

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Electromecánica



**Proyecto de Graduación para optar por el título de Licenciatura en Ingeniería en
Mantenimiento Industrial**

Anteproyecto:

**Diagnóstico y propuestas de oportunidades de conservación de la energía en
Coopemontecillos R. L., Alajuela**

Realizado por:

Antonio Sánchez Lobo

Asesor de práctica:

Ing. Gilberth Bonilla Castillo

Coordinador de práctica:

Ing. Ignacio Del Valle Granados

II Semestre, 2020



Carrera acreditada por CEAB

Canadian Engineering Accreditation Board

Bureau canadien d'accréditation des programmes d'ingénierie

Datos personales

Nombre completo: Antonio Sánchez Lobo

Número de cédula: 6 0446 0674

Número de carné: 2016108963

Edad: 22

Números de teléfono: 6146 5957; 2775 0393

Correos electrónicos: antosan1997@gmail.com

Dirección exacta de domicilio: Detrás de la lavandería del Hospital de Golfito. Golfito, Puntarenas.

Datos de la empresa

Nombre: Coopemontecillos R. L.

Actividad Principal: Procesado y Venta de Productos Cárnicos

Dirección: Alajuela, San Antonio, barrio Montecillos

Contacto: Ing. Esteban Salas | esteban.salas@montecillos.com

Teléfono: (506) 2437-1422

Carta de aceptación de la empresa



Alajuela, 21 de enero del 2021

Señor
Ing. Ignacio del Valle Granados
Coordinador de Práctica Profesional
Ingeniería en Mantenimiento Industrial
Tecnológico de Costa Rica

Estimado Señor:

Por este medio doy fe que **Antonio Sánchez Lobo**, cédula 6-0446-0674 y carné 2016018963, fue aceptado por **Coopmontecillos R.L** para realizar su proyecto de graduación titulado **"Diagnóstico y Propuestas de Oportunidades de Conservación de la Energía en Coopmontecillos R.L, Alajuela"**, dicho proyecto fue debidamente presentado al Departamento de Ingeniería y Mantenimiento, fue de gran relevancia para la empresa.

Se le otorgó una nota de 100 al proyecto presentado por Antonio, la cual refleja nuestra satisfacción con el trabajo realizado. También le hacemos saber que permitimos la divulgación de dicho proyecto.

Confío que esta carta sea de utilidad para la coordinación de práctica profesional de la Escuela de Ingeniería Electromecánica del Tecnológico de Costa Rica. También le agradecemos el trabajo realizado tanto a la institución como al estudiante en este periodo.

Atentamente,

Ing. Esteban Salas Villalobos
Supervisor de Facilidades
Departamento Ingeniería y Mantenimiento
Coopmontecillos R.L

Cooperativa Maderera Nacional de Montecillos R.L.
Teléfono: 2437-1499 | Fax: 2437-1436 | Apdo: 299-4050 Alajuela, Costa Rica
E-mail: info@montecillos.com
www.montecillos.com

Dedicatoria

A mi familia que estuvo a mi lado durante todo el proceso.

A mis amigos que me dieron las fuerzas que me hacían falta.

A mis libros que me enseñaron sobre sueños.

A mis profes que me encaminaron a cumplirlos.

A todas las personas que estuvieron conmigo y que me dieron un pedacito de su ser

Les doy las gracias, pues hicieron a la persona que soy.

Tabla de contenido

Datos personales	2
Datos de la empresa	2
Carta de aceptación de la empresa	3
Dedicatoria.....	4
Tabla de contenido.....	5
Resumen.....	9
Abstract.....	10
Introducción	11
Reseña de la empresa	14
Descripción del proceso productivo	17
Planteamiento del problema.....	19
Consecuencias del problema.....	20
Objetivo general.....	22
Objetivos específicos	22
Justificación	23
Viabilidad.....	25
Metodología a seguir	27
Alcance	29
Limitaciones.....	30
Capítulo 1: Bases teóricas y un primer acercamiento a la empresa.....	31
Sección 1.1: Introducción y objetivos de desarrollo sostenible.....	31
Sección 1.2: Sistemas de Vapor.....	33
La esencia del sistema.....	34
Calderas	35
Distribución de vapor.....	38
Retorno de condensado.....	39
Sistemas complementarios.....	39
Sección 1.3: Regulaciones en la generación de vapor	41
Sección 1.4: Combustión y gases de efecto invernadero.....	41
Sección 1.5: Eficiencia energética	42

Carbono neutralidad y Plan Nacional de Energía (PNE).....	43
Sección 1.6: Equipos consumidores de vapor de la planta.....	44
Matanza.....	44
Deshuese y subproducto	47
Preparados.....	49
Render	50
Jabonería.....	54
Usuarios varios: Lavandería, limpieza, calentamiento de agua y búnker.....	56
Sección 1.7: Demanda de vapor en planta y condiciones de operación de la caldera.....	60
Sección 1.8: Oportunidades de ahorro energético del local.....	63
Aislamiento térmico.....	64
Reparación de fugas.....	66
Retorno de condensados	67
Cambio de trampas en mal estado	70
Adecuado aprovechamiento de vapor.....	71
Control de la combustión por análisis de gases	73
Recuperar calor en la purga de la caldera.....	74
Disminución de presión de vapor	74
Cambio de combustible	75
Capítulo 2: Cálculos y análisis	84
Sección 2.1: Aislamiento térmico.....	84
Compra de aislamiento térmico	90
Otras consideraciones	91
Sección 2.2: Análisis de trampas de vapor en mal estado	91
Sección 2.3: Análisis de fugas	92
Reparación de fugas.....	94
Sección 2.4: Análisis de retorno de condensados	94
Análisis de consumo de vapor por equipo	96
Cálculo preliminar fuga por orificio	97
Esterilizadores.....	99
Tanques de cocción de sebo Render	110

Tanques de agua caliente	114
Escaldador de cerdos	119
Tanque de suministro de agua caliente para la caldera.....	125
Cocinas Render	127
Cocinas Render 3000 kg.....	128
Cocina Render 4000 kg.....	131
Tanque de hiel.....	134
Tanque de búnker principal	140
Tanque de búnker diario	142
Tanques jabonería.....	145
Tanque de sebo proveniente del Render, jabonería	146
Tanque de aceite de coquito, jabonería.....	149
Tanque de estearina de palma, jabonería	151
Tanque de sebo lavado, jabonería.....	155
Tanque de sebo recuperado, jabonería.....	158
Separadora centrífuga	160
Secadoras de ropa industriales.....	161
Intercambiador de formados	161
Pailas de jabón	162
Paila 1 de jabón.....	167
Marmitas, preparados.....	171
Ahorro por retorno de condensados.....	178
Agua caliente	179
Cocinas de sebo	182
Jabonería.....	183
Sección 2.5: Pre calentamiento de agua con vapores del Render.....	184
Sección 2.6: Disminución de presión de Saturación.....	186
Sección 2.7: Combustibles alternos	187
Sección 2.8: Impacto ambiental.....	188
Sección 2.9: Análisis económico	189
Capítulo 3: Discusión.....	198
Capítulo 4: Conclusiones y recomendaciones	211

Conclusiones.....	211
Recomendaciones	211
Referencias bibliográficas.....	213
Anexos	218
1. Manual de mantenimiento	218
2. Cotizaciones.....	227
3. Planos del sistema de vapor	231

Resumen

Este trabajo final de graduación confiere un estudio energético sobre la utilización del vapor en la empresa Coopemontecillos R. L., una cooperativa dedicada al proceso de matanza de cerdos y reses, ubicada en Alajuela. Allí se produjo un estudio sobre la red de vapor, en el cual se realizó un levantamiento de los consumidores, tomando en cuenta el tamaño de la tubería, distancias, presiones de trabajo, aislamiento, demanda, uso y aprovechamiento del vapor según el área o equipo de estudio.

Se logró modelar la demanda de vapor según cálculos de carga térmica y pérdidas por convección radiación y conducción. Así, se planteó un modelo teórico de la planta y se mapearon las principales áreas consumidoras de vapor.

Se plantearon diferentes alternativas para reducir el consumo de combustible y el impacto ambiental, mediante el cambio de aislamiento térmico en tubería, cambio de aislamiento térmico en accesorios, reparación de fugas de vapor, sistema de retorno de condensados, calentamiento de agua con vapor de caldera, calentamiento de agua con vapor del proceso de *rendering*, combustibles alternativos, reducción de presión de vapor, cambio de intercambiadores de calor en jabonería y cocción de sebo. De esa manera, se logró un ahorro mensual de hasta cinco millones de colones en algunas alternativas.

Palabras clave: energía, vapor, búnker, CO₂, ahorro, calentamiento, aprovechamiento, eficiencia, alternativa.

Abstract

This final graduation work confers an energy study of steam usage in the company Coopemontecillos R. L., a cooperative dedicated to the slaughtery process of pork and beef located in Alajuela. A study of the steam network was produced where a survey of the steam consumers was carried out taking account of pipes size, distances, working pressures, insulation, demand, use and exploitation of steam according to the area or study equipment.

It was possible to model the steam demand according to calculations of thermal load and losses by convection, radiation and conduction. Thus, a theoretical model of the plant was proposed and the main steam consuming areas were mapped.

Different alternatives were proposed to reduce fuel savings and environmental impact through the change of thermal insulation in pipes, change of thermal insulation in accessories, repair of steam leaks, condensate return system, water heating with boiler steam, heating of water with steam from the rendering process, alternative fuels, reduction of steam pressure, change of heat exchangers in soap and tallow cooking. Achieving monthly savings of up to 5 million of colones in some alternatives.

Keywords: energy, steam, fuel oil, CO₂, saving, heating, use, efficiency, alternative.

Introducción

Cuando se evoca un pensamiento epistemológico sobre el significado de ingeniería, puede llegarse a definiciones relacionadas con un arte dedicado al perfeccionamiento de procedimientos industriales y afines mediante el avance científico. Si ahondamos en la idea, la ingeniería surge bajo la necesidad de una mejora continua, abriéndonos paso a nuevas exigencias para el desarrollo de la vida humana. Entre sus raíces más profundas, que se dedican a nutrir todas las ramas en las que se desempeña, se encuentra el término de *eficiencia*. Esta última, en apariencia un inofensivo indicador, marca la esencia de la profesión.

Desde un principio, como especie pensante, iniciamos en este oficio sin notarlo, al realizar trabajos con la menor cantidad de esfuerzo mediante el uso de herramientas que nos facilitaron el acceso a nuevas fuentes de alimentos. Poco a poco, fuimos invirtiendo más tiempo en este desarrollo del pensamiento lógico, utilizando procesos cada vez más complicados. Logramos mejorar nuestra calidad de vida mediante la adquisición de recursos, protección contra la naturaleza y el incremento de nuestra seguridad en general. Sin percatarnos, estos avances nos aportaron más tiempo libre. Cultivamos nuestro pensar al dejar de preocuparnos por el frío y el hambre que afligían nuestro existir. Así se marcó el inicio de la civilización, procurando el desarrollo de sociedades organizadas en este planeta, siempre acompañadas silenciosamente por la ingeniería.

Logramos asentarnos, al poder construir hogares que soportaran los climas más adversos, apoyados con métodos para almacenar alimentos de forma segura, de manera que pudiéramos soportar tranquilamente hasta que llegasen condiciones más favorables. Surcamos los cielos no con alas emplumadas, sino con perfiles aerodinámicos. Logramos

explorar las profundidades de los mares impulsados por una hélice y protegidos con una coraza férrea. Iluminamos las noches más largas y oscuras con una simple bombilla, para leer en la comodidad de nuestros hogares. Y cuando creímos que el cielo era el límite, descubrimos que con el cohete podíamos adentrar en un universo repleto de nuevas posibilidades.

Actualmente seguimos esperando qué nos deparan los nuevos conocimientos científicos, buscando aplicarlos en invenciones que antes solo llegaban a ser sueños. Dedicamos gran parte de nuestro pensar ingenieril en mejorar el desempeño de procesos o máquinas. Si bien en un inicio el fuego en una cueva lograba confortarnos en el frío del invierno, hoy los sistemas de calefacción nos parecen imprescindibles para sobrevivir estas temporadas. Hemos desenvuelto nuestras necesidades básicas en los desarrollos ingenieriles. Estos, que empezaron como un extra, actualmente se consolidan como la base de nuestras reformas sociales.

Nuestras necesidades se vuelven cada vez más exigentes con el pasar de los años y la eficiencia termina siendo una obsesión en nuestro estilo de vida. No obstante, el mal manejo de dicho factor ha desencadenado problemas ambientales, provocando cambios considerables en la atmósfera y ecosistemas. Con esto aparece una nueva responsabilidad en la profesión, al comprometerse no solo con la vida de un individuo, sino también con el impacto que genera la especie en el planeta.

Ante la sombra de una posible extinción, aparecen diversos avances como refrigerantes verdes, vehículos eléctricos, tecnologías para ahorro energético, sistemas de riego integrados y demás herramientas que buscan evitar el desperdicio y mitigar nuestro impacto ecológico. Así pues, una vez más resplandece el corazón de la profesión, al ser necesario un

mejoramiento continuo en nuestro diario vivir. Precisamos generar lo máximo posible con una cantidad de recursos valiosos cada vez más limitados. Debemos tomar responsabilidad de nuestras actividades contemplando los nuevos retos, obsesionándonos cada vez más con la eficiencia latente en nuestra vida.

Reseña de la empresa

En un ambiente donde imperaban los mataderos clandestinos que incumplían con las condiciones mínimas establecidas por el Ministerio de Salud de Costa Rica, en 1964 se funda Coopemontecillos R. L. Se trata de una cooperativa integrada por productores ganaderos y trabajadores para resguardar las necesidades del país asociadas con la producción, manejo y procesamiento de productos cárnicos. Así se fundó la planta más moderna de la región centroamericana [1].

En la década de 1970, Montecillos logró abastecer el mercado local y empezó a ampliar sus horizontes en búsqueda de mercados internacionales. De esa manera inició el proceso de desarrollo de la cooperativa con la compra de la fábrica de embutidos Cartín, seguido de la apertura de quince expendios a nivel nacional y la compra de la planta empaquetadora de carne para exportación en Barranca de Puntarenas [2].

En 1977, una sombra se posó sobre la empresa, los colaboradores se vieron bastante afectados con la pérdida de empleos y los productores estuvieron bajo la amenaza de perder los precios competitivos para vender su ganado, incluso, se temía una inminente quiebra. Mediante la organización de asociados y trabajadores se logró pedirle al gobierno una ayuda mediante el Banco Nacional. Así, con 216 productores y 456 colaboradores impregnaron sus pagarés hasta con cinco veces sus salarios; además el banco exigió el ingreso de los trabajadores como asociados. De esa forma, Coopemontecillos R. L. se levantó y se instauró como la primera cooperativa a nivel latinoamericano en implementar el modelo de cogestión, lo cual le permitió a trabajadores y colaboradores disfrutar de los excedentes.

Superada la crisis, en 1978 incursionaron en los negocios del cuero y, en 1980, adquiere la única planta productora industrial de Centroamérica y el Caribe. Impulsado por el éxito

abrieron una unidad de mariscos y una unidad avícola con las marcas Montemar y Pim Pollo, lo cual les proporcionó una amplia participación en el mercado nacional. Lastimosamente volvieron a encontrar obstáculos en su camino con la caída de los precios del ganado.

En el año 1995, los productores cárnicos optan por generar alianzas entre las empresas de ganaderos industriales de Liberia y EXA de Alajuela para acuerpar a los exportadores de carne del país. Aunque la idea parecía ser la solución mediante la creación del Fomento Ganadero S. A. (FOGASA), Coopemontecillos se termina haciendo cargo de una deuda que no le correspondía, razón por la cual pierde todo su capital social.

Ahora bien, en el 2000, sus asociados vuelven a la lucha defendiendo la cooperativa a capa y espada. Con la ayuda del Instituto Nacional de Fomento Cooperativo (INFOCOOP), la cooperativa replantea el negocio al intentar recuperar la confianza de la gente. Apuntaron sus esfuerzos a garantizar un personal y un servicio de calidad que les brindara a sus consumidores un producto inocuo que garantizara su satisfacción. Estos cambios permitieron la apertura de mercados en Japón, China, Vietnam, Estados Unidos, México, Centroamérica y el Caribe.

En su búsqueda por cumplir las necesidades de los clientes, Coopemontecillos le otorga especial importancia a las unidades de cueros y jabonería que brindan valores agregados a la piel y el cebo de los animales. Ampliaron el mercado de la cooperativa, al aprovechar al máximo los recursos, de manera que lograron exportar el cuero salado a Centroamérica, Vietnam, México e Italia. Su unidad de jabones en barra, la cual cumple con altos estándares de calidad, se utiliza en República Dominicana, Trinidad y Tobago, Haití y Nicaragua.

Sus productos de carne fresca y procesada abarcan más de 3000 clientes en el territorio nacional, ellos son abastecidos, según sus necesidades, de una a tres veces por semana. Los

camiones repartidores cubren las siete provincias del territorio nacional. Actualmente, esta noble cooperativa, con su visión y amplio trayecto, se asienta con más de mil colaboradores para lograr brindar una calidad de servicio y producto que se abre paso a nivel mundial.

Descripción del proceso productivo

Coopemontecillos se dedica al procesamiento, almacenamiento, exportación y venta de productos cárnicos y otros derivados. La empresa recibe bovinos y cerdos para realizar el proceso de matanza. Previamente, se efectúa un análisis en la demanda de producto por la parte de ventas. La cooperativa también se encarga de brindar un servicio de matanza del animal, aunque este no le sea vendido.

Los animales ingresan a una línea de proceso que empieza con el aturdimiento y muerte. Posteriormente, se van retirando derivados como la sangre, vísceras, huesos y carne. Una vez clasificado el animal, si será para ventas o deshuese, se limpia y enfría la pieza. Si el destino es deshuese, se utilizan una serie de sierras y cuchillos para separar al animal en dos “canales”, los cuales, de ser necesario, se separan entre la parte superior (menor calidad) y la posterior (calidad superior). Así, con una cadena estratégica de cortes se sigue separando el animal en cortes comerciales que son catalogados, empaquetados y etiquetados para su almacenamiento. Cabe destacar que, según las peticiones del cliente, el animal puede ser desmembrado completa o parcialmente. De manera usual, es separado según su corte, órganos rojos (corazón, hígado y riñones) u órganos verdes (estómagos e intestinos).

Aunque la carne es su producto estrella, la empresa tiene distintos procesos para aprovechar el material sobrante. Los huesos, cartílagos, cuernos, cuero, grasa y recortes son procesados en el “render”, al cual entra el material en partes varias para ser calentado y separado. De esa forma, se consigue concentrado que será utilizado en la producción de alimento para mascotas. La grasa es utilizada en la producción de jabón, a esta se le agrega soda cáustica y otros complementos para perfumarle en su proceso de saponificación. Por último, utilizan los residuos “verdes” (fecales) para realizar abono.

La empresa posee una gran complejidad y variedad de procesos que van desde la parte logística, transporte, procesado, almacenamiento, enfriamiento, congelado, vapor, bombeo y eléctricos, entre otros. Cuando sea necesario, conforme se avance en la exposición de este trabajo, se brindarán más detalles en torno a otros procesos.

Planteamiento del problema

¿El estado energético del sistema de vapor de Coopemontecillos R. L. asegura una correcta integridad de este?

Consecuencias del problema

La pérdida de energía, por falta de aislamiento y fugas en el sistema, ha provocado fallos funcionales en ciertos equipos al propiciar caídas de presión significativas, caudales de fluido insuficientes y deficiencias en los procesos de calentamiento en algunos equipos. Se han registrado problemas con válvulas en el sistema, en los cuales se evidenciaron daños que consiguieron dejarlas prácticamente cerradas, de manera que se generaron considerables pérdidas de presión.

La variabilidad del consumo de vapor también es un factor que aporta al problema, pues depende de la entrada de animales al matadero como principal productor de materia prima para el proceso de Render; este es el mayor usuario consumidor de vapor en la empresa. Se ha proyectado variar el consumo entre un 50 % y 70 % de la producción total de vapor en estudios anteriores.

Otros usuarios utilizan el vapor para el calentamiento de agua y jabón en menor medida, en comparación con el proceso de Render. En estos procesos se evidencian intercambiadores fuera de funcionamiento, por lo cual se opta por utilizar vapor vivo para realizar el proceso de calentamiento. Si bien para la esterilización y limpieza de algunos sitios es estrictamente necesario utilizar el vapor de esta manera, algunos procesos tienen el potencial de utilizar un intercambiador para aumentar la eficiencia.

Este sistema no cuenta con un retorno de condensados y aprovechamiento del vapor flash en los procesos. Así se está perdiendo una considerable cantidad de energía que se podría reutilizar en las labores de calentamiento. Aunque se contamine el agua caliente y vapor en ciertas áreas; existe gran potencial de reutilizarles. Por ejemplo, en el proceso de calentamiento del agua de ingreso a la caldera se utiliza vapor vivo para mejorar la

producción de vapor; este uso puede verse remplazado con el aprovechamiento del retorno de condensado.

Se adquirió una nueva caldera en el 2014, con un alto grado de automatización, lo cual permite adaptar el ingreso de agua la caldera según la demanda, posee un control automático de purgas (excepto las de fondo) y controla el arranque de la caldera, según el reservorio de vapor y el necesario de la empresa para funcionar. Aun así, no permite el control del proceso de combustión de esta mediante sensores de oxígeno u óxido nitroso.

Desde la compra de la caldera no se han realizado mayores inversiones en el sistema de vapor como tal, difiriendo así de los sistemas de refrigeración, agua potable y aire comprimido. Con el paso del tiempo y dedicándole solo mantenimiento correctivo a los equipos, el sistema ha ido degradándose poco a poco. Hoy se desconoce tanto la integridad como el estado energético del sistema de vapor en la empresa.

Por último, la caldera utiliza búnker para operar. Dicho combustible, aunque posee una gran capacidad calorífica, genera una gran contaminación ambiental producto de su proceso de combustión. Este tipo de calderas posee compatibilidad para utilizar alternativas menos dañinas e igualmente aprovechables como el gas.

Objetivo general

- Evaluar la integridad y el estado energético actual del sistema de vapor en la empresa Coopemontecillos.

Objetivos específicos

- Establecer un balance energético en los usuarios de vapor de la empresa, evidenciando principales consumidores y horarios de consumo.
- Exponer el estado energético actual de la instalación de vapor.
- Definir alternativas para la disminución del consumo de combustible, incremento de eficiencia y mantenibilidad del sistema de vapor por aplicar.
- Evidenciar los beneficios ambientales, operativos y competitivos derivados del análisis energético.

Justificación

Según los objetivos de desarrollo sostenible de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), para el 2030 se deberán garantizar acciones favorables para el clima, producción responsable, energía no contaminante e innovación en la industria [3]. Todos los objetivos se relacionan intrínsecamente, pero en nuestro enfoque empresarial iniciamos evidenciando la importancia del uso de energía. En el caso del vapor, como se ha venido exponiendo, engloba temas de impacto ambiental asociados al fenómeno de combustión. También se toca el tema de producción responsable, pues la empresa debe responsabilizarse por los impactos causados al ambiente y sociedad, producto de sus actividades.

Dicho esto, las actividades industriales deberán apuntar tanto a las tendencias globales como a las del país. Costa Rica se unió a la lucha contra el cambio climático, instando al sector empresarial a la búsqueda de alternativas para la disminución de producción de gases aceleradores del cambio climático. Además, normas como la ISO 50001 han sido poco a poco adoptadas por las empresas para guiar sus esfuerzos en la mejora continua del aprovechamiento de recurso energético [4]. Han salido a la luz incentivos por ser partícipes del cambio, como la posibilidad de realizar un cambio de tarifa eléctrica especial, lo cual permitiría ahorros considerables en la facturación eléctrica.

Una buena predicción en un crecimiento energético acompañado de una gestión ordenada e inteligente puede llegar a ser una sólida base para un sistema realmente eficiente y ambientalmente amigable [5]. Se deberán contemplar posibles problemas venideros en las instalaciones y la manera más eficaz de combatirlos siguiendo patrones similares al presente. De esta forma, los datos registrados en el pasado serán el combustible por utilizar en la toma de decisiones al buscar un sistema electromecánico estable y fiable.

En el caso de Coopemontecillos, el sistema de vapor conlleva desconocimiento de las labores de mantenimiento preventivo y predictivo a realizar. El sistema, al no haber sido considerado como una prioridad, produjo una falta de controles respecto su integridad y desempeño. Aunque se tenga un control de los parámetros de operación de la caldera (el principal elemento del sistema), el sistema aún posee carencias en el rastreo de su funcionalidad, como el control de presiones en cabezales, consumo de vapor por equipos y rutinas de mantenimiento e inspección de válvulas, aislamiento y tubería. Todos estos aspectos se deben contemplar en un correcto manejo del recurso energético.

Conociendo la situación actual del edificio e interpretando los indicadores adecuados, se logran señalar ciertas condiciones de riesgo que pueden llegar a generar grandes inconvenientes en años futuros [5]. También la incursión de buenas prácticas ingenieriles contempladas en el diseño para el reemplazo de tecnologías en desuso es una consideración de gran peso para realizar una gestión del recurso energético eficiente. Así se podrá evaluar el reemplazo de prácticas y tecnologías obsoletas para la actualidad.

Un sabio uso de la energía puede apreciarse directamente en disminuciones del cobro en la tarifa eléctrica, decremento de la cantidad de combustible utilizado, incremento de vida útil de los equipos y disminuciones de la huella de carbono [5]. Estos son algunos de los ejemplos de mayor peso que posee el manejo eficiente de recursos y pueden ser de mayor provecho para la administración de la empresa, lo cual se puede traducir en ahorros económicos a largo plazo.

“Toda persona tiene derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado” [6], esta frase se encuentra en nuestra Constitución Política y debería ser el punto de partida para los ciudadanos costarricenses al preocuparnos por el impacto ambiental causado en nuestra

toma de decisiones. En el área de ingeniería se posee esta gran responsabilidad cuando se refiere al diseño y mantención de equipo industrial.

Viabilidad

El departamento de ingeniería y mantenimiento se ha mostrado desconforme con el desempeño del sistema de vapor, se considera un aspecto que deberá resolverse en un futuro cercano. Si se plantea una actualización del sistema de vapor, es preferible que se realice gradualmente. Por esta razón, si se presentan las mejoras como distintos proyectos que se puedan implementar gradualmente será bastante apetecible para el departamento y la jefatura. Dichas mejoras serán acompañadas de un respectivo análisis económico para instaurar un orden de prioridad de realización.

El sistema de vapor posee una amplia gama de soluciones para el mejoramiento tanto del consumo de combustible como de vapor y los usos que se le dan a este. La incursión de diseños más eficientes y nuevas tecnologías es un gran apoyo en implementación de mejoras, pues generalmente representa una inversión rentable.

La reducción de emisiones ambientales dañinas es un buen indicador de eficiencia del proceso productivo. Además, al tener un mejor control de estas variables, se facilita la realización de estudios ambientales y energéticos realizados a la empresa.

Respecto al consumo energético de la empresa, el búnker destinado para la alimentación de la caldera representa el 19 % del coste energético de la institución. Este, al encontrarse en el primer 80 %, se considera un uso significativo de la energía sobre el cual deberá realizarse un estudio detallado para asegurar un buen desempeño energético de la institución [5].

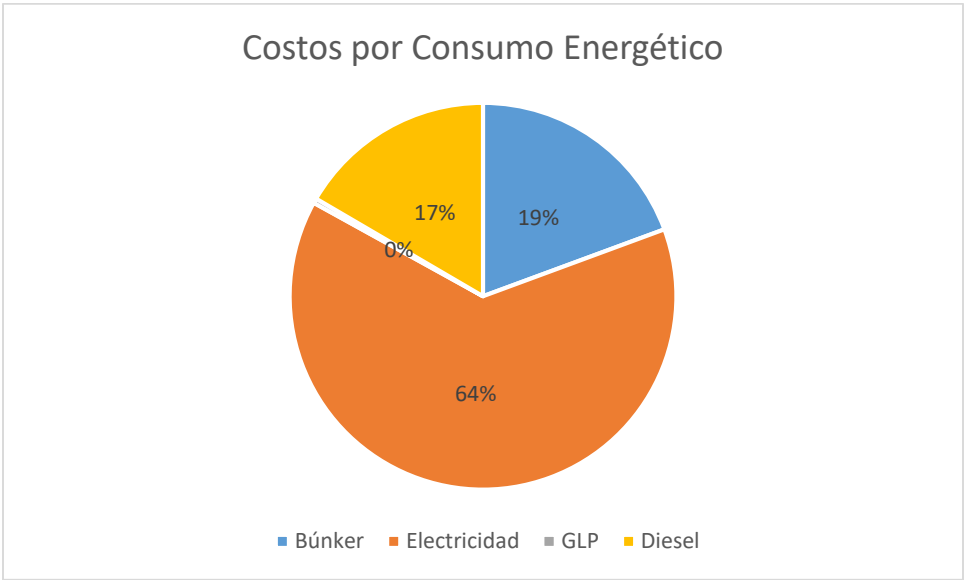


Figura 1. Facturación mensual del *recurso* energético en Coopemontecillos R. L.
Fuente: Elaboración propia, Excel.

Metodología a seguir

- Definir equipos y zonas críticas para el sistema de vapor.

Se efectuará un reconocimiento de equipos, se medirán diámetros y distancias de tuberías de vapor. Esta información será implementada en un plano del sistema de vapor el cual es inexistente en la actualidad. También se realizará un registro de los usuarios de vapor y sus respectivos horarios de consumo.

- Diagnóstico energético de la instalación de vapor.

Se realizará un complemento al mapeo previo de equipos en búsqueda de oportunidades de conservación de energía. El análisis más detallado del proceso en que se utiliza el vapor denotará si podrá o no ser reutilizado posteriormente o reemplazar el mecanismo de aprovechamiento.

- Identificación y evaluación de mejoras requeridas en zonas críticas.

Se evidenciarán las mejoras energéticas del local, según la normativa relevante al área, y se catalogarán respecto a su criticidad en impacto ambiental, impacto a la salud e impacto en el ahorro energético. En esta parte será sumamente importante la revisión de normativa, a nivel país e internacional, que se refiera a dichos procesos y tecnologías.

En esta sección también se realizará una identificación de indicadores energéticos, al hacer un enlace con los ya existentes para proponer una mejora o reforzar su importancia.

- Implementación de mejoras.

Se remitirá un informe con la situación actual expuesta en la empresa, en el cual se expresará un desglose de las oportunidades de ahorro energético con sus respectivos análisis

económicos. Se buscarán referencias para edificar un manual de mantenimiento del sistema de vapor, además de incentivos extras para el constante mejoramiento del sistema.

Alcance

El análisis energético planteado analizará el impacto de la incorporación de nuevas tendencias y tecnologías, apuntando a propiciar un uso más eficiente de los equipos, lo cual se traducirá en una disminución de emisiones y logrará un mejor aprovechamiento de recursos. Cada uno de estos aspectos involucrados convergerá en un informe con las posibles mejoras a implementar, las cuales garanticen un aumento en la eficiencia asociada al sistema de vapor.

La industria cárnica se considera una de las principales productoras de gases de efecto invernadero. Si se logra disminuir el impacto ambiental asociado a sus actividades, puede ser un gran ejemplo a nivel nacional para replicar su aplicación y aportar a la descarbonización del país. Al tener la empresa una gran conciencia respecto a los recursos utilizados, se podría contemplar su uso en la producción de combustible para la alimentación de la caldera.

Las mejoras en el sistema de vapor serán útiles para encaminar a la empresa en la certificación ISO 50001 que se ha previsto por el departamento de ingeniería. La implementación de planos de vapor también será útil para diseños posteriores en la instalación, además de la identificación y rastreo de posibles fallas. Aunque el vapor sea un porcentaje pequeño en comparación al eléctrico, sigue siendo una muestra representativa y significativa para realizar mejoras energéticas en las diferentes áreas de consumo energético. Así, será un primer paso significativo para la empresa en apuntar su curso hacia un correcto aprovechamiento de los recursos.

Limitaciones

La situación sanitaria del país respecto a la COVID-19 y los protocolos sanitarios de la empresa para el ingreso a las instalaciones representaron una pequeña complicación al momento de ingresar y realizar mediciones dentro de la empresa. Además, el instrumental utilizado en mediciones será el que posea la empresa acompañado de las licencias de software que proporciona el TEC (AutoCAD).

Las alternativas que se quieran plantear deberán ser acordes a los recursos que posea la empresa, por lo tanto, en lo que se refiere a tuberías, válvulas, caldera y demás, se deberá utilizar lo que se tiene a mano. En caso de necesitar mejoras con compra o sustitución de equipo, deberá ser correctamente justificado y aprobado por los departamentos pertinentes.

La información brindada por los diferentes departamentos de la empresa representa una segmentación en la recolección de datos por parte del estudiante, por lo cual se requerirá una considerable cantidad de tiempo para rellenar dichos vacíos. Además, por cuestiones de confidencialidad y competitividad dentro de la empresa algunos datos económicos serán ajenos para la utilización del estudiante.

Capítulo 1: Bases teóricas y un primer acercamiento a la empresa

Sección 1.1: Introducción y objetivos de desarrollo sostenible

“Somos la memoria que tenemos y la responsabilidad que asumimos, sin memoria no existimos y sin responsabilidad quizá no merezcamos existir”.

José Saramago, *Cuadernos de Lanzarote*

La memoria, como lo expresa la anterior frase de José Saramago, es uno de los aspectos que define el existir del ser humano. Una forma magnífica para introducir un hito que probablemente sea recordado como uno de los más grandes de la humanidad. Entre el 26 y 27 de septiembre de 2015, en New York, se llevó a cabo en los cuarteles generales de la ONU una declaratoria que abarca las metas que llegarán a transformar al mundo como lo conocemos [3].

Las mentes participantes en la cumbre apostaron sus esperanzas en una agenda para el 2030 que contemple las bases para el desarrollo humano sostenible. En este caso la guerra planeada será a favor de toda la gente, del planeta en que vivimos, buscará la prosperidad y paz de sus habitantes apuntando hacia el compañerismo. Nuestros enemigos serán la pobreza en todas sus formas, las desigualdades, enfermedades, cambio climático, pérdida de ecosistemas y la guerra, entre otros problemas que interfieren con el asentamiento en una buena calidad de vida. Con esto surgen 17 objetivos de desarrollo sostenible que se deben cumplir para ganar la dura batalla que tenemos por delante.

Sabemos que no se podrán resolver todos a la vez (divide y vencerás), en esta ocasión en particular se decide actuar en cuatro de ellos específicamente. Encabezando la lista, el

Objetivo 7: Energía asequible y no contaminante. La energía es un factor de gran peso para determinar la calidad de vida de una persona. En esto no se hace referencia al televisor y la computadora, los cuales ya de por sí nos abren las puertas al mundo del conocimiento; la energía se considera un elemento indispensable para labores domésticas, almacenamiento de alimentos, transporte, alumbrado, calefacción y acondicionamiento de espacios destinados a labores humanas.

El Objetivo 13: Acción por el clima, apunta hacia la lucha con el cambio climático que afecta a todos los países. Los impactos se han percibido en la economía y vida de personas en diferentes comunidades. Los patrones climáticos han cambiado, los niveles del mar aumentan junto con su acidez, los eventos climáticos se han ido convirtiendo en cataclismos y los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero son las más altas de la historia. Cuando se habla de este tema se deben contemplar las emisiones asociadas a los recursos utilizados, materiales como la energía, pues su producción y uso se vinculan con un equivalente en gases de efecto invernadero generados.

Los objetivos 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) y 12 (Producción y Consumo Responsables) van muy unidos en este caso de estudio. La incursión de nuevas tecnologías y procesos ingenieriles puede traducirse a mejoras abismales en el uso de recursos energéticos. Además, la industria ganadera y sus ramificaciones se han consolidado como uno de los principales contribuyentes a la producción de gases de efecto invernadero. En ese sentido, la crianza del ganado produce residuos fecales que generan dióxido de carbono (CO₂) y metano (1 CH₄ equivale a 25 CO₂ en la atmósfera). Si seguimos con el consumo energético en el procesamiento del producto y la descomposición de residuos de dicho proceso, el aporte

aumenta drásticamente. Por último, todos los procesos de transporte en la línea de abastecimiento del producto desencadenan un gran valor de contaminación asociada a este.

Fuente de emisión	Emisiones expresadas en CO ₂ equivalente Gg
Energía	7.297,36
Procesos industriales y uso de productos	1.320,30
Agricultura, Silvicultura y otros usos de la tierra	179,41
Residuos	2.084,61
Total	10.881,68

Figura 2. Emisión de gases con efecto invernadero como CO₂ equivalente en Costa Rica 2015

Fuente: II Informe Bienal de actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático [7].

Siguiendo con el hilo de la energía, se tiene un concepto de suma importancia para este proyecto llamado calidad de energía. Este hace referencia la capacidad que tiene la energía de realizar un trabajo útil, correcto aprovechamiento, pureza, facilidad de almacenaje, transporte, seguridad, flexibilidad de uso, costo de conversión y demás [8]. Cuando se refiere al vapor en instalaciones industriales, se hace un hincapié en su proceso de generación y combustible utilizado, pues es el primer paso de generación en la energía a aprovechar. El transporte y pérdidas de energía en el fluido (en este caso vapor) se van a evidenciar en un mayor consumo de combustible para equiparar dichas ineficiencias del sistema.

Sección 1.2: Sistemas de Vapor

En aplicaciones industriales, en el área de alimentos, donde se requiera realizar calentamiento de productos para cocción o esterilización, comúnmente se utiliza vapor. Este funciona como un mecanismo para el transporte calórico. Su versatilidad de uso, transporte y

almacenamiento lo hace un recurso valioso para procesos productivos. Si bien este elemento puede llegar a ser peligroso, permite una gran transferencia de calor, tiene temperaturas de condensación bastante regulables, no es inflamable ni tóxico y, en cuanto a disponibilidad o costo, los precios son bajos.

