo; fundamentalmente se utiliza para lavar moldes. Su factor de uso es muy bajo, dado que para el lavado de moldes se utiliza principalmente la lavadora nueva. El vapor está regulado a 480 kPa (70 psi). No hay retorno de condensado.

Tanque agua caliente para pilas: es un tanque de aproximadamente 0,8 m³ que abastece otra manguera para el lavado de diversos componentes. Calienta agua por medio de un intercambiador de calor tipo serpentín y descarga condensado al mismo tanque, además del condensado que se descarga del mezclador. El vapor para el intercambiador está regulado a 200 kPa (30 psi).

Área de Moldeado

Manguera Cavemil: esta es una toma de vapor en la línea de moldeado que tiene una manguera con vapor vivo para limpieza de moldes dentro de la fábrica. Su uso es restringido, puesto que la mayor parte del tiempo se lava en el cuarto de pilas. El vapor no está regulado y viene a la presión de la línea principal. No se recupera ningún condensado.

Calentador de moldes Cavemil: es un pequeño túnel que calienta los moldes de forma dual, ya sea por intercambiador de calor con vapor o con resistencias eléctricas. Se retorna el condensado de este equipo. El vapor que ingresa está regulado a 275 kPa (40 psi).

Área de Aglomerado

Aglomeradores 1 y 2: este es un equipo especializado que utiliza vapor para aglomerar el chocolate en polvo y manufacturar los modificadores de leche. Cada aglomerador requiere de dos tomas de vapor para diferentes funciones; una para calentar aire y precalentar el chocolate en polvo; la otra para hacer chocar el vapor directamente con el chocolate en polvo para que se formen los pequeños grumos. Del vapor chocado con el chocolate no se puede recuperar condensado y está regulado a la presión de la línea principal (aprox. 745 kPa / 110 psi). En el calentador de aire sí hay condensado, pero no tiene presión suficiente para retornarlo a la línea de condensados; entonces se está botando al desagüe. En este calentador de aire, el vapor de entrada está regulado a 135 kPa (20 psi).

Capítulo II: Determinación del consumo de vapor de los diversos equipos

Generalidades

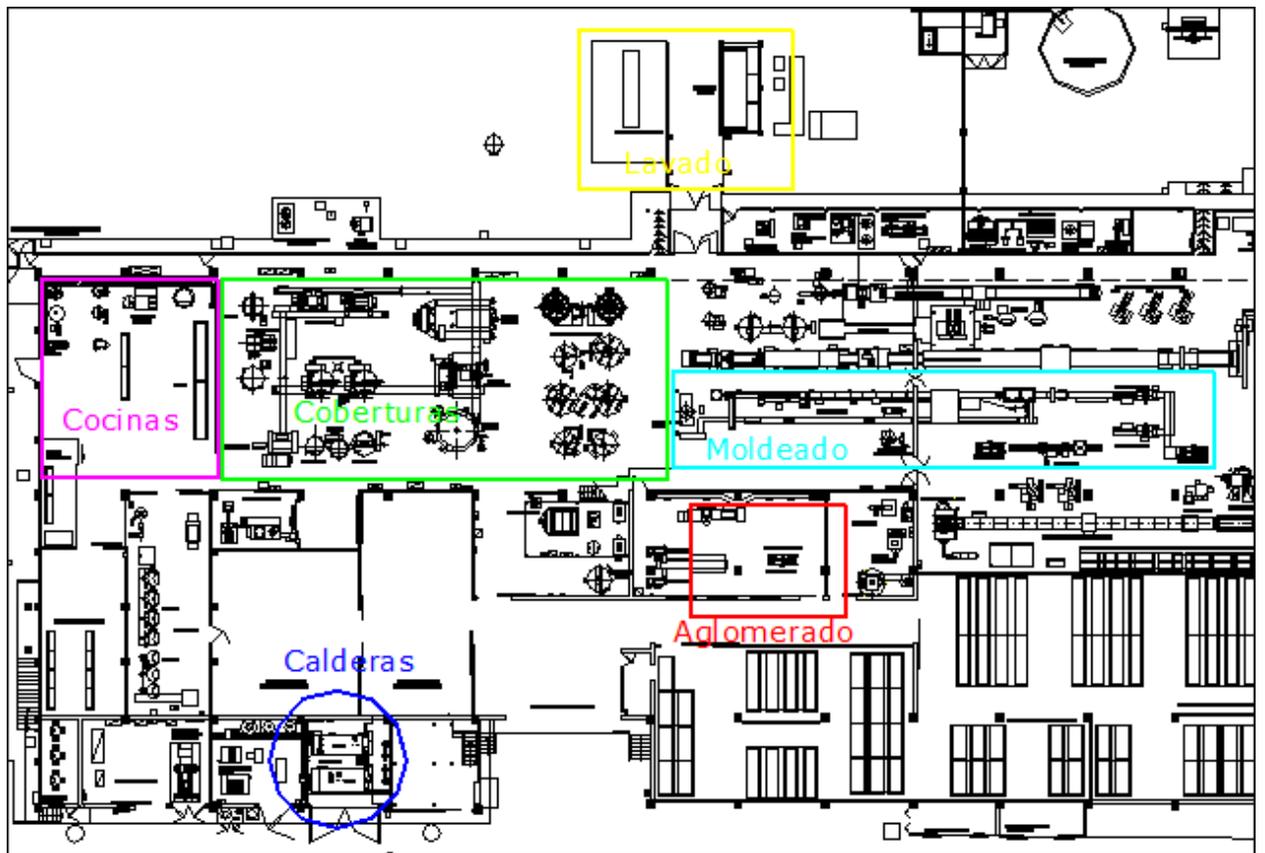
Para determinar con exactitud el consumo de vapor de los equipos, existen instrumentos de medición como los flujómetros para vapor, que permiten cuantificar el flujo de vapor que utiliza un equipo o ramal en específico. Estos equipos especiales tienen un costo alto y no se cuenta con uno actualmente en la empresa. Por esta razón se acudió a métodos indirectos (como medición de masa de condensado) para calcular el consumo de vapor de los equipos, cuando no se encontró dicha información en las fichas técnicas de los diversos aparatos. En algunos de los casos en que no se encontró información en la ficha técnica y que los métodos de medición indirecta no aplicaban, se investigó con fichas técnicas de maquinaria que fuese muy similar. En los apartados siguientes se explican con mayor detalle los métodos utilizados para estimar el consumo de vapor de los equipos.

Levantamiento de planos y codificación de los equipos

El Departamento Técnico cuenta con un plano digital de la vista general de planta, el cual tiene una última actualización en el año 2011. Para ubicar los equipos que utilizan vapor, se procedió a realizar una actualización básica de dicho plano y a efectuar el levantamiento de la red de vapor vivo y la red de retorno de condensado, correspondientes al sistema de vapor de la compañía.

Los equipos que utilizan vapor en la empresa se dividieron en cinco zonas principales, de acuerdo con su ubicación y a su aplicación; así, las zonas son: aglomerados, cocinas, coberturas, moldeado y lavado.

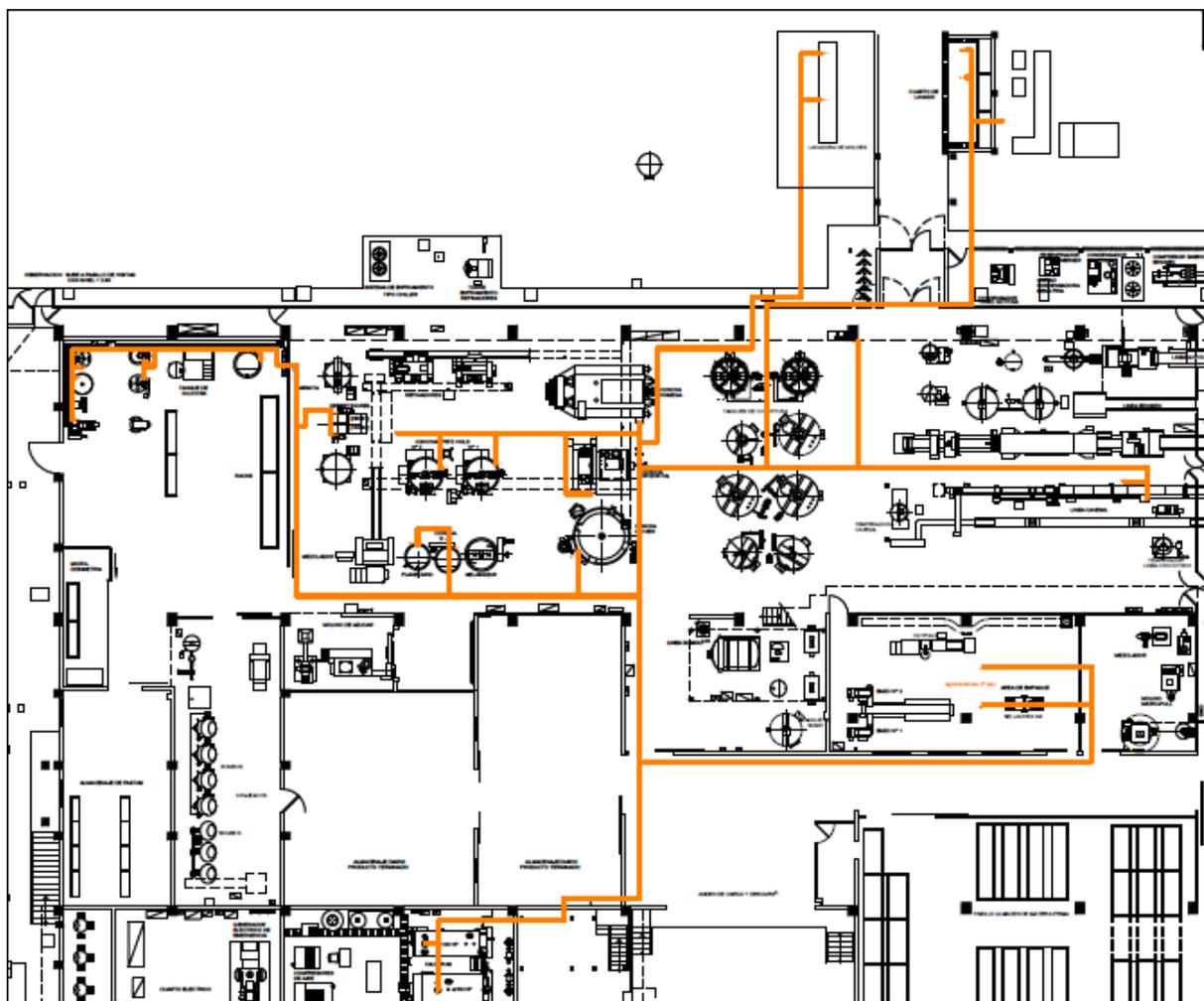
La Figura 1 muestra la división de dichas zonas.