La esencia del sistema

Como se expondrá más adelante, la caldera vendría a sobresalir como el corazón del sistema de vapor; nada podrá hacer sin “sangre” que bombear. El vapor es producido a partir del agua al agregársele energía, en este caso calor. En estos sistemas, el agua se encontrará básicamente en estado líquido o gaseoso. Aun así, existen algunos puntos de gran interés para el análisis en el momento de vaporar este líquido.

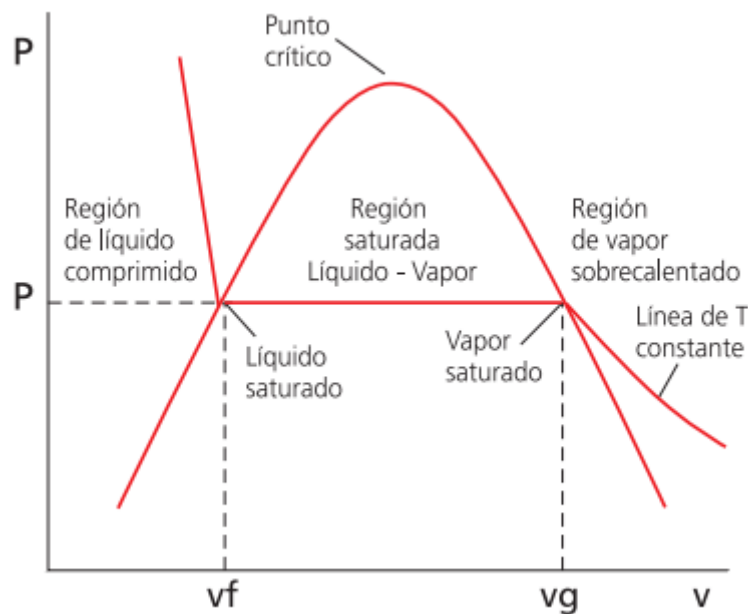


Figura 3. Gráfico presión–volumen del agua
Fuente: Guía de Eficiencia en Sistemas de Vapor [9].

Como se observa en el diagrama anterior, el proceso de calentamiento empieza en una región de líquido comprimido donde el agua se encuentra por debajo de su punto de ebullición. Una vez alcanzada la temperatura adecuada, se encuentra en un estado de líquido saturado empezando el estado de mezcla. En este proceso se mantienen la presión y temperatura constantes hasta llegar a un estado de vapor saturado en el cual la totalidad del líquido fue vaporado. Por último, si se prosigue con el calentamiento entramos a una región de vapor sobrecalentado donde, como su nombre lo indica, el gas tiene una temperatura mayor a la necesaria para su vaporación a la presión de estudio [9].

En los fenómenos de transferencia de calor posteriores es de suma importancia los puntos de líquido y vapor saturados, pues son las regiones de mayor aprovechamiento para transferir calor. Estas regiones de transferencia aumentan al disminuir la presión del fluido haciéndoles ideales para intercambiadores de calor como usuarios finales. En el transporte del fluido se busca lo contrario, reducir la capacidad del fluido a transferir (en este caso perder) energía, por lo cual se recalienta el vapor. Cabe destacar que algunos procesos de utilización de vapor, como lo es la generación eléctrica, necesitan altas temperaturas y presiones para lograr extraer mayor energía del fluido tanto térmica como mecánica [9].

Calderas

Esta es el corazón del sistema de vapor, la caldera añade energía al agua de entrada para vaporizarla a una presión determinada. Dicha presión se utiliza para controlar la capacidad térmica del vapor y propiciar su flujo a través del sistema [10]. El objetivo de toda caldera es entregar la energía latente en el combustible de la manera más eficiente, transferir dicha energía al agua para generar vapor y separar el vapor del agua para enviarlo a la planta [11].

Las calderas se dividen en dos principios de funcionamiento: piro-tubular y acu-tubular. Las piro-tubulares (Shell Boilers) transfieren el calor en superficies contenidas dentro de un caparazón de metal. Allí el agua rodea los tubos inundados de gases de combustión que calientan el fluido circundante. Estas son utilizadas comúnmente cuando se necesitan grandes e instantáneas demandas de vapor, pues sus decrementos súbitos facilitan la creación de vapor flash (generado en la superficie del fluido al decrecer la presión). Cuando se tienen variaciones en el flujo del vapor, calderas de este tipo son muy apetecidas para otorgar flexibilidad al sistema de operar en diferentes regímenes de combustión. Por último, estas poseen una especie de serpentín, donde el gas caliente pasa varias veces por el fluido a calentar, lo cual incrementa la transferencia de calor [11].

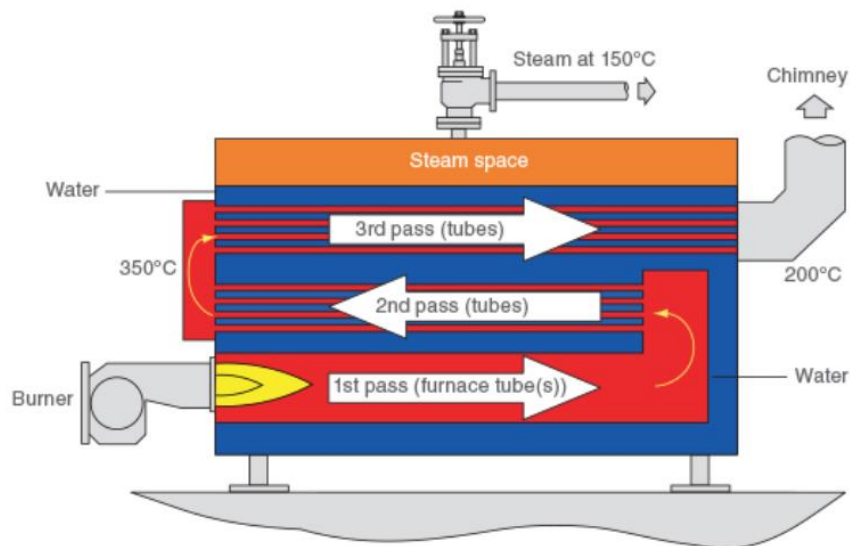


Figura 4. Caldera piro-tubular de tres pasos
Fuente: Spirax Sarco [11].

Por su parte, en las calderas acu-tubulares el agua fluye dentro de los tubos, en estas el tubo es significativamente más pequeño y se producen presiones de trabajo mucho más altas. Se utilizan cuando se necesite una gran salida de vapor, gran presión de trabajo y vapor

sobrecalentado [11]. Permiten introducir agua fría más densa, pues se desplaza más eficientemente el agua caliente hacia arriba, al seguir subiendo se notan las burbujas de vapor y por último se encuentran con el vapor sobrecalentado.

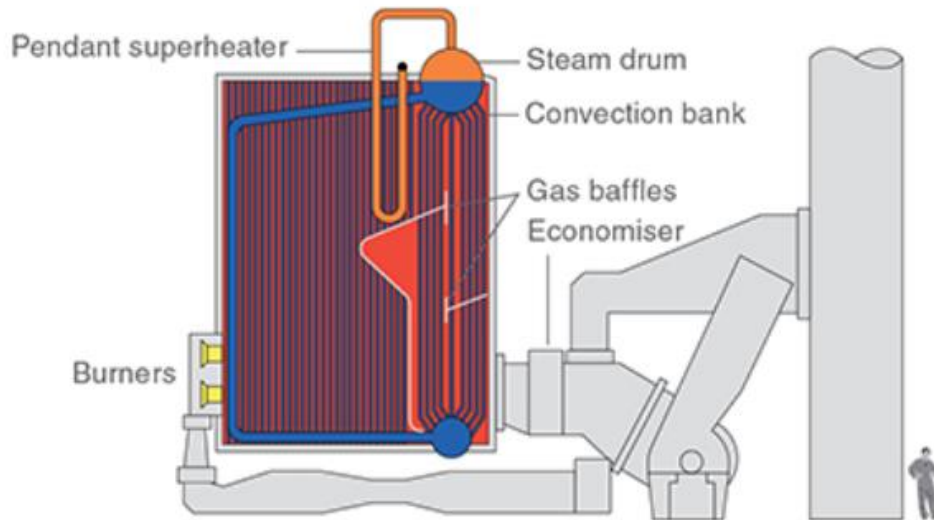


Figura 5. Caldera acuotubular.
Fuente: Spirax Sarco [11].

Estos son los dos tipos más comunes de calderas, existen otras geometrías y diseños que terminan aplicando los mismos principios ya explicados en sistemas más complejos. Con estos principios aparecen tecnologías como los economizadores, donde el agua de abastecimiento de la caldera pasa por un intercambiador de calor en la chimenea de la caldera precalentándole y elevando su temperatura antes de entrar a ella. Esto eleva la eficiencia de la caldera, pues se requiere menos energía para calentar dicha agua; similar a lo que sucede con los sobrecalentadores que elevan la temperatura del vapor saturado hasta llevarle a un estado de vapor sobrecalentado.

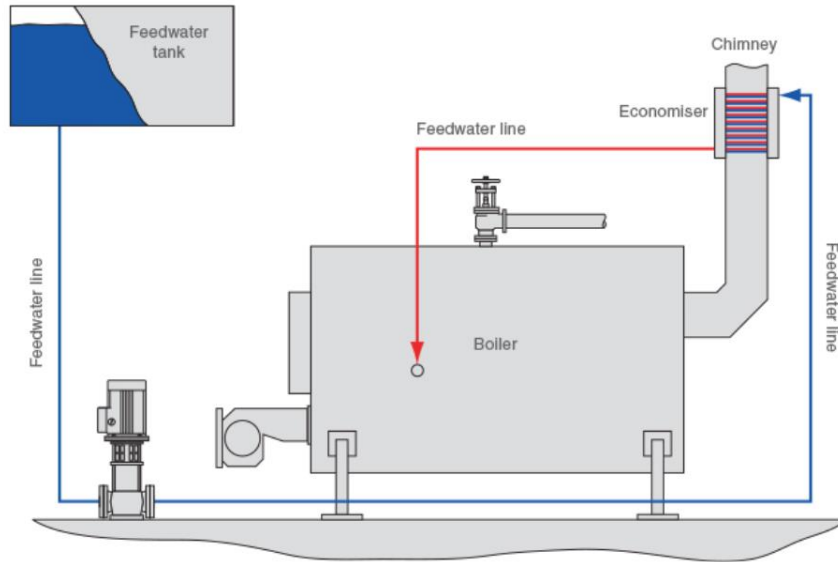


Figura 6. Economizador
Fuente: Spirax Sarco [11].

Distribución de vapor

Este es el enlace entre la generación de vapor y los usuarios de este, acarreado el fluido por un sistema de tuberías y válvulas ramificándose por la planta. El recorrido empieza en el cabezal de vapor que se encarga de distribuir por toda la planta el fluido a utilizar. En los inicios el sistema se encuentra frío, por lo cual se tendrá una mayor transferencia de calor entre las superficies y el aire, lo cual genera gran cantidad de condensación de vapor. Esta agua condensada deberá ser drenada de la tubería para evitar mal funcionamiento y daños en esta [11].

El utilizar vapor a mayor presión para la distribución brinda ventajas, como un incremento en la capacidad de almacenamiento, generando vapor seco (de mayor calidad), de manera que se necesitan tuberías con diámetros menores que ahorren en mecanismos de soporte y aislamiento. En su destino final, se termina de regular la presión mediante válvulas y se utilizan filtros de vapor para garantizar un vapor limpio y seco en el usuario [11].

Retorno de condensado

Esta parte puede ser obviada en algunas ocasiones, ya sea por no poder reutilizar el vapor después de su uso o simplemente porque no se contempló. El retorno de condensados representaría el cierre del circuito de vapor, se encargaría de recolectar toda el agua condensada en los procesos de distribución y transferencia de calor. Esta, si se puede reutilizar, es conectada a un tanque de retorno de condensados para ayudar a precalentar el agua que entra a la caldera. Así se propicia un gran ahorro de energía no solo por el calor rescatado del proceso, sino por ahorrar también los químicos utilizados para el tratamiento de agua [9].

En esta sección se necesita además un buen sistema de trampas de vapor que retiren el condensado de las líneas y lo dirijan a las tuberías de retorno. El sistema de trampas evita los golpes de ariete que generan vibraciones y daños en las tuberías. También colaboran a mantener el vapor seco que es mucho mejor para aprovechar su energía [9].

Sistemas complementarios

Por último, tenemos los sistemas complementarios que se encargan de mantener el sistema funcionando correctamente o influyen en gran medida en la eficiencia de este. En el cuarto de calderas es necesario instalar sistemas de bombeo y tratamiento de agua. Esto asegura un flujo constante y seguro para la máquina. Elimina el peligro de incrustaciones y presencia de oxígeno (resultantes es deterioro de tuberías). También se necesita un sistema de aislamiento térmico para evitar pérdidas de calor en el sistema, de manera que se propicie una correcta manipulación de los fluidos transportados [9].

Las válvulas de seguridad se encargan de ventear el sistema, al retirar excesos peligrosos de vapor. La automatización del sistema de purgas, ventilación, combustible y

modulación en general se encarga de exprimirle a la caldera su máxima eficiencia operacional, según los cambios que experimente el sistema en el funcionamiento diario [9].

Sección 1.3: Regulaciones en la generación de vapor

Con las nuevas tendencias globales que apuntan a suplir requerimientos cada vez más seguros, limpios y eficientes, salen a relucir normas regulatorias que intentan definir estándares básicos en el desarrollo de productos y servicios que rodean al ser humano. A nivel mundial, contamos con organismos reguladores como ISO y ASME que brindan una confiabilidad al usuario sobre el cumplimiento de una serie de requisitos para asegurar un correcto funcionamiento. En el ámbito nacional, surgen necesidades para el cumplimiento de estándares en servicios y adquisición de materiales, por esto contamos con entes reguladores que luchan por el cumplimiento de estándares adecuados en cada caso.

En cuanto a calderas Costa Rica las regula mediante dos normativas: el Código de Calderas y el Reglamento de Emisión de Contaminantes Atmosféricos de Calderas y Hornos. Estos reglamentos velan por la seguridad en la operación de una caldera y su impacto ambiental asociado [12]. También desencadenan inspecciones anuales para verificar el correcto cumplimiento de los requerimientos, en caso contrario será revocado su permiso de funcionamiento [13].

Sección 1.4: Combustión y gases de efecto invernadero

El proceso de combustión en una caldera es donde se generan los gases de efecto invernadero en un sistema de vapor. Usualmente se utilizan combustibles a base de carbono e hidrógeno que al reaccionar con el oxígeno terminan produciendo agua y calor. Generalmente es utilizado búnker, diésel, gas natural o biomasa para alimentar el quemador de una caldera.

Según la naturaleza del combustible y del proceso, puede desencadenar una combustión completa o incompleta. Por un lado, la combustión completa genera sustancias como el H₂O, N₂, CO₂ y SO₂, las cuales, aunque contaminan el ambiente, lo hacen en menor medida que otras sustancias. Por otro lado, cuando se tiene una combustión incompleta, empieza a producirse CO, C, H₂S, SO_x y NO_x que resultan tener un impacto ambiental elevado al reaccionar con los componentes que se encuentran en las diversas capas de la atmósfera. La presencia de estos componentes afecta las concentraciones de ozono (O₃) y llegan a producir lluvias ácidas o Smogs que atentan contra la integridad de los seres vivos.

Sección 1.5: Eficiencia energética

El término de eficiencia se refiere a una comparación de valores entrantes y salientes a un sistema o máquina, en el caso de energía concierne al aprovechamiento del recurso. Cada vez que se transforma energía existen pérdidas en el proceso, algunos generan mayor cantidad de pérdidas que otros y esto repercute como un peor aprovechamiento. En Costa Rica se espera un aumento en la cantidad de energía requerida para mantener el crecimiento poblacional, lo cual infiere que debemos aumentar el tamaño de nuestra matriz de generación eléctrica. El mayor inconveniente de este aspecto es el impacto generado a partir de ese mayor consumo, pues se interrelaciona con una afectación a nivel ambiente, social y económico.

Con este desarrollo llega resaltar el término eficiencia, pues existe esa constante necesidad de expansión que no puede ser desmedida. Debemos procurar una mejora en la competitividad del sistema productivo, instando a disminuir los desperdicios y a seguir trabajando en reformar la conciencia social ante dicha temática. Un buen indicador de eficiencia para comparar la cantidad de energía que consumimos como país es el producto interno bruto generado de esta, lo cual se denomina *intensidad energética* [14].

Carbono neutralidad y Plan Nacional de Energía (PNE)

Costa Rica siempre ha sido partidario de la Organización de Naciones Unidas (ONU) en todas sus luchas a nivel mundial, con esto se suma a los esfuerzos para completar los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y en dicha lucha aparece el Plan Nacional de Energía en el 2015 [14]. Este plan orienta al país a introducir cambios en el sistema energético nacional, con el fin de elevar la eficiencia, el ahorro y lograr un mejor manejo de la demanda. Quiere estimular el desarrollo de generación distribuida y autoconsumo. Promover el uso de tecnologías eficientes y amigables con el ambiente mediante la actualización de marcos jurídicos e institucionales.

El fin de incentivar este tipo de tecnologías verdes es reducir la cantidad de emisiones atmosféricas producto de los procesos de transformación energética. La generación, distribución y consumo final, junto con variables asociadas al uso responsable, eficiencia de procesos y naturaleza del trabajo a realizar, son factores que determinan la cantidad de gases de efecto invernadero lanzados a la atmósfera diariamente. Si bien se sabe que con el simple hecho de respirar el ser humano afecta en la producción de este tipo de gases, la totalidad de sus actividades influye en el deterioro de la capa de ozono o el aumento de la temperatura terrestre [14].

Aun así, es posible tener un balance entre el daño producido y el reparado por el mismo planeta. Este tiene una capacidad de regularse gracias a varios procesos biológicos de plantas y otros organismos que ayudan a disminuir la concentración de este tipo de contaminantes. El término *carbono neutralidad* entraría en juego, al referirse al punto de equilibrio anteriormente planteado. Costa Rica posee una matriz de producción eléctrica envidiable a nivel mundial, pues su mayoría es energía renovable. Lastimosamente seguimos siendo

partidarios de utilizar combustibles fósiles en ciertos procesos industriales y poseemos una inmensa flota vehicular [14].

En estos momentos nos encontramos bien encaminados en nuestras metas de carbono neutralidad, pero es necesario llevar a cabo un gran esfuerzo en conjunto para vincularnos con aliados estratégicos y luchar frenéticamente. Las viejas costumbres en el mal uso de recursos presentan una sombra en nuestro futuro, pero los esfuerzos políticos y cambios generacionales guiados por veteranos visionarios poco a poco nos guían como una luz en la penumbra.

Sección 1.6: Equipos consumidores de vapor de la planta

En cuanto se tuvo acceso a las instalaciones, se empezó con el mapeo de los principales consumidores de vapor de la planta. Así se definieron los usuarios, horarios de consumo, cantidad de vapor utilizado y la naturaleza del trabajo a realizar. Cabe destacar que algunos de los equipos mencionados no están físicamente en el área estipulada, pero son necesarios para el proceso y se enlazan a esta directa o indirectamente.

A continuación, se expondrá o encontrado buscando explicar la utilidad del vapor en cada área realizando un primer acercamiento al sistema de vapor a estudiar. Además, por consideración a la persona lectora, se mostrará el equipo fuera de los horarios de trabajo para evitar imágenes que puedan ser duras de asimilar.

Matanza

Esta es la actividad que desencadena el resto del proceso productivo, depende de la cantidad de animales entrante. La manipulación del animal para la extracción de carne comestible conlleva a un minucioso control de microorganismos dañinos para el consumo

humano. Con esto surge la necesidad de realizar una constante limpieza de las herramientas utilizadas en este proceso. La solución al problema es el uso de esterilizadores del instrumental. Su funcionar radica en proporcionar un flujo de agua con una temperatura de 85 °C. Esta debe ser renovada para evitar el acumulamiento de organismos dañinos, aun así, la industria no especifica la cantidad de agua de renovación necesaria.



Figura 7. Esterilizador de Sierra Canal
Fuente: Elaboración propia.

Se encuentran dos tipos principales de esterilizadores: para cuchillos y sierra canal. Estos pueden encontrarse con un suministro de agua caliente o vapor para su funcionamiento. También cuentan con un rebalse conectado a la cañería para garantizar la renovación del agua al abrir el grifo de suministro de agua. Cabe destacar que en esta empresa se fabricaron sus propios esterilizadores a partir de acero inoxidable.



Figura 8. Esterilizador de cuchillos.

Fuente: Elaboración propia.

Específicamente en la matanza de cerdos, una vez incinerados los pelos con un quemador de gas, se prosigue a limpiar la superficie con agua caliente para mejorar la estética y facilitar el consumo del producto. Se sumerge el cerdo por un tiempo definido en un recipiente calentado por una chaqueta de vapor. Este necesita un gran flujo de reposición de agua caliente para sostener las pérdidas por salpicadura y se necesita además un cambio de agua grande para garantizar la inocuidad del cerdo. También la regulación del agua caliente debe ser precisa para evitar daños en la piel del animal o desprendimiento de pezuñas.



Figura 9. Escaldador de cerdos
Fuente: Elaboración propia.

Deshuese y subproducto

Al seguir con el proceso de aprovechamiento de las partes del animal, se separan según se utilizarán para la venta final del producto. Algunos cortes de carne se venden enteros como las canales de cerdo y res (medio animal). Otros cortes requieren separar la carne de los huesos para generar los típicos cortes que se encuentran en las carnicerías o supermercados. Además, algunos órganos son bastante apetecidos en la gastronomía o industria cosmética, estos son separados del animal, procesados y almacenados.



Figura 10. Cocina de librillos
Fuente: Elaboración propia.

Esta máquina se encarga de la limpieza del librillo (un estómago de la vaca), aquí además de separar los restos de materia verde en el interior del estómago se proporciona una pequeña cocción. Este proceso, además de esterilizar el producto, lo vuelve más atractivo para el consumidor, pues disminuye olores y facilita su posterior manipulación. Un proceso similar sucede con el mondongo de la vaca.



Figura 11. Cocina de mondongos
Fuente: Elaboración propia.

Generalmente los cortes más apetecidos y otros productos que también los requieran son empaquetados. Estas máquinas retiran el aire de la empaquetadura proporcionando un sellado al vacío para ayudar con la conservación del producto como tal.



Figura 12. Empaquetadora de vacío
Fuente: Elaboración propia.

Preparados

Los recortes sobrantes, algunos tendones, mejillas y demás material utilizable es destinado para realizar carne molida u otros productos relacionados. Cabe destacar que, según la naturaleza del producto, necesitan distintas especificaciones de carne, grasa y cartílagos en la misma. En esta sala se encargan de cocinar productos como tortas de carne, taquitos, carne mechada y para chalupas. Se cocina el producto, ya sea en las marmitas, donde se realiza prácticamente toda la producción de esta sala, o en el horno cuando se tienen pruebas de nuevo producto.



Figura 13. Horno, procesados
Fuente: Elaboración propia.



Figura 14. Marmitas, procesados
Fuente: Elaboración propia.

Render

En la estación de Render se terminan de procesar los subproductos provenientes de la matanza y deshuese. Se recolectan huesos, piel, órganos, pesuñas, osamentas y orejas, entre otras partes, que son separadas del animal. Estas caen por gravedad a esta sección mediante un sistema de ductos de interconexión. Aquí son separados para empezar con los procesos de cocción de hiel, sangre, harina de carne y sebo.



Figura 15. Cocinas proceso Render
Fuente: Elaboración propia.

En las cocinas ingresa el material triturado previamente para la cocción y remoción de agua mediante un tornillo sin fin que supe del material por la parte superior de la cocina. Este proceso despide gran cantidad de vapor de flasheo con un olor similar al platillo costarricense “olla de carne”, lo cual indica la presencia de grasa animal. Esta máquina realiza un intercambio de calor por chaqueta, ubicado en su parte inferior, además dentro tiene un eje con paletas que se encarga de movilizar el interior constantemente.



Figura 16. Vapor de flasheo Render al ingreso de las cocinas, parte superior
Fuente: Elaboración propia.

Terminada la cocción, el material (despidiendo vapor de flasheo) se retira de las cocinas e ingresa a una separadora centrífuga donde se retira la grasa del producto. El vapor se encarga de acelerar una canasta que atrapa la fase a secar eliminando grasa de la mezcla. El producto seco se envía a la sección de molienda para venderse como concentrado en alimento de animales.



Figura 17. Separadora centrífuga
Fuente: Elaboración propia.

Los vapores se filtran mediante agua para apaciguar los olores producidos y disminuir su energía calórica antes de regresar al ambiente. El agua se envía a la planta de tratamiento y los gases son despedidos a la atmósfera.



Figura 18. Filtro de vapores del Render
Fuente: Elaboración propia.

La grasa o sebo es filtrada también y se empieza a preparar para la venta en tanques para su cocción. A estos se les inyecta vapor mediante un serpentín agujereado. El vapor, además de calentar la grasa, se encarga de revolver el contenido de la olla. El sebo se pesa, parte de este se envía a jabonería y el sobrante es vendido.



Figura 19. Cocina de Sebo
Fuente: Elaboración propia.

Jabonería

Una vez listo el sebo para trabajarse, se recibe en los tanques de sebo y aceites vegetales de la jabonería. Estos poseen un serpentín interno que se encarga de mantenerles en estado líquido al utilizarlos tres veces por semana por cinco horas, antes de emplearse en procesos posteriores. Además de esos tanques, se tienen otros que contienen la soda cáustica necesaria y diversos aceites vegetales para elaborar el jabón.



Figura 20. Tanques de almacenamiento, jabonería
Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, el sebo se agrega a las pailas donde se mezcla con varios aditivos para formar el jabón. La cantidad de sebo varía según el tipo de jabón que se esté produciendo al igual que la cantidad de agua. Este usuario utiliza vapor vivo para calentar la mezcla, tal y como se realiza con las pailas del Render.



Figura 21. Paila jabón
Fuente: Elaboración propia.

Para asegurar que el jabón fluya por el sistema de tuberías se posee un intercambiador de calor para calentarlo. A su vez, se usa una tubería pequeña de vapor que rodea las de

suministro de jabón. Estos elementos son necesarios para evitar obstrucciones en las tuberías. Así se distribuye el jabón de la primera paila donde se realiza el mezclado, a la segunda que funciona como un reservorio para mantenerle caliente y seguir con los procesos de extrusión y cortado.



Figura 22. Calentadores de jabón
Fuente: Elaboración propia.

Usuarios varios: Lavandería, limpieza, calentamiento de agua y búnker

En esta sección se definen equipos que no están necesariamente en el sitio físico del proceso donde suministran las líneas de vapor, pero aun así son parte del proceso. El tanque para el procesamiento de sangre animal se encuentra entre la entrada de subproducto del Render y las cocinas de este. El equipo se alimenta del cabezal de vapor que suministra el área de matanza. El tanque calienta la hiel y se prepara para su disposición final.



Figura 23. Paila de hiel
Fuente: Elaboración propia.

En el cuarto de calderas se tiene una salida del cabezal destinada al calentamiento del tanque principal de búnker y el tanque de suministro. Esta tubería, además de alimentar los serpentines, acompaña la tubería de suministro del combustible para calentarlo. En esta área se utiliza vapor vivo para precalentar el agua de acceso a la caldera y así evitar problemas por diferencias de presiones.



Figura 24. Tanque de búnker diario
Fuente: Elaboración propia.

La empresa tiene un servicio de lavandería para los uniformes que le proporciona al personal de trabajo. Estos son lavados, secados y catalogados según el área que pertenezcan.

La lavandería posee dos secadoras que funcionan a base de vapor y dos lavadoras que necesitan de un mezclador de vapor para calentar el agua de suministro.



Figura 25. Lavadoras de ropa con suministro de vapor
Fuente: Elaboración propia.

Existe un intercambiador viejo utilizado para calentar agua en el proceso de formados, este, a pesar de funcionar a una carga mucha menor a la diseñada, sigue consumiendo vapor y disipando energía en el ambiente. Además, posee fugas de fluido por una avería en el sistema de venteo.



Figura 26. Intercambiador de calor viejo, embutidos
Fuente: Elaboración propia.

El intercambiador de calor para el agua caliente de matanza consiste en tres tanques a los cuales se les agrega vapor vivo para su calentamiento. Estos abastecen los esterilizadores de matanza de res y algunos de matanza de cerdo, también se abastecen algunas salidas de limpieza.



Figura 27. Tanques agua caliente
Fuente: Elaboración propia.

Además de los usuarios anteriores, que son considerados de mayor relevancia y consumidores más grandes de vapor en la empresa, se tiene una serie de ramificaciones de la tubería destinada a la limpieza del área con vapor vivo. La limpieza además de contemplar las salas, también se realiza en tuberías y equipos a los cuales se les inyecta vapor para eliminar obstrucciones. Estas salidas de vapor se presentan en embutidos, matanza, render y jabonería.

La labor de limpieza depende del departamento, el supervisor y el trabajo realizado en el transcurso del día. Usualmente tiene una duración de 30 minutos en total y se realiza al final de la jornada, aunque, si lo amerita, puede realizarse una pequeña limpieza antes. Por ejemplo, el departamento de jabonería rara vez utiliza sus salidas de limpieza a no ser que

ocurra un derrame sustancial, por su parte, los departamentos que manipulan alimentos limpian rigurosamente cada día.



Figura 28. Mezclador vapor y agua fría
Fuente: Elaboración propia.

Sección 1.7: Demanda de vapor en planta y condiciones de operación de la caldera

La planta, al tener un carácter de demanda cambiante por la naturaleza de su producción, suministra vapor según se necesite en cada área. Así pues, un operario en el cuarto de calderas se encarga de abrir las válvulas de suministro de vapor para cada proceso. Se posee un registro de horas de apertura de las válvulas para realizar un cobro posterior del vapor solicitado. El sistema de cobro está desactualizado, pues utiliza factores viejos de consumo de vapor, estos serán renovados en el proceso de estudio del sistema. Aun así, se logró caracterizar un poco el perfil horario de demanda que se brindará a continuación.

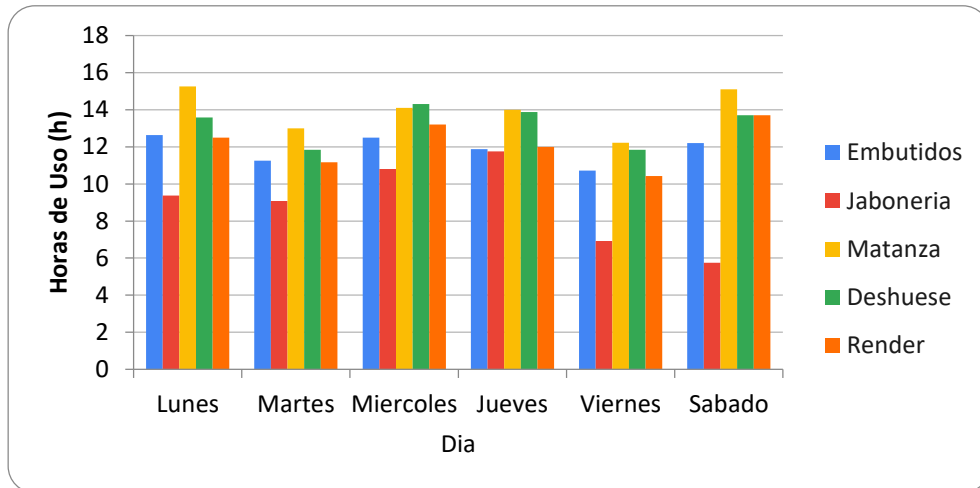


Figura 29. Perfil horario de consumo de vapor
Fuente: Elaboración propia.

Con este primer vistazo del consumo no se contempla la cantidad de vapor utilizado, pero sí se pueden ver los horarios en que se necesita el vapor semanalmente. También se observa cómo los procesos de embutido, Render y deshuese se comportan en función de la matanza. La jabonería, por otra parte, posee un desfase entre ellos disminuyendo su producción los viernes y sábados.

El manejo de la caldera también requiere un control del nivel de búnker, agua de suministro y los parámetros de funcionamiento de esta.

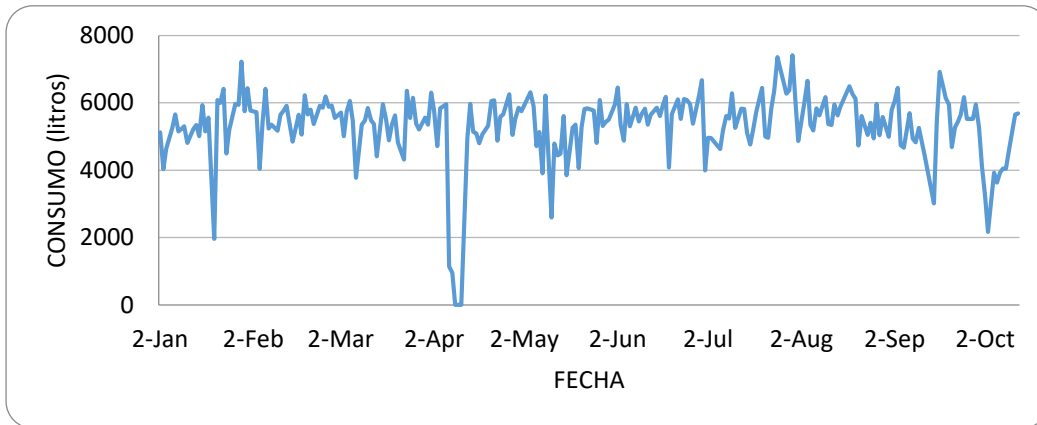


Figura 30. Histórico de consumo de búnker en la caldera
 Fuente: Elaboración propia, Google Sheets.

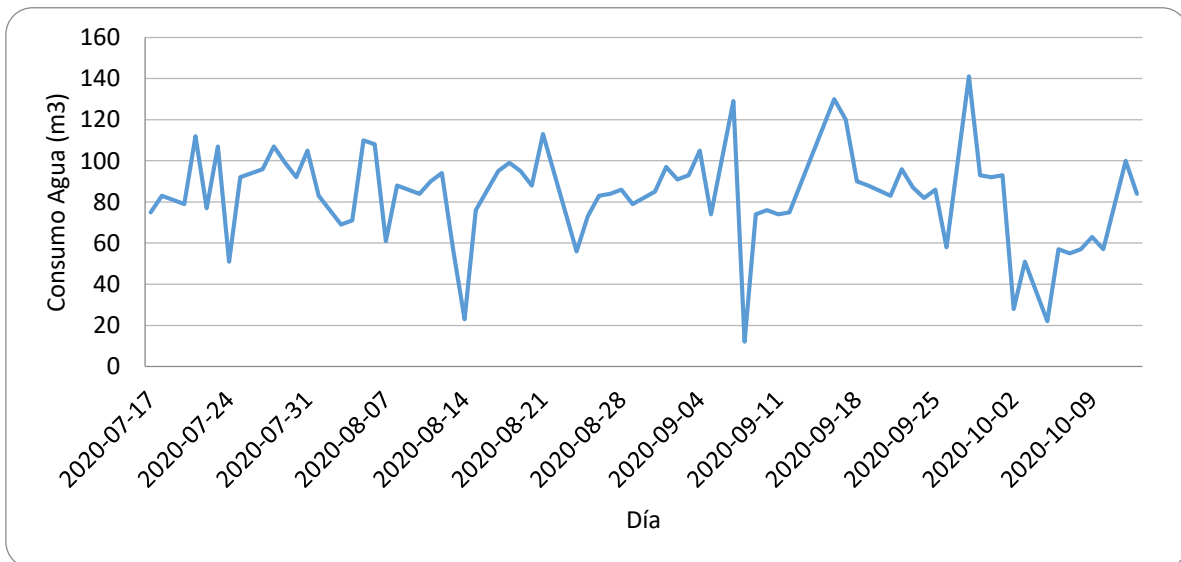


Figura 31. Histórico de consumo de agua en la caldera
 Fuente: Elaboración propia, Google Sheets.

VALOR PROMEDIO	Arranque	8:00 a.m	12:00 m.d	4:00 p.m
Cantidad Bunker (L)	22626,04			21161,85
Alimentación Agua (m3)	3043,50			3138,15
Presión Vapor (psig)	96,58	96,85	97,65	97,56
% damper	31,54	65,19	45,20	35,17
% V combustible	26,63	42,77	39,41	32,78
T bunker Tanque principal (C)	57,12	60,23	61,73	62,04
T bunker tanque Diario (C)	71,27	72,73	73,38	74,40
T bunker ingreso Quemador (C)	92,00	92,31	91,81	92,28
P Bunker descarga Bomba (psig)	106,46	101,08	100,58	99,96
P bunker entrada Caja Viscosidad (psig)	42,19	41,85	42,23	42,84
P bunker Retorno Caja Viscosidad (psig)	36,50	37,31	37,77	38,20
Paire compresor (psig)	15,62	15,96	16,46	15,84
P aire combustible Quemador (psig)	13,08	14,73	14,69	14,36
T Gases combustión (C)	171,92	189,69	191,38	191,16
T Agua tanque Alimentación (C)	57,08	90,54	68,08	72,68
Nivel Agua sobre LWCO (in)	2,00	1,86	1,86	1,96
Presión agua descarga bomba (psig)	160,19	158,27	156,69	162,12
Presión Agua entrada caldera (psig)	112,69	114,88	115,96	116,52
Presión Gas LP (psig)	7,56	7,46	7,46	7,60

Figura 32. Histórico valores operativos de la caldera

Fuente: Elaboración propia, Google Sheets.