AutoCAD

Figura 1 División de la planta en zonas que utilizan vapor

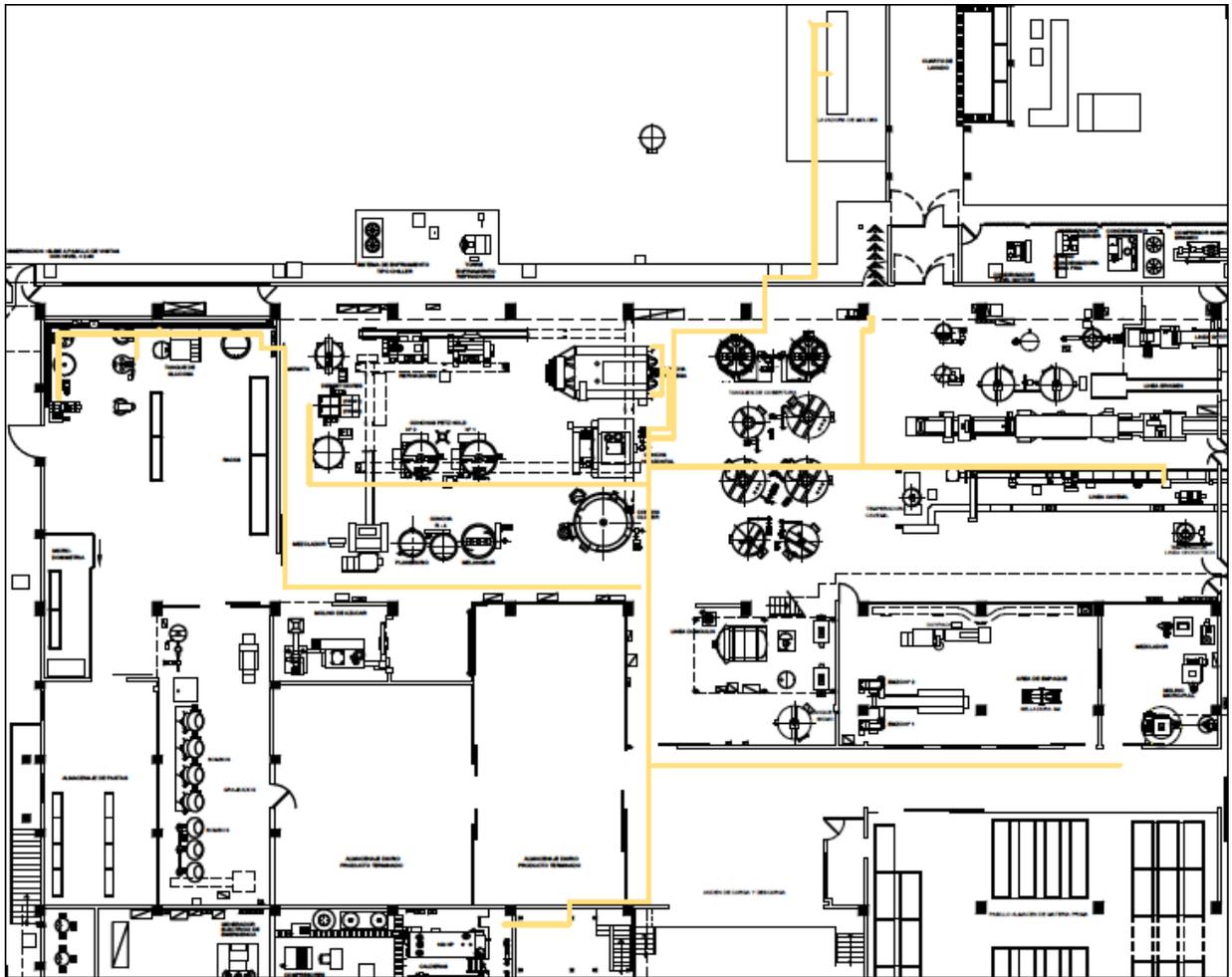
En la Figura 2 se ilustra la red de vapor que alimenta los diversos equipos de las diferentes zonas ya mencionadas. En total son 25 tomas de vapor para los equipos de la Compañía.



AutoCAD

Figura 2 Red de distribución de vapor actual

En la Figura 3 se muestra la red de retorno de condensado. Solo el 36% (9 de 25) del total de los equipos retorna condensado al tanque de recuperación de condensados. Dos de los equipos vierten el condensado a un tanque de agua caliente que sirve para lavado y en dos equipos más, se vierte el condensado al desagüe porque no hay presión necesaria para llevarlos a la línea de retorno.



AutoCAD

Figura 3 Red de retorno de condensado actual

Para una adecuada identificación de los equipos, estos se codificaron de acuerdo con los ramales a que pertenecen. La Tabla 1 muestra la codificación de los equipos que usan vapor y el área correspondiente.

Tabla 1 Codificación de los equipos del sistema de vapor

CODIGO	EQUIPO	ÁREA
E2.4 PLA	Planetario cocinas	Cocinas
E2.5.1 MAR	Marmita 1 principal (cobre)	
E2.5.2 MAR	Marmita 2 reproceso (cobre)	
E2.6 MAR	Marmita 3 secundaria (cobre)	
E2.7 JAR	Tanque de jarabes (inoxidable)	
E2.8 FON	Fondanera	
E2.3.1 DER	Derretidor de manteca 1	Coberturas
E2.3.2 DER	Derretidor de manteca 2	
E2.2.2 PLA	Planetario coberturas	
E2.2.1 R4	Concha R-4	
E6.2 PH1	Concha Petz Hold 1	
E6.3 PH2	Concha Petz Hold 2	
E3 HMG	Concha Homega	
E6.1 HOZ	Concha horizontal	
E2.1 R50	Concha R-50 (Clover)	
E4.2 TCA	Tanque calefacción	
E5.1 LAV	Lavadora moldes nueva A	Lavado
E5.2 LAV	Lavadora moldes nueva B	
E4.1.2 PIL	Pilas (mezclador Steamix)	
E4.1.3 PIL	Pila (manguera)	
E4.1.1 TAQ	Tanque agua para lavado	
E4.4 MAN	Manguera Cavemil	Moldeado
E4.3 CMC	Calentador Moldes Cavemil	
E1.1 AGL	Aglomerador 1	Aglomerado
E1.2 AGL	Aglomerador 2	

Microsoft WORD

Una vez levantado el plano en vista de planta de los equipos y de las tuberías que pertenecen al sistema de vapor, se revisaron los diámetros de tubería de las entradas de vapor de los equipos y la presión a la que cada equipo trabaja. Esto, como parte de la recopilación de datos para el cálculo del consumo.

Métodos para la determinación de consumos

El primer método para conocer el consumo de vapor de los equipos fue la consulta directa en los manuales del fabricante o las fichas técnicas de cada equipo. Se logró obtener algunos de los datos buscados, tanto de manera explícita como de manera implícita o indirecta. Sin embargo, el dato del consumo de vapor usualmente es difícil de encontrar en la literatura técnica, pues no todos los fabricantes adjuntan esta información, aunado a que la empresa no cuenta con todos los manuales y fichas técnicas de los equipos.

Entonces, el siguiente método utilizado para determinar el consumo de vapor de los equipos fue la aplicación de un balance de masa a un volumen de control. Lo que se buscó fue obtener la cantidad de condensado formado en el equipo debido a la transferencia de calor y que es descargado por las trampas de vapor de cada equipo. Este condensado proveniente de las trampas se hizo descargar a un recipiente por un determinado tiempo, por medio de una manguera conectada a la tubería de descarga de las trampas. A dicho recipiente se le introdujo cierta cantidad de agua fría para no permitir que el efecto de revaporizado del condensado afectara la medición.

Finalmente para obtener el consumo, se calcula el diferencial de masa durante el tiempo que se midió. Hay que destacar que por las aplicaciones del vapor en la empresa, no todos los equipos tienen retorno de condensado, por lo que este método no pudo ser aplicado a los equipos sin recuperación de condensado. Por otro lado, en algunos de ellos que sí recuperan condensado, era prácticamente imposible

emplear este método de balance de masas por la dificultad de conectar la manguera y el recipiente a la descarga de las trampas.

Para los equipos en los que no aplicaba ninguno de los métodos anteriores, se investigó el dato de consumo de vapor en fichas técnicas o manuales del fabricante de equipos muy similares a los que se encuentran en la empresa. Esto brinda un valor aproximado, que se puede considerar bastante cercano al valor de consumo de vapor.

Finalmente, quedaron dos tipos de equipos a los que no se logró encontrar los datos de consumo por los métodos anteriores, pues no fue posible conseguir información de equipos similares. Tales máquinas son operadas de manera que el ingreso de vapor al equipo se regula manualmente a través de una válvula de globo (o de asiento). Así que para estimar el consumo de vapor se tomó un 40% del diámetro del orificio de la válvula y se calculó el flujo másico de vapor que pasa por el orificio, como si fuera una fuga con el valor de dicho diámetro, a la presión respectiva.

La Tabla 2 resume los datos obtenidos.

Tabla 2 Resumen de datos obtenidos

ÁREA	CÓDIGO	EQUIPO	T[°C]	RET.	D[pulg]	P[kPa] (psig)	Q [kg/h]
COCINAS	E2.4 PLA	Planetario Cocinas	50	NO	½	200 (30)	50
	E2.5.1 MAR	Marmita 1	120	SI	1	345 (50)	120
	E2.5.2 MAR	Marmita 2	60	SI	¾	345 (50)	60
	E2.6 MAR	Marmita 3	90	SI	1	345 (50)	80
	E2.7 JAR	Tanque Jarabes	120	SI	1	345 (50)	100
	E2.8 FON	Fondanera	90	SI	1	745 (110)	80
COBERTURAS	E2.3.1 DER	Derretidor 1	90	SI	½	200 (30)	30
	E2.3.2 DER	Derretidor 2	48	SI	½	200 (30)	30
	E2.2.2 PLA	Planetario cobert.	48	NO	½	200 (30)	20
	E2.2.1 R4	Concha R-4	48	NO	½	745 (110)	20
	E6.2 PH1	Concha PetzHold 1	48	NO	¾	200 (30)	20
	E6.3 PH2	Concha PetzHold 2	48	NO	¾	200 (30)	20
	E3 HMG	Concha Homega	48	SI	1	345 (50)	30
	E6.1 HOZ	Concha horizontal	48	NO	1	745 (110)	150
	E2.1 R50	Concha R-50	48	NO	½	745 (110)	75
	E4.2 TCA	Tanque Calefacc.	48	SI	½	200 (30)	80
LAVADO	E5.1 LAV	Lavadora nueva A	85	NO	¾	200 (30)	200
	E5.2 LAV	Lavadora nueva B	85	NO	¾	200 (30)	200
	E4.1.2 PIL	Pilas (mezclador)	70	SI*	¾	480 (70)	75
	E4.1.3 PIL	Pilas (manguera)	> 140	NO	1	480 (70)	60
	E4.1.1 TAQ	Tanque agua lav.	50	SI*	¾	200 (30)	40
MOLDEADO	E4.4 MAN	Manguera Cavemil	90	NO	½	745 (110)	70
	E4.3 CMC	Calentador moldes	70	SI	½	275 (40)	40
AGLOMERADO	E1.1 AGL	Aglomerador 1	110	SI**	1	745 (110)	300
	E1.2 AGL	Aglomerador 2	110	SI**	1	745 (110)	300
TOTAL							2250

Microsoft WORD

Capítulo III: Selección de la caldera

Factores para selección

La caldera representa el elemento más importante en cualquier sistema de producción de vapor. Por este motivo, se debe hacer un riguroso análisis de los diferentes factores que se deben de considerar para realizar una correcta y eficiente elección de la caldera.

Lo primero que se debe tomar en cuenta cuando se va a seleccionar esta máquina es la capacidad, es decir, la cantidad de vapor que demanda el proceso. Se debe tener presente que la selección de una caldera sobredimensionada con respecto a la demanda resulta ineficiente y representa una pérdida económica; por otra parte, si se selecciona una de menor capacidad, no se llegaría a cubrir la demanda de vapor y la caldera funcionaría sobrecargada.

En el caso de la Compañía Nacional de Chocolates que cuenta actualmente con 25 equipos que utilizan vapor, se realizó un estudio del uso de ellos para conocer la probabilidad de uso simultáneo de vapor en los diversos equipos del sistema y calcular la capacidad de la caldera, en función de la utilización paralela de los equipos. Esto, con el fin de no sobredimensionar esta máquina para cubrir la demanda de todos los equipos trabajando al mismo tiempo, pues esta situación tiene bajísima probabilidad de ocurrencia.

Otro factor importante que se debe tomar en cuentas es la presión que requiere el proceso. En caso de que se cuente con varios equipos, la presión mínima de la caldera debe corresponder a la presión mayor de los diferentes equipos. Por esta razón, la selección de esta debe ser tal que se logre alcanzar esta presión para que preste el servicio de manera eficiente.

Según el análisis anteriormente hecho sobre el consumo de los equipos, se determinó que el equipo crítico son los aglomeradores 1 y 2, pues son los que requieren la mayor presión de vapor y además consumen el mayor caudal de vapor

entre la maquinaria que conforma el sistema. Las pérdidas de energía por radiación y convección natural de tales equipos son difíciles de determinar, pero, según la tabla brindada en el Manual Selmec de Calderas (en el Anexo A7), se especifica un 2% para este factor.

En la Tabla 3 se pueden observar los valores para calcular la demanda de vapor.

Tabla 3 Demanda de vapor del sistema

DEMANDA DE VAPOR		
Suma de consumos total de los equipos	2250	kg/h
Factor de probabilidad de uso	82	%
Demanda de consumo según uso	1845	kg/h
Factor de radiación	2	%
Consumo de vapor	1881,9	kg/h
Potencia en caballos caldera	120,32	BHP

Microsoft WORD

Además se debe de agregar el factor de evaporización (FE), que corresponde al calor sensible que se debe de suministrar para calentar el agua hasta obtener el líquido saturado.

Este calor adicional es calculado por medio de tablas en la cuales se involucra al factor de evaporización, que depende de la presión de operación de la caldera y la temperatura del agua de alimentación. Para este caso, 758 kPa (110 psi) y 43 °C aproximadamente. Dicho factor se obtiene de la tabla del anexo A1 y en este caso se obtuvo un factor de 1,146.