Sección 1.8: Oportunidades de ahorro energético del local

En esta sección se desglosarán las oportunidades encontradas en planta en las cuales se puede desarrollar un ahorro energético. Se les catalogará en su impacto en la disminución de pérdidas frente a la inversión necesaria para finalmente ordenarles cronológicamente optando por una adquisición progresiva del equipo. Dicho orden será de acuerdo con el mejoramiento continuo del sistema de vapor y potenciando la adquisición nueva con la anterior, según la compatibilidad entre estas.

La generación de vapor se ve afectada por muchos factores distintos que terminan entrelazándose y proporcionando un valor agregado acumulativo a la afectación de la eficiencia global del sistema. Por ejemplo, un perfecto diseño de tubería de suministro de vapor puede ser inutilizado por un incorrecto sistema de trampeo y aislamiento térmico; generando golpes de ariete que atenten contra la integridad de la tubería como la calidad del vapor.

Aislamiento térmico

El primer aspecto a evaluar en esta sección será el aislamiento de la tubería de vapor en la empresa. Si bien la mayoría de la tubería se encuentra aislada, gran parte de esta no posee aislante o este se encuentra deteriorado. Se encontraron también secciones donde cae directamente agua fría a la tubería desnuda, lo cual provoca una pérdida de energía bastante considerable en el vapor transportado.



Figura 33. Ejemplo de ausencia y mal estado de aislamiento en tuberías de vapor
Fuente: Elaboración propia.

La instalación de aislamiento térmico en superficies con temperaturas mayores a los 100 °C es una inversión rentable y se potencia aún más si la superficie carece completamente de aislante. Algunas empresas han desarrollado ahorros en el 2 % del combustible aplicando estos recubrimientos térmicos y su periodo de retorno de inversión es menor al año. Cuando la temperatura es menor a 100 °C, pero mayor a 60 °C, también es rentable, pero los periodos de recuperación superan los dos años [15]. Así pues, se aconseja recubrir las superficies calientes para conservar la energía utilizada en el proceso, cuanto más caliente sea la superficie la inversión será más rentable.

Ahondando en los problemas relacionados con la falta de aislamiento, se encuentra el peligro latente en el contacto con dicha superficie. A partir de los 60 °C existe la posibilidad de causar quemaduras en la piel humana. La condensación excesiva en la red de distribución puede causar golpes de ariete que deterioran en gran medida la integridad de la tubería. Los usuarios finales estarán demandando una mayor cantidad de vapor, pues la pérdida en el camino se podría considerar como un usuario parásito. Por último, las tuberías de hierro al estar descubiertas al ambiente pueden sufrir de corrosión gracias al proceso vaporativo que sucede en la superficie al calentar gotas de agua. Así, un buen aislamiento puede disminuir las pérdidas de energía entre un 90 % a 70 %, disminuir el golpe de ariete, mantener una presión adecuada para los equipos y reducir riesgos laborales [15].



Figura 34. Ejemplo de corrosión en tuberías de vapor
Fuente: Elaboración propia.

Un elemento importante, que se debe considerar al pensar en un correcto aislamiento del sistema, son las válvulas. Por motivos de mantenimiento, cambio o incluso operación de estas son comúnmente descartadas en el momento de colocar el aislamiento. Estas siguen siendo una superficie caliente que se encarga de liberar calor a sus alrededores y en su

longitud terminan perdiendo una mayor cantidad de calor que su equivalente en tubería. Se recomienda implementar una chaqueta aislante removible para estos elementos de la red de vapor, su periodo de retorno de inversión es similar a los expuestos anteriormente en los rangos de temperatura [15].



Figura 35. Ejemplo de ausencia de aislamiento en válvulas de vapor
Fuente: Elaboración propia.

Reparación de fugas

La solvencia de este tipo de pérdidas de vapor por agujeros es una inversión que se recupera prácticamente de inmediato, con retornos menores a un año. Estos ahorros varían del 0,03 % hasta el 1,8 % en el combustible de la caldera. Usualmente la reparación de este tipo de problemas no tiene mucho costo asociado, pues los departamentos de mantenimiento en las empresas tienen los insumos necesarios para corregir el problema. También es muy común encontrar una sección del presupuesto anual de mantenimiento destinado a la reparación de dichos problemas [15].



Figura 36. Ejemplo fugas de vapor

Fuente: Elaboración propia.

El tamaño de la fuga se puede determinar dependiendo del tamaño del agujero, la temperatura del fluido, la temperatura del ambiente y la presión del sitio donde se da la fuga. El determinar el tamaño del agujero puede dificultarse, pues aparecen en uniones, válvulas o trampas. Por ese motivo, se puede estimar la cantidad de vapor desperdiciado según la longitud de pluma de vapor (vapor visible). Dependiendo del tamaño de la fuga puede no lograr apreciarse la longitud de pluma, aun así, son audibles, por lo cual se pueden rastrear [15]. Así pues, los operarios de equipos pueden informar al departamento de mantenimiento o los mismos encargados del mantenimiento identificarles mientras realizan sus labores.

Retorno de condensados

Una vez utilizado el vapor en el proceso productivo, este cede calor y cambia de fase gaseosa a otra menos energética como lo es el líquido. En las tuberías de abastecimiento sucede el mismo principio y se genera un condensado del vapor transportado. Este líquido, a pesar de ser menos aprovechable que el vapor, aún contiene gran cantidad de calor que es

reutilizable en el sistema de vapor. Para exprimir hasta la última gota de energía en un sistema altamente eficiente, se requiere un retorno de condensados. Este recupera condensado útil del sistema de vapor y lo vuelve a inyectar [15].

El condensado es retirado de las líneas de vapor mediante las trampas de condensado, las cuales se encargan de liberarle a la atmósfera. Un buen trampeo de condensados genera un vapor más seco y aprovechable en los intercambios de calor posteriores, además de eliminar golpes de ariete. El agua caliente idealmente se recibe en un tanque de retorno de condensado que mezcla con agua de reposición para alimentar la caldera [15].

Esta adquisición, además de ahorrar agua, permite disminuir la cantidad de químicos utilizada para generar el vapor. El condensado que retorna se considera como agua “limpia”, pues se le realizó un tratamiento de eliminación de dureza para ingresar al sistema en un inicio. El precalentamiento de agua logrado, gracias al retorno, evita riesgos de choque térmico en la caldera, protegiendo la integridad de esta. Por último, al calentar el agua de suministro se requiere una menor cantidad de energía agregada al líquido para iniciar con el proceso de vaporación [15].

En Coopemontecillos no existe un sistema de retorno de condensados actualmente y el precalentamiento del agua de suministro utiliza vapor vivo, lo cual es una gran pérdida de recursos. También, según la naturaleza del proceso, el vapor puede no ser reutilizable, pues llega a contaminarse con otras sustancias que serían dañinas para la caldera.



Figura 37. Ejemplo condensado aprovechable en cocina de Render
Fuente: Elaboración propia.

En las empresas el retorno regresa usualmente a 90 °C y se han registrado ahorros desde 0,1 % hasta 5,8 % del consumo de combustible [15]. Generalmente las inversiones en este equipo se recuperan en dos años, pues por cada aumento de 6 °C en la temperatura del agua de alimentación se tendrá un ahorro del 1 % de combustible. Para instalar este sistema se requiere levantar un listado de puntos donde se pueda recuperar condensado, trazar distancias para la ruta de la tubería de retorno y cuantificar los insumos necesarios como trampas, tuberías y otros accesorios.

Cambio de trampas en mal estado

Un buen sistema de retorno necesita del correcto funcionamiento de las trampas de condensado, estas mejoran la calidad del vapor en el usuario final. En la empresa se encontraron trampas fuera de funcionamiento que resultaron en fugas de vapor, pues se encontraban abiertas. Por ejemplo, en la lavandería, debido al ingreso excesiva cantidad de condensado, se tiene que abrir una válvula para drenarle y esto desencadena una gran fuga de vapor. De igual manera sucede en el calentamiento del tanque de búnker donde se realizó un bypass para inutilizar la trampa obstruida, confiriendo una fuga de vapor evitable.



Figura 38. Fuga de vapor en lavandería
Fuente: Elaboración propia.

Esta práctica genera ahorros promedio de 1,3 % y tiene retornos menores a 0,6 años. En resumen, estos dispositivos se encargan de eliminar el condensado, evitar el escape de vapor y desalojar el aire de la tubería. Pueden dañarse por desgaste, suciedad, golpe de ariete o corrosión por condensado ácido. Con simplemente revisar y corregir el funcionamiento de trampas trae como beneficios ahorros energéticos del orden del 3,8 % del consumo de combustible [15].

Adecuado aprovechamiento de vapor

Algunos de los equipos encontrados en la empresa presentan un proceso de calentamiento con vapor bastante ineficiente. Se agrega vapor directamente al medio a calentar, con lo cual se desperdicia bastante cantidad de energía que se fuga al salir del recipiente, se contamina vapor perfectamente recuperable y se presurizan recipientes más de lo necesario. Por ejemplo, se calienta agua en la azotea mediante tres tanques a los que ingresa vapor vivo. Estos despiden una considerable cantidad de vapor al ambiente, el flujo de vapor y el calentamiento provocan una turbulencia grande en el fluido que constantemente produce desbordes de agua caliente que también se desperdicia.

Estos sistemas de calentamiento podrían reemplazarse por intercambiadores de calor que realicen el mismo trabajo de manera más eficiente. También es posible recuperar el condensado sobrante del proceso de calentamiento reintegrándolo a la caldera. El vapor al estar en contacto directo con grasa, sangre o jabón es contaminado y no reutilizable, por lo cual muchos procesos podrían cambiar sus intercambiadores por serpentines herméticamente sellados.



Figura 39. Mal aprovechamiento de vapor en tanques de agua
Fuente: Elaboración propia.

Algunos procesos como el Render generan una carga térmica considerable en fluidos que deberán enfriarse antes de ingresar a la planta de proceso. En este caso en particular existe un tanque para el tratamiento de olores de dichos vapores generados en la cocción de la carne [16]. Esta energía podría ser perfectamente aprovechada con un intercambiador de calor para ser utilizada en el calentamiento de agua [17]. También puede utilizarse la carga térmica retirada en los procesos de enfriamiento y congelamiento de productos. Todo el calor enviado a disipar en los condensadores evaporativos de la azotea puede redireccionarse a un intercambiador de calor para el calentamiento de agua.



Figura 40. Vapores generados en el proceso de Rendering
Fuente: Elaboración propia.

Control de la combustión por análisis de gases

El fenómeno de combustión en la caldera está definido por varios factores como la calidad del combustible, la temperatura de entrada del aire, el sistema de inyección de combustible, el sistema de control eléctrico y la cantidad de exceso de aire entre otros. Al tener un buen control de la combustión en los diferentes régimen de funcionamiento de la caldera, se pueden lograr ahorros que van desde un 0,33 % hasta un 20 % en el aprovechamiento de combustible. El instaurar un sistema que analice los gases constantemente, para ajustar los parámetros de la combustión, permite vigilar el sistema detalladamente y la recuperación de la inversión ronda el medio año en promedio [15].

Este seguimiento de los gases, al señalar alguna anomalía, deberá ser acompañado de revisiones en los controles eléctricos de caldera, sistema de inyección de combustible, disponibilidad de operatividad de equipos y reajustes. Los porcentajes de oxígeno, dióxido de carbono, combustible no quemado y diferentes gases permiten un mejor aprovechamiento

del combustible en caso de variabilidad en este o las condiciones cambiantes del sistema con el pasar del tiempo [15].

Recuperar calor en la purga de la caldera

Las purgas en la caldera son estrictamente necesarias para garantizar un correcto balance de concentraciones de químicos dentro de ella. Estas pueden ser de nivel o de fondo y despiden gran cantidad de energía, pues el fluido se encuentra a alta presión y temperatura. Si bien se dificulta disminuir la cantidad de purgas, por las recomendaciones de los ingenieros químicos, el aprovechamiento de esta energía mediante un intercambiador de calor es una práctica muy provechosa. Algunas empresas han desarrollado ahorros promedio de 1,8 % del combustible por utilizar estas buenas prácticas con periodos de recuperación de tres años. Toda caldera con una purga del 5 % o mayor es buena candidata para implementar estas tecnologías [15].

Además del intercambiador, se puede utilizar la purga en un tanque de flasheo o un deaireador. El tanque de flasheo se encarga de recibir la purga a una presión reducida para incrementar la producción de vapor flash y reintegrarlo al tanque de condensados [15].

Disminución de presión de vapor

El reducir la presión en la generación de vapor es una medida meramente operativa, lo cual infiere una aplicación que no necesita de grandes inversiones, pero sí de un gran monitoreo de operaciones. Se presentan ahorros entre un 0,3 % y un 1,3 % con una recuperación inmediata [15]. Para lograr disminuir la presión de trabajo se requiere disminuir las pérdidas de energía, de fugas y conocer detalladamente la demanda de vapor en la empresa, a fin de identificar sus necesidades reales.

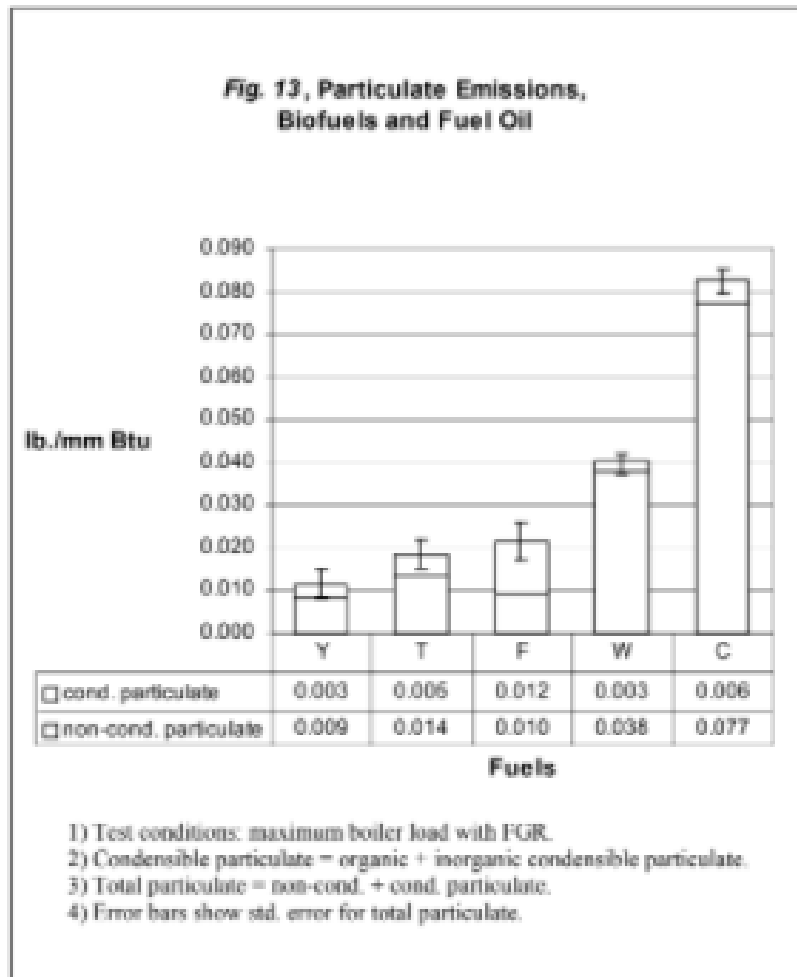
Cambio de combustible

Cuando se tienen recursos reaprovecharles en las empresas para generar energía, usualmente son apetecibles para alimentar la caldera. En ciertos ingenios de Costa Rica se utiliza biomasa para producir la energía calórica que se encarga de calentar el agua en la producción de vapor. En caso de Montecillos existe una gran producción de diferentes recursos biomásicos que pueden ser perfectamente utilizables para la producción de combustible.

Sebo

El primero a considerar es el sebo, este es extraído de las reservas de grasa en los animales procesados. Además de la grasa apetecida para los cortes de carne más populares, existe una gran fracción de ella que no se necesita y dicho sobrante es retirado para procesarse posteriormente. A nivel de la empresa se produce un estimado de 6000 kg de sebo diario de los cuales 4500 kg son destinados a la producción de jabón. El sobrante es vendido a otras empresas, se puede alcanzar la cifra de tres camiones cisterna al mes para la venta (21 500 kg/mes).

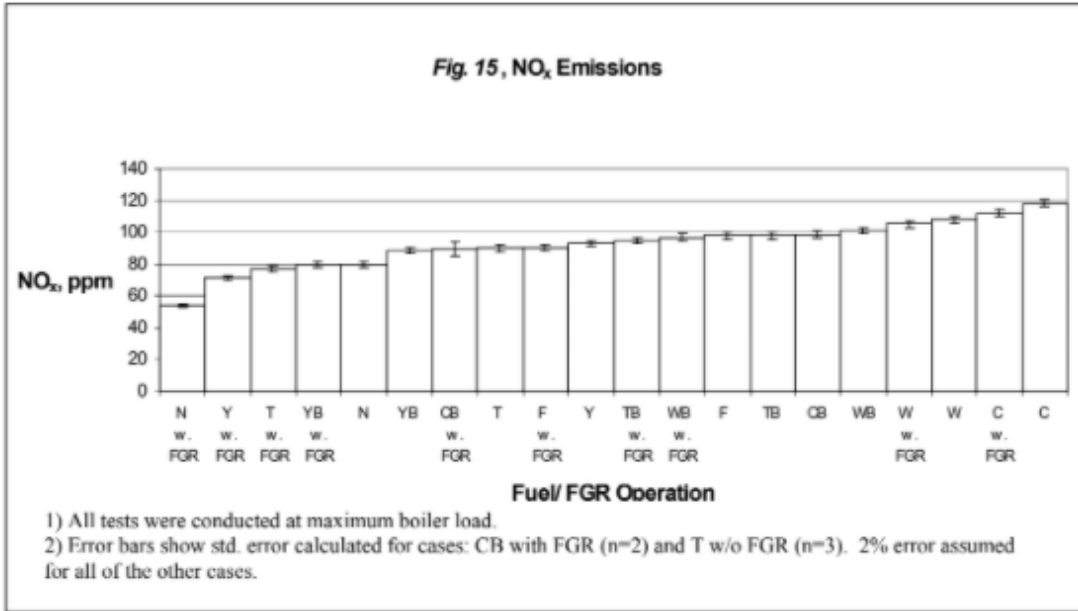
Lo más interesante de este producto es su capacidad calorífica de 46,33 MJ/kg [18], la cual es superior a la del búnker que es de 42,46 MJ/kg [19]. Otra característica de las grasas animales es su miscibilidad con los combustibles derivados del petróleo, esta particular razón puede permitir la utilización de mezclas de ambos para garantizar una disminución del uso del búnker.



Fuel Abrev.	Fuel
Y	YELLOW GREASE
T	TALLOW
F	No. 2 FUEL OIL
W	CHOICE WHITE GREASE
C	CHICKEN FAT

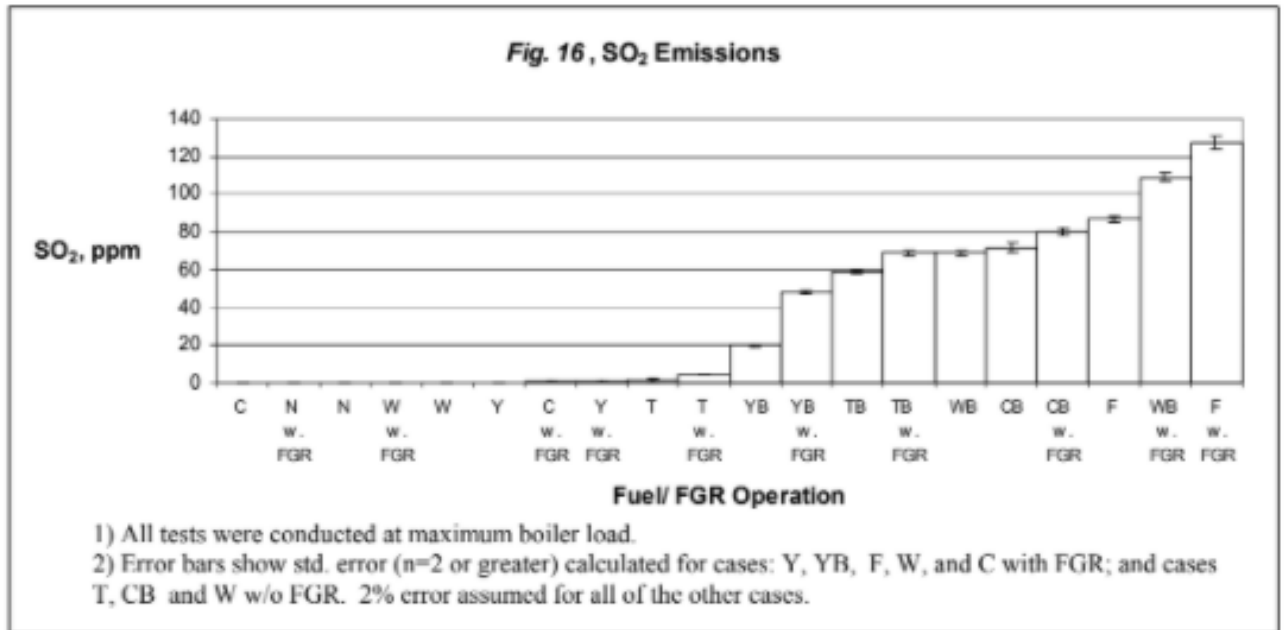
Fig. 13. Legend

Figura 41. Emisiones particuladas en la quema de biocombustibles en caldera
 Fuente: Thomas Adams, 2002 [18].



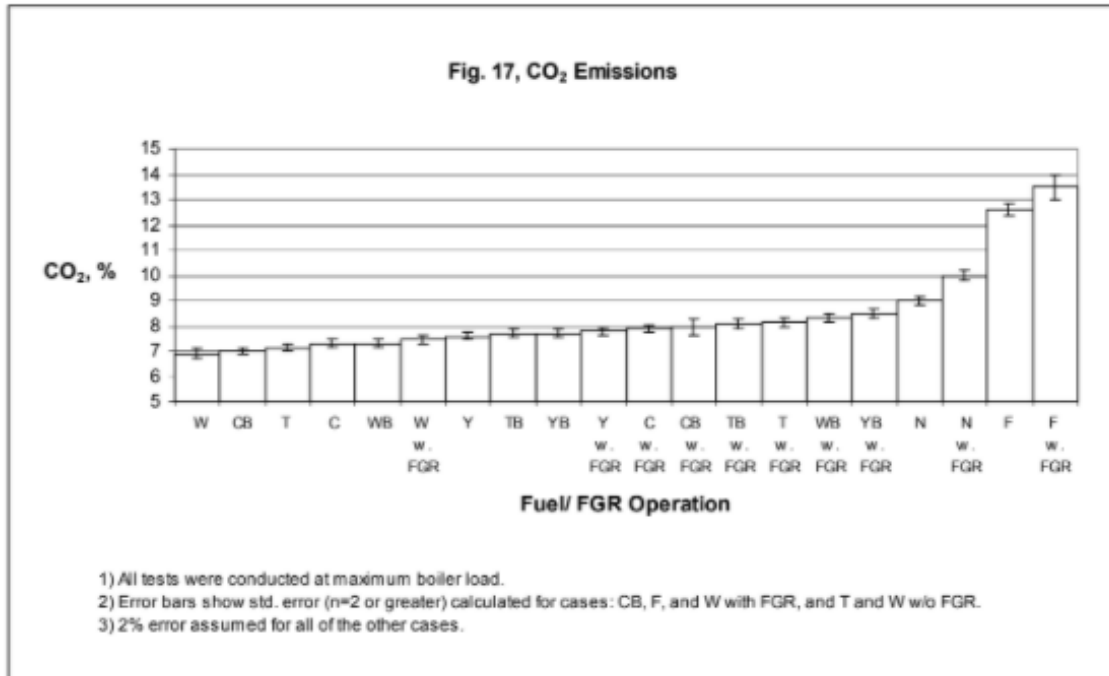
Fuel	Legend	NO _x emissions, ppm			Furnace Temperature, deg. F.		
		w/o FGR	w. FGR	% reduction	w/o FGR	w. FGR	delta
N	NATURAL GAS	80	54	32.5%	1,983	2,010	27
Y	YELLOW GREASE	93	71	23.7%	1,755	1,830	75
T	TALLOW	90	77	14.4%	1,824	1,928	104
YB	YELLOW GREASE - FUEL OIL BLEND	89	80	10.1%	1,773	1,811	38
CB	CHICKEN FAT - FUEL OIL BLEND	99	90	9.1%	1,756	1,843	87
F	No. 2 FUEL OIL	98	91	7.1%	1,836	1,901	65
TB	TALLOW - FUEL OIL BLEND	98	95	3.1%	1,714	1,790	76
WB	CHOICE WHITE GREASE - FUEL OIL BLEND	101	97	4.0%	1,860	1,954	94
W	CHOICE WHITE GREASE	108	105	2.8%	1,855	1,886	31
C	CHICKEN FAT	118	112	5.1%	1,776	n.a.	n.a.

Figura 42. Emisiones de óxido nítrico en la quema de biocombustibles en caldera
 Fuente: Thomas Adams, 2002 [18].



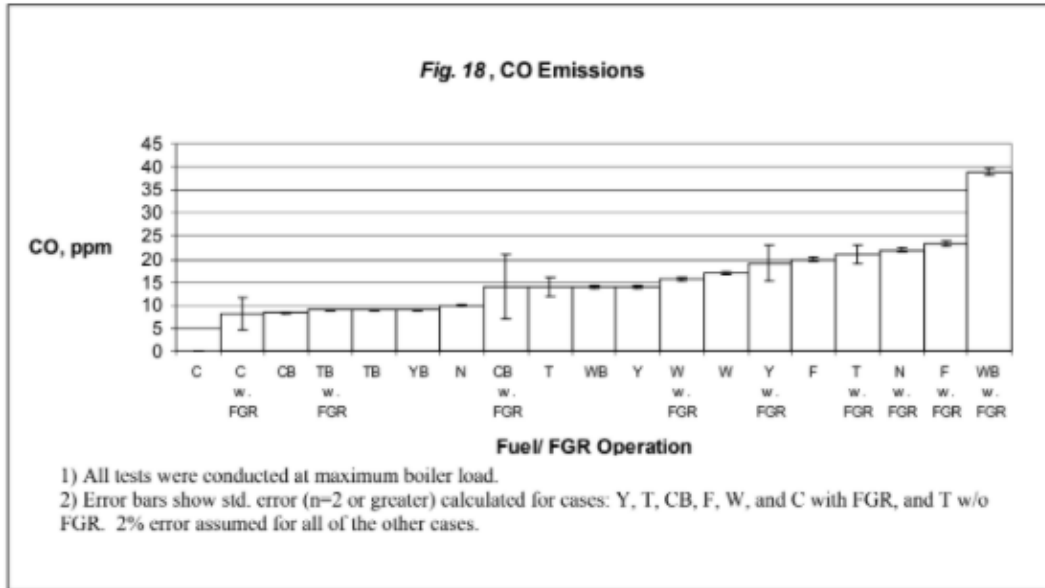
Fuel	Legend	SO ₂ emissions, ppm		
		w/o FGR	w. FGR	delta
N	NATURAL GAS	0	0	0
Y	YELLOW GREASE	0	1	1
W	CHOICE WHITE GREASE	0	0	0
C	CHICKEN FAT	0	0	0
T	TALLOW	1	4	3
YB	YELLOW GREASE - FUEL OIL BLEND	20	48	28
TB	TALLOW - FUEL OIL BLEND	59	69	10
WB	CHOICE WHITE GREASE - FUEL OIL BLEND	69	109	40
CB	CHICKEN FAT - FUEL OIL BLEND	72	80	8
F	No. 2 FUEL OIL	87	127	40

Figura 43. Emisiones de óxido de azufre en la quema de biocombustibles en caldera
 Fuente: Thomas Adams, 2002 [18].



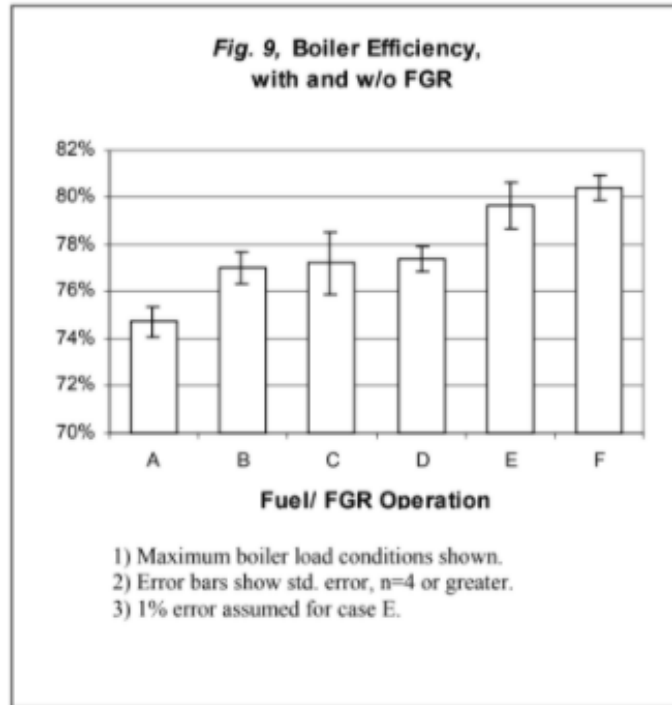
Fuel	Legend	CO ₂ emissions, %		
		w/o FGR	w. FGR	delta
W	CHOICE WHITE GREASE	6.9	7.5	0.6
CB	CHICKEN FAT - FUEL OIL BLEND	7.0	8.0	1.0
T	TALLOW	7.1	8.2	1.1
C	CHICKEN FAT	7.3	7.9	0.6
WB	CHOICE WHITE GREASE - FUEL OIL BLEND	7.3	8.3	1.0
Y	YELLOW GREASE	7.6	7.8	0.2
TB	TALLOW - FUEL OIL BLEND	7.7	8.1	0.4
YB	YELLOW GREASE - FUEL OIL BLEND	7.7	8.5	0.8
N	NATURAL GAS	9.0	10.0	1.0
F	No. 2 FUEL OIL	12.6	13.5	0.9

Figura 44. Emisiones de dióxido de carbono en la quema de biocombustibles en caldera
 Fuente: Thomas Adams, 2002 [18].



Fuel	Legend	CO emissions, ppm		
		w/o FGR	w. FGR	delta
C	CHICKEN FAT	0	8	8
CB	CHICKEN FAT - FUEL OIL BLEND	8	14	6
TB	TALLOW - FUEL OIL BLEND	9	9	0
YB	YELLOW GREASE - FUEL OIL BLEND	not available		
N	NATURAL GAS	10	22	12
T	TALLOW	14	21	7
WB	CHOICE WHITE GREASE - FUEL OIL BLEND	14	39	25
Y	YELLOW GREASE	14	19	5
W	CHOICE WHITE GREASE	17	16	-1
F	No. 2 FUEL OIL	20	23	3

Figura 45. Emisiones de monóxido de carbono en la quema de biocombustibles en caldera
 Fuente: Thomas Adams, 2002 [18].



Fuel/ FGR. Operation	Average Efficiency	Flue Gas Recirculation (FGR) Status
A	74.7%	BIOFUELS, w/o FGR
B	77.0%	BIOFUELS with FGR
C	77.2%	BLENDED BIOFUELS w/o FGR
D	77.4%	BLENDED BIOFUELS with FGR
E	79.6%	No. 2 FUEL OIL w/o FGR
F	80.4%	No. 2 FUEL OIL with FGR

Fig. 9, Legend

Figura 46. Eficiencia de combustión en la quema de biocombustibles en caldera
Fuente: Thomas Adams, 2002 [18].

Los gráficos expuestos anteriormente muestran las emisiones de impacto atmosférico más significativas en la quema de combustible en una caldera. Estas pruebas fueron realizadas por la universidad de Georgia en Estados Unidos en el 2002 [18]. Se analizaron los efectos de diversos combustibles en la combustión en la caldera y se procedió a compararlos respecto a su eficiencia, emisiones y poderes caloríficos para demostrar su utilidad como combustible.

Así las cosas, la comparación del combustible número 2 (diésel), gas natural y sebo (Tallow), las emisiones se mantienen inferiores a las del diésel prácticamente en la mayoría de los aspectos. Incluso, la mezcla de diésel y grasa se mantiene inferior en emisiones que el diésel puro. Lastimosamente, la eficiencia en la combustión con los combustibles que no fuesen diésel se vio disminuida en un orden hasta del 5 %. Aun así, estas alternativas siguen siendo viables, tanto en poder calorífico como en reducción de emisiones [18].

La combustión del sebo genera suciedad parecida al diésel e incluso se verifica una combustión más limpia posterior a la quema. Esto dependerá del proceso de filtrado del combustible antes de ingresar a la caldera para eliminar cualquier contaminante ajeno a la sustancia. En caso de implementarse como combustible debe ser considerado un proceso de limpieza del sebo para poder aprovecharse correctamente. Otro aspecto a evaluar es la variabilidad del estado del sebo, pues dependiendo del ganado que ingrese a la planta sus capacidades pueden fluctuar, por lo cual se aconseja utilizar un buen sistema de control de gases para rastrear la combustión [18].

Por último, se puede considerar el recirculamiento de gases de combustión para mejorar la eficiencia de combustión y disminuir la cantidad de contaminantes ambientales. Esta práctica logró levantar la eficiencia de la combustión de 0,2 % hasta 2,3 % en algunos casos, como se evidenció en la Figura 43. Además, como se observa en figuras anteriores, se disminuye la cantidad de contaminantes atmosféricos liberados, por lo cual es interesante y atractivo plantear su utilización.

Si bien esta investigación compara la utilización de sebo con diésel, puede utilizarse para compararle indirectamente con el búnker, pues posee factores de emisión mayores a los del diésel [20].

Gas natural

Como se observó en el análisis del sebo, el gas natural también es una alternativa válida en la producción de combustible para la caldera. Dicho “gas” no es más que una mezcla de metano, butano y diferentes gases. Aunque puede ser extraído de la tierra, este puede generarse en un biodigestor mediante el procesamiento de materia orgánica. Gracias a una digestión anaeróbica se pueden procesar residuos animales y vegetales (biomasa) para generar combustible [21].

La digestión aeróbica consiste en procesos realizados por diversos grupos de microorganismos, principalmente bacterias y protozoos que, en presencia de oxígeno, actúan sobre la materia orgánica disuelta, transformándola en productos finales inocuos y materia celular [21]. Esta digestión sin oxígeno elimina la presencia de malos olores, coliformes fecales y otros patógenos que podrían estar en contacto con el aire respirado. Como desventajas se tienen costos considerables de operación energética y control del biodigestor por falta de parámetros y criterios claros para el diseño; además de la separación mediante centrifugación y filtración en vacío de los lodos digeridos. Como producto final se obtiene un gas con concentraciones de 55 % a 70 % metano y 30 % a 45 % de dióxido de carbono, proporcionando una capacidad calorífica de 17, 28 MJ/kg.

Entre los aspectos a resaltar en la producción de biogás se encuentra su impacto ambiental, pues el metano posee una capacidad de agotamiento del ozono 25 veces mayor a la del CO₂ [22]. Este al combustionar produce dióxido de carbono, agua y energía calórica, lo cual disminuye globalmente el efecto atmosférico que se tendría con solo liberarlo a la atmósfera.

Capítulo 2: Cálculos y análisis

En esta sección se analizarán matemáticamente las propuestas energéticas expuestas con anterioridad. Además, se explicará el proceso de toma de datos realizado, se explicarán los factores de error del sistema y, por último, se proyectará el impacto de implementación de las alternativas.

Sección 2.1: Aislamiento térmico

Primeramente, se realizaron mediciones en planta sobre las tuberías sin aislamiento térmico, pues es la mejor oportunidad para generar ahorros. También se tomaron en cuenta elementos del sistema de distribución de vapor que no tuvieran aislamiento térmico como los accesorios y cabezales. Estos claramente serán contemplados, pues poseen un área de transmisión de calor bastante considerable que proporcionará una pérdida de energía que no deberá ser obviada.

Una vez recolectada la información acerca de las dimensiones geométricas del objeto a calcular, se buscó el factor de emisión de calor asociado. Para esto se utilizó la tabla 7 de la guía de referencia para la distribución de vapor de Spirax Sarco [23]. En esta parte se necesita la temperatura a la cual se encuentra la tubería. Debido a que no se tienen los instrumentos de medición necesarios y no es seguro para el practicante tomar las mediciones en algunos lugares peligrosos, se asumirá la temperatura de vapor saturado a la presión más baja de distribución en el sistema.

En este caso sería la del cabezal de la jabonería antes de la válvula reguladora de presión (5,5 bares). Esta presión a nivel de distribución se toma, pues la jabonería se encuentra a mayor distancia desde el cuarto de calderas, lo cual indica una mayor pérdida de

presión longitudinal. En el caso de los equipos, algunos de estos tienen manómetros para indicar a la presión trabajada, pero en caso de no tener la información necesaria se asumirá la presión de trabajo después de la válvula reguladora en la jabonería (1,5 bares).

Tabla 7 Emisiones de calor en las tuberías

Diferencia de temperatura entre vapor y aire °C	Tamaño do tubería									
	15 mm	20 mm	25 mm	32 mm	40 mm	50 mm	65 mm	80 mm	100 mm	150 mm
56	54	65	79	103	108	132	155	188	233	324
67	68	82	100	122	136	168	198	236	296	410
78	83	100	122	149	166	203	241	298	360	500
89	99	120	146	179	205	246	289	346	434	601
100	116	140	169	208	234	285	337	400	501	696
111	134	164	198	241	271	334	392	469	598	816
125	159	191	233	285	285	394	464	555	698	969
139	184	224	272	333	333	458	540	622	815	1 133
153	210	255	312	382	382	528	623	747	939	1 305
167	241	292	357	437	437	602	713	838	1 093	1 492
180	274	329	408	494	494	676	808	959	1 190	1 660
194	309	372	461	566	566	758	909	1 080	1 303	1 852

Figura 47. Emisiones de calor en tubería de vapor

Fuente: Spirax Sarco [23].