Por lo tanto, la evaporización equivalente de la caldera deberá ser de:

$$BHP * FE = 120,32 * 1,146$$

Así, la capacidad nominal de la caldera es:

$$\textit{Capacidad nominal} = 137,9 \textit{ BHP}$$

$$\textit{Capacidad nominal} = 2156,7 \textit{ kg/h}$$

Por lo que se selecciona una caldera de 150 BH.P

Además de la capacidad y la presión de trabajo, otros factores a tomar en cuenta a la hora de seleccionar una caldera se detallan a continuación:

- Tiempo de operación de la caldera
- Tipo de caldera
- Número de unidades
- Tipo de combustible
- Espacio disponible.

Propuesta de opciones de calderas

Una vez analizados los factores anteriormente mencionados y, conociendo la capacidad nominal de la caldera, se procedió a buscar tres opciones de calderas que cumplieren con las características necesarias para el sistema de vapor de la Compañía y que opcionalmente brindasen algún valor agregado.

❖ Opción A: Caldera de biomasa (pellets)

La propuesta de una caldera de biomasa representa una opción innovadora, pues la Compañía Nacional de Chocolates sería la primera empresa alimenticia en implementar un proyecto con una caldera de este tipo. Se analiza una oferta realizada por la empresa Ecosolutions, la cual propone utilizar el cuerpo de una caldera marca York Shipley y adaptarla para el uso de biomasa (pellets de madera) como combustible. La empresa Ecosolutions ha formado una alianza estratégica con Pelletics S.A. para que sean los proveedores de la biomasa para las calderas de sus proyectos. Este combustible, por tratarse de residuos de madera de árboles que ya contribuyeron a transformar CO₂ (dióxido de carbono), implica el retiro de cierta cantidad de CO₂ por concepto de combustible (no por combustión) y por lo tanto, colaborar con la disminución de la huella de carbono.

A continuación, algunos datos de análisis de la propuesta para la caldera de biomasa:

Se presentan datos comparativos entre el combustible biomasa con el actual combustible (GLP) en función a la demanda térmica de la Compañía.

En la tabla 4 se presenta el consumo de gas licuado de petróleo (GLP) en la Compañía Nacional de Chocolates durante el año 2013 y su costo correspondiente.

Tabla 4 Consumo anual de GLP en la Compañía Nacional de Chocolates en 2013

Mes	Consumo (litros)	Costo (¢/litro)	Consumo (colones)
Enero 2013	26 352	290	7 642 080
Febrero 2013	20 781	290	6 026 490
Marzo 2013	23 534	290	6 824 860
Abril 2013	20 721	290	6 009 090
Mayo 2013	19 477	290	5 648 330
Junio 2013	16 832	290	4 881 280
Julio 2013	18 585	290	5 389 650
Agosto 2013	19 244	290	5 580 760
Septiembre 2013	20 387	290	5 912 230
Octubre 2013	21 492	290	6 232 680
Noviembre 2013	21 260	290	6 165 400
Diciembre 2013	13 568	290	3 934 720
TOTAL	242 233	--	70 247 570
			\$ 128 894,62
PROMEDIO	20 186,08	290	5 853 964,17
			\$ 10 741,22

Microsoft WORD

Según los datos obtenidos de literatura técnica, Anexo A2, se tiene que el poder calorífico del gas licuado de petróleo en Costa Rica es 48 MJ/kg¹ y que su densidad promedio es de 0,56 kg/l. De acuerdo con el certificado de calidad de los pellets, estos tienen una capacidad calorífica de 18 MJ/kg².

La Tabla 5 muestra un análisis del consumo energético por concepto de combustible GLP para la caldera.

Tabla 5 Cálculo de ahorro por combustible GLP vs Biomasa

CÁLCULO DE AHORRO POR COMBUSTIBLE		
	GLP CR	PELLETS
Poder calorífico (MJ/kg)	48	18
Consumo de energía promedio mensual (MJ)	542 599,7	542 599,7
Consumo de combustible promedio mensual (kg)	11 304,16	30 144,43
Costo de combustible (\$/Ton)	0,95	0,28
Consumo de combustible promedio mensual (\$)	10 738,95	8 440,44
Ahorro mensual en combustible (\$)		2 298,51
Ahorro mensual en CO ₂ (toneladas)		32,47 *
Ahorro proyectado anual (\$)		27 582,12
Ahorro proyectado anual CO₂ (toneladas)		389,6

Microsoft WORD

Se estudia el desglose y la oferta económica de la empresa EcoSolutions Anexo A3; la Figura 4 muestra lo que incluye el proyecto propuesto:

Cantidad	Rubro	Inversión
1	Caldera Biomasa 100 hp	
1	Silo Almacenamiento	
1	Transporte	
1	Instalación Permisos y Puesta en Marcha	
1	Obra Civil	
1	Ciclón	
1	Cuerpo Caldera York Shipley 100 hp	\$ 35,280.00
1	Cuerpo Reconstruido Caldera 100 hp	\$ (13,500.00)
Inversión total		\$ 146,280.00
	Impuesto de Ventas 13%	\$ 19,016.40
TOTAL		\$ 165,296.40

Nota: Se estima 20% sobre costo exworks de la caldera para costos de transporte e importación

Propuesta EcoSolutions

Figura 4 Desglose y oferta económica para caldera de Biomasa

❖ Opción B: Caldera de alta eficiencia

La propuesta de una caldera de alta eficiencia también representa una opción innovadora, pues implica tecnología de punta para el sistema de vapor. Brinda la oportunidad de alcanzar eficiencias muy altas, cercanas a 95%, al aprovechar al máximo el calor que se obtiene del combustible.

Se propone una caldera marca Bosch, tecnología alemana, de tubos de fuego y gas licuado de petróleo como combustible. Este tipo de calderas es modular y se adecua según la eficiencia buscada y las aplicaciones de la empresa donde se pretende usar.

Algunas de las características que presenta esta caldera es que la cámara de humos está rodeada de agua; por lo tanto, la “espalda” no ocupa refractarios o espejos sino que el calor en esta sección es transferido al agua y se le conoce como espalda húmeda. Otra característica de la tecnología de esta caldera es que posee un economizador como parte básica del paquete de la caldera, el cual utiliza el calor de las emisiones de gases para calentar el agua de alimentación para así aprovechar una buena porción del calor generado en la combustión.

Como se mencionó anteriormente, la caldera se adecua a las circunstancias y de acuerdo con un análisis realizado por la empresa Monaro, representante de la marca Bosch en el país, se concluyó que para alcanzar una eficiencia de alrededor de 92 – 93 %, se requiere del módulo de deareador parcial y el módulo de bombas de agua de alimentación a la caldera. El deareador permitirá no solo eliminar gran porcentaje del oxígeno del agua sino también ayudar junto al economizador, a alimentar la caldera con agua a una temperatura aproximada de 130°C. Así se le brinda una estabilidad al sistema que permite cubrir los picos de consumo repentinos.

Por otro lado, el módulo de bombas utiliza variadores de velocidad en los motores porque la alimentación de agua se realiza mediante reposición casi instantánea. Esto

es, conforme va produciendo vapor, repone agua para igualmente mantener una estabilidad en el sistema.

La caldera tiene otros valores importantes; su cuerpo tiene un aislamiento de cuatro pulgadas; no presentan puntos de fugas térmicas. Su regulación se realiza mediante un PLC y un panel de control táctil, lo que la hace sumamente isensible; además, permite el manejo de datos de servicio con máxima transparencia.

Una ventaja para la empresa con esta opción, es que el sistema de alimentación de combustible ya está previsto, pues sería el mismo que se usa hoy en día.

La opción para caldera de alta eficiencia es: Bosch modelo UL-S de 130 BHP con módulo deareador, módulo de bombas de alimentación de agua y panel de control.

❖ Opción C: Caldera nueva del mismo modelo

Esta opción se contempla como una sustitución de la caldera obsoleta actual por una del mismo modelo, pero nueva. Ello implica como beneficio, un mejoramiento de la eficiencia. Sin embargo, no supone algún valor agregado salvo tener una inversión inicial menor, en comparación con las otras opciones.

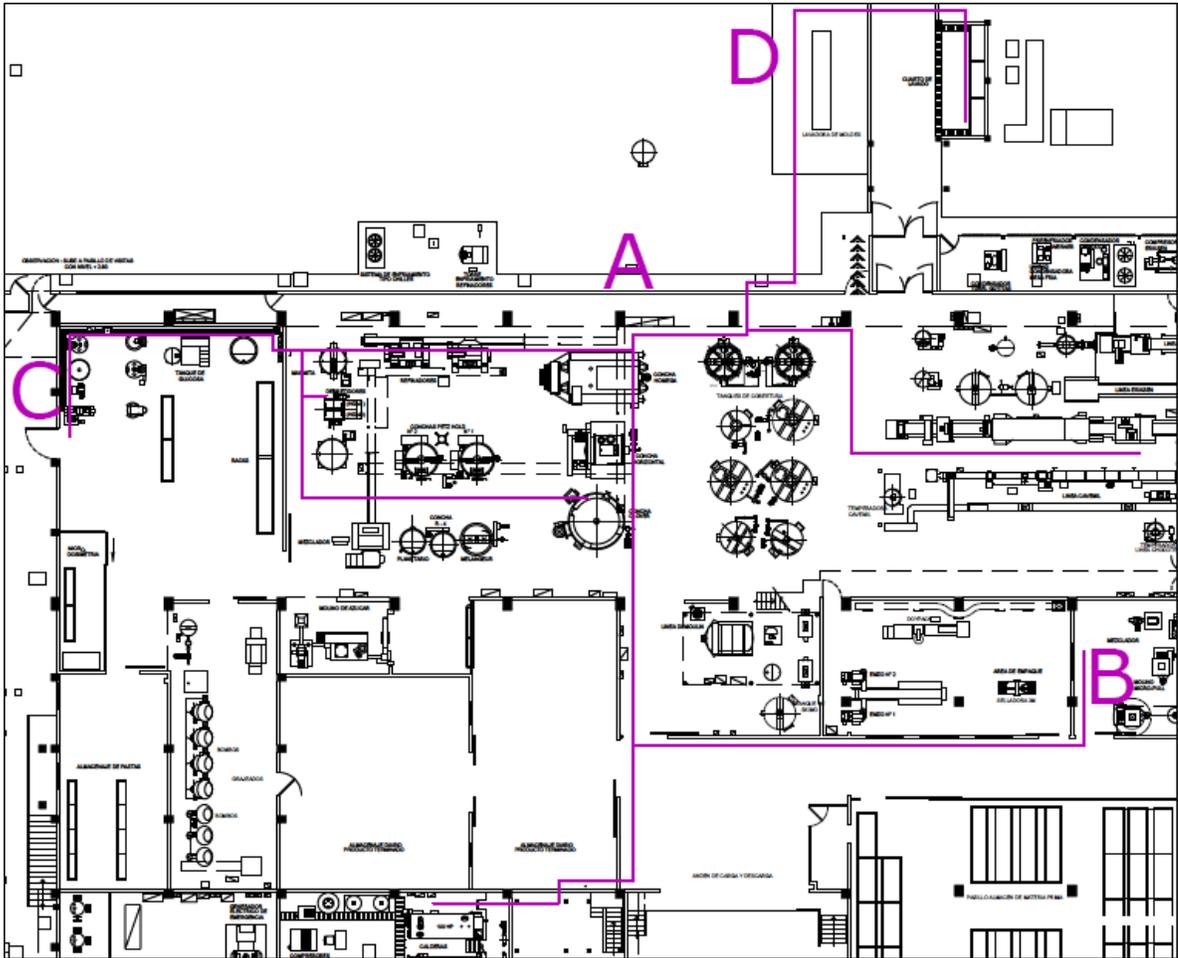
Capítulo IV: Nuevo diseño del sistema de distribución de vapor y retorno de condensados

Distribución de vapor

Para el diseño de la distribución correspondiente al sistema de vapor, se identificó el equipo y la ruta crítica para seleccionar una presión de trabajo de la caldera que cumpla con la caída de presión y satisfaga la presión a la que el equipo crítico necesita funcionar.

Para el dimensionamiento de las tuberías de vapor, se debe conocer la longitud equivalente de cada tramo, así como el flujo de vapor y su respectiva presión. Dichos cálculos se realizaron utilizando el software disponible en la página de internet del fabricante Spirax-Sarco. Está diseñando con base en la velocidad del vapor, dado que la caída de presión no llega a ser crítica por razones de regulación de presión. Esto es, las aplicaciones en los equipos se regulan con bastante diferencia respecto a la presión de trabajo de la caldera.