En la determinación de los valores de tablas por interpolación se realizará a partir de una función polinómica de grado cuatro para obtener valores más acertados. Justificamos este uso por la teoría de transferencia de calor, pues el factor de tabla dependerá de los tres fenómenos de transferencia: conducción, convección y radiación [24]. Dichos fenómenos se expresan a partir de la geometría, material y condiciones ambientales del sistema. Todos estos aportes son sumados para obtener el flujo total de calor disipado por la tubería, en este caso sería el factor de pérdida de calor y está en función de la temperatura del sistema.

El modelo posee constantes relacionadas a las condiciones ambientales y propiedades térmicas de los materiales; así la temperatura se volvería la variable en la función de transferencia de calor. Como se observa en la función de calor por radiación, esta posee un

exponente de grado cuatro, el cual define la forma del polinomio a estudiar en el desarrollo matemático de la interpolación.

$$Q_{cond} = -KA \frac{dT}{dx}; Q_{conv} = hA_s (T_s - T_\infty); Q_{rad} = A_s \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_\infty^4)$$

Figura 48. Emisiones de calor en tubería de vapor, ecuaciones
Fuente: Yunus Cengel [24].

Con lo anterior se obtiene una temperatura de saturación del vapor de 162 °C a 5,5 bares manométricos y de 127 °C a 1,5 bares manométricos. Con una temperatura ambiente promedio de 22,3 °C para Alajuela, se tomarán la filas más cercanas a los diferenciales de temperatura de 140 °C y la de 103 °C en la tabla (139 °C y 100 °C, respectivamente), esta no contempla todos los diámetros encontrados por lo cual se procede a interpolar y extrapolar en el caso de los cabezales.

Al poseer el factor se multiplica por la longitud de tubería y por las horas de uso de esta, según la información brindada en la Sección 1.7. Así obtenemos la cantidad total de energía que se encuentra disipando la tubería, esta será trasformada a su equivalencia en litros de búnker diarios para iniciar con los análisis venideros. El cuarto de calderas presenta una excepción, allí al encontrarse tan cercanos al punto de generación de vapor se considera la presión igual a la de saturación, por lo cual las pérdidas serán mayores.

Descripción	Longitud (m)	Diámetro Tubería (in/mm)	Tubería sin Aislante				Energía diaria (kJ)	Ecuivalente Búnker
			Emisión de calor (W/m)	Pérdida(W/h)	Horas de uso			
Salida Cuarto Calderas Deshuese	8	2 [50,8]	458,00	3664,00	13,59	179207,50	4,24	
Salida Cuarto Calderas Preparados	5	3 [76,2]	602,00	3010,00	12,13	131476,80	3,11	
Salida Cuarto Calderas Matanza	5	4 [101,6]	776,00	3880,00	14,22	198578,40	4,70	
Salida Cuarto Calderas Render	1,5	6 [152,4]	1204,00	1806,00	12,42	80728,20	1,91	
Entrada Render Tubería Matanza	1	4 [101,6]	815,00	815,00	14,22	41711,70	0,99	
Embudo entre Caldera y Render	1	3 [76,2]	602,00	602,00	12,13	26295,36	0,62	
Distribución Jabonería línea principal	14	2 1/2 [63,5]	524,00	7336,00	9,46	249875,45	5,91	
Distribución Jabonería Tanque Sebo Venta	8	2 [50,8]	458,00	3664,00	1,60	21104,64	0,50	
Distribución Jabonería Tanque Sebo del Render	5	1 1/2 [38,1]	333,00	1665,00	2,50	14985,00	0,35	
Distribución Jabonería Tanque Sebo Lavado	6	3/4 [19,05]	220,00	1320,00	2,50	11880,00	0,28	
Cabezal Render	2,5	7 3/4 [196,85]	1461,00	3652,50	12,42	163266,75	3,86	
Lavandería	7,6	3/4 [19,05]	138,00	1048,80	14,22	53677,58	1,27	
techo Matanza	12,8	2 [50,8]	458,00	5862,40	14,22	300037,63	7,10	
techo Matanza	8,5	2 [50,8]	458,00	3893,00	14,22	199243,74	4,72	
Cabezal Matanza	3,8	7 3/4 [196,85]	1461,00	5551,80	14,22	284141,12	6,73	
Salida sub producto (goteras)	15,8	1/2 [12,7]	160,00	2528,00	14,22	129383,04	3,06	
Tubería deshuese Techo	39,5	2 [50,8]	458,00	18091,00	13,59	884837,05	20,94	
Deshuese Techo Derivaciones	49,3	1/2 [12,7]	160,00	7888,00	13,59	385804,80	9,13	
Tanque sebo Mediano a Parte Jabonería	13,5	1 1/2 [38,1]	333,00	4495,50	9,46	153123,65	3,62	
Preparados Alta P	16,2	1/2 [12,7]	160,00	2592,00	12,13	113187,46	2,68	
Preparados Salidas Marmitas	7,6	1/2 [12,7]	96,62	734,31	12,13	32074,75	0,76	
Matanza de Cerdo	6,6	2 [50,8]	458,00	3022,80	14,21	154634,36	3,66	
Calentador agua Formados	2,8	7 3/4 [196,85]	889,00	2489,20	13,59	121747,63	2,88	
Alimentación Calentador agua FS	3,7	2 [50,8]	458,00	1694,60	13,59	82883,47	1,96	

Figura 49. Memoria de cálculos sobre pérdidas por emisión de calor en tubería de vapor
Fuente: Elaboración propia, Excel.

La pérdida obtenida se multiplica por la cantidad de horas de utilización de cada tubería, la cual se obtuvo de la Sección 1.7. Esto nos da el equivalente en kWh promedio que se gasta al día. Para calcular su equivalente en búnker se realiza la conversión a KJ, con la densidad del búnker y su capacidad calorífica obtenida de su ficha técnica se logra obtener la cantidad de litros necesarios para suplir dicha energía.

Coopemontecillos le compra el combustible a la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE), este vende el búnker a 187,8 colones por litro [19]. Al tener un total de 99,19 litros diarios, se gastarían 18 627,88 colones al día por pérdidas por falta de aislante. Si lo extrapolamos a un año de 50 semanas trabajando 6 días a la semana, sumarían 5,58 millones de colones anuales.

En el caso de los accesorios, se realizó un levantamiento de válvulas que no contaban con un apropiado aislamiento térmico. A estas también se les asoció un valor de emisión de calor, según el diámetro de tubería a la cual se encuentra acoplada y las horas de uso serán de acuerdo con la Sección 1.7. Se utilizó la tabla 4 de la guía de buenas prácticas en eficiencia energética para sistemas de vapor de USAID [15]. Dicha tabla no está lo suficiente discretizada para nuestro análisis, por lo cual se procede a extrapolar los valores de emisión

para tamaños de accesorio menor a tres pulgadas y se interpola a los valores de presión necesarios.

Tabla 4. Ahorro de energía con la instalación de aislamiento desmontables en válvulas
 Ahorro de energía por la instalación de aislamiento removible en válvulas para vapor [Btu/h]

Temperatura de operación [°F] (Presión de vapor [psia])	Diámetro de la válvula [pulgadas]					
	3	4	6	8	10	12
200 (11.5)	800	1,090	1,560	2,200	2,900	3,300
300 (66.9)	1,710	2,300	3,300	4,800	6,200	7,200
400 (247)	2,900	3,400	5,800	8,300	10,800	12,500
500 (680)	4,500	6,200	9,000	13,000	16,900	19,700
600 (1,541)	6,700	9,100	13,300	19,200	25,200	29,300

Figura 50. Ahorros de energía en la instalación de aislamiento térmico en válvulas de vapor

Fuente: USAID [15].

Descripción	Accesorio Sin Aislante						Precio
	Presión Manométrica (Bar)	Diámetro Válvula (in)	Emisión de calor (Btu/h)	Horas de uso	Energía (kJ)	Equivalente Búnker	
Cabezal Cuarto Calderas	6,5	8	5647	14,23	84781,26	2,01	375,27
Cabezal Rónder	6,5	6	3937	12,42	51589,84	1,22	228,35
Cabezal Preparados	6,5	3	2000	12,13	25595,76	0,61	113,29
Cabezal Jabonera	6,5	2 1/2	1622	9,46	16188,97	0,38	71,66
Cabezal Matanza	6,5	4	2625	14,22	39382,75	0,93	174,32
Deshuase	6,5	2	1283	13,59	18395,99	0,44	81,43
Calentamiento Agua y Búnker	6,5	2	1283	14,21	19235,25	0,46	85,14
Cocina 1	5,5	2	1283	12,41	16798,70	0,40	74,36
Cocina 3	5,5	2	1283	12,41	16798,70	0,40	74,36
Cocina 4	5,5	2	1283	12,41	16798,70	0,40	74,36
Separadora Centrífuga 1	5,5	1 1/2	947	12,41	12399,35	0,29	54,88
Separadora Centrífuga 2	5,5	1 1/2	947	12,41	12399,35	0,29	54,88
Limpieza y Sebo	5,5	1 1/2	947	12,41	12399,35	0,29	54,88
Mármits y Horno	5,5	3/4	459	12,13	5874,23	0,14	26,00
Limpieza	5,5	1	620	12,13	7934,68	0,19	35,12
Suministro	5,5	3	2000	12,13	25595,76	0,61	113,29
Limpieza	5,5	2	1283	12,13	16419,68	0,39	72,68
Tanques de Sebo Suministro	5,5	1 1/2	947	9,46	9451,88	0,22	41,84
Limpieza Tuberías Jabón	1,5	1 1/2	947	9,46	9451,88	0,22	41,84
Tanques de Sebo	5,5	1 1/2	947	9,46	9451,88	0,22	41,84
Calentador Jabón	1,5	1 1/2	646	9,46	6447,64	0,15	28,54
Paila	1,5	1 1/2	646	9,46	6447,64	0,15	28,54
Paila	1,5	1 1/2	646	9,46	6447,64	0,15	28,54
Calentamiento Tubería	1,5	3/4	316	9,46	3153,95	0,07	13,96
Calentamiento Tubería	1,5	3/4	316	9,46	3153,95	0,07	13,96
Suministro Principal	1,5	2 1/2	1096	9,46	10939,03	0,26	48,42
Tanque Sebo Aislado	5,5	2 1/2	1622	9,46	16188,97	0,38	71,66
Tanque Sebo Mediano 1	5,5	2 1/2	1622	9,46	16188,97	0,38	71,66
Tanque Sebo Mediano 2	5,5	2 1/2	1622	9,46	16188,97	0,38	71,66
Tanque Sebo Mediano 3	5,5	2 1/2	1622	9,46	16188,97	0,38	71,66

Tanque Sebo Mediano 4	5,5	2 1/2	1622	9,46	16188,97	0,38	71,66
Tanque Soda Caustica	5,5	2 1/2	1622	9,46	16188,97	0,38	71,66
Tanque Sebo para Venta	5,5	2 1/2	1622	9,46	16188,97	0,38	71,66
Paila Hiel y ramificación	5,5	1 1/2	947	14,22	14207,80	0,34	62,89
Limpieza	5,5	1	620	14,22	9301,83	0,22	41,17
Calentador subproducto	5,5	2	1283	14,22	19248,79	0,46	85,20
Lavandería	5,5	2	1283	14,22	19248,79	0,46	85,20
Calentadores Agua Techo	5,5	2	1283	14,22	19248,79	0,46	85,20
Esterilizadores Matanza Cerdo	5,5	2	1283	14,22	19248,79	0,46	85,20
Tanque Agua caliente 1	5,5	2	1283	14,22	19248,79	0,46	85,20
Tanque Agua caliente 2	5,5	2	1283	14,22	19248,79	0,46	85,20
Tanque Agua caliente 3	5,5	1	620	14,22	9301,83	0,22	41,17
Secadora 1	1,5	3/4	316	14,22	4740,93	0,11	20,98
Secadora 2	1,5	3/4	316	14,22	4740,93	0,11	20,98
Lavadora 1	1,5	3/4	316	14,22	4740,93	0,11	20,98
Lavadora 2	1,5	3/4	316	14,22	4740,93	0,11	20,98

Figura 51. Cálculo de ahorros de energía en la instalación de aislamiento térmico en válvulas de vapor

Fuente: Elaboración propia, Excel.

Con este último análisis se obtiene un ahorro de 988 110 colones anuales por falta de aislante térmico en accesorios. Cabe destacar que, aunque se estos dos cálculos son parecidos, se plantea el análisis como inversiones separadas. Se puede evidenciar que la falta de aislamiento térmico es mayor en la parte de tuberías, pero la de accesorios representa una cantidad de dinero que no debe despreciarse. Además, no todas las empresas ofrecen chaquetas removibles para aislar este tipo de accesorios. Por último, se contempló solamente el impacto asociado a las válvulas de vapor, las bridas filtros, juntas flexibles y otros que proporcionan un área superficial considerable para generar pérdidas de calor.

Compra de aislamiento térmico

CACME recomienda un espesor óptimo de aislante térmico en el anexo 5 con el cual se basó para escoger ancho de aislante necesitado además del tipo recomendado, al ser fibra de vidrio enchapada en aluminio [9]. Ahora, según lo estipulado en la Sección 1.8 en el apartado de aislamiento térmico, se indica que se puede ahorrar desde un 70 % a un 90 % de la energía perdida. En este análisis se contemplará el peor ahorro posible (70 % de la energía desperdiciada 4,66 millones de colones) para calcular el periodo de recuperación.

5.5 Anexo V - Tablas de espesor óptimo de aislante

(pulgadas)

Diámetro (pol)	Temperatura (°C)															
	50	75	100	125	150	175	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650
1/2																
3/4																
1																
1 1/4																
1 1/2																
2																
2 1/2																
3																
4																
5																
6																
8																
10																
12																
14																
16																
18																
20																
25	25															
38		38														
51			38													
76				38												
89					38											
102						38										
140							38									

Figura 52. Grosor de aislamiento térmico recomendado
Fuente: CACME [9].

Otras consideraciones

Si bien, reparar un aislamiento en mal estado puede generar ahorros substanciales, en esta ocasión serán obviados para los cálculos por falta de criterio para determinar su estado. En caso de lograr conseguir algún equipo que pueda medir la humedad del aislamiento o algún otro método para determinar la integridad de este, se deberá contemplar para un análisis más completo. Como un dato para dar mayor validez a la necesidad de este estudio, un aislamiento saturado de agua puede generar pérdidas hasta 50 veces mayores que la misma tubería al aire. También se debe considerar que Costa Rica es un país tropical, lo cual infiere una cantidad sustancial de lluvia que puede colaborar a las pérdidas energéticas.

Sección 2.2: Análisis de trampas de vapor en mal estado

La mayoría de las trampas encontradas fueron de balde, por lo cual se buscó una intermitencia operativa en su funcionar. En este tipo de análisis se debe ser bastante minucioso para no confundir una fuga por encontrarse abierta la trampa a un funcionamiento correcto de la misma. Se encontraron trampas obstruidas en la lavandería que provocaban un fallo funcional en las secadoras al agregar condensado a la ropa y mojarla en vez de secarla. Esto resultaba en la apertura de una válvula para liberar el condensado y acontecía con una gran fuga de vapor de casi dos metros de pluma. Caso similar sucedió con el calentamiento del tanque de búnker con una fuga mayor de vapor, el tanque de sebo proveniente del Render contiguo al tanque de sebo para la venta en la jabonería y una trampa en medio de los tanques de sebo del Render.

Estas trampas abiertas se dimensionaron como una fuga de vapor con el tamaño de orificio ofrecido en la ficha técnica [25]. Las trampas mencionadas son de 2 pulgadas y de 1

½ pulgadas, las cuales tienen un orificio de 7/16 de pulgada. Estas serán contempladas en la sección siguiente y se tomará el costo de la nueva trampa en el análisis económico correspondiente.

Sección 2.3: Análisis de fugas

La detección de fugas es una labor un tanto fácil, esta puede realizarse al ver directamente un flujo de vapor, en este caso blanco, saliendo de una tubería. En caso de no poder visibilizarlo, se puede escuchar, pues el gas presurizado produce un sonido al salir por el orificio. La totalidad de fugas detectadas se encuentran en accesorios del sistema de vapor, en estas no se pudo observar directamente el tamaño del orificio, por lo cual se dimensionaron según la altura de pluma de vapor. Se utilizó la tabla 7 de la guía de buenas prácticas para eficiencia energética para sistemas de vapor de USAID [15]. Esta posee una presión mayor a la cual se encuentran las fugas, pero será el primer paso para aproximarse al tamaño del orificio.

Tabla 7. Pérdida de vapor (Método por altura de pluma)

Altura de la pluma		Pérdida de vapor kg/hr (lb/hr)					
		7.2°C (45°F) ambiente		21.1°C (70°F) ambiente		32.2°C (90°F) Ambiente	
8.1 kg/cm ²	(115 psi)						
0.91	3 ft	4.54	(10)	13.63	(30)	22.72	(50)
1.83	6 ft	13.63	(30)	27.27	(170)	127.27	(280)
2.74	9 ft	31.81	(70)	190.90	(420)	318.18	(700)
3.66	12 ft	50.00	(110)	295.45	(660)	500	(1,100)
29.2 kg/cm ²	(115 psi)						
0.91	3 ft	9.09	(20)	15.90	(35)	22.72	(50)
1.83	6 ft	22.72	(50)	77.27	(170)	131.81	(290)
2.74	9 ft	59.09	(130)	277.27	(500)	363.63	(800)
3.66	12 ft	100.00	(220)	395.45	(870)	636.36	(1,400)

Fuente: CONUEE Guía de vapor para la industria

Figura 53. Pérdidas de vapor por altura de pluma
Fuente: USAID [15].

Una vez determinado el tamaño de orificio, se recurre a utilizar la figura 22 de la guía de Spirax Sarco antes mencionada. Esto será para corregir la diferencia entre las presiones y se debe considerar que se estará calculando una fuga menor a la real.

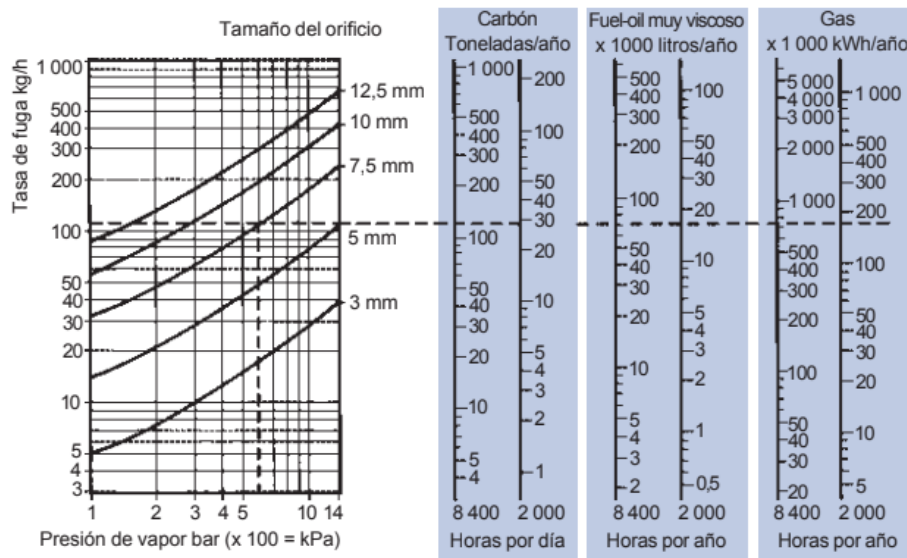


Fig. 22 Pérdidas de vapor por fugas *24 horas al día, 7 días por semana, 50 semanas por año = 8 400 horas*
8 horas al día, 5 días por semana, 50 semanas por año = 2 000 horas

Figura 54. Dimensionamiento de fugas de vapor por orificio y presión
 Fuente: Spirax Sarco [23].

Se asocia la cantidad de kilogramos de vapor fugados del sistema (por hora) con la energía necesaria por la caldera para producir esa cantidad de vapor a la presión de trabajo y se le asocia su equivalente en litros de búnker. Con esto se obtiene el siguiente cuadro con los cálculos de las fugas de vapor:

Descripción	Tamaño Fuga	Diámetro Tubería (in)	Presión (bar)	Fugas			Horas	kg Vapor	Energía	Búnker
				Pérdida Estimada a 115psi	Tamaño Orificio Asociado	Pérdida Corregida				
Cabezal de Vapor- Embutidos U	Pequeña	3	5,5	13,6	2	9	12,13	109,17	224344,35	19,116
Cabezal Rrender Unión	Muy Pequeña	2	5,5	13,6	1,5	5	12,41	62,05	127512,75	10,885
Limpieza con Vapor Jabonería	Pequeña	43894	5,5	13,6	2	9	2,5	22,5	46237,5	3,9395
Tanque Sebo Jabonería (por trampa)	Pequeña	15	5,5	NA	1,722	8	2,5	20	41100	3,5022
Acople Cabezal Jabonería	Muy Pequeña	1,5	5,5	13,6	1,5	5	9,46	47,3	97201,5	8,2822
Suministro agua Caliente Techo	Muy Pequeña	2	5,5	13,6	1,5	5	14,21	71,05	146007,75	12,441
Intercambiador Formados Acople	Muy Pequeña	2	1,5	13,6	1,5	2	14,21	28,42	58403,1	4,9786
Lavandería Dentro	Pequeña	43832	1,5	13,6	2	4	14	56	115080	9,8061
Lavandería Fuera (Por Trampa)	Mediana	43894	1,5	27,27	3,5	7	14	98	201390	17,160
Caldera Entrada Tanque Agua	Muy Pequeña	2	5,5	9,6	1,5	5	14,21	71,05	146007,75	12,441
Precalentamiento de Tanque Bunker (por trampa)	Mediana	2	6,5	NA	1,722	8,5	14,21	120,785	248213,175	21,150
Esquina Rrender (Subproducto, del cabezal matanza)	Pequeña	43832	5,5	13,6	2	4	12,41	49,64	102010,2	8,6924
Esquina Rrender (reciben cueros lado interno)	Pequeña	43832	5,5	13,6	2	4	12,41	49,64	102010,2	8,6924
Salida Limpieza por tanques Sebo Rrender	Pequeña	43894	5,5	13,6	2	9	7	63	129485	11,031
Tanques de Sebo Rrender	Pequeña	43832	5,5	13,6	2	9	8	72	147960	12,607
Salida de Limpieza y esterilizadores Matanza Cerdo	Muy Pequeña	43894	5,5	13,6	1,5	5	8	40	82200	7,0044

Figura 55. Cálculos de fugas de vapor
Fuente: Elaboración propia, Excel.

Se alcanza un total de 9,63 millones de colones anuales por pérdidas en fugas de vapor en la empresa.

Reparación de fugas

Para este análisis financiero se propone utilizar un técnico del departamento que se encargue de reparar la fuga. Esta reparación durará una hora y se tomará un 30 % del total para contemplar compra de accesorios dañados u otro imprevisto encontrado en la reparación. Además, se considerará que no hubo paro alguno en la producción. Según el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, el salario de un técnico de educación superior es de 462 947 colones mensuales, lo que se aproxima a 3900 colones la hora [26]. Este cálculo se retomará en la Sección 2.9 para mejorar el orden de presentación de cálculos.

Sección 2.4: Análisis de retorno de condensados

Coopemontecillos no posee un sistema de retorno de condensados en estos momentos y aun así muchos de los equipos consumidores de vapor producen una considerable cantidad de condensado que se puede aprovechar. En esta sección se calculará la cantidad de condensado generado por tuberías correctamente aisladas y el condensado formado en los equipos. Se opta por un dimensionamiento teórico, pues existen puntos de medición de difícil acceso para recolectar condensado, además por el vapor flash generado no se tendría un correcto dimensionamiento de la cantidad de condensado por pérdidas evaporativas.

El primer cálculo de la cantidad de condensado será a partir de las tuberías de distribución. Para este se utiliza un procedimiento similar al realizado en la Sección 2.1 sobre pérdidas por emisiones de calor. En este caso la energía disipada se multiplica por un factor

de 0,15, lo cual indica que solo el 15 % de la energía del vapor transportado será emitida al ambiente y por lo tanto generará condensado. Dicha energía se divide entre la entalpía específica de vaporación (h_{fg}) para obtener los kilos de condensado por hora según la siguiente ecuación:

Donde:

$$\dot{M} = \frac{Q \times L \times 3,6}{h_{fg}} \times f$$

\dot{M} = Tasa de condensación (kg/h)
 Q = Emisión calorífica (W/m) (según Tabla 7)
 L = Longitud efectiva de tubería, teniendo en cuenta bridas y accesorios(m)
 h_{fg} = Entalpía específica de evaporación (kJ/kg)
 f = factor de aislamiento. Para tuberías sin aislar $f = 1$.
Para tuberías bien aisladas $f = 0,15$.

sprax
/sarco

Figura 57. Cálculos de fugas de vapor, ecuación
Fuente: Elaboración propia, Excel.

Así, por parte de la tubería de vapor, se obtienen 166,32 kilogramos de vapor por hora. Según el fabricante, para mejorar el proceso de distribución, se deben agregar trampas cada 30 metros en las líneas de trasiego de vapor. En la empresa no se sigue esta recomendación en muchas líneas.

Retorno Condensados Teórico correctante aislado Tubería Distribución							
Descripción de Usuario	Presión	Diámetro Tubería (in [mm])	Longitud	Emisión de calor (w/m)	Horas de Uso	Kilos de condensado/hora	
Cabezal Cuarto Calderas	6,5	8 [204,2]	6,5	1511	14,21	2,579576848	
Cabezal Blender	6,5	6 [152,4]	37,8	1158	12,41	11,43581323	
Cabezal Preparados	6,5	3 [76,2]	136,7	622	12,13	22,33209922	
Cabezal Jabonería	6,5	2,5 [63,5]	218,44	541	9,46	31,03845409	
Cabezal Matanza	6,5	4 [101,6]	50,9	801	14,21	10,70831031	
Deshuese	6,5	2 [50,8]	113	458	13,59	13,59297665	
Calentamiento Bunker	6,5	2 [50,8]	49,15	458	14,21	5,912343385	
Cocina 1	5,5	2 [50,8]	9,5	458	14	1,132248411	
Cocina 3	5,5	2 [50,8]	14,32	458	14	1,706715499	
Cocina 4	5,5	2 [50,8]	17,5	458	14	2,085720757	
Separadora Centrífuga 1	5,5	1 1/2 [38,1]	9,9	333,00	11	0,857890907	
Separadora Centrífuga 2	5,5	1 1/2 [38,1]	13,2	333,00	11	1,143854543	
Cocinas de Sebo	5,5	1 1/2 [38,1]	23,5	333,00	7	2,036407709	
Marmitas y Horno	5,5	3/4 [19,05]	18,2	220,00		1,041949583	
Limpieza Carritos	5,5	1 [25,4]	3,83	272		0,271094255	
Limpieza Empaque	5,5	3 [76,2]	14,6	622		2,363174964	
Limpieza Pesado	5,5	2 [50,8]	33,3	458		3,96882864	
Tanque Aceite Coquito	5,5	1 1/2 [38,1]	5,6	333,00	2,5	0,485271624	
Tanque Esterina de Palma	5,5	1 1/2 [38,1]	9,3	333,00	2,5	0,805937519	
Tanque Sebo Lavado	5,5	1 1/2 [38,1]	12,5	333,00	2,5	1,08319559	
Tanque Sebo Recuperado	5,5	1 1/2 [38,1]	16,3	333,00	2,5	1,325831402	
Tanques de Sebo del Rrender	5,5	1 1/2 [38,1]	18,5	333,00	2,5	1,603129473	
Tanques de Sebo para Venta	5,5	1 1/2 [38,1]	35,2	333,00	1,66	3,05027578	
Limpieza Tuberías Jabón	1,5	1 1/2 [38,1]	4	231		0,240449304	
Calentador Jabón	1,5	1 1/2 [38,1]	4,8	231	9,46	0,238533885	
Paila 1	1,5	1 1/2 [38,1]	2,8	231	9,46	0,168314333	
Paila 2	1,5	1 1/2 [38,1]	7	231	9,46	0,420787332	
Máquina de vacío	1,5	3/4 [19,05]		138,00		0	
Paila Hiel y ramificación	5,5	1 1/2 [38,1]	14,5	333	7	1,256506884	
Limpieza	5,5	1 [25,4]	12,7	272	0,5	0,838928731	
Calentador Formados	5,5	2 [50,8]	36,15	458	14,22	4,308503164	
Lavandería	5,5	2 [50,8]	32,2	458	14,22	10,36876379	
Calentadores Agua Techo	5,5	2 [50,8]	33,75	458	14,22	4,02246146	
Esterilizadores Matanza Cerdo	5,5	2 [50,8]	64,6	458	8	7,639228184	
Deshuese	5,5	2 [50,8]	113	458	8	13,46779689	

Figura 58. Cálculos de retorno de condensado en tubería de distribución

Fuente: Elaboración propia, Excel.

Análisis de consumo de vapor por equipo

Como se habló en la Sección 1.8, existen varios equipos que podrían cambiar para preferir un mejor aprovechamiento del vapor. Estos permitirán recuperar el condensado utilizado para el calentamiento, por lo cual se calculará la cantidad de vapor necesaria para su funcionamiento. El análisis será parecido para cada uno, pues todos son recipientes de un volumen conocido que calientan un fluido con vapor vivo o por otro proceso de transferencia de calor.

Los cálculos se basaron en el libro de transferencia de calor de Yunus A. Cengel, segunda edición [24]. El proceso consta de realizar un primer dimensionamiento de la energía necesaria para calentar el fluido mediante el Capítulo 1, utilizando la masa a calentar, el volumen, la densidad, el calor específico y el cambio de temperatura que se realizará. Después se determinó el factor de disipación de calor por conducción, según el Capítulo 3, para una pared con resistencia térmica. En esta parte se necesitó la constante de conductividad

térmica del material además de la geometría. Seguido se obtuvo el aporte a la pérdida de calor por convección natural según el Capítulo 9. Se tomaron las condiciones ambientales donde trabajará el equipo para determinar las constantes térmicas del aire y proseguir con los cálculos.

En el caso de la convección, el análisis cambia según la orientación y geometría del aparato, por lo cual, una vez calculado el número Ra, se prosigue a utilizar la tabla 9-1 para determinar la longitud crítica y obtener el número Nu. Con este último número se puede obtener el coeficiente de convección h y proseguir a calcular su equivalencia como resistencia térmica. La explicación del cálculo se verá más a detalle en el cálculo individual de cada equipo.

Por último, se calculan las pérdidas por radiación, según el Capítulo 11. El aporte de conducción y convección se calculan juntos como dos resistencias en serie y el de la radiación se toma por aparte y se suma al final. En caso de estar correctamente aislado, se multiplican las pérdidas por un factor de 30 % para tomar en consideración un ahorro del 70 % de la pérdida gracias al aislamiento. Esto se explica mejor en el cálculo de los tanques de agua. Las constantes térmicas se obtienen de los anexos del libro, en algunos casos se interpola y para los datos faltantes se recurrió a la página de internet The Engineering ToolBox [27]. Así, una vez calculada la energía necesaria para sostener el proceso, se asocia con la cantidad de vapor necesaria para obtenerla. Se divide dicha energía entre el calor latente del vapor a la presión de trabajo.

Cálculo preliminar fuga por orificio

Si bien ya se calculó en su respectiva sección las fugas encontradas en el sistema de vapor, muchos equipos utilizan un sistema de transferencia de calor en el cual se inyecta

vapor vivo al recipiente. En este caso será útil conocer la cantidad de vapor que se le está brindando al equipo y compararle con la que realmente necesita.

Para este primer dimensionamiento se utiliza la herramienta de TLV, en la cual se utiliza la presión primaria como la de suministro de la tubería de distribución, la secundaria como la presión atmosférica y se utiliza el diámetro de la tubería a la cual se le realizará el análisis [28].

$$\frac{(p_1 - p_2)}{p_1} < F_\gamma \cdot x_T \rightarrow$$

$$m_s = 2.73 \cdot C \cdot \left(\frac{d_o}{4.654}\right)^2 \cdot \left(1 - \frac{p_1 - p_2}{(3F_\gamma \cdot x_T)}\right) \cdot \sqrt{(p_1 - p_2) \cdot \rho}$$

$$\frac{(p_1 - p_2)}{p_1} \geq F_\gamma \cdot x_T \rightarrow$$

$$m_s = 0.66 \cdot 2.73 \cdot C \cdot \left(\frac{d_o}{4.654}\right)^2 \cdot \sqrt{F_\gamma \cdot x_T \cdot p_1 \cdot \rho}$$

p1 : Presión Primaria (kPa abs)
 p2 : Presión Secundaria (kPa abs)
 do : Diámetro de Orificio (mm)
 C : Coeficiente de Descarga
 ms: Rango de Flujo del Vapor (kg/h)
 ρ : Densidad del vapor (kg/m³)
 Fγ : Relación de Calores Específicos
 xT : Relación de Presiones Diferenciales (=0.72)

Figura 59. Cálculos de flujo de vapor por orificio
 Fuente: TLV [28].

En la presión secundaria se toma en cuenta la presión de columna de fluido en caso de descargar dentro de un recipiente que contenga algún fluido.

Tabla 2.5.1. Cantidad de vapor por tubería descargando a la atmósfera

Tamaño de orificio (mm)	Presión de Trabajo (Bar G)	Flujo de Vapor (kg/h)
12,7	5,5	377,8
12,7	1,5	146,742
50,8	5,5	6964,97
19,05	5,5	850,058
19,05	6,5	979,45
19,05	1,5	319,868
38,1	1,5	1279,47

Fuente: Elaboración propia.

Esterilizadores

Existen dos tipos de esterilizadores en Coopemontecillos: el de cuchillos y el de sierra canal. La diferencia principal entre ambos es el tamaño básicamente, pues el de sierra canal es considerablemente más grande. Este equipo necesita calentar agua caliente a 83 °C para esterilizar los utensilios, además se necesita de un flujo de agua nueva para renovación. Por esto se realizarán los cálculos con un flujo de renovación de 1 litro por minuto para ambos esterilizadores. A continuación, se modelará cada tipo contemplando el calor necesario para calentar el agua requerida y el calor perdido por no poseer aislamiento.

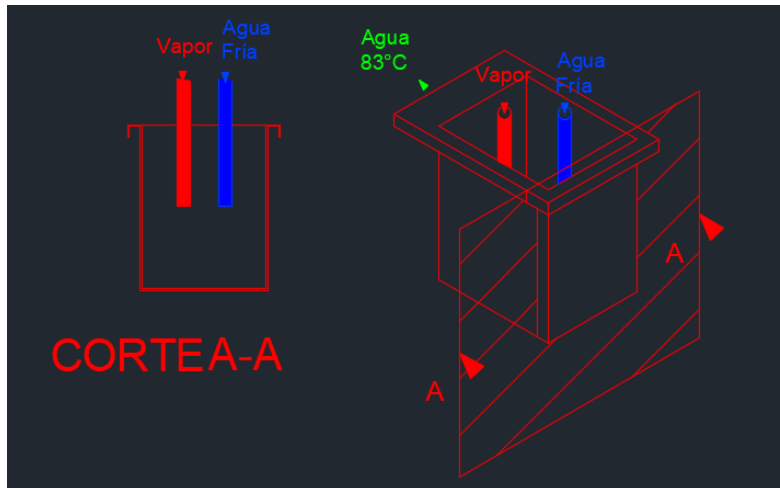


Figura 60. Esterilizador de cuchillos
Fuente: Elaboración propia, AutoCAD.