La Figura 5 muestra la distribución de las tuberías en vista de planta del nuevo diseño propuesto.



AutoCAD

Figura 5 Rediseño de la red de distribución de vapor

En las siguientes figuras se muestran los cálculos realizados en el software de dimensionamiento de Spirax-Sarco. Solo se presentan los tramos principales. Los demás se pueden observar en el Anexo A4.

Tramo A (principal)

Es el tramo principal de la red de distribución; tiene una longitud equivalente de 50 metros. La presión a la que se calcula es la presión de trabajo de la caldera (110 psi), para un caudal de 2300 kg/h y se dimensiona a una velocidad de 100 pies/s.

Se escoge la tubería mayor más cercana que es de tres pulgadas de diámetro, pues la caída de presión es menor y se cumple para una velocidad de flujo prácticamente igual a la de diseño.

Los cálculos realizados en el programa de cómputo se muestran en la Figura 6

Calculation	Sizing on Velocity	
Target Upstream Velocity	100	ft/s
Upstream Pressure	110	psi gauge
Mass Flow Rate	2300	kg/h
Equivalent Pipe Length	50	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	77.4001	mm
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	3	in
Upstream Velocity	98.6699	ft/s
Downstream Pressure	106.947	psi gauge
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	2 1/2	in
Upstream Velocity	152.484	ft/s
Downstream Pressure	100.741	psi gauge

Spirax-Sarco software

Figura 6 Tramo A (principal)

Tramo AB

Este tramo corresponde al ramal que proviene del tramo principal y va a la zona de aglomerado. Tiene una longitud equivalente de 38 metros; igualmente se diseña a la presión de trabajo de la caldera, para un caudal de 600 kg/h. La velocidad de flujo de vapor es 80 pies/s.

Se escoge la tubería mayor más cercana disponible cuyo valor es de 2 pulgadas de diámetro.

Los cálculos realizados en el programa de cómputo se muestran en la Figura 7.

Calculation	Sizing on Velocity	
Target Upstream Velocity	80	ft/s
Upstream Pressure	110	psi gauge
Mass Flow Rate	600	kg/h
Equivalent Pipe Length	38	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	44.1985	mm
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	2	in
Upstream Velocity	56.7438	ft/s
Downstream Pressure	108.628	psi gauge
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	1 1/2	in
Upstream Velocity	93.2417	ft/s
Downstream Pressure	105.203	psi gauge

Spirax-Sarco software

Figura 7 Tramo AB

Tramo AC

Este tramo corresponde al ramal que sale de la tubería principal al área de cocinas.

De este tramo se derivará otro ramal para el área de coberturas.

Se diseña para un caudal de 885 kg/h y una longitud equivalente de 46 metros. Se selecciona la tubería menor más cercana que sería de 2 pulgadas de diámetro.

Los cálculos realizados en el programa de cómputo se muestran en la Figura 8

Calculation	Sizing on Velocity	
Target Upstream Velocity	80	ft/s
Upstream Pressure	110	psi gauge
Mass Flow Rate	885	kg/h
Equivalent Pipe Length	46	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	53.6789	mm
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	2 1/2	in
Upstream Velocity	58.6732	ft/s
Downstream Pressure	108.592	psi gauge
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	2	in
Upstream Velocity	83.6971	ft/s
Downstream Pressure	106.559	psi gauge

Spirax-Sarco software

Figura 8 Tramo AC

Tramo AD

El tramo AD sale del tramo principal hacia el área de lavado y tiene un subramal para el tanque centralizado de calefacción y la línea Cavemil.

Se selecciona en 2 pulgadas de diámetro según los datos escogidos para el cálculo.

Los cálculos realizados en el programa de cómputo se muestran en la Figura 9

Calculation	Sizing on Velocity	
Target Upstream Velocity	80	ft/s
Upstream Pressure	110	psi gauge
Mass Flow Rate	805	kg/h
Equivalent Pipe Length	36	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	51.1953	mm
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	2	in
Upstream Velocity	76.1312	ft/s
Downstream Pressure	107.751	psi gauge
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	1 1/2	in
Upstream Velocity	125.099	ft/s
Downstream Pressure	102.070	psi gauge

Spirax-Sarco software

Figura 9 Tramo AD

La Tabla 6 resume las dimensiones de las tuberías de distribución de vapor.

Tabla 6 Resumen de las dimensiones de las tuberías de vapor en acero SCH 40

TRAMO	UBICACIÓN	Q (kg/h)	Lequ. (m)	P(psi)	D(pulgadas)
A	Principal	2300	48,84	110	3
AB	Aglomerado	600	35,78	110	2
AC	Cocinas	885	45,82	110	2
AD	Lavado	805	34,86	110	2
AB-1	Aglomerador 1	300	10,74	90	1 ½
AB-2	Aglomerador 2	300	10,74	90	1 ½
AC-1	Conchado	365	27,34	110	1 ½
AD-1	Tanque/Cavemil	230	31,15	110	1
AD-4	Pilas	175	19,15	110	1
AC-2	Planetario de cocinas	50	3,872	30	1
AC-3	Marmita 1	120	3,872	50	1
AC-4	Marmita 2	60	3,872	50	¾
AC-5	Marmita 3	80	3,872	50	1
AC-6	Tanque para jarabes	100	3,872	50	1
AC-7	Fondanera	80	3,872	100	¾
AC-1.1	Derretidor 1	30	3,872	30	½
AC-1.2	Derretidor 2	30	3,872	30	½
AC-1.3	Planetario Cobert.	20	3,872	30	½
AC-1.4	R-4	20	3,872	50	½
AC-1.5	Petz Hold 1	20	3,872	30	½
AC-1.6	Petz Hold 2	20	3,872	30	½
AC-1.7	Homega	100	3,872	50	1
AC-1.8	Horizontal	75	3,872	50	1
AC-1.9	R-50	75	3,872	50	1
AD-2	Lavadora 1	200	3,872	30	1 ½
AD-3	Lavadora 2	200	3,872	30	1 ½
AD-4.1	Manguera de pilas	60	3,872	70	¾
AD-4.2	Steamix	75	3,872	70	¾
AD-4.3	Tanque de pilas	40	3,872	30	¾
AD-1.1	Tanque de calefacc.	80	1,914	30	1
AD-1.2	Manguera Cavemil	70	5,914	110	¾
AD-1.3	Calentador de moldes	40	5,914	40	¾

Microsoft Word

Recuperación de condensados

El sistema de retorno de condensado es el encargado de conducir una parte del agua tratada en forma de condensado que resulta de la transferencia del calor del vapor. Este material debe ser evacuado de los equipos.

Existen diversas razones por las cuales se demuestra la importancia de la recuperación del condensado. Por ejemplo, el agua que se utiliza en la caldera para producir vapor, es más cara pues lleva un tratamiento químico para evitar incrustaciones; así que retornarla y reutilizarla representa no solo un ahorro económico al no tener que tratar el agua, sino también el impacto ambiental de no desperdiciar agua. Otra razón es que el condensado contiene una gran cantidad de energía, por lo que esta se le debe agregar en menor cantidad para que se vaporice. Esto representa un ahorro de combustible.

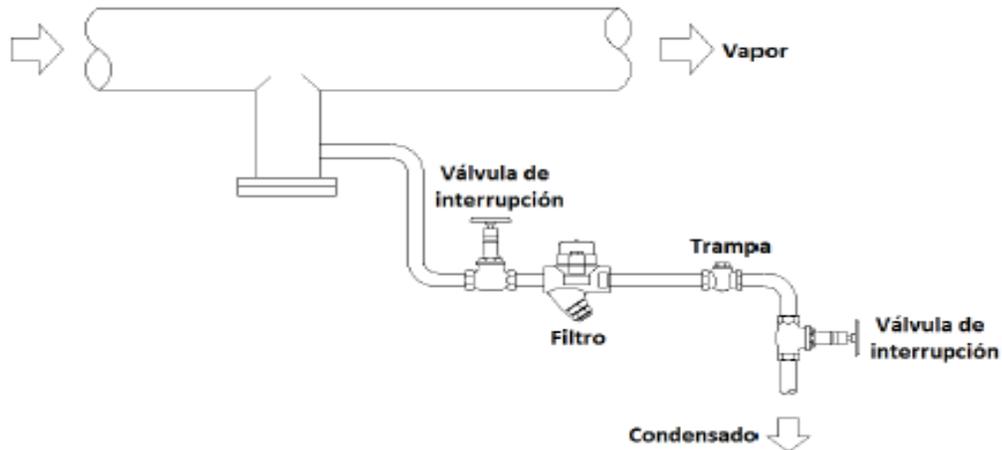
Por lo tanto, la solución ideal es devolverlo al tanque de alimentación de la caldera donde puede ser utilizado sin necesidad de tratamiento. Con ello, se ahorra combustible (por la temperatura a la que entra a la caldera), agua de reposición y los costos del tratamiento químico. Sin embargo, las restricciones de las aplicaciones de vapor pueden impedir esta situación ideal, porque podrían contaminar dicha agua condensada.

Para recolectar el condensado se utilizarán trampas de vapor, así como filtros para que el agua que reingrese a la caldera, se encuentre sin partículas sólidas que puedan afectar el rendimiento.

Para el diseño de la red de condensados, se debe tomar en cuenta que no a todos los equipos se les puede hacer una recuperación de condensado por las distintas aplicaciones. Después de analizar los equipos, se tiene que solamente nueve equipos tienen retorno de condensado; cada uno de estos equipos llevará una trampa en la tubería vertical de alimentación de vapor y otra trampa a la descarga del

Piernas o bolsillos de condensado

Las piernas de condensado son las encargadas de conducir el vapor hacia la tubería y según Spirax-Sarco (2007) la conexión típica de estas es la siguiente:



Para el cálculo de las piernas colectoras se utilizó la siguiente tabla proporcionada por Armstrong (tabla CG-12) de uno de sus manuales:

Se selecciona en 2 pulgadas de diámetro según los datos escogidos para el cálculo.

M Steam Main Size (in)	D Drip Leg Diameter (in)	H	
		Drip Leg Length Min. (in)	
		Supervised Warm-Up	Automatic Warm-Up
1/2	1/2	10	28
3/4	3/4	10	28
1	1	10	28
2	2	10	28
3	3	10	28
4	4	10	28
6	4	10	28
8	4	12	28
10	6	15	28
12	6	18	28
14	8	21	28
16	8	24	28
18	10	27	28
20	10	30	30
24	12	36	36

La siguiente tabla brinda el detalle de las piernas o bolsillos de condensado:

Tabla 7 Diseño de piernas de condensado

BOLSILLO O PIERNA	DIÁMETRO TUBERÍA (in)	DIÁMETRO BOLSILLO (in)	LARGO DE BOLSILLO (in)
E	3	3	28
F	2	2	28
G	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	28
H	1	1	28
I	2	2	28
J	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	28
K	2	2	28

Microsoft WORD

Dimensionamiento de tuberías de condensado

Para las tuberías de retorno de condensado se recomienda que la velocidad se encuentre entre 5000 y 6000 ft/min, con la finalidad de que la mezcla condensado re vaporizado pueda circular sin producir presiones excesivas y deterioro. Para estas tuberías se utilizó acero SCH 40.

Para el dimensionamiento de dichas tuberías se utilizó la gráfica del Anexo A6 que se encuentra en la sección de anexos proporcionada por Spirax-Sarco (s.f.).

Se define que la presión propia de la línea de retorno de condensado es de 20 psig. Utilizando el diferencial de presión entre la trampa y la línea de retorno, se calcula el porcentaje de revaporizado que se genera al hacer este trasiego; este dato es importante para la selección adecuada del diámetro de las tuberías. Utilizando el equivalente de vapor *flash* generado y la presión a la que se mantiene la línea de retorno, se puede calcular el diámetro de las tuberías del retorno.

En la Tabla 8 se indican las dimensiones de las tuberías de condensado diseñadas.