Calentamiento

El primer caso a analizar es el esterilizador de cuchillos, primero se define el volumen del recipiente:

$$V = \frac{30}{100} \times \frac{32}{100} \times \frac{16}{100} = 0,015 \text{ m}^3$$

De la tabla A-3 con una temperatura de 23 °C (@ 23°C) se obtiene una densidad del agua $\rho = 997 \text{ kg/m}^3$ y $C_p = 4,18 \text{ kJ/kgK}$. Además, se multiplicará el calor requerido por dos para contemplar el paro del equipo en el receso para tomar café.

$$Q = mC_p\Delta T$$

$$Q = (0,01536) \times (997) \times (4,18) \times (60) \times 2 = 7681,46 \text{ kJ}$$

De la tabla A-9 @ 5,5 Bar G se obtiene $h_{fg} = 2075,11 \text{ kJ/kg}$ vapor:

$$Q = 3,701713293 \text{ kg Vap}$$

Por lo cual se necesitan 1,85 kg de vapor para calentar el volumen de agua inicial. Ahora se calcula el volumen de agua de reposición para el equipo que en este caso es de 1 litro por minuto.

$$\dot{m}_{agua} = \frac{1 \text{ L}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \times \frac{997 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} = 59,82 \text{ kg/h}$$

$$Q = (59,82) \times (4,18) \times (60) = 15002,86 \text{ kJ/h}$$

$$\dot{m}_{vapor} = \frac{15002,86}{2075,11} = 7,23 \text{ kg/h}$$

Pérdidas por conducción

De la tabla A-5 se obtiene $K_{acero \text{ inoxidable}} = 15,6 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$; el esterilizador está hecho de una lámina de acero inoxidable sin aislante en un cuarto a temperatura ambiente de $23 \text{ } ^\circ\text{C}$, con un espesor de lámina de 2 mm:

$$R_{pared} = \frac{L}{KA}$$

$$R_{32 \times 30} = \frac{0,002}{(15,6) \times \left(\frac{32}{100}\right) \times \left(\frac{30}{100}\right)} = 1,34 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{32 \times 16} = \frac{0,002}{(15,6) \times \left(\frac{32}{100}\right) \times \left(\frac{16}{100}\right)} = 2,50 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{30 \times 16} = \frac{0,002}{(15,6) \times \left(\frac{30}{100}\right) \times \left(\frac{16}{100}\right)} = 5,34 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Pérdidas por convección

$T_{película} = \frac{83+23}{2} = 53^\circ\text{C}$. En la tabla A-15 para el aire se interpola @ 53°C : $K_{aire} = 0,02735$

$\text{W/m}^\circ\text{C}$; $\nu = 1,798 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; $Pr = 0,7228$. $\beta = \frac{1}{53+273} = \frac{1}{326} \text{ K}^{-1}$

$$Ra = \frac{g\beta (T_s - T_\infty)L_c^3 Pr}{\nu^2}$$

Placa vertical 32x30:

$$R_a = \frac{(9,81) \times \left(\frac{1}{326}\right) (83 - 23) \times \left(\frac{32}{100}\right)^3 \times (0,7228)}{(1,798 \times 10^{-5})^2} = 132,28 \times 10^6$$

$$N_u = \left\{ 0,8250 + \frac{0,387 R_a^{\frac{1}{6}}}{\frac{8}{9}} \right\}^2 = 66,55$$

$$\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{27}{8}}$$

$$h = \frac{N_u K}{L_c} = \frac{66,95 \times 0,027}{\frac{32}{100}} = 5,69 \frac{W}{m^2 \cdot C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{5,69 \times \frac{32}{100} \times \frac{30}{100}} = 1,83 \text{ } ^\circ C/W$$

El cálculo para la placa vertical de 32x16 es igual hasta el h, la R es la siguiente:

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{5,69 \times \frac{16}{100} \times \frac{32}{100}} = 3,43 \text{ } ^\circ C/W$$

Placa horizontal inferior 16x30:

$$L_c = \frac{A_s}{P} = \frac{16 \times 30}{2 \times 16 + 2 \times 30} = \frac{120}{23} \text{ cm}$$

$$R_a = \frac{(9,81) \times \left(\frac{1}{326}\right) (83 - 23) \times \left(\frac{120}{2300}\right)^3 \times (0,7228)}{(1,798 \times 10^{-5})^2} = 573326,03$$

$$N_u = 0,27 R_a^{\frac{1}{4}} = 7,43$$

$$h = \frac{N_u K}{L_c} = \frac{7,4295 \times 0,027}{\frac{120}{2300}} = 3,89 \frac{W}{m^2 \cdot C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{3,8946 \times \frac{16}{100} \times \frac{30}{100}} = 5,35 \text{ } ^\circ C/W$$

Placa horizontal superior 16x30 agua:

$$L_c = \frac{A_s}{P} = \frac{16 \times 30}{2 \times 16 + 2 \times 30} = \frac{120}{23} \text{ cm}$$

$$Ra = \frac{(9,81) \times \left(\frac{1}{326}\right) (83 - 23) \times \left(\frac{120}{2300}\right)^3 \times (0,7228)}{(1,798 \times 10^{-5})^2} = 573326,026$$

$$Nu = 0,54 Ra^{\frac{1}{4}} = 14,86$$

$$h = \frac{Nu K}{L_c} = \frac{14,8592 \times 0,02735}{\frac{120}{2300}} = 7,79 \frac{W}{m^2 \cdot C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{7,78929 \times \frac{16}{100} \times \frac{30}{100}} = 2,67 \text{ } ^\circ C/W$$

Ahora se prosigue a calcular el calor disipado por el aporte de la conducción y convección en cada cara del recipiente.

$$R_{tot} = R_{Convección} + R_{Conducción}$$

$$\sum Q_{c+c} = \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot1}} + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot2}} + \dots + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{totn}}$$

$$Q_{c+c} = (60) \times \left(\frac{2}{1,34 \times 10^{-3} + 1,83} + \frac{2}{2,50 \times 10^{-3} + 3,43} + \frac{1}{5,34 \times 10^{-3} + 5,35} + \frac{1}{2,67} \right)$$

$$= 134,10 W = 482,76 \frac{kJ}{h} = 0,23 \frac{kgvap}{h}$$

Por último, se calculan las pérdidas por radiación, según la tabla A-18 se tiene ϵ_{Inox} =0,35 y ϵ_{agua} =0,94:

$$Q_{rad} = \epsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{\infty}^4)$$

$$Q_{rad \text{ Metal}} = (0,35)(5,67 \times 10^{-8})((273 + 83)^4 - (273 + 23)^4) \left(2 \times \frac{32 \times 30}{10000} + 2 \times \frac{32 \times 16}{10000} + \frac{16 \times 30}{10000} \right) = 56,98 \text{ W} = 205,12 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 0,099 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$Q_{rad \text{ agua}} = (0,94)(5,67 \times 10^{-8})((273 + 83)^4 - (273 + 23)^4) \left(\frac{16 \times 30}{10000} \right) = 21,45 \text{ W} = 77,23 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 0,037 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$Q_{Perdidas} = Q_{c+c} + Q_{rad} = 482,76 + 205,12 + 77,2291 = 0,37 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$Q_{Total} = Q_{cal \text{ rep}} + Q_{Perdidas} = 7,23 + 0,37 = 7,60 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

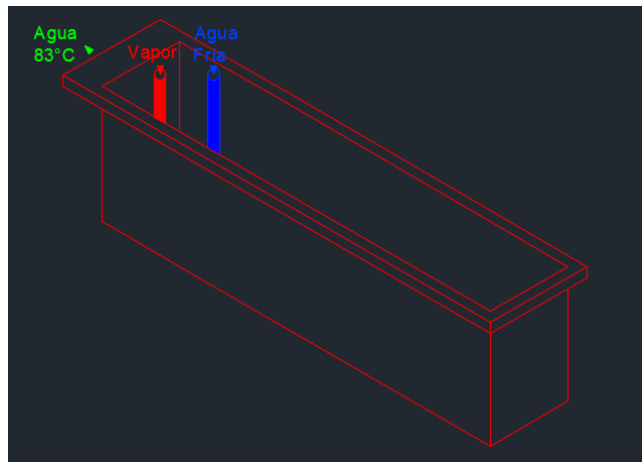


Figura 61. Esterilizador de sierra canal
Fuente: Elaboración propia, AutoCAD.

Calentamiento

El primer caso a analizar es el esterilizador de cuchillos, primero se define el volumen del recipiente:

$$V = \left(\frac{120}{100} \times \frac{45}{100} + \frac{15}{2 \times 100} \times \frac{120}{100} \right) \times \frac{25}{100} = 0,16 \text{ m}^3$$

De la tabla A-3 con una temperatura de 23 °C (@ 23°C) se obtiene una densidad del agua $\rho = 997 \text{ kg/m}^3$ y $C_p = 4,18 \text{ kJ/kgK}$:

$$Q = mC_p\Delta T$$

$$Q = (0,1575) \times (997) \times (4,18) \times (60) \times 2 = 78764,99 \text{ kJ}$$

De la tabla A-9 @ 5,5 Bar G se obtiene $h_{fg} = 2075,11 \text{ kJ/kg}$ vapor

$$Q = 37,96 \text{ kg Vapor}$$

Por lo cual se necesitan 18,98 kg de vapor para calentar el volumen de agua inicial. Ahora se calcula el volumen de agua de reposición para el equipo, el cual, en este caso, es de 1 litro por minuto.

$$\dot{m}_{\text{agua}} = \frac{1L}{\text{min}} \times \frac{1\text{m}^3}{1000 L} \times \frac{60\text{min}}{1 h} \times \frac{997 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} = 59,82 \text{ kg/h}$$

$$Q = (59,82) \times (4,18) \times (60) = 15002,856 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 7,23 \frac{\text{kgvapor}}{\text{h}}$$

Pérdidas por conducción

De la tabla A-5 se obtiene $K_{\text{acero inoxidable}} = 15,6 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$; el esterilizador está hecho de una lámina de acero inoxidable, sin aislante, en un cuarto a temperatura ambiente de 23 °C, con un espesor de lámina de 2 mm:

$$R_{pared} = \frac{L}{KA}$$

$$R_{25 \times 60} = \frac{0,002}{(15,6) \times \left(\frac{25}{100}\right) \times \left(\frac{60}{100}\right)} = 8,55 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{25 \times 45} = \frac{0,002}{(15,6) \times \left(\frac{25}{100}\right) \times \left(\frac{45}{100}\right)} = 1,14 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{25 \times 15\sqrt{65}} = \frac{0,002}{(15,6) \times \left(\frac{25}{100}\right) \times \left(\frac{15\sqrt{65}}{100}\right)} = 4,24 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{Trapezio} = \frac{0,002}{(15,6) \times \left(\left(\frac{120}{100}\right) \times \left(\frac{45}{100}\right) + \left(\frac{120}{2 \times 100}\right) \times \left(\frac{15}{100}\right)\right)} = 2,04 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Pérdidas por convección

$T_{película} = \frac{83+23}{2} = 53 \text{ } ^\circ\text{C}$. En la tabla A-15 para el aire se interpola @ 53°C : $K_{aire} = 0,02735$

$\text{W/m}^\circ\text{C}$; $\nu = 1,798 \times 10^{-5} \text{ } \text{m}^2/\text{s}$; $Pr = 0,7228$. $\beta = \frac{1}{53+273} = \frac{1}{326} \text{ } \text{K}^{-1}$

$$R_a = \frac{g\beta (T_s - T_\infty)L_c^3 Pr}{\nu^2}$$

Placa vertical 25×60 :

$$R_a = \frac{(9,81) \times \left(\frac{1}{326}\right) \times (83 - 23) \times \left(\frac{25}{100}\right)^3 \times (0,7228)}{(1,798 \times 10^{-5})^2} = 63075609,07$$

$$N_u = \left\{ 0,8250 + \frac{0,387 R_a^{\frac{1}{6}}}{8} \right\}^2 = 53,38$$

$$\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{27}{8}}$$

$$h = \frac{N_u K}{L_c} = \frac{53,382 \times 0,027}{\frac{25}{100}} = 5,84 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{5,3818 \times \frac{25}{100} \times \frac{60}{100}} = 1,14 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Placa vertical de 25x45:

$$Ra = \frac{(9,81) \times \left(\frac{1}{326}\right) \times (83 - 23) \times \left(\frac{25}{100}\right)^3 \times (0,7228)}{(1,798 \times 10^{-5})^2} = 63075609,07$$

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra^{\frac{1}{6}}}{8} \right\}^2 = 53,38$$

$$\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{27}{8}}$$

$$h = \frac{Nu K}{L_c} = \frac{53,38 \times 0,027}{\frac{25}{100}} = 5,84 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{5,84 \times \frac{25}{100} \times \frac{45}{100}} = 1,52 \text{ } ^\circ C/W$$

Placa horizontal inclinada $15\sqrt{65}$ x25:

$$L_c = 25 \text{ cm}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{120}{15} = 82,87^\circ$$

$$Ra = \frac{(9,81) \times \cos 82,87^\circ \times \left(\frac{1}{326}\right) \times (83 - 23) \times \left(\frac{25}{100}\right)^3 \times (0,72)}{(1,798 \times 10^{-5})^2} = 7829010,42$$

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra^{\frac{1}{6}}}{8} \right\}^2 = 29,19$$

$$\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{27}{8}}$$

$$h = \frac{Nu K}{L_c} = \frac{29,188 \times 0,027}{\frac{25}{100}} = 3,19 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{3,19317 \times \frac{15\sqrt{65}}{100} \times \frac{25}{100}} = 1,036 \text{ } ^\circ C/W$$

Placa vertical trapezoidal:

$$Ra = \frac{(9,81) \times \left(\frac{1}{326}\right) (83 - 23) \times \left(\frac{120}{100}\right)^3 \times (0,72)}{(1,798 \times 10^{-5})^2} = 6975657758$$

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 = 225,75$$

$$h = \frac{Nu K}{L_c} = \frac{225,7463 \times 0,027}{\frac{120}{100}} = 5,15 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{5,1451 \times \left(\left(\frac{120}{100}\right) \times \left(\frac{45}{100}\right) + \left(\frac{120}{2 \times 100}\right) \times \left(\frac{15}{100}\right) \right)} = 0,31^\circ C/W$$

Placa horizontal superior 25x120 agua:

$$L_c = \frac{A_s}{P} = \frac{25 \times 120}{2 \times 25 + 2 \times 120} = \frac{300}{29} \text{ cm}$$

$$Ra = \frac{(9,81) \times \left(\frac{1}{326}\right) (83 - 23) \times \left(\frac{300}{2900}\right)^3 \times (0,7228)}{(1,798 \times 10^{-5})^2} = 4469008,67$$

$$Nu = 0,54 Ra^{\frac{1}{4}} = 24,82$$

$$h = \frac{Nu K}{L_c} = \frac{24,83 \times 0,027}{\frac{300}{2900}} = 6,56 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{6,56 \times \frac{25}{100} \times \frac{120}{100}} = 0,51^\circ C/W$$

Ahora se prosigue a calcular el calor disipado por el aporte de la conducción y convección en cada cara del recipiente:

$$R_{tot} = R_{Convección} + R_{Conducción}$$

$$\sum Q_{c+c} = \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot1}} + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot2}} + \dots + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{totn}}$$

$$Q_{c+c} = (60)x \left(\frac{1}{8,55x10^{-4} + 1,14} + \frac{1}{1,14x10^{-3} + 1,52} + \frac{1}{4,24x10^{-4} + 1,036} \right. \\ \left. + \frac{2}{2,04x10^{-4} + 0,31} + \frac{1}{0,51} \right) = 656,68 W = 2364,07 \frac{kJ}{h} = 1,14 \frac{kgvap}{h}$$

Por último, se calculan las pérdidas por radiación, según la tabla A-18 se tiene $\epsilon_{Inox} = 0,35$ y $\epsilon_{agua} = 0,94$:

$$Q_{rad} = \epsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_\infty^4)$$

$$Q_{rad Metal} = (0,35)(5,67x10^{-8})((273 + 83)^4 - (273 + 23)^4) \left(\frac{25x60}{10000} + \frac{45x25}{10000} \right. \\ \left. + \frac{25x15\sqrt{65}}{10000} + 2x \left(\frac{45x120}{10000} + \frac{15x120}{20000} \right) \right) = 303,67 W = 1093,21 \frac{kJ}{h} \\ = 0,53 \frac{kgvap}{h}$$

$$Q_{rad agua} = (0,94)(5,67x10^{-8})((273 + 83)^4 - (273 + 23)^4) \left(\frac{25x120}{10000} \right) = 134,078 W \\ = 482,68 \frac{kJ}{h} = 0,23 \frac{kgvap}{h}$$

$$Q_{Perdidas} = Q_{c+c} + Q_{rad} = 1,14 + 0,53 + 0,23 = 1,90 \frac{kgvap}{h}$$

$$Q_{Total} = Q_{cal rep} + Q_{Perdidas} = 7,23 + 1,90 = 9,13 \frac{kgvap}{h}$$

Tanques de cocción de sebo Render

Este tipo de calentamiento es un tanto similar al de los esterilizadores. Estos tanques poseen un serpentín agujereado para realizar el intercambio de calor, propiciando un área de calentamiento además del vapor vivo liberado. Los cálculos se realizarán considerando un serpentín sin agujeros, el cual permita un retorno de condensados. El sebo se encontrará en constante movimiento por convección natural del fluido al calentarse y producir diferencias de presión entre líquido más caliente y el que se encuentra a menor temperatura. Esta aplicación no añade aditivos al sebo, por lo cual parece no ser necesario el uso de un motor para mover el fluido.

Los trabajadores se refirieron a la operación como hervir el sebo, por lo cual se tomará un cambio de temperatura de 40 °C (punto donde se empieza a solidificar) hasta los 100 °C donde hierve el aceite ligero comestible según la tabla A-3 del Yunus, Termodinámica [29]. El sebo proviene del separador centrífugo del Render, en este el producto secado en las cocinas se revoluciona para remover parte de la grasa de la harina de carne. Esta grasa llega a los tanques en forma líquida y se espera hasta llenar los cinco tanques antes de proseguir a hervir su contenido. Además, en las observaciones realizadas en los tanques más fríos se encontró una capa superior que presume ser sebo que empieza a congelarse, por lo cual se tomará la temperatura de 40 °C, aunque existan otros tanques con una temperatura mucho mayor. Por último, el proceso se hervido tiene una duración de una hora.

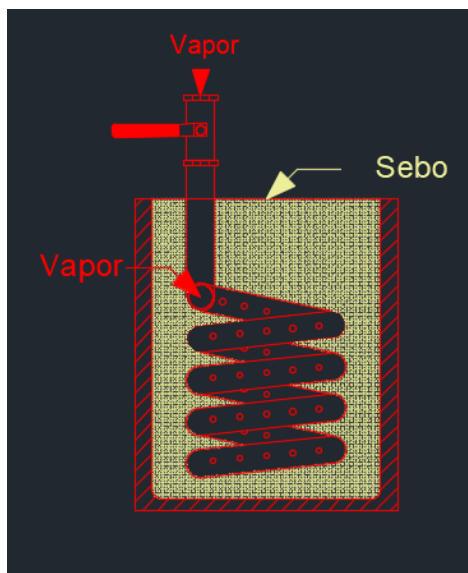


Figura 62. Tanques de cocción de sebo
Fuente: Elaboración propia, AutoCAD.

Calentamiento

Primero se define el volumen del recipiente:

$$V = 0,6^2 \pi x 2 = \frac{18\pi}{25} m^3 = 2,2619m^3$$

De la tabla A-3 con una temperatura de @ 25 °C se obtiene una densidad del aceite comestible $\rho = 910 \text{ kg/m}^3$ y $C_p = 1,8 \text{ kJ/kgK}$:

$$Q = mC_p\Delta T$$

$$Q = \left(\frac{18\pi}{25}\right) x (910) x (100 - 40) x (1,8) = 222192,97 \text{ kJ}$$

De la tabla A-9 @ 5,5 Bar G se obtiene $h_{fg} = 2075,11 \text{ kJ/kg}$ vapor:

$$Q = 107,08 \text{ kg Vapor}$$

Pérdidas por conducción

De la tabla A-5 se obtiene $K_{Inox} = 15,6 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$, el esterilizador está hecho de una lámina de acero inoxidable, en un cuarto a temperatura ambiente de $23 \text{ } ^\circ\text{C}$, con un espesor de lámina de 2 mm:

$$R_{pared} = \frac{L}{KA}$$

$$R_{cilindro} = \frac{0,002}{(15,6)x(1,2\pi)x(2)} = 1,7x10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{circulo\ inf} = \frac{0,002}{(15,6)x(0,6^2\pi)} = 1,13x10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Pérdidas por convección

$T_{película} = \frac{100+23}{2} = 62^\circ\text{C}$. En la tabla A-15 para el aire se interpola @ $62 \text{ } ^\circ\text{C}$: $K_{aire} = 0,02808 \text{ W/m}^\circ\text{C}$; $\nu = 1,896 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; $Pr = 0,9202$. $\beta = \frac{1}{62+273} = \frac{1}{335} \text{ K}^{-1}$

$$Ra = \frac{g\beta (T_s - T_\infty)L_c^3 Pr}{\nu^2}$$

Placa vertical (cilindro):

$$Ra = \frac{(9,81)x\left(\frac{1}{335}\right)x(100 - 23)x(2)^3x(0,7202)}{(1,896x10^{-5})^2} = 3,61x10^{10}$$

$$D \geq \frac{35L}{\left(\frac{Ra}{Pr}\right)^{\frac{1}{4}}} = 0,147 \therefore \text{Se toma como placa vertical } (D = 1,2)$$

$$Nu = \left\{ 0,8250 + \frac{0,387Ra^{\frac{1}{6}}}{8} \right\}^2 = 380,20$$

$$\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{27}{4}}$$

$$h = \frac{Nu K}{L_c} = \frac{380,20x0,028}{2} = 5,34 \frac{W}{m^2^\circ\text{C}}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{5,338 \times (1,2\pi) \times (2)} = 0,025 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Placa horizontal inferior:

$$L_c = \frac{A_s}{P} = \frac{0,6^2\pi}{1,2\pi} = \frac{3}{10}$$

$$R_a = \frac{(9,81) \times \left(\frac{1}{335}\right) \times (100 - 23) \times \left(\frac{3}{10}\right)^3 \times (0,72)}{(1,896 \times 10^{-5})^2} = 121970594,5$$

$$Nu = 0,27 R_a^{\frac{1}{4}} = 28,37$$

$$h = \frac{Nu K}{L_c} = \frac{28,37 \times 0,028}{\frac{3}{10}} = 2,66 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{2,66 \times 0,6^2\pi} = 0,33 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Placa horizontal superior:

$$Nu = 0,15 R_a^{\frac{1}{3}} = 74,39$$

$$h = \frac{Nu K}{L_c} = \frac{74,39 \times 0,028}{\frac{3}{10}} = 6,96 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{6,96 \times 0,6^2\pi} = 0,13 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Ahora se prosigue a calcular el calor disipado por el aporte de la conducción y convección en cada cara del recipiente:

$$R_{tot} = R_{Convección} + R_{Conducción}$$

$$\sum Q_{c+c} = \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot1}} + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot2}} + \dots + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{totn}}$$

$$Q_{c+c} = (100 - 23) \times \left(\frac{1}{1,7 \times 10^{-5} + 0,025} + \frac{1}{1,13 \times 10^{-4} + 0,33} + \frac{1}{0,13} \right) = 3934,55 \text{ W}$$

$$= 14164,37 \frac{kJ}{h} = 6,83 \frac{kgvap}{h}$$

Por último, se calculan las pérdidas por radiación, según la tabla A-18 se tiene $\epsilon_{Inox} = 0,35$ y $\epsilon_{agua} = 0,94$:

$$Q_{rad} = \epsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_\infty^4)$$

$$Q_{rad\ Metal} = (0,35)(5,67 \times 10^{-8}) \times ((273 + 100)^4 - (273 + 23)^4) \times (0,6^2 \pi + (1,2\pi) \times (2)) = 2009,85\ W = 7235,48 \frac{kJ}{h} = 3,49 \frac{kgvap}{h}$$

$$Q_{rad\ Agua} = (0,94) \times (5,67 \times 10^{-8}) \times ((273 + 100)^4 - (273 + 23)^4) \times (0,6^2 \pi) = 704,07\ W = 2534,66 \frac{kJ}{h} = 1,22 \frac{kgvap}{h}$$

$$Q_{Perdidas} = Q_{c+c} + Q_{rad} = 6,83 + 4,71 = 11,53 \frac{kgvap}{h}$$

$$Q_{Total} = Q_{Perdidas} = 11,53 \frac{kgvap}{h}$$

Tanques de agua caliente

Estos tanques funcionan similarmente al esterilizador, con respecto a la entrada de agua fría y vapor para producir agua caliente. Se regula con un sistema de bombas que se activa periódicamente para controlar el flujo de agua caliente según la demanda. En este caso se calculará la energía requerida para la aplicación y su reemplazo por un intercambiador de calor.

Existen tres tanques de agua de distintas proporciones, pero similares, pues poseen diferencias dimensionales de 10 cm. Por esta razón, se escoge el tanque más grande de diámetro 1,55 m y altura 1,34 m. El agua se calentará a 90 °C para contrarrestar alguna pérdida de temperatura en el trayecto. Estos se encuentran con aislamiento radial y en la parte inferior es decadente, aun así, se tomará el cálculo como si estuviesen correctamente aislados.

Cabe destacar que los equipos de matanza y subproductos, como las lavadoras de mondongos y librillos, utilizan el suministro de vapor indirectamente, pues el agua caliente

es suplida por estos tanques. Estos no serán calculados, pues el vapor necesitado ya se contemplaría en este equipo con la demanda de agua caliente.

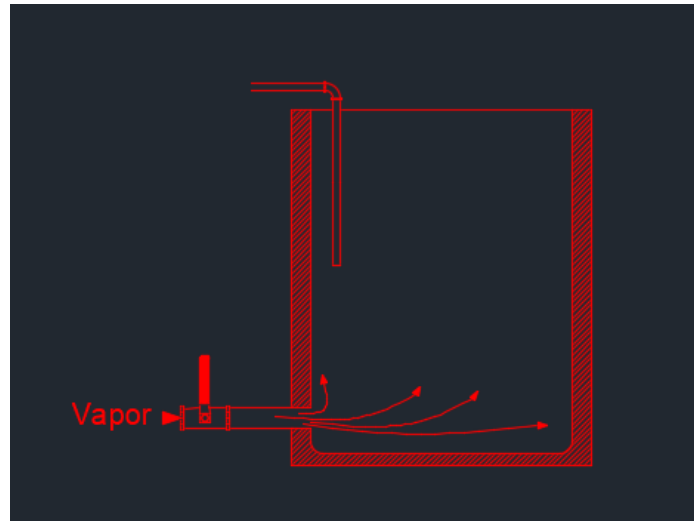


Figura 63. Tanques de agua caliente
Fuente: Elaboración propia, AutoCAD.

Calentamiento

Primero se define el volumen del recipiente:

$$V = \left(\frac{1,55}{2}\right)^2 \times 1,34\pi = 2,55 \text{ m}^3$$

De la tabla A-3 con una temperatura de @ 23 °C se obtiene una densidad del Agua $\rho = 997 \text{ kg/m}^3$ y $C_p = 4,18 \text{ kJ/kgK}$:

$$Q = mC_p\Delta T$$

$$Q = (2,54847) \times (997) \times (4,18) \times (90 - 23) = 705999,38 \text{ kJ}$$

De la tabla A-9 @ 5,5 Bar G se obtiene $h_{fg} = 2075,11 \text{ kJ/kg vapor}$

$$Q = 340,22 \text{ kg Vapor}$$

Flujo de reposición:

Se tiene una bomba de $36,47 \text{ m}^3/\text{h}$ con un ciclo de operación de 0,33 para tres tanques, lo cual sería $4,0522 \text{ m}^3/\text{h}$ por tanque:

$$Q = (4,0522) \times (997) \times (4,18) \times (90 - 23) = 1131461,07 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 545,25 \text{ kg Vap/h}$$

Pérdidas por conducción

De la tabla A-5 se obtiene $K_{\text{inox}} = 15,6 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$, el esterilizador está hecho de una lámina de acero inoxidable, en un cuarto a temperatura ambiente de $23 \text{ } ^\circ\text{C}$, con un espesor de lámina de 2 mm:

$$R_{\text{pared}} = \frac{L}{KA}$$

$$R_{\text{cilindro}} = \frac{0,002}{(15,6) \times 1,34 \times 1,55\pi} = 1,96 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{circulo}} = \frac{0,002}{(15,6) \times \left(\frac{1,55}{2}\right)^2 \pi} = 6,79 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Pérdidas por convección

$T_{\text{película}} = \frac{90+23}{2} = 56,5 \text{ } ^\circ\text{C}$. En la tabla A-15 para el aire se interpola @ $56,5 \text{ } ^\circ\text{C}$: $K_{\text{aire}} = 0,0278345 \text{ W/m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$; $\nu = 1,8617 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; $P_r = 0,72111$. $\beta = \frac{1}{273+56,5} = \frac{2}{659} \text{ K}^{-1}$

$$R_a = \frac{g\beta (T_s - T_\infty)L_c^3 P_r}{\nu^2}$$

Placa vertical:

$$R_a = \frac{(9,81) \times \left(\frac{2}{659}\right) \times (90 - 23) \times (1,34)^3 \times (0,72)}{(1,86 \times 10^{-5})^2} = 1,046 \times 10^{10}$$

$$D \geq \frac{35L}{\left(\frac{R_a}{P_r}\right)^{\frac{1}{4}}} = 0,1411 \therefore \text{Se toma como placa vertical } (D = 1,4)$$

$$Nu = \left\{ 0,8250 + \frac{0,387Ra_a^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 = 256,02$$

$$h = \frac{Nu K}{L_c} = \frac{256,02 \times 0,028}{1,34} = 5,32 \frac{W}{m^2 \cdot C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{5,32 \times 1,34 \times 1,55\pi} = 0,029 \text{ } ^\circ C/W$$

Placa horizontal superior:

$$L_c = \frac{A_s}{P} = \frac{\left(\frac{1,55}{2}\right)^2 \pi}{1,55\pi} = \frac{31}{80} \text{ cm}$$

$$Ra = \frac{(9,81) \times \left(\frac{2}{659}\right) \times (90 - 23) \times \left(\frac{31}{80}\right)^3 \times (0,72)}{(1,86 \times 10^{-5})^2} = 241482482,8$$

$$Nu = 0,15Ra^{\frac{1}{3}} = 93,41$$

$$h = \frac{Nu K}{L_c} = \frac{93,41 \times 0,028}{\frac{31}{80}} = 6,71 \frac{W}{m^2 \cdot C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{6,71 \times \left(\frac{1,55}{2}\right)^2 \pi} = 0,079 \text{ } ^\circ C/W$$

Placa horizontal inferior:

$$Nu = 0,27Ra^{\frac{1}{4}} = 33,66$$

$$h = \frac{Nu K}{L_c} = \frac{33,66 \times 0,028}{\frac{31}{80}} = 2,42 \frac{W}{m^2 \cdot C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{2,42 \times \left(\frac{1,55}{2}\right)^2 \pi} = 0,22 \text{ } ^\circ C/W$$

Ahora se prosigue a calcular el calor disipado por el aporte de la conducción y convección en cada cara del recipiente.

$$R_{tot} = R_{Convección} + R_{Conducción}$$

$$\sum Q_{c+c} = \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot1}} + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot2}} + \dots + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{totn}}$$

$$Q_{c+c} = (90 - 23) \times \left(\frac{1}{1,96 \times 10^{-5} + 0,029} + \frac{1}{6,79 \times 10^{-5} + 0,22} + \frac{1}{0,079} \right) = 3477,26 \text{ W}$$

$$= 12518,14 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 6,03 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

Por último, se calculan las pérdidas por radiación, según la tabla A-18 se tiene $\varepsilon_{Inox} = 0,35$ y $\varepsilon_{agua} = 0,94$:

$$Q_{rad} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_\infty^4)$$

$$Q_{rad \text{ Metal}} = (0,35) \times (5,67 \times 10^{-8}) \times ((273 + 90)^4 - (273 + 23)^4) \times \left(1,34 \times 1,55 \pi + \left(\frac{1,55}{2} \right)^2 \pi \right) = 1645,11 \text{ W} = 5922,40 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 2,85 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$Q_{rad \text{ Agua}} = (0,94) \times (5,67 \times 10^{-8}) \times ((273 + 90)^4 - (273 + 23)^4) \times \left(\left(\frac{1,55}{2} \right)^2 \pi \right)$$

$$= 974,16 \text{ W} = 3506,98 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 1,69 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$Q_{Perdidas} = Q_{c+c} + Q_{rad} = 6,03 + 4,54 = 9,09 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$Q_{Total} = Q_{Reposición} + Q_{Perdidas} = 545,25 + 9,09 = 554,34 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

Análisis por condición “correctamente aislado”

Al medir la temperatura en la superficie del recipiente, esta se encontraba una temperatura un poco por encima de la ambiental (posiblemente debido a la incidencia de rayos solares en la superficie). Esta observación en particular provoca que las diferencias

entre la temperatura del recipiente con la del medio sea cercana a cero, lo cual implica que las pérdidas por radiación y convección serán cercanas a cero también. De esta forma se despreciarán los aportes de dichas pérdidas y se tomará sencillamente la pérdida por conducción.

De la tabla A-6 se para la fibra mineral de 50 mm a 70 mm de espesor se obtiene una $R = 1,23 \text{ } ^\circ\text{Cm}^2/\text{w}$:

$$Q_{c+c} = (90 - 23) \times \left(\frac{1}{1,9648 \times 10^{-5} + \frac{1,23}{1,55\pi \times 1,34}} + \frac{1}{6,79 \times 10^{-5} + \frac{1,23}{\left(\frac{1,55}{2}\right)^2 \times \pi \times 1,34}} \right)$$

$$= 493,11 \text{ W} = 1775,18 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 0,86 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$\% \text{Reducción de Pérdidas} = \left(1 - \frac{0,86}{9,09 + 0,86} \right) \times 100\% = 91,40 \%$$

Este pequeño cálculo valida la recomendación de los fabricantes sobre poder reducir las pérdidas entre un 70 % a 90 %. Si bien indica una reducción de un 91 % para este caso, en el resto de las pérdidas se tomará una reducción del 70 % para realizar una aproximación más conservadora. Así, aunque se verificase que hubiera aislamiento en algunos equipos, se podrá tomar en consideración un deterioro del aislamiento que no pudo ser estimado.

Escaldador de cerdos

Se trata de un recipiente para calentamiento de agua por chaqueta de vapor, parecido a una marmita. Se utiliza para limpiar la piel de los cerdos después de que se incineren los pelos. La temperatura de agua no puede ser muy alta, pues dañaría la superficie de la piel, desnaturalizando las proteínas al iniciar un proceso de cocción, lo cual provocaría quemaduras visibles y desprendimiento de pezuñas; por esto se utiliza entre los 60 °C y 55

°C. El tanque fue fabricado dentro de la empresa, se soldaron placas metálicas de 3 mm y la pared tiene un espesor de 0,22 m. Se formó como se muestra a continuación:

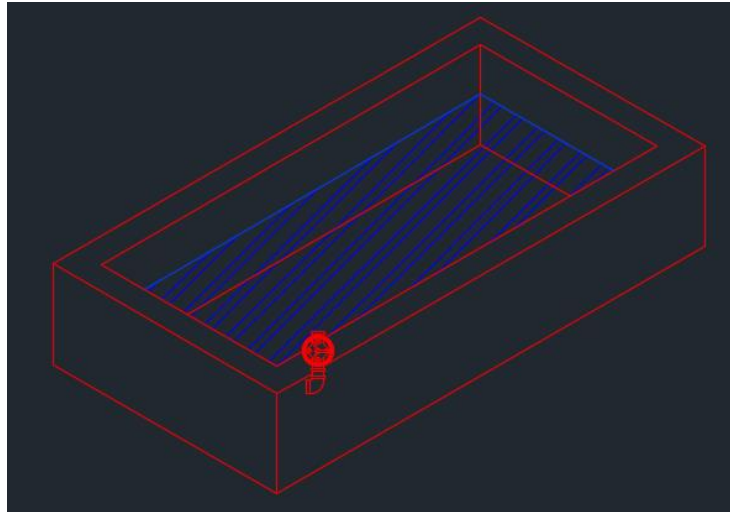


Figura 64. Limpiador de cerdos
Fuente: Elaboración propia, AutoCAD.

Calentamiento

Primero se define el volumen del recipiente:

$$V = (3,5 - 0,44) \times (1,62 - 0,44) \times (0,8 - 0,22) = 2,094 \text{ m}^3$$

De la tabla A-3 con una temperatura de @ 23 °C se obtiene una densidad del agua $\rho = 997 \text{ kg/m}^3$ y $C_p = 4,18 \text{ kJ/kgK}$. De igual manera que en los esterilizadores, se contemplará el paro del receso para tomar café con un factor de 2.

$$Q = mC_p\Delta T$$

$$Q = (2,094264) \times (997) \times (4,18) \times (60 - 23) \times 2 = 645854,35 \text{ kJ}$$

De la tabla A-9 @ 5,5 Bar G se obtiene $h_{fg} = 2075,11 \text{ kJ/kg}$ vapor

$$Q = 311,24 \text{ kg Vap}$$

Flujo de reposición:

Al ser de un funcionamiento similar a un esterilizador, se necesita un flujo de reposición. En este caso se propone un litro por segundo:

$$Q = (10^{-3} \times 3600) \times (997) \times (4,18) \times (60 - 23) = 555105,67 \frac{kJ}{h} = 267,51 \text{ kg Vap/h}$$

Pérdidas por conducción

De la tabla A-5 se obtiene $K_{\text{inox}} = 15,6 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$, el esterilizador está hecho de una lámina de acero inoxidable, en un cuarto a temperatura ambiente de $23 \text{ } ^\circ\text{C}$, con un espesor de lámina de 3 mm . En esta sección de pérdidas, al ser un calentamiento por chaqueta, las pérdidas térmicas serán calculadas directamente desde el vapor al ambiente, pues este se encuentra en medio de ambos. A $5,5 \text{ bares}$ manométricos, el vapor se encuentra a una temperatura de $162 \text{ } ^\circ\text{C}$.

$$R_{\text{pared}} = \frac{L}{KA}$$

$$R_{3,5 \times 0,8} = \frac{0,003}{(15,6) \times 3,5 \times 0,8} = 6,87 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{1,6 \times 0,8} = \frac{0,003}{(15,6) \times 1,6 \times 0,8} = 1,50 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{parte superior}} = \frac{0,003}{(15,6) \times (1,6 \times 3,5 - 3,06 \times 1,16)} = 9,38 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Pérdidas por convección

$T_{\text{película}} = \frac{162+23}{2} = 92,5 \text{ } ^\circ\text{C}$. En la tabla A-15 para el aire se interpola @ $92,5 \text{ } ^\circ\text{C}$: $K_{\text{aire}} = 0,0304175 \text{ W/m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$; $\nu = 2,22725 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; $Pr = 0,712675$. $\beta = \frac{1}{92,5+273} = \frac{2}{731} \text{ K}^{-1}$

$$Ra = \frac{g\beta (T_s - T_\infty)L_c^3 Pr}{\nu^2}$$

Placa vertical 3,5x0,8:

$$Ra = \frac{(9,81) \times \left(\frac{2}{731}\right) \times (162 - 23) \times (0,8)^3 \times (0,712675)}{(2,23 \times 10^{-5})^2} = 2744226643$$

$$Nu = \left\{ 0,8250 + \frac{0,387 Ra^{\frac{1}{6}}}{8} \right\}^2 = 168,15$$

$$\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{27}{8}}$$

$$h = \frac{Nu K}{L_c} = \frac{168,15 \times 0,03}{0,8} = 6,39 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{6,39 \times 3,5 \times 0,8} = 0,056 \text{ } ^\circ C/W$$

Placa vertical 1,6x0,8:

$$Ra = \frac{(9,81) \times \left(\frac{2}{731}\right) \times (162 - 23) \times (0,8)^3 \times (0,71)}{(2,23 \times 10^{-5})^2} = 2744226643$$

$$Nu = \left\{ 0,8250 + \frac{0,387 Ra^{\frac{1}{6}}}{8} \right\}^2 = 168,15$$

$$\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{27}{8}}$$

$$h = \frac{Nu K}{L_c} = \frac{168,15 \times 0,03}{0,8} = 6,39 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{6,39 \times 1,6 \times 0,8} = 0,12 \text{ } ^\circ C/W$$

Placa horizontal superior (metal):

$$L_c = \frac{A_s}{P} = \frac{1,6 \times 3,5 - 3,06 \times 1,16}{2 \times 1,6 + 2 \times 3,5 + 2 \times 3,06 + 2 \times 1,16} = \frac{11}{100}$$

$$R_a = \frac{(9,81) \times \left(\frac{2}{731}\right) \times (162 - 23) \times \left(\frac{11}{100}\right)^3 \times (0,71)}{(2,23 \times 10^{-5})^2} = 7133917,31$$

$$N_u = 0,54 R_a^{\frac{1}{4}} = 27,91$$

$$h = \frac{N_u K}{L_c} = \frac{27,91 \times 0,03}{\frac{11}{100}} = 7,72 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{7,72 \times (1,6 \times 3,5 - 3,06 \times 1,16)} = 0,063^\circ C/W$$

Placa horizontal superior (agua):

$$L_c = \frac{A_s}{P} = \frac{3,06 \times 1,16}{2 \times 3,06 + 2 \times 1,16} = 0,42$$

$$R_a = \frac{(9,81) \times \left(\frac{2}{731}\right) \times (83 - 23) \times (0,42)^3 \times (0,71)}{(2,23 \times 10^{-5})^2} = 172106514,7$$

$$N_u = 0,15 R_a^{\frac{1}{3}} = 83,44$$

$$h = \frac{N_u K}{L_c} = \frac{83,44 \times 0,03}{0,42} = 6,03 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{6,0345 \times (3,06 \times 1,16)} = 0,047^\circ C/W$$

Ahora se prosigue a calcular el calor disipado por el aporte de la conducción y convección en cada cara del recipiente:

$$R_{tot} = R_{Convección} + R_{Conducción}$$

$$\sum Q_{c+c} = \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot1}} + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot2}} + \dots + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{totn}}$$

$$Q_{c+c} metal = (162 - 23) \times \left(\frac{2}{6,87 \times 10^{-5} + 0,056} + \frac{2}{1,5 \times 10^{-4} + 0,12} + \frac{1}{1,50 \times 10^{-4} + 0,06} \right) = 9436,94 \text{ W} = 33972,97 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 16,37 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$Q_{c+c} Agua = (83 - 23) \times \frac{1}{0,047} = 1285,21 \text{ W} = 4626,76 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 2,23 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

Por último, se calculan las pérdidas por radiación, según la tabla A-18 se tiene $\epsilon_{Inox} = 0,35$ y $\epsilon_{agua} = 0,94$:

$$Q_{rad} = \epsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_\infty^4)$$

$$Q_{rad} Metal = (0,35) \times (5,67 \times 10^{-8}) \times ((273 + 162)^4 - (273 + 23)^4) \times (2 \times 3,5 \times 0,8 + 2 \times 1,6 \times 0,8 + 1,6 \times 3,5 - 3,06 \times 1,16) = 5699,76 \text{ W} = 20519,13 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 9,89 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$Q_{rad} Agua = (0,94) \times (5,67 \times 10^{-8}) \times ((273 + 83)^4 - (273 + 23)^4) \times (3,06 \times 1,16) = 4491,02 \text{ W} = 16167,67 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 7,79 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$Q_{Perdidas} = Q_{c+c} + Q_{rad} = 18,6 + 17,679 = 36,28 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$Q_{Total} = Q_{cal rep} + Q_{Perdidas} = 267,51 + 36,28 = 303,79 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

Tanque de suministro de agua caliente para la caldera

Para este cálculo se tiene un tanque cilíndrico de diámetro 0,7 m y altura 1,4 m, sin aislamiento. Este se encuentra totalmente cerrado y se le entrega vapor para calentar la masa de agua desde 23 °C hasta 72 °C, en promedio. Tiene un consumo promedio diario de agua de 94,65 m³ que se repartirán equitativamente en 14,22 horas, pues es lo que usualmente dura encendida la caldera. Además, al encontrarse conectado directamente al cabezal del cuarto de calderas, se toma una presión de 6,5 bares manométricos.

Calentamiento

De la tabla A-3 con una temperatura de @ 23 °C se obtiene una densidad del agua $\rho = 997 \text{ kg/m}^3$ y $C_p = 4,18 \text{ kJ/kgK}$:

$$Q = mC_p\Delta T$$

$$Q = 82,712 \times (997) \times (4,18) \times (72 - 23) = 16890248,62 \text{ kJ/h}$$

De la tabla A-9 @ 6,5 Bar G se obtiene $h_{fg} = 2056,01 \text{ kJ/kg}$ vapor y 167,83°C

$$Q = 8215,06 \text{ kg Vap/h}$$

Pérdidas por conducción

De la tabla A-5 se obtiene $K_{\text{inox}} = 15,6 \text{ w/m } ^\circ\text{C}$; el esterilizador está hecho de una lámina de acero inoxidable, en un cuarto a temperatura ambiente de 23 °C, con un espesor de lámina de 4 mm:

$$R_{\text{pared}} = \frac{L}{KA}$$

$$R_{\text{cilindro}} = \frac{0,004}{(15,6) \times (0,7\pi) \times (1,4)} = 8,33 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{TapaCircular}} = \frac{0,004}{(15,6) \times \left(\frac{0,7}{2}\right)^2 \pi} = 6,66 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C/w}$$

Pérdidas por convección

$T_{\text{película}} = \frac{72+23}{2} = 47,5 \text{ °C}$. En la tabla A-15 para el aire se interpola @ 47,5 °C: $K_{\text{aire}} =$

$0,02680574 \text{ w/m}^2\text{°C}$; $\nu = 1,726096 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; $Pr = 0,7247972$. $\beta = \frac{1}{47,5+273} =$

$$R_a = \frac{\frac{2}{641} K^{-1} g \beta (T_s - T_\infty) L_c^3 Pr}{\nu^2}$$

Placa vertical:

$$R_a = \frac{(9,81) \times \left(\frac{2}{641}\right) \times (72 - 23) \times (0,7)^3 \times (0,72)}{(1,73 \times 10^{-5})^2} = 1251462349$$

$$N_u = \left\{ 0,8250 + \frac{0,387 R_a^{\frac{1}{6}}}{8} \right\}^2 = 132,05$$

$$\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{27}{8}}$$

$$h = \frac{N_u K}{L_c} = \frac{132,048 \times 0,027}{0,7} = 5,057 \frac{W}{m^2\text{°C}}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{5,056667 \times \left(\frac{0,7}{2}\right)^2 \times \pi} = 0,51 \text{ °C/W}$$

Cilindro horizontal:

$$R_a = \frac{(9,81) \times \left(\frac{2}{641}\right) \times (72 - 23) \times (0,7)^3 \times (0,72)}{(1,73 \times 10^{-5})^2} = 1251462349$$

$$N_u = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 R_a^{\frac{1}{6}}}{8} \right\}^2 = 124,63$$

$$\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{27}{8}}$$

$$h = \frac{N_u K}{L_c} = \frac{124,63 \times 0,027}{0,7} = 4,77 \frac{W}{m^2\text{°C}}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{4,77 \times 0,7 \pi \times 1,4} = 0,068 \text{ °C/W}$$

Ahora se prosigue a calcular el calor disipado por el aporte de la conducción y convección en cada cara del recipiente.

$$R_{tot} = R_{Convección} + R_{Conducción}$$

$$\sum Q_{c+c} = \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot1}} + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot2}} + \dots + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{totn}}$$

$$Q_{c+c} = (72 - 23) \times \left(\frac{2}{6,66 \times 10^{-4} + 0,51} + \frac{1}{8,32 \times 10^{-5} + 0,068} \right) = 909,54 \text{ W}$$

$$= 3274,35 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 1,59 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

Por último, se calculan las pérdidas por radiación, según la tabla A-18 se tiene

$\epsilon_{pinturaAceite} = 0,94$:

$$Q_{rad} = \epsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_\infty^4)$$

$$Q_{rad \text{ Metal}} = (0,94) \times (5,67 \times 10^{-8}) \times ((273 + 72)^4 - (273 + 23)^4) \times \left(0,7\pi \times 1,4 \right. \\ \left. + 2 \times \left(\frac{0,7}{2} \right)^2 \times \pi \right) = 1331,27 \text{ W} = 4792,59 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 2,33 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$Q_{Perdidas} = Q_{c+c} + Q_{rad} = 1,59 + 2,3 = 3,92 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$Q_{Total} = 3,92 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

Cocinas Render

El proceso de rendering posee tres cocinas de 3000 kg y una de 4000 kg, estas realizan el proceso de cocción por dos horas donde se encargan de evaporar más de la mitad del agua del producto. Estas arrancan cada 40 minutos. Según las regulaciones sobre la empresa para producir harina de carne, el proceso debe llevarse a la temperatura alcanzada a 6,5 bares

manométricos. Estas cocinas poseen alrededor de dos pulgadas de espesor de aislamiento térmico, por lo cual se contemplará como si estuviesen bien aisladas.

Para este dimensionamiento de la carga de vapor se utiliza una recomendación del manual ALLOY; este es utilizado por el departamento de mantenimiento para realizar estimaciones cuando son necesarias para equipos similares. Así se designa una cocina de 5ft x 12ft para la cocina de 3000 kg y de 5 ft x 14 ft para la cocina de 4000 kg [30]. Se escoge este fabricante, pues brinda un análisis general para este tipo de cocinas; al no conocer ni la marca ni el modelo de las que posee la empresa, se recurre a utilizar esta aproximación por el tipo de tecnología.

Cocinas Render 3000 kg

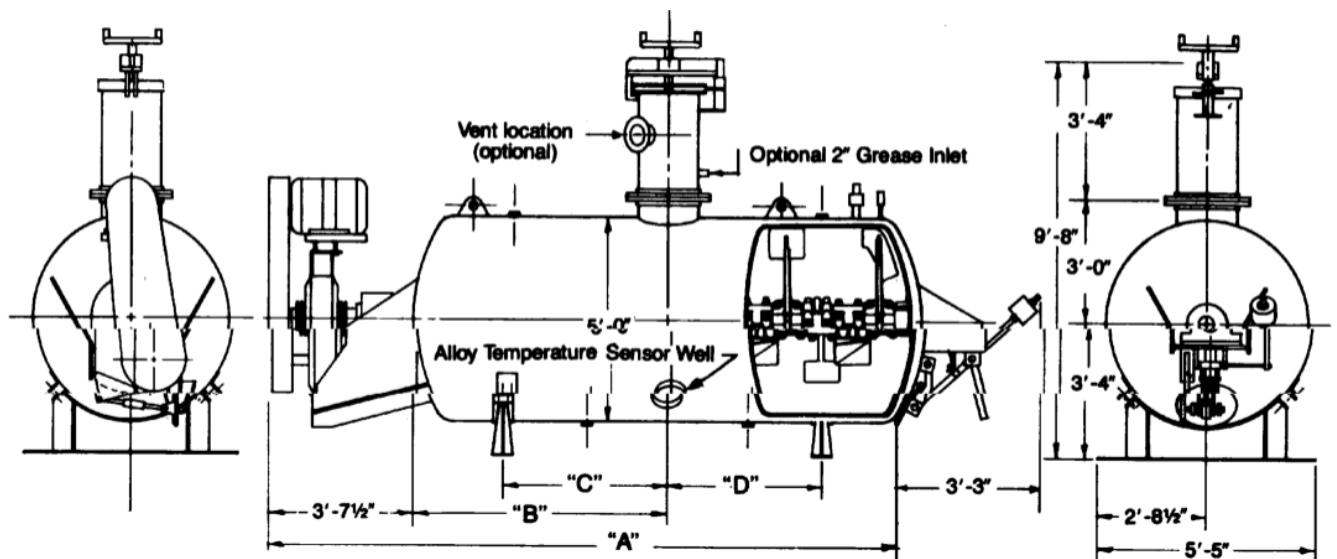


Figura 65. Cocina Render
Fuente: Catálogo Alloy [30].

Demanda de vapor

Un diámetro externo de 1,524 m y una longitud de 5,335 m:

$$Q_{pico} = 3035(0,45) = 1376,65 \text{ kg Vap/h}$$

Pérdidas por conducción

Al no tener especificaciones de la pared del recipiente, se asumirá que es acero inoxidable de 4 mm de ancho. De la tabla A-5 se obtiene $K_{inox} = 15,6 \text{ w/m } ^\circ\text{C}$; en un cuarto a una temperatura ambiente de $23 \text{ } ^\circ\text{C}$.

$$R_{pared} = \frac{L}{KA}$$

$$R_{cilindro} = \frac{0,004}{(15,6)x(1,625\pi)x(5,335)} = 9,41x10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{TapaCircular} = \frac{0,004}{(15,6)x\left(\frac{1,625}{2}\right)^2 \pi} = 1,24x10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Pérdidas por convección

La temperatura de saturación @ 6,5 bares manométricos es de $167,8 \text{ } ^\circ\text{C}$; esta es la que posee el vapor en el intermedio de la chaqueta.

$$T_{pelicula} = \frac{168+23}{2} = 95,5 \text{ } ^\circ\text{C}. \text{ En la tabla A-15 para el aire se interpola @ } 95,5 \text{ } ^\circ\text{C}: K_{aire} =$$

$$0,0306755 \text{ W/m}^\circ\text{C}; v=2,25875 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}; P_r = 0,712045. \beta = \frac{1}{273+95,5} = \frac{2}{737} \text{ K}^{-1}$$

$$R_a = \frac{g\beta (T_s - T_\infty)L_c^3 P_r}{\nu^2}$$

Placa vertical circular:

$$Ra = \frac{(9,81) \times \left(\frac{2}{737}\right) \times (168 - 23) \times (1,625)^3 \times (0,71)}{(2,26 \times 10^{-5})^2} = 2,31 \times 10^{10}$$

$$Nu = \left\{ 0,8250 + \frac{0,387 Ra^{\frac{1}{6}}}{8} \right\}^2 = 329,20$$

$$\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{27}{8}}$$

$$h = \frac{Nu K}{L_c} = \frac{329,20 \times 0,031}{1,625} = 6,21 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{6,214 \times \left(\frac{1,625}{2}\right)^2 \pi} = 0,076 \text{ } ^\circ C/W$$

Cilindro horizontal:

$$Ra = \frac{(9,81) \times \left(\frac{2}{737}\right) \times (168 - 23) \times (1,625)^3 \times (0,71)}{(2,26 \times 10^{-5})^2} = 2,31 \times 10^{10}$$

$$Nu = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 Ra^{\frac{1}{6}}}{8} \right\}^2 = 315,11$$

$$\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{27}{8}}$$

$$h = \frac{Nu K}{L_c} = \frac{315,11 \times 0,031}{1,625} = 5,95 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{5,95 \times (1,625 \pi) \times (5,335)} = 6,17 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ C/W$$

Ahora se prosigue a calcular el calor disipado por el aporte de la conducción y convección en cada cara del recipiente.

$$R_{tot} = R_{Convección} + R_{Conducción}$$

$$\sum Q_{c+c} = \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot1}} + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot2}} + \dots + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{totn}}$$

$$Q_{c+c} = (168 - 23)x \left(\frac{2}{1,24x10^{-4} + 0,078} + \frac{1}{9,41x10^{-6} + 6,17x10^{-3}} \right) = 27187,27 W$$

$$= 97874,18 \frac{kJ}{h} = 47,60 \frac{kgvap}{h}$$

El h_{fg} del vapore a 6,5 bares manométricos es de 2056,01 kJ/kg.

Por último, se calculan las pérdidas por radiación, según la tabla A-18 se tiene

$\epsilon_{pinturaAceite} = 0,94$:

$$Q_{rad} = \epsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_\infty^4)$$

$$Q_{rad Metal} = (0,94)(5,67x10^{-8})((273 + 168)^4 - (273 + 23)^4) \left((1,625\pi)X(5,335) \right.$$

$$\left. + 2x \left(\frac{1,625}{2} \right)^2 \pi \right) = 50425,09 W = 181530,31 \frac{kJ}{h} = 88,29 \frac{kgvap}{h}$$

$$Q_{Perdidas} = Q_{c+c} + Q_{rad} = 47,60 + 88,29 = 135,90 \frac{kgvap}{h}$$

Al tener un aislamiento, se multiplican las pérdidas por un factor de 0,3, indicando un 70 % de reducción de estas.

$$Q_{PerdidasReal} = 40,77 \frac{kgvap}{h}$$

$$Q_{Total} = Q_{cal Vol} + Q_{Perdidas} = 1376,65 + 40,77 = 1417,42 \frac{kgvap}{h}$$

Cocina Render 4000 kg

Demanda de vapor

Un diámetro externo de 1,524 m y una longitud de 4,2672 m:

$$Q_{pico} = 3434(0,45) = 1557,64 kg Vap/h$$

Pérdidas por conducción

Al no tener especificaciones de la pared del recipiente, se asumirá que es acero inoxidable de 4 mm de ancho. De la tabla A-5 se obtiene $K_{\text{inox}} = 15,6 \text{ w/m } ^\circ\text{C}$; en un cuarto a temperatura ambiente de $23 \text{ } ^\circ\text{C}$.

$$R_{\text{pared}} = \frac{L}{KA}$$

$$R_{\text{cilindro}} = \frac{0,004}{(15,6)x(1,625\pi)x(6,365)} = 7,89x10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{Tapacircular}} = \frac{0,004}{(15,6)X\left(\frac{1,625}{2}\right)^2 \pi} = 1,24x10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Pérdidas por convección

La temperatura de saturación @ 6,5 bares manométricos es de $167,8 \text{ } ^\circ\text{C}$; esta es la que posee el vapor en el intermedio de la chaqueta.

$T_{\text{película}} = \frac{168+23}{2} = 95,5^\circ\text{C}$. En la tabla A-15 para el aire se interpola @ $95,5^\circ\text{C}$: $K_{\text{aire}} = 0,0306755 \text{ W/m}^\circ\text{C}$; $\nu = 2,25875 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; $P_r = 0,712045$. $\beta = \frac{1}{273+95,5} = \frac{2}{737} \text{ K}^{-1}$

$$R_a = \frac{g\beta (T_s - T_\infty)L_c^3 P_r}{\nu^2}$$

Placa vertical circular:

$$R_a = \frac{(9,81)x\left(\frac{2}{737}\right)x(168 - 23)x(1,625)^3x(0,71)}{(2,26x10^{-5})^2} = 2,31x10^{10}$$

$$N_u = \left\{ 0,8250 + \frac{0,387 R_a^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 = 329,20$$

$$h = \frac{N_u K}{L_c} = \frac{329,20 \times 0,031}{1,625} = 6,21 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{6,214 \times \left(\frac{1,625}{2} \right)^2 \pi} = 0,078 \text{ } ^\circ C/W$$

Cilindro horizontal:

$$R_a = \frac{(9,81) \times \left(\frac{2}{737} \right) \times (168 - 23) \times (1,625)^3 \times (0,71)}{(2,26 \times 10^{-5})^2} = 2,31 \times 10^{10}$$

$$N_u = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 R_a^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 = 315,11$$

$$h = \frac{N_u K}{L_c} = \frac{315,11 \times 0,031}{1,625} = 5,95 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{5,95 \times (1,625 \pi) \times (6,365)} = 5,17 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ C/W$$

Ahora se prosigue a calcular el calor disipado por el aporte de la conducción y convección en cada cara del recipiente:

$$R_{tot} = R_{Convección} + R_{Conducción}$$

$$\sum Q_{c+c} = \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot1}} + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot2}} + \dots + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{totn}}$$

$$Q_{c+c} = (168 - 23) \times \left(\frac{2}{1,24 \times 10^{-4} + 0,078} + \frac{1}{7,89 \times 10^{-6} + 5,17 \times 10^{-3}} \right) = 31715,71 W$$

$$= 114176,56 \frac{kJ}{h} = 55,53 \frac{kgvap}{h}$$

El h_{fg} del vapor a 6,5 bares manométricos es de 2056,01 kJ/kg.

Por último, se calculan las pérdidas por radiación, según la tabla A-18 se tiene

$\epsilon_{pinturaAceite} = 0,94$:

$$Q_{rad} = \epsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_\infty^4)$$

$$Q_{rad\ Metal} = (0,94) \times (5,67 \times 10^{-8}) \times ((273 + 168)^4 - (273 + 23)^4) \times \left((1,625\pi) \times (6,365) + 2 \times \left(\frac{1,625}{2} \right)^2 \pi \right) = 58873,70 W$$

$$= 211945,31 \frac{kJ}{h} = 103,09 \frac{kgvap}{h}$$

$$Q_{Perdidas} = Q_{c+c} + Q_{rad} = 55,53 + 103,09 = 158,62 \frac{kgvap}{h}$$

Al tener un aislamiento, se multiplican las pérdidas por un factor de 0,3, indicando un 70 % de reducción de estas.

$$Q_{PerdidasReal} = 47,59 \frac{kgvap}{h}$$

$$Q_{Total} = Q_{cal\ Vol} + Q_{Perdidas} = 1557,64 + 47,59 = 1605,23 \frac{kgvap}{h}$$

Tanque de hiel

Para este equipo se utilizará la composición química de la hiel, a fin de realizar una aproximación de carga térmica. El líquido se compone de 82 % agua, 12 % lípidos no solubles (ácido biliar), 4 % fosfolípidos, 1,3 % componentes varios y 0,7 % de colesterol. Por el transporte del líquido por tuberías frías y la espera para rellenar el recipiente, se tomará a

temperatura ambiente de 23 °C. Además, se tomarán los lípidos no solubles y los fosfolípidos como grasa animal y se despreciará el aporte del restante. Esto pues se desconocen sus propiedades térmicas y representan solo un 2 % del volumen total. El tanque posee dos pulgadas de aislamiento y dos pulgadas de ancho de chaqueta, un diámetro de 1,4 m y una altura de 0,9 m y se hierve la hiel a 100 °C con una presión de vapor de 1,5 bares manométricos.

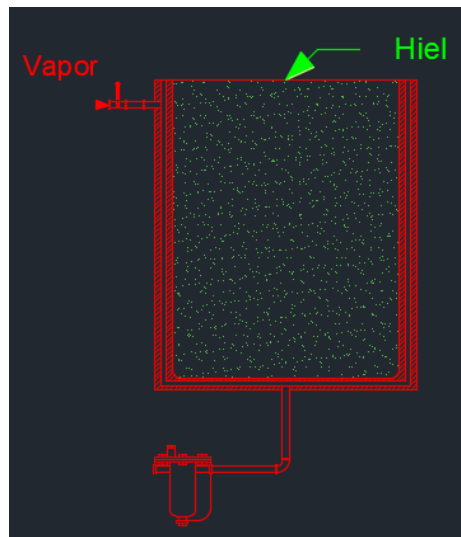


Figura 66. Tanque de hiel
Fuente: Elaboración propia, AutoCAD.

Calentamiento

Primero se define el volumen del recipiente:

$$V = \pi \left(\frac{1,4 - 0,1016}{2} \right)^2 \times 0,9 = 1,19 m^3$$

De la tabla A-3 con una temperatura de @ 23 °C se obtiene una densidad del agua $\rho = 997 \text{ kg/m}^3$ y $C_p = 4,18 \text{ kJ/kgK}$. La grasa animal a 23 °C tiene una $\rho = 938,87 \text{ kg/m}^3$ y $C_p = 2,027 \text{ kJ/kgK}$ [31].

$$Q = mC_p\Delta T$$

$$Q_{agua} = (0,82) \times (1,19) \times (997) \times (4,18) \times (100 - 23) = 313563,44 \text{ kJ}$$

$$Q_{grasa} = (0,16) \times (1,19) \times (938,87) \times (2,027) \times (100 - 23) = 27939,54 \text{ kJ}$$

De la tabla A-9 @ 1,5 Bar G se obtiene $h_{fg} = 2181,2 \text{ kJ/kg}$ vapor y una temperatura de 124 °C:

$$Q = 156,57 \text{ kg Vap}$$

Pérdidas por conducción

De la tabla A-5 se obtiene $K_{inox} = 15,6 \text{ w/m } ^\circ\text{C}$; el esterilizador está hecho de una lámina de 3 mm en un cuarto a temperatura ambiente de 23 °C con un espesor de lámina de 3 mm:

$$R_{pared} = \frac{L}{KA}$$

$$R_{cilindro} = \frac{0,003}{(15,6) \times (1,4) \pi \times (0,9)} = 4,89 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{anillo} = \frac{0,003}{(15,6) \times \left(\left(\frac{1,4}{2} \right)^2 - \left(\frac{1,4 - 0,1016}{2} \right)^2 \right) \pi} = 8,93 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{circulo} = \frac{0,003}{(15,6) \times \left(\frac{1,4}{2} \right)^2 \pi} = 1,25 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Pérdidas por convección

$T_{película} = \frac{124+23}{2} = 73,5 \text{ } ^\circ\text{C}$. En la tabla A-15 para el aire se interpola @ 73,5 °C: $K_{aire} =$

$0,029062 \text{ w/m}^\circ\text{C}$; $\nu = 2,0307 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; $Pr = 0,716895$. $\beta = \frac{1}{73,5+273} = \frac{2}{40131} \text{ K}^{-1}$

$$Ra = \frac{g\beta (T_s - T_\infty) L_c^3 Pr}{\nu^2}$$

Placa vertical:

$$R_a = \frac{(9,81) \times \left(\frac{2}{40131}\right) \times (124 - 23) \times (0,9)^3 \times (0,72)}{(2,0307 \times 10^{-5})^2} = 62579478,13$$

$$D \geq \frac{35L}{\left(\frac{R_a}{Pr}\right)^{\frac{1}{4}}} = 0,3258865 \therefore \text{Se toma como placa vertical } (D = 1,4)$$

$$Nu = \left\{ 0,8250 + \frac{0,387 R_a^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 = 53,20$$

$$h = \frac{Nu K}{L_c} = \frac{53,2 \times 0,029}{0,9} = 1,72 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{1,71789 \times (1,4) \pi \times (0,9)} = 0,15 \text{ } ^\circ C/W$$

Placa horizontal superior (anillo):

$$L_c = \frac{A_s}{P} = \frac{\left(\frac{1,4}{2}\right)^2 \times \pi - \left(\frac{1,4 - 0,1016}{2}\right)^2 \times \pi}{(1,4)\pi + (1,4 - 0,1016)\pi} = \frac{127}{5000}$$

$$R_a = \frac{(9,81) \times \left(\frac{2}{40131}\right) \times (124 - 23) \times \left(\frac{127}{5000}\right)^3 \times (0,72)}{(2,03 \times 10^{-5})^2} = 1406,71$$

$$Nu = 0,54 R_a^{\frac{1}{4}} = 3,3070834116$$

$$h = \frac{Nu K}{L_c} = \frac{3,307 \times 0,029}{\frac{127}{5000}} = 3,78 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{3,78 \times \left[\left(\frac{1,4}{2}\right)^2 \times \pi - \left(\frac{1,4 - 0,1016}{2}\right)^2 \times \pi\right]} = 1,23 \text{ } ^\circ C/W$$

Placa horizontal superior (tapa):

$$L_c = \frac{A_s}{P} = \frac{\left(\frac{1,4 - 0,1016}{2}\right)^2 x \pi}{(1,4 - 0,1016)\pi} = \frac{1623}{5000}$$

$$R_a = \frac{(9,81) x \left(\frac{2}{669}\right) x (100 - 23) x \left(\frac{1623}{5000}\right)^3 x (0,7202)}{(1,90 x 10^{-5})^2} = 154148020,5$$

$$N_u = 0,15 R_a^{\frac{1}{3}} = 80,43$$

$$h = \frac{N_u K}{L_c} = \frac{80,427 x 0,02808}{\frac{1623}{5000}} = 6,96 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{6,957 x \left(\frac{1,4 - 0,1016}{2}\right)^2 x \pi} = 0,11 \text{ } ^\circ C/W$$

Placa horizontal inferior:

$$L_c = \frac{A_s}{P} = \frac{\left(\frac{1,4}{2}\right)^2 x \pi}{(1,4)\pi} = \frac{7}{20}$$

$$R_a = \frac{(9,81) x \left(\frac{2}{40131}\right) x (124 - 23) x \left(\frac{7}{20}\right)^3 x (0,72)}{(2,03 x 10^{-5})^2} = 3680514,56$$

$$N_u = 0,27 R_a^{\frac{1}{4}} = 11,83$$

$$h = \frac{N_u K}{L_c} = \frac{11,82 x 0,03}{\frac{7}{20}} = 0,98 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{0,98 x \left(\frac{1,4}{2}\right)^2 x \pi} = 0,66 \text{ } ^\circ C/W$$

Ahora se prosigue a calcular el calor disipado por el aporte de la conducción y convección en cada cara del recipiente.

$$R_{tot} = R_{Convección} + R_{Conducción}$$

$$\sum Q_{c+c} = \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot1}} + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot2}} + \dots + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{totn}}$$

$$Q_{c+c} = (124 - 23) \times \left(\frac{1}{4,86 \times 10^{-5} + 0,15} + \frac{1}{0,66 + 1,25 \times 10^{-4}} + \frac{1}{8,93 \times 10^{-4} + 1,23} \right)$$

$$= 1103,92 \text{ W} = 3974,12 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 1,82 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$Q_{c+c} = (100 - 23) \times \left(\frac{1}{0,11} \right) = 709,33 \text{ W} = 2553,60 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 1,17 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

Por último, se calculan las pérdidas por radiación, según la tabla A-18 se tiene $\epsilon_{Inox} = 0,35$:

$$Q_{rad} = \epsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_\infty^4)$$

$$Q_{rad \text{ Metal}} = (0,35) \times (5,67 \times 10^{-8}) \times ((273 + 124)^4 - (273 + 23)^4) \times \left((1,4) \pi \times (0,9) \right.$$

$$\left. + \left(\frac{1,4}{2} \right)^2 \pi - \left(\frac{1,4 - 0,1016}{2} \right)^2 \pi + \left(\frac{1,4}{2} \right)^2 \pi \right) = 1946 \text{ W}$$

$$= 7005,60 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 3,21 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$Q_{rad \text{ Tapa}} = (0,35) \times (5,67 \times 10^{-8}) \times ((273 + 100)^4 - (273 + 23)^4) \times \left(\left(\frac{1,4 - 0,1016}{2} \right)^2 \pi \right)$$

$$= 206,91 \text{ W} = 1104,88 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$= 0,51 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$Q_{Perdidas} = Q_{c+c} + Q_{rad} = 2,99 + 3,72 = 6,71 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$Q_{Perdidas} \times 0,3 = 2,01 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

Tanque de búnker principal

El volumen en este tanque varía según los días de uso y la carga de nuevo combustible. Aun así, se calculará el volumen máximo que posee el tanque, aunque esta condición rara vez ocurra y se requiera una menor cantidad de vapor, se tomará en cuenta para los cálculos de demanda máxima. Para el tanque principal se tiene un diámetro de 2,5 m y una longitud de 8 m. Este no posee aislamiento térmico y está pintado de negro. Será calentado de 23 °C hasta 60,28 °C para tener una mejor fluidez del líquido.

Calentamiento

Primero se define el volumen del recipiente:

$$V = \left(\frac{2,5}{2}\right)^2 \pi \times 8 = 12,5\pi \text{ m}^3$$

De la ficha técnica suministrada por RECOPE @ 23 °C se obtiene una densidad del búnker $\rho = 988,23 \text{ kg/m}^3$ y $C_p = 2,09 \text{ kJ/kgK}$:

$$Q = mC_p\Delta T$$

$$Q = (12,5\pi) \times (988,23) \times (2,09) \times (60,28 - 23) = 3023709,81 \text{ kJ}$$

De la tabla A-9 @ 5,5 Bar G se obtiene $h_{fg} = 2075,11 \text{ kJ/kg}$ vapor

$$Q = 1457,12 \text{ kg Vap}$$

Pérdidas por conducción

De la tabla A-5 se obtiene $K_{\text{acero}} = 63,9 \text{ w/m } ^\circ\text{C}$; el esterilizador está hecho de una lámina de acero, a temperatura ambiente de 23 °C, con un espesor de lámina de 4 mm:

$$R_{\text{pared}} = \frac{L}{KA}$$

$$R_{\text{cilindro}} = \frac{0,004}{(63,9) \times 2,5\pi \times 8} = 9,96 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{Circulo}} = \frac{0,004}{(63,9) \times \left(\frac{2,5}{2}\right)^2 \pi} = 1,28 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Pérdidas por convección

$T_{\text{película}} = \frac{60,28+23}{2} = 41,64 \text{ } ^\circ\text{C}$. En la tabla A-15 para el aire se interpola @ 41,64 °C: $K_{\text{aire}} =$

$0,02662 \text{ W/m}^\circ\text{C}$; $\nu = 1,702 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; $Pr = 0,7255$. $\beta = \frac{1}{41,64+273} = \frac{25}{7866} \text{ K}^{-1}$

$$Ra = \frac{g\beta (T_s - T_\infty)L_c^3 Pr}{\nu^2}$$

Placa circular:

$$Ra = \frac{(9,81) \times \left(\frac{25}{7866}\right) \times (60,28 - 23) \times (2,5)^3 \times (0,7255)}{(1,702 \times 10^{-5})^2} = 4,55 \times 10^{10}$$

$$Nu = \left\{ 0,8250 + \frac{0,387 Ra^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 = 409,62$$

$$h = \frac{Nu K}{L_c} = \frac{409,62 \times 0,027}{2,5} = 4,36 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{4,36 \times \left(\frac{2,5}{2}\right)^2 \pi} = 0,047 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Cilindro horizontal:

$$Ra = \frac{(9,81) \times \left(\frac{25}{7866}\right) \times (60,28 - 23) \times (2,5)^3 \times (0,7255)}{(1,702 \times 10^{-5})^2} = 4,55 \times 10^{10}$$

$$Nu = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 Ra^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 = 393,12$$

$$h = \frac{Nu K}{L_c} = \frac{393,12 \times 0,027}{2,5} = 4,19 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{4,185961 \times 2,5 \pi \times 8} = 3,80 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Ahora se prosigue a calcular el calor disipado por el aporte de la conducción y convección en cada cara del recipiente.

$$R_{tot} = R_{Convección} + R_{Conducción}$$

$$\sum Q_{c+c} = \frac{(T_s - T_{\infty})}{R_{tot1}} + \frac{(T_s - T_{\infty})}{R_{tot2}} + \dots + \frac{(T_s - T_{\infty})}{R_{totn}}$$

$$Q_{c+c} = (60,28 - 23) \times \left(\frac{2}{1,28 \times 10^{-5} + 0,047} + \frac{1}{9,96 \times 10^{-7} + 3,80 \times 10^{-3}} \right) = 11398,42 \text{ W}$$

$$= 41034,22 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 19,77 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

Por último, se calculan las pérdidas por radiación, según la tabla A-18 se tiene $\epsilon_{PinturaAccite}=0,94$:

$$Q_{rad} = \epsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{\infty}^4)$$

$$Q_{rad \text{ Metal}} = (0,94) \times (5,67 \times 10^{-8}) \times ((273 + 60,28)^4 - (273 + 23)^4) \times \left(2,5\pi \times 8 \right. \\ \left. + 2 \times \left(\frac{2,5}{2} \right)^2 \pi \right) = 18048,53 \text{ W} = 64974,70 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 31,31 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$Q_{Perdidas} = Q_{c+c} + Q_{rad} = 19,77 + 31,31 = 51,09 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$Q_{Total} = Q_{cal \text{ Vol}} + Q_{cal \text{ rep}} + Q_{Perdidas} = \frac{1457,122303}{14,2} + 51,086 = 153,7 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

El tanque de búnker se calienta por 14,2 horas al día, básicamente lo que dura la caldera encendida. Además, al no necesitar un calentamiento inmediato del búnker, se calcula tomando en cuenta que el proceso de calentamiento dura todo el periodo.

Tanque de búnker diario

Este se analiza igual al tanque principal, pero con 0,9 m de diámetro y 1,7 m de largo y se calienta hasta 73 °C.