Tabla 8 Diseño de tuberías de condensado

TRAMO	LONGITUD EQUIVALENTE (m)	CAUDAL (kg/h)	DIAMETRO (in)
E	42,09	2300	1 ½
EF	28,25	600	¾
EG	29,09	40	½
EH	14,29	80	½
EI	20,28	400	¾
EJ	23,10	60	¾
EK	19,65	440	¾

Microsoft WORD

Selección de trampas de vapor

Las trampas de vapor son las encargadas de discriminar entre el vapor y el condensado, además de drenar este último junto con el aire que se encuentre en las tuberías. Su dimensión y selección es crítica, ya que puede ocasionar un funcionamiento deficiente de descarga de condensado y generar pérdidas de vapor vivo. Las trampas se colocan antes de cada equipo, así como cada 100 pies de tubería de vapor. En el diseño propuesto no hay tramos de más de 100 pies y se contempla trampeo solo para finales de tramo de tuberías y equipos.

Para el diseño en referencia se justifica el uso de un mismo tipo de trampa por varias razones. La primera razón es el tipo de aplicación de los equipos: las trampas de balde invertido están recomendadas por los fabricantes para las respectivas aplicaciones de la compañía. Otra razón importante es que se facilita el inventario de repuestos porque no es necesario tener trampas de respaldo diferentes o repuestos diferentes para múltiples tipos de trampas. Además, que a este tipo de trampa se le puede realizar mantenimiento correctivo y recuperar su modo funcional. Cabe

destacar que el tipo de trampa propuesto es relativamente costoso, pero la empresa cuenta ya con varias de ellas y se pueden usar para el nuevo diseño.

En la Tabla 9 se indican las trampas de vapor seleccionadas para el nuevo sistema.

Tabla 9 Trampas del sistema de vapor

UBICACIÓN	FACTOR SEGURIDAD	FACTOR APLICACIÓN	TRAMPA
Pierna E	3	2	TVS 811SCV, orif 1/8
Pierna F	3	2	TVS 811SCV, orif 1/8
Pierna G	3	2	TVS 811SCV, orif 1/8
Pierna H	3	2	TVS 811SCV, orif 1/8
Pierna I	3	2	TVS 811SCV, orif 1/8
Pierna J	3	2	TVS 811SCV, orif 1/8
Marmita 1 (antes)	3	2	TVS 811SCV, orif 5/32
Marmita 1 (después)	3	2	TVS 811SCV, orif 5/32
Marmita 2 (antes)	3	2	TVS 811SCV, orif 5/32
Marmita 2 (después)	3	2	TVS 811SCV, orif 5/32
Marmita 3 (antes)	3	2	TVS 811SCV, orif 5/32
Marmita 3 (después)	3	2	TVS 811SCV, orif 5/32
Tanque jarabes (antes)	3	2	TVS 811SCV, orif 5/32
Tanque jarabes (después)	3	2	TVS 811SCV, orif 5/32
Derretidores (antes)	3	2	TVS 811SCV, orif 5/32
Derretidor 1 (después)	3	2	TVS 811SCV, orif 5/32
Derretidor 2 (después)	3	2	TVS 811SCV, orif 5/32
Concha Homega	3	2	TVS 811SCV, orif 5/32
Tanque calefacción (antes)	3	2	TVS 811SCV, orif 5/32
Tanque calefacción (después)	3	2	TVS 811SCV, orif 5/32
Calentador moldes (antes)	3	2	TVS 811SCV, orif 5/32
Calentador moldes (después)	3	2	TVS 811SCV, orif 5/32
Lavadora moldes 1	3	2	TVS 811SCV, orif 1/8
Lavadora moldes 2	3	2	TVS 811SCV, orif 1/8

Microsoft WORD

Válvulas reductoras de presión

Las válvulas reductoras de presión son de suma importancia para el correcto funcionamiento de los equipos ya que generalmente, la presión que trasiega la tubería es mayor que el valor nominal de los equipos. Esto generaría un mal funcionamiento del equipo, o en el peor caso, una avería del mismo.

Para el rediseño propuesto se plantea el uso de estas válvulas de regulación de presión para cada equipo que conforma el sistema.

Para dimensionar las válvulas reductoras, se necesitan los datos de la presión de la tubería, la presión de trabajo del equipo y el flujo másico de vapor.

Las siguientes fórmulas se utilizan para calcular el coeficiente de la válvula reductora y seleccionar con el catálogo de Armstrong.

$$\text{Si, } P_2 > \frac{P_1}{2}, C_v = \frac{m}{2.1\sqrt{\Delta P(P_1+P_2)}}$$

$$\text{Ó si, } P_2 \leq \frac{P_1}{2}, C_v = \frac{m}{1.7*P_1}$$

Se justifica el uso de un mismo tipo de válvula reguladora de presión, porque el sistema es muy homogéneo y el diferencial de reducción de presión es muy similar en los equipos que conforman el sistema. Entonces se puede simplificar utilizando un mismo tipo para así facilitar también el mantenimiento y el inventario de repuestos.

En la Tabla 10 se especifican las válvulas reductoras de presión para el rediseño propuesto.

Tabla 10 Válvulas reductoras de presión

Equipo	m (lb/h)	P ₁ (psi)	P ₂ (psi)	C _v	Válvula Reductora Armstrong
E2.4 PLA	110	110	30	0,495	GP-1000 ½
E2.5.1 MAR	264	110	50	1,283	GP-1000 ¾
E2.5.2 MAR	132	110	50	0,642	GP-1000 ½
E2.6 MAR	176	110	50	0,855	GP-1000 ½
E2.7 JAR	220	110	50	1,069	GP-1000 ¾
E2.8 FON	176	110	100	0,936	GP-1000 ½
E2.3.1 DER	66	110	30	0,297	GP-1000 ½
E2.3.2 DER	66	110	30	0,297	GP-1000 ½
E2.2.2 PLA	44	110	30	0,099	GP-1000 ½
E2.2.1 R4	44	110	100	0,117	GP-1000 ½
E6.2 PH1	44	110	30	0,099	GP-1000 ½
E6.3 PH2	44	110	30	0,099	GP-1000 ½
E3 HMG	66	110	50	0,321	GP-1000 ½
E6.1 HOZ	330	110	100	1,754	GP-1000 ¾
E2.1 R50	165	110	100	0,877	GP-1000 ½
E4.2 TCA	176	110	30	0,792	GP-1000 ½
E5.1 LAV	440	110	30	1,980	GP-1000 ¾
E5.2 LAV	440	110	30	1,980	GP-1000 ¾
E4.1.2 PIL	165	110	70	0,877	GP-1000 ½
E4.1.3 PIL	132	110	70	0,702	GP-1000 ½
E4.1.1 TAQ	88	110	30	0,396	GP-1000 ½
E4.4 MAN	154	110	100	0,819	GP-1000 ½
E4.3 CMC	88	110	40	0,409	GP-1000 ½
E1.1 AGL	660	110	90	3,509	GP-1000 1
E1.2 AGL	660	110	90	3,509	GP-1000 1

Microsoft WORD

Válvulas de seguridad

Las tuberías y los equipos del sistema de vapor pueden verse sometidos a presiones superiores a la de diseño, con el consiguiente riesgo de explosión. Esta situación puede causar graves consecuencias, tanto para las personas como para las instalaciones. Para prevenir este riesgo se instalan las válvulas de seguridad que permitan la descarga del vapor para aliviar el exceso de presión. Por esta razón, las válvulas de seguridad son dispositivos fundamentales para la seguridad y deben ser parte de la propuesta de diseño.

Al igual que las trampas de vapor y las válvulas reductoras de presión, se utiliza un mismo tipo de válvulas de seguridad para facilitar el mantenimiento y los repuestos. Se seleccionan las válvulas de acuerdo con la tabla del catálogo de Spirax-Sarco adjunto en el Anexo A5.

En la Tabla 11 se especifican las válvulas de seguridad seleccionadas para los diversos equipos

Tabla 11 Válvulas de seguridad

EQUIPO	Q_M (kg/h)	P_{tara} (bar)	VÁLVULA DE SEGURIDAD SPIRAX-SARCO
E2.4 PLA	50	8	SV615 AS conexión roscada BSPF de DN15
E2.5.1 MAR	120	8	SV615 AS conexión roscada BSPF de DN15
E2.5.2 MAR	60	8	SV615 AS conexión roscada BSPF de DN15
E2.6 MAR	80	8	SV615 AS conexión roscada BSPF de DN15
E2.7 JAR	100	8	SV615 AS conexión roscada BSPF de DN15
E2.8 FON	80	8	SV615 AS conexión roscada BSPF de DN15
E2.3.1 DER	30	8	SV615 AS conexión roscada BSPF de DN15
E2.3.2 DER	30	8	SV615 AS conexión roscada BSPF de DN15
E2.2.2 PLA	20	8	SV615 AS conexión roscada BSPF de DN15
E2.2.1 R4	20	8	SV615 AS conexión roscada BSPF de DN15
E6.2 PH1	20	8	SV615 AS conexión roscada BSPF de DN15
E6.3 PH2	20	8	SV615 AS conexión roscada BSPF de DN15
E3 HMG	30	8	SV615 AS conexión roscada BSPF de DN15
E6.1 HOZ	150	8	SV615 AS conexión roscada BSPF de DN15
E2.1 R50	75	8	SV615 AS conexión roscada BSPF de DN15
E4.2 TCA	80	8	SV615 AS conexión roscada BSPF de DN15
E5.1 LAV	200	8	SV615 AS conexión roscada BSPF de DN15
E5.2 LAV	200	8	SV615 AS conexión roscada BSPF de DN15
E4.1.2 PIL	75	8	SV615 AS conexión roscada BSPF de DN15
E4.1.3 PIL	60	8	SV615 AS conexión roscada BSPF de DN15
E4.1.1 TAQ	40	8	SV615 AS conexión roscada BSPF de DN15
E4.4 MAN	70	8	SV615 AS conexión roscada BSPF de DN15
E4.3 CMC	40	8	SV615 AS conexión roscada BSPF de DN15
E1.1 AGL	300	8	SV615 AS conexión roscada BSPF de DN15
E1.2 AGL	300	8	SV615 AS conexión roscada BSPF de DN15

Microsoft Word

Capítulo V: Oportunidades de ahorro de energía

Oportunidad de ahorro de energía en aislamiento de tuberías

La primera oportunidad de ahorro de energía que se propone es el aislamiento térmico de las tuberías de vapor y de retorno de condensado. Actualmente, la Compañía Nacional de Chocolates posee aislamiento en buena parte de la red de distribución de vapor sin embargo hay tramos que se encuentran sin aislar.

El aislamiento representa una oportunidad importante de ahorro de energía que se traduce en la reducción del costo de producción de vapor.

Para el diseño propuesto se calcula el ahorro económico gracias a la energía que se evita desperdiciar al utilizar aislamiento. Este análisis corresponde al aislamiento de la red de distribución de vapor solamente. Hay que recordar que para sistemas abiertos de retorno de condensado no se genera ahorro por aislamiento.

Se analiza el ahorro anual por concepto de aislamiento con cañuela de fibra de vidrio y recubierta de aluminio liso, como propuesta para este proyecto.

La Tabla 12 muestra el análisis del potencial de ahorro al cubrir las tuberías con aislamiento:

D (in)	L (ft)	A (ft ² /ft _L)	k (Btu in/hr ft ² °F)	f (Btu/ h ft ² °F)	Q _{aisl} (Btu/h ft ²)	R ₁ (in)	R _s (in)	E (Btu/año)	U (Btu h ft ² °F)	Q _{des} (Btu/ h ft ²)	E (btu/año)	Ahorro (¢)
3	160,23	0,917	0,305	1,65	27,03	1,750	3,750	7,65 e6	3,30	929,1	1,34 e8	2 456 980
2	382,09	0,622	0,305	1,65	29,95	1,188	3,188	1,43 e7	3,39	647,3	2,23 e8	4 051 408
1 ½	185,56	0,438	0,305	1,65	31,99	0,950	2,450	6,85 e6	3,44	462,6	7,72 e7	1 369 287
1	260,20	0,344	0,305	1,65	29,54	0,658	2,158	7,81 e6	3,53	372,8	8,73 e7	1 583 349
¾	103,32	0,275	0,305	1,65	28,04	0,525	2,025	2,74 e6	3,59	303,1	2,79 e7	501 438
½	76,210	0,220	0,305	1,65	40,09	0,420	1,420	2,04 e6	3,65	246,5	1,69 e7	296 063
											Ahorro anual (¢)	10 258 556
											Ahorro anual (\$)	18 823

Microsoft Word

Tabla 12 Análisis de utilización de aislamiento y ahorro estimado

Oportunidad de ahorro de energía por caldera de mayor eficiencia

Como se propuso en el capítulo de selección de caldera, existen opciones con las que se puede aumentar la eficiencia térmica al reemplazar la caldera. Mejorar la eficiencia térmica provoca la reducción del costo para producir el vapor, entonces hay menor consumo de combustible. Como la empresa tiene contemplado el cambio de caldera, se analiza los potenciales de ahorro en dos de las opciones.