Calentamiento

Primero se define el volumen del recipiente:

$$V = \left(\frac{0,9}{2}\right)^2 \pi \times 1,3 = 0,827 \text{ m}^3$$

De la ficha técnica suministrada por RECOPE @ 23 °C se obtiene una densidad del búnker $\rho = 988,23 \text{ kg/m}^3$ y $C_p = 2,09 \text{ kJ/kgK}$:

$$Q = m C_p \Delta T$$

$$Q = (0,827) \times (988,23) \times (2,09) \times (60,28 - 23) = 85406,82 \text{ kJ}$$

De la tabla A-9 @ 5,5 Bar G se obtiene $h_{fg} = 2075,11 \text{ kJ/kg}$ vapor:

$$Q = 41,16 \text{ kg Vap}$$

Pérdidas por conducción

De la tabla A-5 se obtiene $K_{acero} = 63,9 \text{ w/m } ^\circ\text{C}$; el esterilizador está hecho de una lámina de acero, a temperatura ambiente de 23 °C, con un espesor de lámina de 3 mm:

$$R_{pared} = \frac{L}{KA}$$

$$R_{cilindro} = \frac{0,003}{(63,9) \times 0,9 \pi \times 1,3} = 1,28 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{circulo} = \frac{0,003}{(63,9) \times \left(\frac{0,9}{2}\right)^2 \pi} = 7,38 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Pérdidas por convección

$T_{película} = \frac{73+23}{2} = 48 \text{ } ^\circ\text{C}$. En la tabla A-15 para el aire se interpola @ 48 °C: $K_{aire} = 0,027206 \text{ W/m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$; $\nu = 1,7788 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; $Pr = 0,72332$. $\beta = \frac{1}{48+273} = \frac{1}{321} \text{ K}^{-1}$

$$Ra = \frac{g \beta (T_s - T_\infty) L_c^3 Pr}{\nu^2}$$

Placa circular:

$$R_a = \frac{(9,81)x\left(\frac{1}{321}\right)x(73 - 23)x(0,9)^3x(0,72)}{(1,78x10^{-5})^2} = 2546465166$$

$$N_u = \left\{ 0,8250 + \frac{0,387R_a^{\frac{1}{6}}}{8} \right\}^2 = 164,61$$

$$\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{27}{8}}$$

$$h = \frac{N_u K}{L_c} = \frac{164,61x 0,027}{0,9} = 4,98 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{4,976x\left(\frac{0,9}{2}\right)^2 \pi} = 0,32 \text{ } ^\circ C/W$$

Cilindro horizontal:

$$R_a = \frac{(9,81)x\left(\frac{1}{321}\right)(73 - 23)x(0,9)^3x(0,72)}{(1,78x10^{-5})^2} = 2546465166$$

$$N_u = \left\{ 0,6 + \frac{0,387R_a^{\frac{1}{6}}}{8} \right\}^2 = 155,99$$

$$\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{27}{8}}$$

$$h = \frac{N_u K}{L_c} = \frac{155,986x 0,027206}{0,9} = 4,72 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{4,7153x0,9\pi x1,3} = 0,058 \text{ } ^\circ C/W$$

Ahora se prosigue a calcular el calor disipado por el aporte de la conducción y convección en cada cara del recipiente:

$$R_{tot} = R_{Convección} + R_{Conducción}$$

$$\sum Q_{c+c} = \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot1}} + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot2}} + \dots + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{totn}}$$

$$Q_{c+c} = (73 - 23) \times \left(\frac{2}{7,38 \times 10^{-5} + 0,32} + \frac{1}{1,28 \times 10^{-5} + 0,058} \right) = 1182,88 \text{ W}$$

$$= 4258,38 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 2,052 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

Por último, se calculan las pérdidas por radiación, según la tabla A-18 se tiene $\epsilon_{\text{PinturaAceite}}=0,94$:

$$Q_{rad} = \epsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_\infty^4)$$

$$Q_{rad \text{ Metal}} = (0,94) \times (5,67 \times 10^{-8}) \times ((273 + 73)^4 - (273 + 23)^4) \times \left(0,9 \pi \times 1,3 \right. \\ \left. + 2 \times \left(\frac{0,9}{2} \right)^2 \pi \right) = 1755,14 \text{ W} = 6318,52 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 3,045 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$Q_{Perdidas} = Q_{c+c} + Q_{rad} = 2,05 + 3,04 = 5,10 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$Q_{Total} = Q_{Perdidas} = 5,10 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

Tanques jabonería

Estos tanques tienen un diseño similar entre sí, se trata de un cilindro que posee cuatro tubos en su interior, el cual se encarga de calentar lo que esté dentro por 5 horas 3 veces a la semana, conservándolo a una temperatura promedio de 88 °C. No poseen un aislamiento térmico y se encuentran pintados con pintura de aceite. Cada uno posee un diámetro, longitud y diámetro de tubo diferente. Si bien se realizarán los cálculos de demanda máxima con la totalidad del volumen, los tanques nunca se llenan por completo. Por esta razón, en los cálculos de demanda se tomará como la mitad del volumen, pues el nivel se encuentra en promedio en ese rango. También se realizará un ajuste en el tiempo de operación para proyectar el análisis en el tiempo, tomando 2,5 horas, pues la empresa opera seis días y estos se calientan solo tres veces semanalmente.

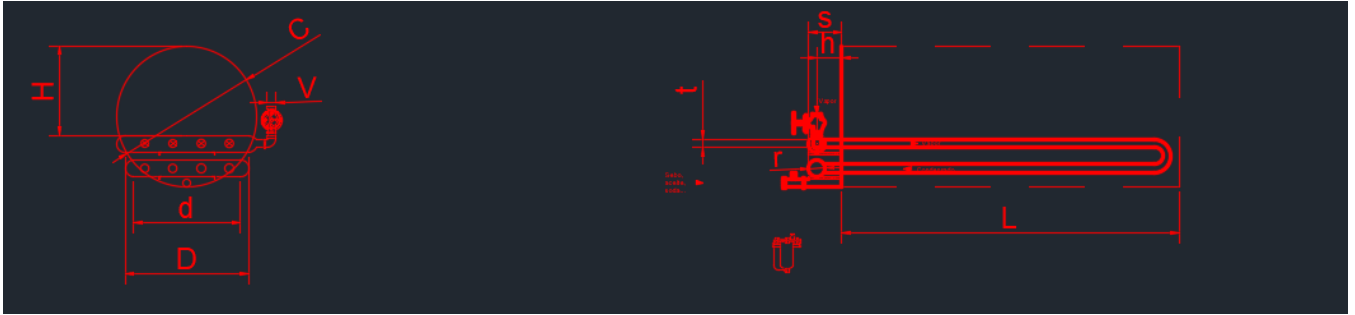


Figura 67. Tanques de almacenamiento de sebo y aceites

Fuente: Elaboración propia, AutoCAD.

Las dimensiones se brindarán para cada caso en particular, además se utilizará la siguiente fórmula para calcular el volumen:

$$V = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \pi x L - 4x \left(\frac{d}{2}\right)^2 \pi x 2L$$

Donde D es el diámetro del tanque, L el largo del tanque y d el diámetro del tubo calefactor.

Tanque de sebo proveniente del Render, jabonería

Para este tanque se tiene un L de 9 m, un D de 3,2 m y un d de 0,25.

Calentamiento

Primero se define el volumen del recipiente:

$$V = \left(\frac{3,2}{2}\right)^2 \pi x 9 - 4x \left(\frac{0,25}{2}\right)^2 \pi x 2x 9 = 68,85 \text{ m}^3$$

De la página The Engineering Toolbox se obtiene una densidad del sebo $\rho = 876,83$ kg/m³ y Cp = 2,26 kJ/kgK:

$$Q = mCp\Delta T$$

$$Q = 68,85X(876,83)X(2,26)X(88 - 23) = 8868058,39 \text{ kJ}$$

De la tabla A-9 @ 5,5 Bar G se obtiene $h_{fg} = 2075,11 \text{ kJ/kg vapor}$:

$$Q = 4273,54 \text{ kg Vap}$$

Pérdidas por conducción

De la tabla A-5 se obtiene $K_{acero} = 63,9 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$; el esterilizador está hecho de una lámina de acero, a temperatura ambiente de $23 \text{ } ^\circ\text{C}$, con un espesor de lámina de 3 mm:

$$R_{pared} = \frac{L}{KA}$$

$$R_{cilindro} = \frac{0,003}{63,9 \times 3,2 \pi \times 9} = 5,19 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{circulo} = \frac{0,003}{63,9 \times (\frac{3,2}{2})^2 \pi} = 5,84 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Pérdidas por convección

$T_{pelicula} = \frac{88+23}{2} = 55,5 \text{ } ^\circ\text{C}$. En la tabla A-15 para el aire se interpola @ $55,5 \text{ } ^\circ\text{C}$: $K_{aire} =$

$0,0277515 \text{ W/m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$; $\nu = 1,8519 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; $Pr = 0,72137$. $\beta = \frac{1}{55,5+273} = \frac{2}{657} \text{ K}^{-1}$

$$Ra = \frac{g\beta (T_s - T_\infty)L_c^3 Pr}{\nu^2}$$

Placa vertical:

$$Ra = \frac{(9,81) \times (\frac{2}{657}) \times (88 - 23) \times (3,2)^3 \times (0,72)}{(1,85 \times 10^{-5})^2} = 1,34 \times 10^{11}$$

$$Nu = \left\{ 0,8250 + \frac{0,387 Ra^{\frac{1}{6}}}{8} \right\}^2 = 578,58$$

$$\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{27}{8}}$$

$$h = \frac{Nu K}{L_c} = \frac{578,58 \times 0,028}{3,2} = 5,018 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{5,02 \times (\frac{3,2}{2})^2 \pi} = 0,025 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Cilindro horizontal:

$$R_a = \frac{(9,81) \times \left(\frac{2}{657}\right) \times (88 - 23) \times (3,2)^3 \times (0,72)}{(1,85 \times 10^{-5})^2} = 1,34 \times 10^{11}$$

$$N_u = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 R_a^{\frac{1}{6}}}{8} \right\}^2 = 557,19$$

$$\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{27}{8}}$$

$$h = \frac{N_u K}{L_c} = \frac{557,186 \times 0,028}{3,2} = 4,83 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{4,832 \times 3,2 \pi \times 9} = 2,29 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ C/W$$

Ahora se prosigue a calcular el calor disipado por el aporte de la conducción y convección en cada cara del recipiente.

$$R_{tot} = R_{Convección} + R_{Conducción}$$

$$\sum Q_{c+c} = \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot1}} + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot2}} + \dots + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{totn}}$$

$$Q_{c+c} = (88 - 23) \times \left(\frac{2}{5,84 \times 10^{-6} + 0,025} + \frac{1}{5,19 \times 10^{-7} + 2,29 \times 10^{-3}} \right) = 33656,35 W$$

$$= 121162,87 \frac{kJ}{h} = 58,39 \frac{kgvap}{h}$$

Por último, se calculan las pérdidas por radiación, según la tabla A-18 se tiene $\epsilon_{PinturaAceite} = 0,94$:

$$Q_{rad} = \epsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_\infty^4)$$

$$Q_{rad Metal} = (0,94) (5,67 \times 10^{-8}) ((273 + 88)^4 - (273 + 23)^4) \left(3,2 \pi \times 9 + 2 \times \left(\frac{3,2}{2} \right)^2 \pi \right)$$

$$= 52859,90 W = 190295,63 \frac{kJ}{h} = 91,70 \frac{kgvap}{h}$$

$$Q_{Perdidas} = Q_{c+c} + Q_{rad} = 58,39 + 91,70 = 150,09 \frac{kgvap}{h}$$

$$Q_{Total} = Q_{Perdidas} = 150,09 \frac{kgvap}{h}$$

Tanque de aceite de coquito, jabonería

Para este tanque se tiene un L de 7,3 m, un D de 2,2 m y un d de 0,15.

Calentamiento

Primero se define el volumen del recipiente:

$$V = \left(\frac{2,2}{2}\right)^2 \pi x 7,3 - 4x \left(\frac{0,15}{2}\right)^2 \pi x 2x 7,3 = 26,72 \text{ m}^3$$

De la página The Engineering Toolbox se obtiene una densidad del aceite vegetal $\rho = 910 \text{ kg/m}^3$ y $C_p = 1,67 \text{ kJ/kgK}$:

$$Q = m C_p \Delta T$$

$$Q = 26,71767x(910)x(1,67)x(88 - 23) = 2639185,27 \text{ kJ}$$

De la tabla A-9 @ 5,5 Bar G se obtiene $h_{fg} = 2075,11 \text{ kJ/kg}$ vapor:

$$Q = 1271,83 \text{ kg Vap}$$

Pérdidas por conducción

De la tabla A-5 se obtiene $K_{\text{acero}} = 63,9 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$; el esterilizador está hecho de una lámina de acero, a temperatura ambiente de $23 \text{ }^\circ\text{C}$, con un espesor de lámina de 3 mm:

$$R_{\text{pared}} = \frac{L}{KA}$$

$$R_{\text{Cilindro}} = \frac{0,003}{63,9x2,2\pi x 7,3} = 9,31x10^{-7} \text{ }^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{Circulo}} = \frac{0,003}{63,9x\left(\frac{2,2}{2}\right)^2\pi} = 1,24x10^{-5} \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Pérdidas por convección

$T_{\text{película}} = \frac{88+23}{2} = 55,5 \text{ °C}$. En la tabla A-15 para el aire se interpola @ 55,5 °C: $K_{\text{aire}} = 0,0277515 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$; $\nu = 1,8519 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; $Pr = 0,72137$. $\beta = \frac{1}{55,5+273} = \frac{2}{657} \text{ K}^{-1}$

$$Ra = \frac{g\beta (T_s - T_{\infty})L_c^3 Pr}{\nu^2}$$

Placa vertical:

$$Ra = \frac{(9,81) \times \left(\frac{2}{657}\right) \times (88 - 23) \times (2,2)^3 \times (0,72)}{(1,85 \times 10^{-5})^2} = 4,35 \times 10^{10}$$

$$Nu = \left\{ 0,8250 + \frac{0,387 Ra^{\frac{1}{6}}}{\frac{8}{Pr}} \right\}^2 = 403,42$$

$$\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}$$

$$h = \frac{Nu K}{L_c} = \frac{403,42 \times 0,028}{2,2} = 5,089 \frac{W}{m^2 \text{ °C}}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{5,09 \times \left(\frac{2,2}{2}\right)^2 \pi} = 0,052 \text{ °C/W}$$

Cilindro horizontal:

$$Ra = \frac{(9,81) \times \left(\frac{2}{657}\right) \times (88 - 23) \times (2,2)^3 \times (0,72)}{(1,85 \times 10^{-5})^2} = 4,35 \times 10^{10}$$

$$Nu = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 Ra^{\frac{1}{6}}}{\frac{8}{Pr}} \right\}^2 = 387,09$$

$$\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}$$

$$h = \frac{Nu K}{L_c} = \frac{387,09 \times 0,028}{2,2} = 4,88 \frac{W}{m^2 \text{ °C}}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{4,832 \times 2,2 \pi \times 7,3} = 4,06 \times 10^{-3} \text{ °C/W}$$

Ahora se prosigue a calcular el calor disipado por el aporte de la conducción y convección en cada cara del recipiente.

$$R_{tot} = R_{Convección} + R_{Conducción}$$

$$\sum Q_{c+c} = \frac{(T_s - T_{\infty})}{R_{tot1}} + \frac{(T_s - T_{\infty})}{R_{tot2}} + \dots + \frac{(T_s - T_{\infty})}{R_{totn}}$$

$$Q_{c+c} = (88 - 23) \times \left(\frac{2}{1,24 \times 10^{-5} + 0,052} + \frac{1}{9,31 \times 10^{-7} + 4,06 \times 10^{-3}} \right) = 18523,88 \text{ W}$$

$$= 66685,95 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 32,14 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

Por último, se calculan las pérdidas por radiación, según la tabla A-18 se tiene

$\epsilon_{PinturaAceite} = 0,94$:

$$Q_{rad} = \epsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{\infty}^4)$$

$$Q_{Tanque} = (0,94) \times (5,67 \times 10^{-8}) \times ((273 + 88)^4 - (273 + 23)^4) \times \left(2,2 \pi \times 7,3 \right. \\ \left. + 2 \times \left(\frac{2,2}{2} \right)^2 \pi \right) = 28798,67 \text{ W} = 103675,22 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 49,96 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$Q_{Perdidas} = Q_{c+c} + Q_{rad} = 32,14 + 49,96 = 82,10 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$Q_{Total} = Q_{Perdidas} = 82,1 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

Tanque de estearina de palma, jabonería

Calentamiento

L= 6 m; D= 3 m; d= 0,15 m

Primero se define el volumen del recipiente:

$$V = \left(\frac{3}{2} \right)^2 \pi \times 6 - 4 \times \left(\frac{0,15}{2} \right)^2 \pi \times 2 \times 6 = 41,56 \text{ m}^3$$

De la página The Engineering Toolbox se obtiene una densidad del aceite vegetal $\rho = 910 \text{ kg/m}^3$ y $C_p = 1,67 \text{ kJ/kgK}$:

$$Q = mC_p\Delta T$$

$$Q = (41,56)X(910)X(1,67)X(88 - 23) = 4105640,67 \text{ kJ}$$

De la tabla A-9 @ 5,5 Bar G se obtiene $h_{fg} = 2075,11 \text{ kJ/kg}$ vapor

$$Q = 1978,52 \text{ kg Vap}$$

Pérdidas por conducción

De la tabla A-5 se obtiene $K_{\text{acero}} = 63,9 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$; el esterilizador está hecho de una lámina de acero, a temperatura ambiente de $23 \text{ }^\circ\text{C}$, con un espesor de lámina de 3 mm :

$$R_{\text{pared}} = \frac{L}{KA}$$

$$R_{\text{cilindro}} = \frac{0,003}{63,9x3\pi x6} = 8,30x10^{-7} \text{ }^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{circulo}} = \frac{0,003}{63,9x(\frac{3}{2})^2\pi} = 6,64x10^{-6} \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Pérdidas por convección

$T_{\text{película}} = \frac{88+23}{2} = 55,5 \text{ }^\circ\text{C}$. En la tabla A-15 para el aire se interpola @ $55,5 \text{ }^\circ\text{C}$: $K_{\text{aire}} =$

$0,0277515 \text{ W/m}^\circ\text{C}$; $\nu = 1,8519 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; $Pr = 0,72137$. $\beta = \frac{1}{55,5+273} = \frac{2}{657} \text{ K}^{-1}$

$$Ra = \frac{g\beta (T_s - T_\infty)L_c^3 Pr}{\nu^2}$$

Placa vertical:

$$Ra = \frac{(9,81) \times \left(\frac{2}{657}\right) (88 - 23) \times (3)^3 \times (0,72)}{(1,85 \times 10^{-5})^2} = 1,10 \times 10^{11}$$

$$Nu = \left\{ 0,8250 + \frac{0,387 Ra^{\frac{1}{6}}}{8} \right\}^2 = 543,64$$
$$\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{27}{8}}$$

$$h = \frac{Nu K}{L_c} = \frac{543,64 \times 0,028}{3} = 5,029 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{5,029 \left(\frac{3}{2}\right)^2 \pi} = 0,028 \text{ } ^\circ C/W$$

Cilindro horizontal:

$$Ra = \frac{(9,81) \times \left(\frac{2}{657}\right) \times (88 - 23) \times (3)^3 \times (0,72)}{(1,8519 \times 10^{-5})^2} = 1,10 \times 10^{11}$$

$$Nu = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 Ra^{\frac{1}{6}}}{8} \right\}^2 = 523,23$$
$$\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{27}{8}}$$

$$h = \frac{Nu K}{L_c} = \frac{523,23 \times 0,028}{3} = 4,84 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{4,840 \times 3\pi \times 6} = 3,65 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ C/W$$

Ahora se prosigue a calcular el calor disipado por el aporte de la conducción y convección en cada cara del recipiente.

$$R_{tot} = R_{Convección} + R_{Conducción}$$

$$\sum Q_{c+c} = \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot1}} + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot2}} + \dots + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{totn}}$$

$$Q_{c+c} = (88 - 23) \times \left(\frac{2}{6,64 \times 10^{-6} + 0,028} + \frac{1}{8,30 \times 10^{-7} + 3,65 \times 10^{-3}} \right) = 22406,90 \text{ W}$$

$$= 80664,86 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 38,87 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

Por último, se calculan las pérdidas por radiación, según la tabla A-18 se tiene

$\epsilon_{PinturaAceite} = 0,94$:

$$Q_{rad} = \epsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_\infty^4)$$

$$Q_{Tanque} = (0,94) \times (5,67 \times 10^{-8}) \times ((273 + 88)^4 - (273 + 23)^4) \times \left(3\pi \times 6 + 2 \times \left(\frac{3}{2}\right)^2 \pi \right)$$

$$= 35062,32 \text{ W} = 126227,94 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 60,83 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$Q_{Perdidas} = Q_{c+c} + Q_{rad} = 38,87 + 60,83 = 99,70 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$Q_{Total} = Q_{Perdidas} = 99,70 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

Tanque de sebo lavado, jabonería

Para este tanque se tiene un L de 5,5 m, un D de 1,6 m y un d de 0,12.

Calentamiento

Primero se define el volumen del recipiente:

$$V = \left(\frac{1,6}{2}\right)^2 \pi x 5,5 - 4x \left(\frac{0,12}{2}\right)^2 \pi x 2x 5,5 = 10,56 \text{ m}^3$$

De la página The Engineering Toolbox se obtiene una densidad del sebo $\rho = 876,83 \text{ kg/m}^3$ y $C_p = 2,26 \text{ kJ/kgK}$:

$$Q = m C_p \Delta T$$

$$Q = 10,56 x (876,83) x (2,26) x (88 - 23) = 1360295,01 \text{ kJ}$$

De la tabla A-9 @ 5,5 Bar G se obtiene $h_{fg} = 2075,11 \text{ kJ/kg vapor}$:

$$Q = 655,53 \text{ kg Vap}$$

Pérdidas por conducción

De la tabla A-5 se obtiene $K_{\text{acero}} = 63,9 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$; el esterilizador está hecho de una lámina de acero, a temperatura ambiente de $23 \text{ }^\circ\text{C}$, con un espesor de lámina de 3 mm:

$$R_{\text{pared}} = \frac{L}{KA}$$

$$R_{\text{cilindro}} = \frac{0,003}{63,9 x 1,6 \pi x 5,5} = 1,70 x 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{circulo}} = \frac{0,003}{63,9 x \left(\frac{1,6}{2}\right)^2 \pi} = 2,34 x 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Pérdidas por convección

$T_{\text{película}} = \frac{88+23}{2} = 55,5 \text{ °C}$. En la tabla A-15 para el aire se interpola @ 55,5 °C: $K_{\text{aire}} =$

$0,0277515 \text{ W/m}^2\text{°C}$; $\nu = 1,8519 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; $Pr = 0,72137$. $\beta = \frac{1}{55,5+273} = \frac{2}{657} \text{ K}^{-1}$

$$Ra = \frac{g\beta (T_s - T_\infty)L_c^3 Pr}{\nu^2}$$

Placa vertical:

$$Ra = \frac{(9,81) \times \left(\frac{2}{657}\right) \times (88 - 23) \times (1,6)^3 \times (0,72)}{(1,85 \times 10^{-5})^2} = 1,67 \times 10^{10}$$

$$Nu = \left\{ 0,8250 + \frac{0,387 Ra^{\frac{1}{6}}}{8} \right\}^2 = 297,57$$
$$\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}$$

$$h = \frac{Nu K}{L_c} = \frac{297,57 \times 0,028}{1,6} = 5,16 \frac{W}{m^2\text{°C}}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{5,16 \times \left(\frac{1,6}{2}\right)^2 \pi} = 0,096 \text{ °C/W}$$

Cilindro horizontal:

$$Ra = \frac{(9,81) \times \left(\frac{2}{657}\right) \times (88 - 23) \times (1,6)^3 \times (0,72)}{(1,85 \times 10^{-5})^2} = 1,67 \times 10^{10}$$

$$Nu = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 Ra^{\frac{1}{6}}}{8} \right\}^2 = 284,49$$
$$\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}$$

$$h = \frac{Nu K}{L_c} = \frac{284,49 \times 0,028}{1,6} = 4,93 \frac{W}{m^2\text{°C}}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{4,93 \times 1,6 \pi \times 5,5} = 7,33 \times 10^{-3} \text{ °C/W}$$

Ahora se procede a calcular el calor disipado por el aporte de la conducción y convección en cada cara del recipiente.

$$R_{tot} = R_{Convección} + R_{Conducción}$$

$$\sum Q_{c+c} = \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot1}} + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot2}} + \dots + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{totn}}$$

$$Q_{c+c} = (88 - 23)x \left(\frac{2}{2,34x10^{-5} + 0,096} + \frac{1}{1,70x10^{-6} + 7,33x10^{-3}} \right) = 10252,96 W$$

$$= 36910,64 \frac{kJ}{h} = 17,79 \frac{kgvap}{h}$$

Por último, se calculan las pérdidas por radiación, según la tabla A-18 se tiene $\epsilon_{PinturaAceite} = 0,94$:

$$Q_{rad} = \epsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_\infty^4)$$

$$Q_{rad Metal} = (0,94)x(5,67x10^{-8})x((273 + 88)^4 - (273 + 23)^4)x \left(1,6\pi x 5,5 \right. \\ \left. + 2x \left(\frac{1,6}{2} \right)^2 \pi \right) = 15708,37 W = 56550,12 \frac{kJ}{h} = 27,25 \frac{kgvap}{h}$$

$$Q_{Perdidas} = Q_{c+c} + Q_{rad} = 17,79 + 27,25 = 45,04 \frac{kgvap}{h}$$

$$Q_{Total} = Q_{Perdidas} = 45,04 \frac{kgvap}{h}$$

Tanque de sebo recuperado, jabonería

Para este tanque se tiene un L de 4,5 m, un D de 1,9 m y un d de 0,12.

Calentamiento

Primero se define el volumen del recipiente:

$$V = \left(\frac{1,9}{2}\right)^2 \pi \times 4,5 - 4 \times \left(\frac{0,12}{2}\right)^2 \pi \times 2 \times 4,5 = 12,35 \text{ m}^3$$

De la página The Engineering Toolbox se obtiene una densidad del sebo $\rho = 876,83 \text{ kg/m}^3$ y $C_p = 2,26 \text{ kJ/kgK}$:

$$Q = m C_p \Delta T$$

$$Q = 12,35 \times (876,83) \times (2,26) \times (88 - 23) = 1590969,74 \text{ kJ}$$

De la tabla A-9 @ 5,5 Bar G se obtiene $h_{fg} = 2075,11 \text{ kJ/kg vapor}$

$$Q = 766,69 \text{ kg Vapor}$$

Pérdidas por conducción

De la tabla A-5 se obtiene $K_{\text{acero}} = 63,9 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$; el esterilizador está hecho de una lámina de acero, a temperatura ambiente de $23 \text{ } ^\circ\text{C}$, con un espesor de lámina de 3 mm:

$$R_{\text{pared}} = \frac{L}{KA}$$

$$R_{\text{cilindro}} = \frac{0,003}{63,9 \times 1,9 \pi \times 4,5} = 1,75 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{circulo}} = \frac{0,003}{63,9 \times \left(\frac{1,9}{2}\right)^2 \pi} = 1,66 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Pérdidas por convección

$T_{\text{película}} = \frac{88+23}{2} = 55,5 \text{ }^\circ\text{C}$. En la tabla A-15 para el aire se interpola @ 55,5 °C: $K_{\text{aire}} = 0,0277515 \text{ W/m}^\circ\text{C}$; $\nu = 1,8519 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; $Pr = 0,72137$. $\beta = \frac{1}{55,5+273} = \frac{2}{657} \text{ K}^{-1}$

$$Ra = \frac{g\beta (T_s - T_\infty)L_c^3 Pr}{\nu^2}$$

Placa vertical:

$$Ra = \frac{(9,81)x\left(\frac{2}{657}\right)x(88 - 23)x(1,9)^3x(0,72)}{(1,8519 \times 10^{-5})^2} = 2,80 \times 10^{10}$$

$$Nu = \left\{ 0,8250 + \frac{0,387 Ra^{\frac{1}{6}}}{8} \right\}^2 = 350,59$$
$$\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{27}{8}}$$

$$h = \frac{Nu K}{L_c} = \frac{350,586 \times 0,028}{1,9} = 5,12 \frac{W}{m^2^\circ C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{5,12 \times \left(\frac{1,9}{2}\right)^2 \pi} = 0,069 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Cilindro horizontal:

$$Ra = \frac{(9,81)x\left(\frac{2}{657}\right)x(88 - 23)x(1,9)^3x(0,72)}{(1,85 \times 10^{-5})^2} = 2,80 \times 10^{10}$$

$$Nu = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 Ra^{\frac{1}{6}}}{8} \right\}^2 = 335,86$$
$$\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{27}{8}}$$

$$h = \frac{Nu K}{L_c} = \frac{335,86 \times 0,028}{1,9} = 4,91 \frac{W}{m^2^\circ C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{4,9055 \times 1,9 \pi \times 4,5} = 7,59 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Ahora se prosigue a calcular el calor disipado por el aporte de la conducción y convección en cada cara del recipiente.

$$R_{tot} = R_{Convección} + R_{Conducción}$$

$$\sum Q_{c+c} = \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot1}} + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot2}} + \dots + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{totn}}$$

$$Q_{c+c} = (88 - 23) \times \left(\frac{2}{1,66 \times 10^{-5} + 0,069} + \frac{1}{1,75 \times 10^{-6} + 7,59 \times 10^{-3}} \right) = 10449,77 \text{ W}$$

$$= 37619,16 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 18,13 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

Por último, se calculan las pérdidas por radiación, según la tabla A-18 se tiene $\epsilon_{PinturaAceite} = 0,94$:

$$Q_{rad} = \epsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_\infty^4)$$

$$Q_{rad \text{ Metal}} = (0,94) \times (5,67 \times 10^{-8}) \times ((273 + 88)^4 - (273 + 23)^4) \times \left(1,9\pi \times 4,5 \right. \\ \left. + 2 \times \left(\frac{1,9}{2} \right)^2 \pi \right) = 14730,49 \text{ W} = 53029,76 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 25,56 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$Q_{Perdidas} = Q_{c+c} + Q_{rad} = 18,13 + 25,56 = 43,68 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$Q_{Total} = Q_{Perdidas} = 43,68 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

Separadora centrífuga

Para este equipo se tomará como si fuese el funcionamiento de una turbina de vapor de arrastre en la cual golpeará el fluido tangencialmente. Esta es suministrada de vapor por un orificio de 1½ pulgadas, pero se utiliza una válvula para regular la salida el fluido. El operario abre la válvula en gran medida al inicio para acelerar la canasta y luego la cierra progresivamente para regular la velocidad. La apertura varía desde completamente abierta hasta una apertura menor a la mitad; por este motivo se escoge un orificio de la mitad de la tubería utilizada.

Secadoras de ropa industriales

Según el catálogo de INTECNO, una secadora con una capacidad de 35 kg utiliza 46 000 W para funcionar, los equipos se alimentan a 1,5 bares manométricos [32]. Por lo cual se obtiene lo siguiente:

$$Q = 50100W \times \frac{(1kW)}{1000W} \times \frac{(3600 s)}{1 h} \times \frac{(1 kJ)}{1kWh} \times \frac{(1kg vapor)}{2181,2kJ} = 82,69 \frac{kg vapor}{h}$$

Intercambiador de formados

Este intercambiador se utiliza para alimentar tres salidas de limpieza en la sala de formados. Cada salida requiere aproximadamente $1 \frac{m^3}{h}$ y requiere agua a 83 °C; se obtiene lo siguiente.

De la tabla A-3 con una temperatura de @ 23 °C, se obtiene una densidad del agua $\rho = 997 \text{ kg/m}^3$ y $C_p = 4,18 \text{ kJ/kgK}$:

$$Q = mC_p\Delta T$$

$$Q = 3 \times (997) \times (4,18) \times (83 - 23) = 750142,8 \text{ kJ/h}$$

De la tabla A-9 @ 1,5 Bar G se obtiene $h_{fg} = 2181,2 \text{ kJ/kg vapor}$ y $127,558^\circ\text{C}$

$$Q = 343,91 \text{ kg Vapor/h}$$

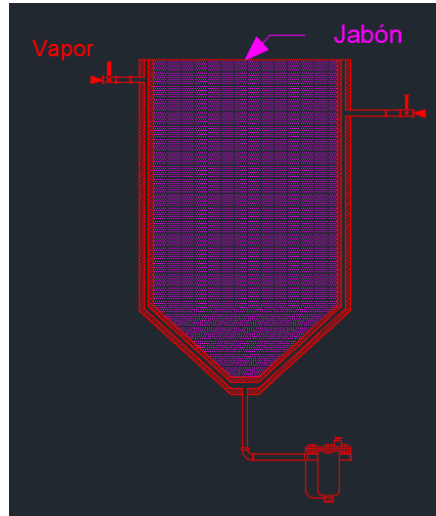
Las pérdidas fueron contempladas en la sección de pérdidas de calor en tuberías gracias a su geometría. Además, como se utiliza solamente para limpieza y esta depende del trabajo realizado, se delimita a una hora para este cálculo.

Pailas de jabón

La paila que utilizan en la jabonería consiste en un anillo agujereado en la parte más baja del tanque donde se entrega vapor vivo al líquido dentro de un cilindro interno. Este cilindro posee un tornillo sin fin en el medio que ayuda a dirigir el flujo de jabón dentro del equipo y propiciar la mezcla de los aditivos para el jabón. Para esta aplicación plantearemos cambiar el anillo por un serpentín sin orificios que se encuentre rodeando el tornillo sin fin.

Primero necesitaremos dimensionar la cantidad de vapor necesaria para el proceso. Este complejo posee un aislamiento térmico de dos pulgadas, está hecho de una placa de acero de 6,35 mm y tiene un compartimento para vapor de dos pulgadas. El vapor se encuentra a 1,5 bares manométricos. Por motivos de confidencialidad de la empresa, no se pueden brindar datos sobre el producto; además estos fabrican varios tipos de jabón con distintas proporciones de sebo y agua. Aun así, para realizar un estimado se utilizarán algunos datos revelados. Se tomará una densidad de $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$ y $C_p = 3,01248 \text{ kJ/kgK}$.

El jabón tiene su reacción entre los 80 °C y 95 °C, algunas mezclas necesitan calentarse hasta los 100 °C por motivos de extrusión y manipulación, por lo cual se tomará como máxima. El sebo y demás aditivos entrarán a una temperatura de 55 °C, pero se tomarán las propiedades del jabón. La paila 1 se encarga de preparar el producto en tres horas, los dos serpentines mencionados anteriormente no se utilizan siempre. Por motivos de humedad, en algunos casos no se puede utilizar el serpentín agujereado. Además, en este proceso el calentamiento ocurre muy lentamente, se estima que con la apertura del serpentín el jabón se calentaría un 60 % más rápido. La paila 2 se encarga de mantener la temperatura del jabón, almacenándole para su posterior uso.



Paila 2 de jabón

Figura 68. Paila de jabón 2

Fuente: Elaboración propia, AutoCAD.

Este equipo, al tener como función mantener la temperatura, solo se tomará su consumo para reponer las pérdidas.

Pérdidas por conducción

De la tabla A-5 se obtiene $K_{acero} = 63,9 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$; el esterilizador está hecho de una lámina de acero, en un cuarto a temperatura ambiente de $23 \text{ } ^\circ\text{C}$, con un espesor de lámina de 6,35 mm:

$$R_{pared} = \frac{L}{KA}$$

$$R_{cilindro} = \frac{0,00635}{(69,9)X\pi x \left(\frac{1,7714}{2}\right)^2 x3} = 1,34x10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{cono truncado} = \frac{0,00635}{(69,9)X\pi x \left(\frac{0,15 + 1,77}{2}\right) \sqrt{\left(\frac{0,9}{2}\right)^2 + \left(\frac{1,77 - 0,15}{2}\right)^2}} = 3,55x10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Pérdidas por convección

$T_{\text{película}} = \frac{124+23}{2} = 73,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ (Chaqueta de vapor). En la tabla A-15 para el aire se interpola @

73,5 °C: $K_{\text{aire}} = 0,029062 \text{ W/m}^\circ\text{C}$; $\nu = 2,0307 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; $Pr = 0,716895$. β

$$= \frac{1}{73,5+273} = \frac{2}{693} \text{ K}^{-1}$$

$$Ra = \frac{g\beta (T_s - T_\infty)L_c^3 Pr}{\nu^2}$$

Placa vertical cilíndrica:

$$Ra = \frac{(9,81) \times \left(\frac{2}{693}\right) \times (124 - 23) \times (3)^3 \times (0,72)}{(2,0307 \times 10^{-5})^2} = 1,34 \times 10^{11}$$

$$D \geq \frac{35L}{\left(\frac{Ra}{Pr}\right)^{\frac{1}{4}}} = 0,15962 \therefore \text{Se toma como placa vertical (D = 2)}$$

$$Nu = \left\{ 0,8250 + \frac{0,387 Ra^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 = 578,66$$

$$h = \frac{Nu K}{L_c} = \frac{578,66 \times 0,029}{3} = 5,61 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{5,61 \times \pi \times \left(\frac{1,77}{2}\right)^2 \times 3} = 0,024 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Placa inclinada cónica:

De un triángulo de catetos 0,9 y 0,8107, se obtiene un $L=1,21129\text{m}$ y $\theta=42,01^\circ$:

$$Ra = \frac{(9,81) \times \cos 42,01^\circ \times \left(\frac{2}{693}\right) \times (124 - 23) \times (1,21)^3 \times (0,72)}{(2,03 \times 10^{-5})^2} = 6564486329$$

$$Nu = \left\{ 0,8250 + \frac{0,387 Ra^{\frac{1}{6}}}{8} \right\}^2 = 221,21$$

$$\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{27}{8}}$$

$$h = \frac{Nu K}{L_c} = \frac{221,21 \times 0,029}{1,21} = 5,30 \frac{W}{m^2 \cdot C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{5,31 \times \pi \times \left(\frac{1,77}{2}\right)^2 \times \pi \times \left(\frac{0,15 + 1,77}{2}\right) \sqrt{(0,9)^2 + \left(\frac{1,77 - 0,15}{2}\right)^2}} = 0,052 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Placa horizontal superior:

$$L_c = \frac{A_s}{P} = \frac{1}{2}$$

$$Ra = \frac{(9,81) \times \left(\frac{2}{693}\right) \times (124 - 23) \times \left(\frac{1}{2}\right)^3 \times (0,72)}{(2,03 \times 10^{-5})^2} = 621385577,5$$

$$Nu = 0,15 Ra^{\frac{1}{3}} = 128,00$$

$$h = \frac{Nu K}{L_c} = \frac{128 \times 0,029}{0,5} = 7,44 \frac{W}{m^2 \cdot C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{7,44 \times \pi \times (1)^2 \times \pi} = 0,043 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Ahora se prosigue a calcular el calor disipado por el aporte de la conducción y convección en cada cara del recipiente.

$$R_{tot} = R_{Convección} + R_{Conducción}$$

$$\sum Q_{c+c} = \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot1}} + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot2}} + \dots + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{totn}}$$

$$Q_{c+c} \text{ Chaq} = (124 - 23) \times \left(\frac{1}{1,34 \times 10^{-5} + 0,024} + \frac{1}{3,55 \times 10^{-5} + 0,052} \right) = 6142,02 \text{ W}$$

$$= 22111,26 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 10,14 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$Q_{c+c} \text{ tapa} = (100 - 23) \times \frac{1}{0,043} = 2360,69 \text{ W} = 8498,47 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 3,90 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

Por último, se calculan las pérdidas por radiación, según la tabla A-18 se tiene ϵ_{agua} pintura de aceite = 0,94:

$$Q_{rad} = \epsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_\infty^4)$$

$$Q_{rad} \text{ Chaqueta} = (0,94)(5,67 \times 10^{-8})((273 + 124)^4 - (273 + 23)^4) \left(\pi x \left(\frac{1,77}{2} \right)^2 x 3 \right.$$

$$\left. + \pi x \left(\frac{0,15 + 1,77}{2} \right) \sqrt{(0,9)^2 + \left(\frac{1,77 - 0,15}{2} \right)^2} \right) = 10107,95 \text{ W}$$

$$= 34388,60 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 15,77 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$Q_{rad} \text{ Tapa} = (0,94) x (5,67 \times 10^{-8}) x ((273 + 100)^4 - (273 + 23)^4) x (\pi) = 1955,76 \text{ W}$$

$$= 7040,73 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 3,23 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$Q_{Perdidas} = Q_{c+c} + Q_{rad} = 14,03 + 18,99 = 33,03 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$Q_{Total} = Q_{Perdidas} = 33,02 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

$$Q_{real} = 33,03 x 0,3 = 9,91 \frac{\text{kgvap}}{\text{h}}$$

Paila 1 de jabón

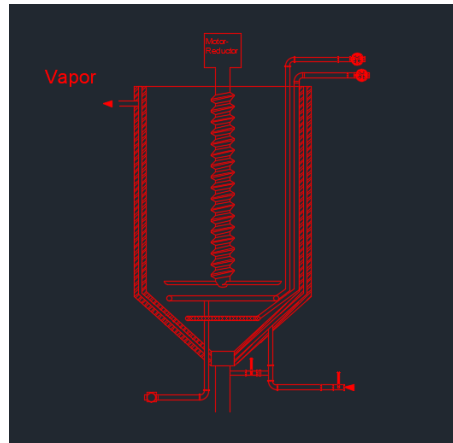


Figura 69. Paila de jabón 1

Fuente: Elaboración propia, AutoCAD.