Primera opción: Caldera de GLP de alta eficiencia, tecnología alemana.

	Caldera actual	Caldera BOSCH
Eficiencia caldera	0,65	0,93
Energía suministrada (MJ)	542 600	542 600
Energía aprovechada (MJ)	352 690	504 618
Combustible necesario (kg)	11 304	8 139
Costo por combustible (\$)	10 738	7732
Ahorro mensual (\$/mes)	3 006	
Ahorro anual (\$/año)	36 072	

Segunda opción: Caldera de biomasa, combustible económico

	Caldera actual	Caldera biomasa
Poder calorífico (MJ/kg)	48	18
Consumo Energía promedio mensual (MJ)	542 600	542 600
Consumo Combustible promedio mensual (kg)	11 304	30 144
Costo combustible (\$/Ton)	0,95	0,28
Consumo Combustible promedio mensual (\$)	10 739	8 440
Ahorro mensual (\$/mes)	2 299	
Ahorro anual (\$/año)	27 588	

Recomendaciones de oportunidades de ahorro de energía

Se mencionan otras oportunidades a manera de recomendación.

- Recuperación de condensado de los equipos de aglomerado. Actualmente no se puede retornar este condensado pues sale a una presión muy baja y las trampas no logran enviarlo a la tubería de retorno. Para evitar el desperdicio de este condensado que hoy en día se descarta en el desagüe, una recomendación sería la instalación de una bomba eléctrica para llevar esta masa de agua a la tubería más cercana. Sin embargo, la inversión es alta para la cantidad de condensado, tomando en cuenta que este tipo de bombas requiere mantenimiento en los sellos aproximadamente cada dos años.

La otra opción que se propone es la instalación de una bomba mecánica o trampa-bomba. Este tipo de bomba funciona con vapor o aire comprimido como suministro del medio motriz e implica mucho menor mantenimiento. Requiere un pequeño receptor.

Para justificar la inversión de esta instalación se puede idear un circuito con los condensados más cercanos (moldeado y parte de coberturas) y descargarlos al tanque receptor para luego retornarlos a la línea de recuperación con la bomba mecánica. Así se justificaría la inversión, pues no es solo el condensado que se recuperaría en la zona de aglomerados sino también en los alrededores.

- Otra recomendación que se brinda es disminuir la presión de trabajo de la caldera en aproximadamente un 1 bar; ello, con el fin de disminuir las posibles fugas y además consumir una menor cantidad de combustible. El equipo crítico no se vería afectado y las dimensiones de las tuberías de distribución de vapor son compatibles con la nueva presión.
- Una recomendación importante es revisar las chaquetas de los equipos a los que se le inyecta vapor al agua contenida en éstas. Esto, porque siempre que hay agua caliente se debe considerar el efecto de la dureza del agua que incrusta los materiales. Según operarios que llevan muchos años en la empresa, esta labor de mantenimiento nunca se ha aplicado. La incrustación afecta la transferencia de calor pues se convierte en material aislante y se deberá utilizar más energía para lograr las temperaturas deseadas. Esta situación implica un gasto mayor de combustible para generar el vapor que permite calentar los equipos.

Plan de ejecución

Para el proyecto propuesto en este informe se analiza la selección de la caldera, pues se reemplazará por alguna de las opciones. Para la sustitución de la caldera no se pretende afectar la producción ya que se instalaría y se conectaría a la red actual. Con respecto al nuevo diseño de la tubería de distribución y de condensado, la empresa analizará el cambio y de ser así, se trabajaría en la nueva red de tuberías de forma paralela, sin detener el uso de la red antigua, hasta que la nueva red esté lista solo para conectar, por lo que no se pretende afectar significativamente la producción.

Conclusiones

A lo largo de esta práctica profesional de especialidad se elabora un nuevo diseño de la distribución de vapor de la Compañía Nacional de Chocolates, DCR S.A. de acuerdo con los requerimientos actuales de los equipos.

Para el nuevo diseño se estimaron los consumos de vapor de cada uno de los equipos del sistema de vapor. Respecto a la metodología de análisis para los distintos problemas que se presentaban a fin de estimar el consumo de vapor de los equipos, se destaca el uso de los métodos más prácticos para poder aforar estos consumos, ya que no se contaba con un medidor directo de flujo de vapor. De esta manera se cuantifica la demanda total de la empresa de manera indirecta. Además se recopila la información acerca de las presiones de trabajo de cada equipo.

Con dicha información, se determina el equipo que representa el consumo crítico de vapor del sistema, tanto por caudal másico como presión de trabajo. Es clave establecer el equipo crítico porque brinda los parámetros para diseñar el nuevo sistema de vapor.

Se dimensiona la caldera con la capacidad de suplir la demanda, según el análisis del factor de uso de los equipos y otros factores importantes, como el factor de evaporización, factor de pérdida por radiación, etc. También se dimensiona según la presión crítica de trabajo y el caudal crítico requerido.

Se seleccionaron tres opciones de calderas de acuerdo con los intereses de la Compañía para el respectivo análisis de inversión. De estas opciones, una es el reemplazo de la caldera actual por una nueva de la misma marca y capacidad. Otra opción es una caldera innovadora de biomasa con *pellets* de madera, con la característica que el uso de este combustible implica el retiro de varias toneladas de CO₂.

Finalmente, la tercera opción es una caldera de alta eficiencia de tecnología

alemana que permite alcanzar eficiencias muy altas, cercanas a 95%, gracias a los dispositivos que aprovechan de manera eficaz el calor generado en la combustión.

En el plano de planta se diseña la red de tuberías para la distribución de vapor. Con el nuevo diseño se optimizaron las longitudes y se calcularon los diámetros de cada uno de los tramos con un software especializado de dimensionamiento. Se modificaron los ramales para balancear la distribución de acuerdo al consumo de equipos. Asimismo se recomienda el aislamiento para dichas tuberías de distribución de vapor.

Con la información obtenida se dimensionaron y seleccionaron las válvulas reguladoras de presión para los equipos. Se concluye que lo recomendable es manejar un mismo tipo de válvula; esto, por razones de mantenimiento y repuestos. De igual manera, la regulación en los equipos es muy similar y el tipo de válvula reguladora satisface los requerimientos respectivos. Se elige las válvulas de seguridad, las cuales se recomiendan para todos los equipos. Se escoge un mismo también un mismo tipo.

Se diseña una nueva red de retorno de condensado donde se busca optimizar las longitudes, al relacionar este diseño con la nueva red de distribución de vapor propuesta. Además se recalca la importancia de las piernas colectoras de condensado, las cuales no están presentes en el sistema actual y se proponen dónde ubicarlas en el nuevo sistema de vapor. Se seleccionan las trampas de vapor para los equipos. Se determina un mismo tipo de trampa de acuerdo con las aplicaciones y con el fin de facilitar el mantenimiento e inventario de repuestos. Se destaca que la empresa ya cuenta con varias de estas trampas que se pueden utilizar en el nuevo diseño propuesto.

Finalmente, en el último apartado del desarrollo de este proyecto se presentaron algunas importantes oportunidades de ahorro de energía que impactarían las finanzas de la empresa. Se brinda un análisis acerca del ahorro que representan las calderas de biomasa y de alta eficiencia por concepto de combustible. Y se ofrece

recomendaciones técnicas que igualmente pueden traducirse en ahorro de energía u optimización de ella.

Bibliografía

ITT Bell & Gosset. (1997). System Syzer Version 3.0.

(2001). *Reglamento de Calderas*. San José.

Selmec. *Manual Selmec de Calderas*.

Spirax-Sarco . (s.f.) *Distribución del vapor-Guía de referencia técnica*.

Spirax-Sarco. (27 de 02 de 2007). *Drain Pocket Trap Set (Balanced Pressure Trap) : Clipart Drawing*. Recuperado el 02 de 06 de 2013, de http://www.spiraxsarco.com/resources/cad/applications/steam-trapping/preview/steam-mains-drainage.asp?drawing_id=65&preview=clipart

Vargas, J. R. *Transferencia de calor y aislamientos*. Cartago.

Basto, O. (s.f.). "Manual didáctico de sistemas de vapor" Manuscrito no publicado.

Anexos

A1. Factor de evaporización

FACTOR DE EVAPORACION

Factor de evaporación es la relación que existe entre la evaporación nominal, desde y a 100°C (desde y a 212°F) y la evaporación real bajo las condiciones efectivas de trabajo de la caldera.

$$\text{Factor de Evaporación} = \frac{\text{Evaporación Nominal}}{\text{Evaporación Real}}$$

Un caballo caldera según A.S.M.E. es la evaporación de 15.65 Kg/hr. (34.5 Lbs/hr) partiendo de agua a 100°C (212°F) hasta vapor de 100°C (212°F).

Temperatura del agua de alimentación		Presión Kg/cm. ² Lbs/pulg. ²														
		0.35	0.70	1.41	3.52	4.92	6.33	7.03	7.73	9.14	10.5	12.0	13.4	14.1	15.8	17.6
°C	°F	5	10	20	50	70	90	100	110	130	150	170	190	200	225	250
0.0	32	1.19	1.19	1.20	1.214	1.219	1.223	1.225	1.226	1.229	1.231	1.233	1.235	1.236	1.237	1.239
4.4	40	1.18	1.18	1.15	1.206	1.211	1.215	1.217	1.218	1.221	1.223	1.225	1.227	1.227	1.229	1.231
10.0	50	1.17	1.17	1.18	1.196	1.201	1.205	1.206	1.208	1.211	1.213	1.215	1.216	1.217	1.219	1.220
15.6	60	1.16	1.16	1.17	1.185	1.190	1.194	1.196	1.198	1.200	1.202	1.204	1.206	1.207	1.209	1.210
21.1	70	1.15	1.15	1.16	1.175	1.180	1.184	1.186	1.187	1.190	1.192	1.194	1.196	1.196	1.198	1.200
26.7	80	1.14	1.14	1.15	1.162	1.170	1.174	1.176	1.177	1.180	1.182	1.184	1.185	1.186	1.188	1.189
32.2	90	1.13	1.13	1.14	1.154	1.160	1.164	1.165	1.167	1.170	1.172	1.173	1.175	1.176	1.178	1.179
37.8	100	1.12	1.12	1.13	1.144	1.149	1.153	1.155	1.156	1.159	1.161	1.163	1.165	1.166	1.167	1.169
43	110	1.11	1.11	1.12	1.134	1.139	1.143	1.145	1.146	1.149	1.151	1.153	1.155	1.155	1.157	1.159
49	120	1.10	1.10	1.11	1.124	1.129	1.133	1.134	1.136	1.139	1.141	1.143	1.144	1.145	1.147	1.148
54	130	1.09	1.09	1.10	1.113	1.118	1.123	1.124	1.126	1.128	1.130	1.132	1.134	1.135	1.137	1.138
60	140	1.08	1.08	1.09	1.103	1.108	1.112	1.114	1.115	1.118	1.120	1.122	1.124	1.125	1.126	1.128
66	150	1.07	1.08	1.08	1.093	1.098	1.102	1.104	1.105	1.108	1.110	1.112	1.114	1.114	1.116	1.118
71	160	1.06	1.07	1.07	1.082	1.088	1.092	1.093	1.095	1.097	1.100	1.102	1.103	1.104	1.106	1.107
77	170	1.05	1.05	1.06	1.072	1.077	1.081	1.083	1.084	1.087	1.089	1.091	1.093	1.094	1.095	1.097
82	180	1.04	1.04	1.05	1.062	1.067	1.071	1.073	1.074	1.077	1.079	1.081	1.083	1.083	1.085	1.087
88	190	1.03	1.03	1.04	1.052	1.057	1.061	1.062	1.064	1.066	1.069	1.071	1.072	1.073	1.075	1.076
93	200	1.02	1.02	1.03	1.041	1.047	1.050	1.052	1.053	1.056	1.058	1.060	1.062	1.063	1.064	1.066
99	210	1.01	1.01	1.02	1.031	1.036	1.040	1.042	1.043	1.046	1.048	1.050	1.052	1.052	1.054	1.056

Ejemplo:

Si usted requiere 9100 Kg./hr. (20000 Lbs./hr.) efectivos de vapor, trabajando a 9.14 Kg/cm². (130 Lbs/pulg.²) de presión, y alimentará su caldera con agua de 60°C (140°F) su factor de evaporación (según tabla) será F = 1.118. Por lo tanto, usted requerirá una caldera con capacidad nominal de:

$$9100 \text{ Kg./hr.} \times 1.118 = 10174 \text{ Kg./hr.}$$

$$20000 \text{ Lbs./hr} \times 1.118 = 22360 \text{ Lbs./hr.}$$

O sea también:

$$\frac{10174 \text{ Kg./hr.}}{15.65 \text{ Kg/hr.}} = 650 \text{ Caballos Caldera}$$

$$\frac{22360 \text{ Lbs./hr.}}{34.5 \text{ Lbs/hr.}} = 650 \text{ Caballos Caldera}$$

La diferencia en la utilización de presión absoluta y presión manométrica, es despreciable para fines prácticos en el uso de estas tablas.

A2. Literatura Técnica GLP

2.1 Características físicas y energéticas del GLP

Al igual que otros combustibles, la capacidad energética del GLP se establece con base en la energía térmica contenida por unidad de volumen. En este caso el poder calórico, o calorífico superior (PCS) representa toda la energía química disponible contenida en el producto y se obtiene con los productos de la combustión a 25°C de temperatura y una presión de 760 mm de mercurio.

**CUADRO 2.1
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y ENERGÉTICAS DEL GLP**

Gas	Punto de ebullición °C	Densidad (del líquido respecto al agua)	Poder calórico superior		Densidad respecto al aire
			kcal/kg	kcal/m ³	
Propano	-42	0.563	12,330	22,997	1.52
Butano	0	0.601	12,140	29,861	2.00

Fuente: La Industria del Gas, Aspectos Técnicos. Carlos Suárez. Instituto de Economía Energética

Como se puede observar en el Cuadro 2.1 la densidad del GLP respecto del aire es mayor y por lo tanto más pesado, teniendo como consecuencia que en caso de derrame el gas tiende a bajar y luego a dispersarse.

Debido a que a presiones ambientales el GLP tiene un contenido calórico (energía) muy bajo en relación al volumen que ocupa, se comprime para que sea práctico y económico utilizarlo.

En su estado líquido, el volumen del GLP se reduce en forma significativa, aproximadamente 240 veces en el caso del butano y 270 en el caso del propano. Es por esta razón que el transporte y el almacenamiento es más caro que el de los demás hidrocarburos líquidos derivados del petróleo (gasolina, diesel, etc.), al tener que mantener una presión elevada, los sistemas de seguridad son mayores y el espesor de las paredes de los tanques contenedores es mucho mayor.

A3. Propuesta Caldera EcoSolutions



VENTA DEL EQUIPO

Precio: proyecto "llave en mano", incluye diseño, equipo, transporte, impuestos, instalación, puesta en marcha, capacitación y seguimiento por 3 meses.

Solución	Unidades	Ahorro(\$US)	Precio(\$US)	ROI	Garantía
Caldera de Biomasa 100 Bhp	1	\$47.710,21	\$146,280,00	3.06 años	2 años

Instalación y puesta en marcha:

Una vez aprobado el proyecto el cliente recibirá un cronograma detallado de la implementación de dicho proyecto.

Precio Materia Prima:

El precio será revisado anualmente cada Diciembre, el cual se incrementará en un 5% anual. Este aumento surtirá efecto en el mes de Enero.

Emisiones de Gases:

Se realizará la instalación de un sistema de ciclones para la precipitación de partículas de ceniza en un recipiente. Este ciclón garantiza la una emisión menor de 150 ppm que es lo se requiere para los permisos de funcionamiento.

Desglose y oferta económica:

Cantidad	Rubro	Inversión
1	Caldera Biomasa 100 hp	
1	Silo Almacenamiento	
1	Transporte	
1	Instalación Permisos y Puesta en Marcha	
1	Obra Civil	
1	Ciclón	
1	Cuerpo Caldera York Shipley 100 hp	\$ 35,280.00
1	Cuerpo Reconstruido Caldera 100 hp	\$ (13,500.00)
Inversión total		\$ 146,280.00
	Impuesto de Ventas 13%	\$ 19,016.40
TOTAL		\$ 165,296.40

Nota: Se estima 20% sobre costo exworks de la caldera para costos de transporte e importación

A4. Dimensionamiento de tramos secundarios

- Tramo AB-1

Calculation	Sizing on Velocity	
Target Upstream Velocity	60	ft/s
Upstream Pressure	90	psi gauge
Mass Flow Rate	300	kg/h
Equivalent Pipe Length	11	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	39.2093	mm
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	1 1/2	in
Upstream Velocity	55.0343	ft/s
Downstream Pressure	89.5544	psi gauge
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	1 1/4	in
Upstream Velocity	74.9566	ft/s
Downstream Pressure	89.0350	psi gauge

Spirax-Sarco software

- Tramo AB-2

Calculation	Sizing on Velocity	
Target Upstream Velocity	60	ft/s
Upstream Pressure	90	psi gauge
Mass Flow Rate	300	kg/h
Equivalent Pipe Length	11	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	39.2093	mm
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	1 1/2	in
Upstream Velocity	55.0343	ft/s
Downstream Pressure	89.5544	psi gauge
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	1 1/4	in
Upstream Velocity	74.9566	ft/s
Downstream Pressure	89.0350	psi gauge

Spirax-Sarco software

Tramo AC-1

Calculation	Sizing on Velocity	
Target Upstream Velocity	60	ft/s
Upstream Pressure	110	psi gauge
Mass Flow Rate	365	kg/h
Equivalent Pipe Length	28	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	39.8060	mm
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	1 1/2	in
Upstream Velocity	56.7220	ft/s
Downstream Pressure	108.611	psi gauge
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	1 1/4	in
Upstream Velocity	77.2553	ft/s
Downstream Pressure	106.980	psi gauge

Spirax-Sarco software

- Tramo AD-1

Calculation	Sizing on Velocity	
Target Upstream Velocity	80	ft/s
Upstream Pressure	100	psi gauge
Mass Flow Rate	230	kg/h
Equivalent Pipe Length	32	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	28.4734	mm
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	1 1/4	in
Upstream Velocity	52.7046	ft/s
Downstream Pressure	98.4216	psi gauge
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	1	in
Upstream Velocity	91.3902	ft/s
Downstream Pressure	93.6477	psi gauge

Spirax-Sarco software

- Tramo AD-4

Calculation	Sizing on Velocity	
Target Upstream Velocity	80	ft/s
Upstream Pressure	100	psi gauge
Mass Flow Rate	175	kg/h
Equivalent Pipe Length	20	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	24.8367	mm
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	1	in
Upstream Velocity	69.5360	ft/s
Downstream Pressure	97.6469	psi gauge
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	3/4	in
Upstream Velocity	112.330	ft/s
Downstream Pressure	92.0348	psi gauge

Spirax-Sarco software

- Tramo AC-2

Calculation	Sizing on Velocity	
Target Upstream Velocity	60	ft/s
Upstream Pressure	30	psi gauge
Mass Flow Rate	50	kg/h
Equivalent Pipe Length	4	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	23.9013	mm
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	1	in
Upstream Velocity	48.2978	ft/s
Downstream Pressure	29.8892	psi gauge
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	3/4	in
Upstream Velocity	78.0212	ft/s
Downstream Pressure	29.6327	psi gauge

Spirax-Sarco software

- Tramo AC-3

Calculation	Sizing on Velocity	
Target Upstream Velocity	80	ft/s
Upstream Pressure	50	psi gauge
Mass Flow Rate	120	kg/h
Equivalent Pipe Length	4	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	26.9536	mm
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	1 1/4	in
Upstream Velocity	47.2286	ft/s
Downstream Pressure	49.8995	psi gauge
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	1	in
Upstream Velocity	81.8947	ft/s
Downstream Pressure	49.6026	psi gauge

Spirax-Sarco software

- Tramo AC-4

Calculation	Sizing on Velocity	
Target Upstream Velocity	80	ft/s
Upstream Pressure	50	psi gauge
Mass Flow Rate	60	kg/h
Equivalent Pipe Length	4	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	19.0591	mm
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	3/4	in
Upstream Velocity	66.1472	ft/s
Downstream Pressure	49.6364	psi gauge
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	1/2	in
Upstream Velocity	116.999	ft/s
Downstream Pressure	48.4798	psi gauge

Spirax-Sarco software

- Tramo AC-5

Calculation	Sizing on Velocity	
Target Upstream Velocity	80	ft/s
Upstream Pressure	50	psi gauge
Mass Flow Rate	80	kg/h
Equivalent Pipe Length	4	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	22.0075	mm
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	1	in
Upstream Velocity	54.5965	ft/s
Downstream Pressure	49.8128	psi gauge
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	3/4	in
Upstream Velocity	88.1963	ft/s
Downstream Pressure	49.3791	psi gauge

Spirax-Sarco software

- Tramo AC-6

Calculation	Sizing on Velocity	
Target Upstream Velocity	80	ft/s
Upstream Pressure	50	psi gauge
Mass Flow Rate	100	kg/h
Equivalent Pipe Length	4	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	24.6052	mm
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	1	in
Upstream Velocity	68.2456	ft/s
Downstream Pressure	49.7168	psi gauge
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	3/4	in
Upstream Velocity	110.245	ft/s
Downstream Pressure	49.0590	psi gauge

Spirax-Sarco software

- Tramo AC-7

Calculation	Sizing on Velocity	
Target Upstream Velocity	80	ft/s
Upstream Pressure	100	psi gauge
Mass Flow Rate	80	kg/h
Equivalent Pipe Length	4	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	16.7927	mm
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	3/4	in
Upstream Velocity	51.3508	ft/s
Downstream Pressure	99.6381	psi gauge
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	1/2	in
Upstream Velocity	90.8276	ft/s
Downstream Pressure	98.4929	psi gauge

Spirax-Sarco software

- Tramo AC-1.1

Calculation	Sizing on Velocity	
Target Upstream Velocity	80	ft/s
Upstream Pressure	30	psi gauge
Mass Flow Rate	30	kg/h
Equivalent Pipe Length	4	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	16.0335	mm
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	3/4	in
Upstream Velocity	46.8127	ft/s
Downstream Pressure	29.8578	psi gauge
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	1/2	in
Upstream Velocity	82.8007	ft/s
Downstream Pressure	29.4077	psi gauge

Spirax-Sarco software

- Tramo AC-1.2

Calculation	Sizing on Velocity	
Target Upstream Velocity	80	ft/s
Upstream Pressure	30	psi gauge
Mass Flow Rate	30	kg/h
Equivalent Pipe Length	4	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	16.0335	mm
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	3/4	in
Upstream Velocity	46.8127	ft/s
Downstream Pressure	29.8578	psi gauge
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	1/2	in
Upstream Velocity	82.8007	ft/s
Downstream Pressure	29.4077	psi gauge

Spirax-Sarco software

- Tramo AC-1.3

Calculation	Sizing on Velocity	
Target Upstream Velocity	60	ft/s
Upstream Pressure	30	psi gauge
Mass Flow Rate	20	kg/h
Equivalent Pipe Length	4	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	15.1165	mm
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	1/2	in
Upstream Velocity	55.2005	ft/s
Downstream Pressure	29.7215	psi gauge
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	3/8	in
Upstream Velocity	88.0291	ft/s
Downstream Pressure	29.1025	psi gauge

Spirax-Sarco software

- Tramo AC-1.4

Calculation	Sizing on Velocity	
Target Upstream Velocity	60	ft/s
Upstream Pressure	50	psi gauge
Mass Flow Rate	20	kg/h
Equivalent Pipe Length	4	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	12.7061	mm
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	1/2	in
Upstream Velocity	38.9996	ft/s
Downstream Pressure	49.8034	psi gauge
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	3/8	in
Upstream Velocity	62.1933	ft/s
Downstream Pressure	49.3685	psi gauge

Spirax-Sarco software

- Tramo AC-1.5

Calculation	Sizing on Velocity	
Target Upstream Velocity	60	ft/s
Upstream Pressure	30	psi gauge
Mass Flow Rate	20	kg/h
Equivalent Pipe Length	4	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	15.1165	mm
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	1/2	in
Upstream Velocity	55.2005	ft/s
Downstream Pressure	29.7215	psi gauge
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	3/8	in
Upstream Velocity	88.0291	ft/s
Downstream Pressure	29.1025	psi gauge

Spirax-Sarco software

- Tramo AC-1.6

Calculation	Sizing on Velocity	
Target Upstream Velocity	60	ft/s
Upstream Pressure	30	psi gauge
Mass Flow Rate	20	kg/h
Equivalent Pipe Length	4	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	15.1165	mm
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	1/2	in
Upstream Velocity	55.2005	ft/s
Downstream Pressure	29.7215	psi gauge
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	3/8	in
Upstream Velocity	88.0291	ft/s
Downstream Pressure	29.1025	psi gauge

Spirax-Sarco software

- Tramo AC-1.7

Calculation	Sizing on Velocity	
Target Upstream Velocity	60	ft/s
Upstream Pressure	50	psi gauge
Mass Flow Rate	100	kg/h
Equivalent Pipe Length	4	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	28.4116	mm
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	1 1/4	in
Upstream Velocity	39.3572	ft/s
Downstream Pressure	49.9283	psi gauge
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	1	in
Upstream Velocity	68.2456	ft/s
Downstream Pressure	49.7168	psi gauge

Spirax-Sarco software

- Tramo AC-1.8

Calculation	Sizing on Velocity	
Target Upstream Velocity	60	ft/s
Upstream Pressure	50	psi gauge
Mass Flow Rate	75	kg/h
Equivalent Pipe Length	4	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	24.6052	mm
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	1	in
Upstream Velocity	51.1842	ft/s
Downstream Pressure	49.8339	psi gauge
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	3/4	in
Upstream Velocity	82.6840	ft/s
Downstream Pressure	49.4494	psi gauge

Spirax-Sarco software

- Tramo AC-1.9

Calculation	Sizing on Velocity	
Target Upstream Velocity	60	ft/s
Upstream Pressure	50	psi gauge
Mass Flow Rate	75	kg/h
Equivalent Pipe Length	4	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	24.6052	mm
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	1	in
Upstream Velocity	51.1842	ft/s
Downstream Pressure	49.8339	psi gauge
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	3/4	in
Upstream Velocity	82.6840	ft/s
Downstream Pressure	49.4494	psi gauge

Spirax-Sarco software

- Tramo AD-2

Calculation	Sizing on Velocity ▼	
Target Upstream Velocity	80	ft/s ▼
Upstream Pressure	30	psi gauge ▼
Mass Flow Rate	200	kg/h ▼
Equivalent Pipe Length	4	m ▼
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40 ▼	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	41.3983	mm ▼
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	2	in ▼
Upstream Velocity	49.7815	ft/s ▼
Downstream Pressure	29.9509	psi gauge ▼
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	1 1/2	in ▼
Upstream Velocity	81.8012	ft/s ▼
Downstream Pressure	29.8303	psi gauge ▼

Spirax-Sarco software

- Tramo AD-3

Calculation	Sizing on Velocity ▼	
Target Upstream Velocity	80	ft/s ▼
Upstream Pressure	30	psi gauge ▼
Mass Flow Rate	200	kg/h ▼
Equivalent Pipe Length	4	m ▼
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40 ▼	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	41.3983	mm ▼
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	2	in ▼
Upstream Velocity	49.7815	ft/s ▼
Downstream Pressure	29.9509	psi gauge ▼
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	1 1/2	in ▼
Upstream Velocity	81.8012	ft/s ▼
Downstream Pressure	29.8303	psi gauge ▼

Spirax-Sarco software

- Tramo AD-4.1

Calculation	Sizing on Velocity	
Target Upstream Velocity	60	ft/s
Upstream Pressure	70	psi gauge
Mass Flow Rate	60	kg/h
Equivalent Pipe Length	4	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	19.3839	mm
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	3/4	in
Upstream Velocity	51.3156	ft/s
Downstream Pressure	69.7178	psi gauge
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	1/2	in
Upstream Velocity	90.7652	ft/s
Downstream Pressure	68.8244	psi gauge

Spirax-Sarco software

- Tramo AD-4.2

Calculation	Sizing on Velocity	
Target Upstream Velocity	60	ft/s
Upstream Pressure	70	psi gauge
Mass Flow Rate	75	kg/h
Equivalent Pipe Length	4	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	21.6718	mm
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	1	in
Upstream Velocity	39.7076	ft/s
Downstream Pressure	69.8711	psi gauge
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	3/4	in
Upstream Velocity	64.1445	ft/s
Downstream Pressure	69.5730	psi gauge

Spirax-Sarco software

- Tramo AD-4.3

Calculation	Sizing on Velocity	
Target Upstream Velocity	60	ft/s
Upstream Pressure	30	psi gauge
Mass Flow Rate	40	kg/h
Equivalent Pipe Length	4	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	21.3780	mm
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	1	in
Upstream Velocity	38.6382	ft/s
Downstream Pressure	29.9268	psi gauge
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	3/4	in
Upstream Velocity	62.4170	ft/s
Downstream Pressure	29.7574	psi gauge

Spirax-Sarco software

- Tramo AD-1.1

Calculation	Sizing on Velocity	
Target Upstream Velocity	60	ft/s
Upstream Pressure	30	psi gauge
Mass Flow Rate	80	kg/h
Equivalent Pipe Length	2	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	30.2331	mm
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	1 1/4	in
Upstream Velocity	44.5652	ft/s
Downstream Pressure	29.9665	psi gauge
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	1	in
Upstream Velocity	77.2764	ft/s
Downstream Pressure	29.8676	psi gauge

Spirax-Sarco software

- Tramo AD-1.2

Calculation	Sizing on Velocity	
Target Upstream Velocity	60	ft/s
Upstream Pressure	100	psi gauge
Mass Flow Rate	70	kg/h
Equivalent Pipe Length	6	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	18.1382	mm
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	3/4	in
Upstream Velocity	44.9320	ft/s
Downstream Pressure	99.5761	psi gauge
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	1/2	in
Upstream Velocity	79.4741	ft/s
Downstream Pressure	98.2329	psi gauge

Spirax-Sarco software

- Tramo AD-1.3

Calculation	Sizing on Velocity	
Target Upstream Velocity	60	ft/s
Upstream Pressure	40	psi gauge
Mass Flow Rate	40	kg/h
Equivalent Pipe Length	6	m
Pipe Standard and Schedule	ANSI - Schedule 40	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Print"/>		
Theoretical Pipe Bore	19.4450	mm
Closest Larger Available Pipe		
Nominal Bore	3/4	in
Upstream Velocity	51.6399	ft/s
Downstream Pressure	39.6988	psi gauge
Closest Smaller Available Pipe		
Nominal Bore	1/2	in
Upstream Velocity	91.3388	ft/s
Downstream Pressure	38.7412	psi gauge

Spirax-Sarco software

A5. Catálogo válvulas de seguridad

Tabla 1 - SV615 Capacidades de descarga de vapor saturado en kilos por hora (kg/h)

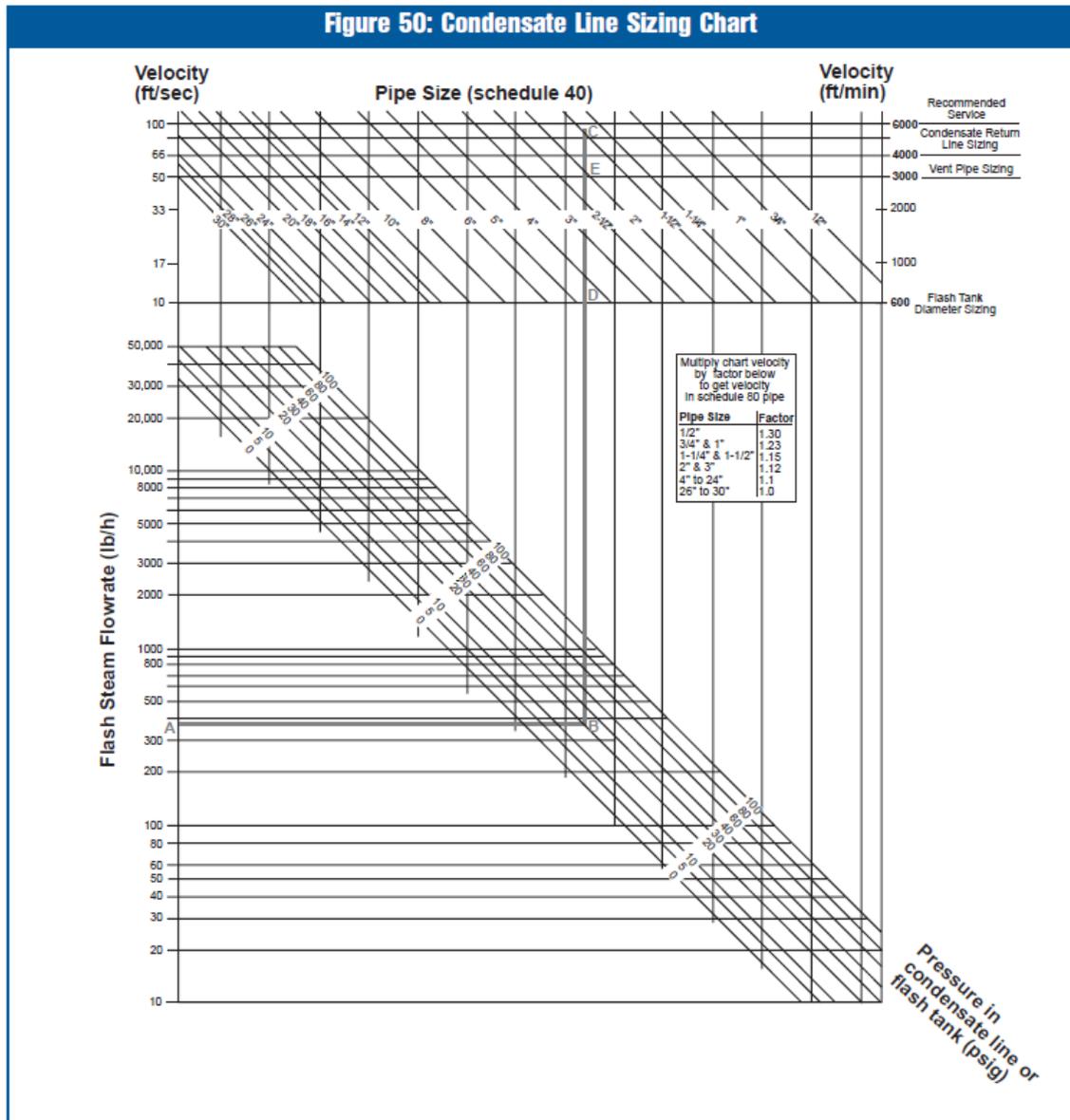
(calculado de acuerdo con EN ISO 4126:2004 en una acumulación del 5%)

Coefficiente reducido de descarga (Kdr) = 0,71

Tamaño válvula DN	15/20	20/32	25/40	32/50	40/65	50/80
Área (mm ²)	113	314	452	661	1075	1662

Presión de tara (bar r)	Capacidades de descarga de vapor kg/h					
	0,5	71	198	285	417	678
1,0	95	263	379	554	901	1393
1,5	118	328	472	690	1122	1734
2,0	141	392	564	824	1341	2073
2,5	164	455	655	959	1559	2410
3,0	187	519	747	1092	1776	2746
3,5	209	582	838	1225	1993	3081
4,0	232	645	929	1358	2208	3414
4,5	255	708	1019	1490	2424	3747
5,0	277	771	1109	1622	2638	4079
5,5	300	833	1199	1754	2853	4410
6,0	322	896	1289	1886	3067	4741
6,5	345	958	1379	2017	3280	5071
7,0	367	1020	1469	2148	3494	5401
7,5	390	1083	1559	2279	3707	5731
8,0	412	1145	1648	2410	3920	6060
8,5	434	1207	1737	2541	4132	6389
9,0	457	1269	1827	2672	4345	6717
9,5	479	1331	1916	2802	4557	7046
10,0	501	1393	2005	2933	4769	7374
11,0	546	1517	2184	3194	5194	8030
12,0	591	1641	2362	3454	5618	8685
13,0	635	1765	2540	3715	6042	9340
14,0	680	1888	2718	3975	-	-
15,0	724	2012	2897	4236	-	-
16,0	769	2136	3075	4496	-	-
17,0	813	2260	3253	4757	-	-
18,0	858	2384	3431	5018	-	-

A6. Gráfica para dimensionar tubería de condensado



A7. Estimación de pérdidas de calor por radiación y convección.



ESTIMACION DE PERDIDAS DE CALOR
POR RADIACION, CONVECCION Y
VARIAS AL 100% DE CAPACIDAD

Tamaño de la caldera (CC)	% Pérdidas
50	3.0
60	2.5
70	2.5
80	2.3
100	2.0
125	2.5
150	2.0
200	1.5
250	2.3
300	1.8
350	1.3
400	2.0
500	1.8
600	1.3

Apéndices

Se adjuntan planos en el archivo del informe