El cuerpo consta de un cilindro de diámetro 3 m y altura 3 m acoplado a un cono truncado de diámetro mayor 3 m, altura 0,65 m y diámetro menor 0,12.

$$\text{Área lateral cilindro} = \left(\frac{2,7841}{2}\right)^2 \pi \times 3 = 18,26m^2$$

$$\text{Área lateral cono} = \pi \times \left(\frac{2,7841+0,12}{2}\right) \sqrt{0,65^2 + \left(\frac{2,7841-0,12}{2}\right)^2} = 6,76m^2$$

Calentamiento

Primero se define el volumen del recipiente:

$$V = \left(\frac{3 - 0,10 \times 2 - 0,013}{2}\right)^2 \times 3\pi + \pi \left(\left(\frac{2,78}{2}\right)^2 + \left(\frac{0,12}{2}\right)^2 + \frac{2,78 \times 0,12}{4}\right) = 24,62 m^3$$

$$Q = mCp\Delta T$$

$$Q = (24,62) \times (900) \times (3,01) \times (100 - 55) = 3004366,66 kJ$$

De la tabla A-9 @ 1,5 Bar G se obtiene $h_{fg} = 2181,2 \text{ kJ/kg vapor}$:

$$Q = 1377,39 \text{ kg Vap}$$

Pérdidas por conducción

De la tabla A-5 se obtiene $K_{\text{acero}} = 63,9 \text{ w/m } ^\circ\text{C}$; el esterilizador está hecho de una lámina de acero, en un cuarto a temperatura ambiente de $23 \text{ } ^\circ\text{C}$, con un espesor de lámina de $6,35 \text{ mm}$:

$$R_{\text{pared}} = \frac{L}{KA}$$

$$R_{\text{cilindro}} = \frac{0,00635}{(69,9)X\pi x(18,26)} = 1,34x10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{cono truncado}} = \frac{0,00635}{(69,9)X6,76} = 1,48x10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Pérdidas por convección

$T_{\text{película}} = \frac{124+23}{2} = 73,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ (Chaqueta de vapor). En la tabla A-15 para el aire se interpola @

$73,5 \text{ } ^\circ\text{C}$: $K_{\text{aire}} = 0,029062 \text{ w/m}^\circ\text{C}$; $\nu = 2,0307 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; $Pr = 0,716895$. β

$$= \frac{1}{73,5+273} = \frac{2}{693} \text{ K}^{-1}$$

$$Ra = \frac{g\beta (T_s - T_\infty)L_c^3 Pr}{\nu^2}$$

Placa vertical cilíndrica:

$$Ra = \frac{(9,81)x(\frac{2}{693})x(124 - 23)x(3)^3x(0,72)}{(2,03 \times 10^{-5})^2} = 1,34x10^{11}$$

$$D \geq \frac{35L}{\left(\frac{R_a}{Pr}\right)^{\frac{1}{4}}} = 0,15962 \therefore \text{Se toma como placa vertical } (D = 3)$$

$$N_u = \left\{ 0,8250 + \frac{0,387R_a^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{1}{4}}} \right\}^2 = 578,66$$

$$h = \frac{N_u K}{L_c} = \frac{578,66 \times 0,029}{3} = 5,61 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{5,61 \times \pi \times 3 \times 3} = 6,31 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ C/W$$

Placa inclinada cónica:

De un triángulo de catetos 0,65 y 1,33205, se obtiene un $L=1,482179882$ m y $\theta=63,989^\circ$:

$$R_a = \frac{(9,81) \times \cos 63,989^\circ \left(\frac{2}{693}\right) (124 - 23) \times (1,48)^3 \times (0,72)}{(2,03 \times 10^{-5})^2} = 708502993$$

$$N_u = \left\{ 0,8250 + \frac{0,387R_a^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{1}{4}}} \right\}^2 = 226,73$$

$$h = \frac{N_u K}{L_c} = \frac{226,73 \times 0,03}{1,482179882} = 4,45 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{4,45 \times 6,76} = 0,033 \text{ } ^\circ C/W$$

Placa horizontal superior:

$$L_c = \frac{A_s}{P} = \frac{\left(\frac{3}{2}\right)^2 \pi}{3\pi} = 0,75$$

$$R_a = \frac{(9,81) \times \left(\frac{2}{693}\right) (124 - 23) \times (0,75)^3 \times (0,72)}{(2,03 \times 10^{-5})^2} = 2512458765$$

$$N_u = 0,15R_a^{\frac{1}{3}} = 203,92$$

$$h = \frac{N_u K}{L_c} = \frac{203,92 \times 0,029}{0,75} = 7,90 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{7,90 \times (1,5)^2 \times \pi} = 0,018 \text{ } ^\circ C/W$$

Ahora se prosigue a calcular el calor disipado por el aporte de la conducción y convección en cada cara del recipiente.

$$R_{tot} = R_{Convección} + R_{Conducción}$$

$$\sum Q_{c+c} = \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot1}} + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot2}} + \dots + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{totn}}$$

$$Q_{c+c \text{ Chaq}} = (124 - 23) \times \left(\frac{1}{1,34 \times 10^{-5} + 6,31 \times 10^{-3}} + \frac{1}{1,48 \times 10^{-5} + 0,033} \right)$$

$$= 19573,37 \text{ W} = 70464,14 \frac{kJ}{h} = 32,31 \frac{kgvap}{h}$$

$$Q_{c+c \text{ tapa}} = (100 - 23) \times \frac{1}{0,018} = 4300,76 \text{ W} = 15482,73 \frac{kJ}{h} = 7,10 \frac{kgvap}{h}$$

Por último, se calculan las pérdidas por radiación, según la tabla A-18 se tiene ϵ_{agua} pintura de aceite = 0,94:

$$Q_{rad} = \epsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_\infty^4)$$

$$Q_{rad \text{ Chaqueta}} = (0,94) \times (5,67 \times 10^{-8}) \times ((273 + 124)^4 - (273 + 23)^4) \times (18,26 + 6,76)$$

$$= 22892,81 \text{ W} = 82414,12 \frac{kJ}{h} = 37,78 \frac{kgvap}{h}$$

$$Q_{rad \text{ Tapa}} = (0,94) \times (5,67 \times 10^{-8}) \times ((273 + 100)^4 - (273 + 23)^4) \times (\pi \times 1,5^2)$$

$$= 4400,46 \text{ W} = 15841,65 \frac{kJ}{h} = 7,26 \frac{kgvap}{h}$$

$$Q_{Perdidas} = Q_{c+c} + Q_{rad} = 39,40 + 45,05 = 84,45 \frac{kgvap}{h}$$

$$Q_{real} = 84,45 \times 0,3 = 25,34 \frac{kgvap}{h}$$

$$Q_{tot} = Q_{perdidasreal} = 25,34 \frac{kgvap}{h}$$

Marmitas, preparados

En este análisis se presenta una situación similar a la que aconteció en la jabonería, los únicos datos con los que se cuenta es que se cocina carne molida (85 % de la producción en esta sección) desde los 5 °C hasta los 100 °C, por 30 minutos. Se agregan 65 litros de agua a 23 °C y se calienta a los 100 °C como mezcla.

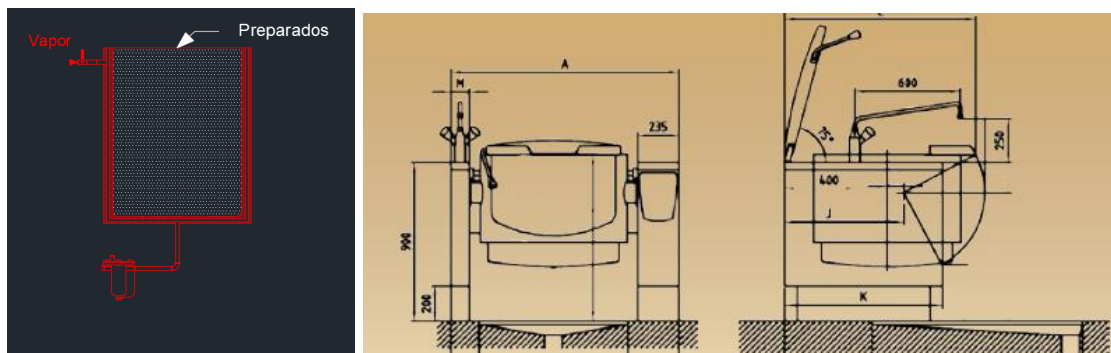


Figura 70. Marmitas de alimentos preparados

Fuente: Elaboración propia, AutoCAD.

Calentamiento

De la página The Engineering Toolbox, para una torta de hamburguesa $C_p = 3,52$ kJ/kgK, se obtiene una densidad del agua $\rho = 997$ kg/m³ con un $C_p = 4,18$ kJ/kgK:

$$Q = mC_p\Delta T$$

$$Q_{Agua} = \left(\frac{65}{1000}\right) \times (997) \times (100 - 23) = 20858,14 \text{ kJ}$$

$$Q_{carne} = (137) \times (3,52) \times (100 - 5) = 45812,8 \text{ kJ}$$

$$Q_{carne} = 66670,97 \text{ kJ}$$

De la tabla A-9 @ 1,5 Bar G, se obtiene $h_{fg} = 2181,2$ kJ/kg vapor:

$$Q = 30,57 \text{ kg Vap}$$

Pérdidas por conducción

De la tabla A-5 se obtiene $K_{\text{inox}} = 15,6 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$; el esterilizador está hecho de una lámina de acero inoxidable, en un cuarto a temperatura ambiente de $8 \text{ } ^\circ\text{C}$, con un espesor de lámina de 3 mm . Las marmitas poseen una superficie de calentamiento por chaqueta interna, dejando un espacio vacío en su interior. Por este motivo, la temperatura de superficie según el fabricante es de $65 \text{ } ^\circ\text{C}$, de ahí se calcularán las pérdidas.

$$R_{\text{pared}} = \frac{L}{KA}$$
$$R_{\text{Circulo}} = \frac{0,003}{(15,6) \times \left(\frac{0,9}{2}\right)^2 \pi} = 3,02 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$
$$R_{\text{Cilindro}} = \frac{0,003}{(15,6) \times 0,9 \times 0,6 \pi} = 1,13 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Pérdidas por convección

$T_{\text{película}} = \frac{65+8}{2} = 36,5 \text{ } ^\circ\text{C}$. En la tabla A-15 para el aire se interpola @ $36,5 \text{ } ^\circ\text{C}$: $K_{\text{aire}} = 0,026731 \text{ w/m}^\circ\text{C}$; $v = 1,6691 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; $P_r = 0,72641$. $\beta = \frac{1}{273+36,5} = \frac{2}{619} \text{ K}^{-1}$

$$R_a = \frac{g\beta (T_s - T_\infty)L_c^3 P_r}{\nu^2}$$

Placa vertical:

$$R_a = \frac{(9,81) \times \left(\frac{2}{619}\right) \times (65 - 8) \times (0,6)^3 \times (0,73)}{(1,67 \times 10^{-5})^2} = 1017546022$$
$$D \geq \frac{35L}{\left(\frac{R_a}{P_r}\right)^{\frac{1}{4}}} = 0,01085 \therefore \text{Se toma como placa vertical } (D = 0,9)$$

$$N_u = \left\{ 0,8250 + \frac{0,387 R_a^{\frac{1}{6}}}{8} \right\}^2 = 123,91$$

$$\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{9}{27}}$$

$$h = \frac{N_u K}{L_c} = \frac{123,91 \times 0,03}{0,6} = 5,52 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{5,52 \times 0,9\pi \times 0,6} = 1,56 \text{ } ^\circ C/W$$

Placa horizontal superior:

$$L_c = \frac{A_s}{P} = \frac{0,45^2 \pi}{0,9\pi} = \frac{9}{40} \text{ cm}$$

$$R_a = \frac{(9,81) \times \left(\frac{2}{619} \right) \times (65 - 8) \times \left(\frac{9}{40} \right)^3 \times (0,73)}{(1,67 \times 10^{-5})^2} = 53659653,5$$

$$N_u = 0,15 R_a^{\frac{1}{3}} = 56,57708231$$

$$h = \frac{N_u K}{L_c} = \frac{56,58 \times 0,03}{\frac{9}{40}} = 6,72 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{6,72 \times 0,45^2 \pi} = 0,23 \text{ } ^\circ C/W$$

Placa horizontal inferior:

$$L_c = \frac{A_s}{P} = \frac{0,45^2 \pi}{0,9\pi} = \frac{9}{40} \text{ cm}$$

$$R_a = \frac{(9,81) \times \left(\frac{2}{619} \right) \times (65 - 8) \times \left(\frac{9}{40} \right)^3 \times (0,73)}{(1,67 \times 10^{-5})^2} = 53659653,5$$

$$N_u = 0,27 R_a^{\frac{1}{4}} = 23,11$$

$$h = \frac{N_u K}{L_c} = \frac{23,11 \times 0,03}{\frac{9}{40}} = 2,75 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{2,75 \times 0,45^2 \pi} = 0,57 \text{ } ^\circ C/W$$

Ahora se prosigue a calcular el calor disipado por el aporte de la conducción y convección en cada cara del recipiente.

$$R_{tot} = R_{Convección} + R_{Conducción}$$

$$\sum Q_{c+c} = \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot1}} + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot2}} + \dots + \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{totn}}$$

$$Q_{c+c} = (65 - 8)x \left(\frac{1}{1,13x10^{-4} + 1,56} + \frac{1}{3,02x10^{-4} + 0,23} + \frac{1}{3,02x10^{-4} + 0,57} \right)$$

$$= 379,49 W = 1366,15 \frac{kJ}{h} = 0,63 \frac{kgvap}{h}$$

Por último, se calculan las pérdidas por radiación, según la tabla A-18 se tiene $\epsilon_{Inox} = 0,35$:

$$Q_{rad} = \epsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_\infty^4)$$

$$Q_{rad Metal} = (0,35)x(5,67x10^{-8})x((273 + 65)^4 - (273 + 8)^4)x(0,45^2\pi + 0,9\pi x0,6)$$

$$= 315,56 W = 1136,01 \frac{kJ}{h} = 0,52 \frac{kgvap}{h}$$

$$Q_{Perdidas} = Q_{c+c} + Q_{rad} = 0,63 + 0,52 = 1,15 \frac{kgvap}{h}$$

$$Q_{Total} = Q_{Perdidas} = 1,15 \frac{kgvap}{h}$$

Por último, se analizó la calidad del condensado que será aprovechado, realizando un muestreo de este en diferentes trampas. Ante la sospecha de hermeticidad de algunos sistemas para calentamiento con vapor, se procedió a recolectar en recipientes de vidrio. Posteriormente, se enfriaron para intentar condensar algún sólido. Si este se encuentra flotando, será posiblemente algún tipo de grasa y en caso contrario otro químico. Si bien es crucial conocer la cantidad de condensado a recuperar, si este puede afectar el funcionamiento de la caldera por contaminación no podrá ser reutilizado.

Algunas de las muestras se evidenciaron con un líquido totalmente transparente, lo cual es lo apetecido. Sin embargo, otras se tornaron de un color blancuzco, por lo cual se

tomaron las más blancas para realizarles un análisis en laboratorio por parte del suplidor del tratamiento químico a la caldera. Curiosamente, las muestras enviadas correspondían a cabezales de vapor, por lo cual inmediatamente fueron enviadas para evitar cualquier percance con la caldera. El resto se muestra a continuación.

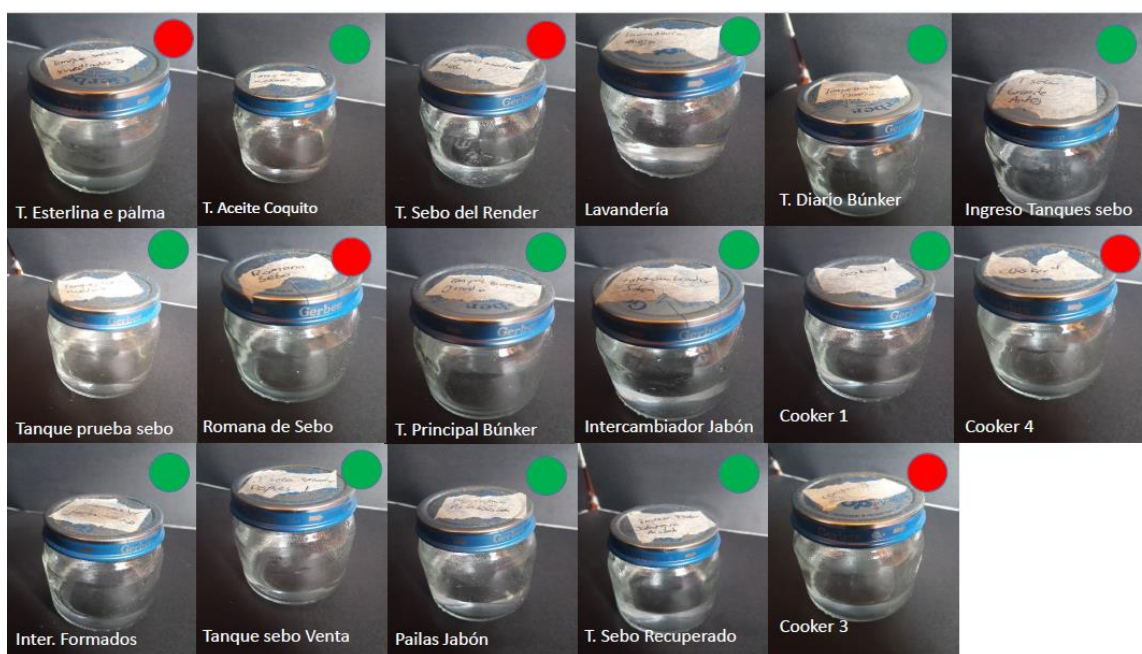


Figura 71. Muestras de condensado

Fuente: Elaboración propia.

El análisis hecho a las muestras indicó una conductividad mayor a la usual en la caldera, lo cual fue provocado por un mal funcionamiento del sensor. El aumento en la conductividad el agua provocó un fenómeno de arrastre en la caldera; se trata de un aumento súbito de la cantidad de burbujas formadas en la capa superficial del agua de esta. Dicho inconveniente causó una succión de estas burbujas hacia las líneas de suministro, llenándoles de condensado y por fin arrastrando el químico de la caldera hacia las trampas de vapor. Se calibró el sensor inmediatamente y la caldera siguió funcionando con normalidad sin peligro de algún daño.

Además, las muestras marcadas con rojo evidencian presencia de sólidos disueltos, estos pueden llegar a ser perjudiciales para el sistema, por lo cual es necesario cerciorarse sobre la hermeticidad del tanque de esterlina de palma, tanque de sebo proveniente del Render, romana de sebo, cooker 4 y cooker 3 y acoplarlos a un sistema de retorno de condensados. Las muestras marcadas con verde se observaron cristalinas y perfectamente aprovechables.



Figura 72. Muestras de condensado, presencia de contaminantes
Fuente: Elaboración propia.

También se indica que la temperatura más baja, medida a la salida de las trampas, fue de 70 °C, las demás en promedio se encontraron en 90 °C. Para efectos prácticos de los cálculos se tomará una temperatura de 70 °C.

Analizados todos los aspectos del sistema actual, se resume a continuación lo encontrado:

Demanda de vapor según equipo							
Descripción de Usuario	Prestión	Diámetro Tubería	Caudal de Vapor	Calentamiento	Horario de Uso	Kilos de condensado/hora	% Consumo
Distribución general	NA	NA	NA	NA	Na	166,32	0,19
Cabezal Cuarto Calderas	6,5	8 [204,2]	2,46		14,21	34,90	0,04
Cabezal Rrender	6,5	7 3/4 [196,85]	0,96		12,41	11,91	0,01
Cabezal Preparados	6,5	7 3/4 [196,85]	0,58		12,13	6,38	0,01
Cabezal Jabonería	6,5	7 3/4 [196,85]	0,38		9,46	3,63	0,00
Cabezal Matanza	6,5	7 3/4 [196,85]	1,00		14,21	14,18	0,02
Tanque Diario de Bunker	6,5	2 [50,8]	5,097	41,16	14,21	113,59	0,13
Tanque Principal de Bunker	6,5	2 [50,8]	163,7	1457,1223	14,21	3641,20	4,08
Calentamiento Agua Caldera	6,5	2 [50,8]	3,92357	8216,06	14,21	8270,81	9,27
Cocina 1	5,5	2 [50,8]	1376,65		5,33	7341,67	8,23
Cocina 2	5,5	2 [50,8]	1376,65		5,33	7337,54	8,22
Cocina 3	5,5	2 [50,8]	1376,65		4,00	5506,60	6,17
Cocina 4	5,5	2 [50,8]	1657,636		4,00	6230,54	6,98
Separadora Centrífuga 1	5,5	1 1/2 [38,1]	979,45		6,00	5876,70	6,59
Separadora Centrífuga 2	5,5	1 1/2 [38,1]	979,45		6,00	5876,70	6,59
Cocinas de Sebo x 5	5,5	3/4 [19,05]	11,534	107,08	6,00	881,40	0,99
Marmitas x3	5,5	3/4 [19,05]	1,147	30,57	6,00	112,34	0,13
Tanque Aceite Coquito	5,5	1 1/2 [38,1]	82,0974	635,91	2,50	841,16	0,94
Tanque Esterina de Palma	5,5	1 1/2 [38,1]	99,7	989,26	2,50	1238,51	1,39
Tanque Sebo Lavado	5,5	1 1/2 [38,1]	45,03894	327,77	2,50	440,36	0,49
Tanque Sebo Recuperado	5,5	1 1/2 [38,1]	43,6939	383,35	2,50	492,56	0,55
Tanques de Sebo del Rrender	5,5	1 1/2 [38,1]	150,092	2136,77	2,50	2512,00	2,82
Paila 1	1,5	3/4 [19,05]	25,335	1377,29	1,50	1415,39	1,59
Paila 2	1,5	3/4 [19,05]	9,90847		1,50	14,86	0,02
Paila Hiel y ramificación	5,5	3/4 [19,05]	2,0133	156,5665	7,00	170,66	0,19
Calentador formados	5,5	2 [50,8]	343,9128		1,00	343,91	0,39
Escaldador de Cerdos	5,5	1 1/2 [38,1]	303,7860347	311,2386077	8,00	2741,53	3,07
Secadora Lavandería x2	5,5	3/4 [19,05]	82,6894		14,22	2351,66	2,64
Calentadores Agua Techo x3	5,5	2 [50,8]	54,3415	340,226	14,22	2466,89	2,76
Esterilizadores Sierta de Canal	5,5	1/2 [12,7]	9,128568	37,957	8,00	110,99	0,12
Esterilizadores de cuchillos	5,5	1/2 [12,7]	7,6986	3,701	8,00	451,43	0,51

Figura 73. Consumo y demanda de vapor por equipo
Fuente: Elaboración propia, Excel.

Aunque el consumo total es de 88 424, 24 kg de vapor, debe recordarse que este supera al consumo promedio de 82 712 kg de agua diarios, por los factores de cálculo tomados con anterioridad considerando escenarios desfavorables. Además, no se toman en cuenta las pérdidas por fugas de vapor que en un escenario favorable deberán ser un 3 %, ni la masa de agua utilizada en las purgas de la caldera. Por último, este valor se encuentra por debajo del valor máximo registrado en el histórico de 141 m³ (141 000 kg de agua), por lo cual se considera una aproximación válida. El área que más consume vapor es el proceso de rendering con un 44 % del consumo de vapor, seguido de matanza con un 35 %, el sistema de distribución, calentamiento de agua y búnker de la caldera con un 14 % y jabonería con un 8 %. Los equipos que más consumen son los tanques para calentar agua 28 % del total de consumo, el precalentamiento de agua a la caldera con un 9 % y las cocinas del Render que datan entre 6 % y 8 % del consumo total.

Ahorro por retorno de condensados

Una vez recolectada toda la información anterior para dimensionar el sistema, se procederá a realizar el análisis de retorno de condensados. Primero, se especifica que para los cálculos se tomarán los equipos después de haber realizado pruebas y reparaciones por hermeticidad. Segundo, se tomarán los equipos como están en este momento en la empresa, sin realizar algún cambio que conlleve otra alternativa. Tercero, se descartarán los equipos que tengan contaminación del vapor y por ende no pueda recuperarse.

Los equipos no recuperables son:

- Esterilizadores
- Calentamiento de agua de la caldera
- Cocinas de sebo
- Separadoras centrífugas
- Paila 1
- Secadoras lavandería
- Calentadores de agua en el techo

Descartando estos equipos, queda un total aprovechable del 44,83 % del consumo de vapor (posteriormente convertido en condensado). Se utilizará este porcentaje del flujo de agua de reposición a la caldera y se trabajará con el agua real de reposición de la caldera para tener un dato más acercado a la realidad.

Calentamiento con un retorno del 44,24 % del condensado

Se utilizará una temperatura de retorno del agua de 70 °C. De la tabla A-3 con una temperatura de @ 23 °C, se obtiene una densidad del Agua $\rho = 997 \text{ kg/m}^3$ y $C_p = 4,18$

kJ/kgK. Con una temperatura de @ 70 °C, se obtiene una densidad del Agua $\rho = 977,6 \text{ kg/m}^3$ y $C_p = 4,188 \text{ kJ/kgK}$:

$$Q = mC_p\Delta T$$

$$Q_{cond} = (82,712 \times 0,4483) \times (977,6) \times (4,188) \times (73 - 70) = 455434,9779 \text{ kJ}$$

$$Q_{rep} = (82,712 \times (1 - 0,4483)) \times (997) \times (4,18) \times (73 - 23) = 9508520,578 \text{ kJ}$$

$$Q_{tot} = 9963955,556$$

De la tabla A-9 @ 6,5 Bar G se obtiene $h_{fg} = 2056,01 \text{ kJ/kg}$ vapor:

$$Q_{cond} = 4846,26 \text{ kg Vap}$$

$$Q_{ahorrado} = 8215,06 - 4846,26 = 3368,80 \text{ kg Vap}$$

No se deben perder de vista los ahorros indirectos en el uso de este sistema, por ejemplo, el consumo de agua y consumo de químicos para la caldera, pues se ahorran en promedio 37,08 m³ de agua al día.

Agua caliente

Si bien se trató en dos secciones diferentes el calentamiento de agua, se considerará la opción de implementar un intercambiador grande para calentar el agua necesaria por los esterilizadores. Coopemontecillos utiliza esterilizadores con vapor para la sección de matanza de cerdo, la parte de matanza de res utiliza meramente esterilizadores con el agua caliente de los tanques encontrados en la azotea. Como dato adicional, la demanda de agua caliente no se reserva a los procesos de matanza que tienen lugar en la mañana, sino que una vez terminado el proceso se necesita de agua caliente para las labores de limpieza necesarias.

Se realizarán los cálculos correspondientes para verificar si es más factible calentar toda el agua del proceso de matanza y afines en un solo sitio y a partir de ahí distribuirla. Utilizaremos el consumo de agua caliente que se tiene en los tanques, agregaremos el aporte

del intercambiador de formados y la cantidad de agua caliente referente a los esterilizadores de matanza de cerdo. Por último, el intercambiador trabajará a una presión de vapor de 1,5 bares manométricos. De igual manera que para los tanques de agua, se utilizará una temperatura de 90 °C para sobreponer las pérdidas, aunque se aconseje utilizar una temperatura menor y que se encuentre correctamente aislado.

En matanza de cerdos hay siete esterilizadores de cuchillos y uno de sierra canal.

$$Q = (m_{Tanques} + m_{Est} + m_{Est\ sierra})Cp\Delta T$$

$$Q_{rep} = (m_{Tanques} + m_{Est} + m_{Est\ sierra} + m_{formados})Cp\Delta T = kJ$$

$$Q = (3 \times 2,54847 + 7 \times 0,01535 + 0,1575) \times (997) \times (4,18) \times (90 - 23) = 2208729,30 kJ$$

$$= 1012,62 \frac{kgvap}{h}$$

$$Q_{rep} = (3 \times 14,22 \times 4,0522 + 7 \times 8 \times 0,06 + 8 \times 0,06 + 3) \times (997) \times (4,18) \times (90 - 23)$$

$$= 50177714,87 kJ = 23004,63 \frac{kgvap}{h}$$

$$Q_{Intercambiador\ Nuevo} = 24017,26\ kgvap$$

En este caso, se utiliza el consumo de vapor del intercambiador cotizado que posee un consumo de vapor mayor al recién calculado. Se tiene un consumo de 3976 libras de vapor por hora, que se traduce a 8747,2 kg de vapor por hora, este funciona por 14,2 horas que es lo que dura el proceso de matanza.

$$Q_{Intercambiador\ Nuevo\ corregido} = 124385,184\ kgvap$$

Como dato adicional, esta alternativa en particular proporciona dos ahorros extras. El primero es disminuir la cantidad de vapor empleado para calentar, pues los tanques de agua y esterilizadores utilizan una salida de vapor vivo para calentar. En el siguiente cálculo se

muestra cuánto vapor extra se está utilizando para calentar de esta forma. Segundo, el volumen de vapor utilizado se puede aprovechar con un retorno de condensados, sumando un 28,7 % más de masa de condensado (respecto al volumen inicial de agua empleado). No obstante, por tratarse de inversiones separadas no se tomará en cuenta para el cálculo de retorno de la inversión, pues no se sabe con certeza que se recurrirá a implementar un sistema de retorno de condensado.

Tomando un agujero para una válvula de 2" cerrada al 50 %, la tubería de suministro de vapor a 5,5 Bar G para los tanques y un agujero de ½" que suple el circuito de los esterilizadores a la misma presión.

$$Q_{Real\ Tanques\ de\ agua} = 3022,26 \frac{kgvap}{h} \times 14,22\ h \times 3 = 128929,61\ kgvap$$

$$Q_{Esterilizadores} = 377,8 \frac{kgvap}{h} \times 8\ h = 3022,4\ kgvap$$

$$Q_{Total} = 131952,01\ kgvap$$

Ahora, si dividimos el caudal obtenido entre el que demandan los equipos, se obtiene el porcentaje extra de vapor que se le está brindando a los equipos.

$$\% \text{ extra de vapor} = \frac{Q_{Total}}{Q_{requerido}} \times 100 = \frac{131952,01}{24668,89} \times 100 = 534,89\ \%$$

Como se logra ver con este cálculo, la cantidad de vapor implementado es ocho veces la capacidad necesaria por el sistema. Esto indica una clara falta de aprovechamiento del recurso energético y correcto uso del vapor. Se logra apreciar la gran nube de vapor que se evidenció en las fotografías anteriores donde se enumeran los usuarios de vapor en la empresa.

$$Q_{Ahorrado} = Q_{Total} - Q_{Intercambiador Nuevo} = 131952,01 - 124385,184$$

$$= 7566,83kgvap$$

En este caso, el volumen de agua requerido es de aproximadamente 15,64 m³/h; según indica el departamento de ingeniería con cálculos anteriores y utilizando factores conservadores se dimensionó una demanda de 16,35 m³/h (60 GPM). Por este motivo, se considera una aproximación aceptable que difiere en un 4 % del valor calculado con anterioridad.

Cocinas de sebo

En este caso de estudio se propone cambiar la forma actual de intercambio de calor para el equipo, pues se agrega vapor vivo directamente al tanque. Tal y como se realizó con los tanques de agua, se comparará el utilizar un intercambiador por serpentín a 1,5 bares manométricos totalmente sellado. También se calculará el vapor utilizado como si fuese una fuga de vapor, suplidos por una tubería de ¾".

$$Q_{Requerido} = 881,40 kgvap @ 5,5 bares$$

$$Q_{Requerido Serpentín} = 881,40x \frac{2075,5}{2181,2} = 838,69 kgvap$$

Al igual que con el análisis de los tanques de agua, esta alternativa proporciona dos ahorros extras, como se mencionó. También se brindará un estimado de la cantidad de vapor extra agregado al tanque.

$$Q_{Real} = 850,058x6 = 5100 kgvap$$

$$\%extra de vapor = \frac{Q_{Total}}{Q requerido} x 100$$

$$\%extra\ de\ vapor = \frac{5100}{881,40} \times 100 = 578,62\%$$

$$Q_{Ahorrado} = 5100 - 838,6877 = 4261,31\text{kgvap}$$

Jabonería

Se brindará el dimensionamiento de la carga térmica necesaria por las pailas de jabonería y se analizará el impacto del cambio por una alternativa con mejor aprovechamiento de vapor. En este caso se eliminarán las fugas de vapor producto de la instalación en las chaquetas y el serpentín agujereado.

Paila 1

$$Q_{Requerido} = 1415,39\ \text{kgvap} @ 1,5\ \text{bares man}$$

Al igual que con el análisis de los tanques de agua, esta alternativa proporciona dos ahorros extras, como se mencionó. También se brindará un estimado de la cantidad de vapor extra agregado al tanque. La chaqueta se alimenta por una tubería de 1 ½" y de ¾" para el serpentín agujereado.

$$Q_{Real} = (1279,47 + 319,868) \times 1,5 = 2399,01\ \text{kgvap}$$

$$\%extra\ de\ vapor = \frac{Q_{Total}}{Q\ requerido} \times 100$$

$$\%extra\ de\ vapor = \frac{2399,007}{1415,39} \times 100 = 169,49\%$$

$$Q_{ahorrado} = Q_{Real} - Q_{Requerido} = 2399,007 - 1415,39 = 983,61\text{kgvap}$$

Paila 2

$$Q_{Requerido} = 14,86 \text{ kgvapor @ } 1,5 \text{ bares man}$$

Al igual que con el análisis de los tanques de agua, esta alternativa proporciona dos ahorros extras, como se mencionó. También se brindará un estimado de la cantidad de vapor extra agregado al tanque. La chaqueta se alimenta por una tubería de 1 ½" y de ¾" para el serpentín agujereado.

$$Q_{Real} = (1279,47) \times 1,5 = 1919,21 \text{ kgvapor}$$

$$\% \text{ extra de vapor} = \frac{Q_{Total}}{Q_{requerido}} \times 100$$

$$\% \text{ extra de vapor} = \frac{1919,205}{14,86} \times 100 = 12915,24 \%$$

$$Q_{ahorrado} = Q_{Real} - Q_{Requerido} = 1919,205 - 14,86 = 1904,35 \text{ kgvapor}$$

$$Q_{ahorradoPailas} = 2887,96 \text{ kgvapor}$$

Sección 2.5: Pre calentamiento de agua con vapores del Render

Para este cálculo, se utilizarán los factores de aprovechamiento de vapor obtenidos del material para dimensionamiento de carga térmica de Alloy. Estos indican que por cada libra de vapor se necesitan 1,6 libras del sistema, además estas cocinas funcionan a presión atmosférica por regulaciones nacionales. Se obtiene lo siguiente:

$$Q_{Cookers \ 1y \ 2} = 2 \times \frac{1376,65}{1,6} \times 5,333 = 9177,09 \text{ kgvapor}$$

$$Q_{Cookers \ 3} = \frac{1376,65}{1,6} \times 4 = 3441,63 \text{ kgvapor}$$

$$Q_{Cooker \ 4000kg} = \frac{1557,636}{1,6} \times 4 = 3894,09 \text{ kgvapor}$$

Las separadoras centrífugas también descargan el vapor al ambiente, pues es necesaria una diferencia de presiones para mover las paletas y acelerar la canasta. La descarga de estas puede aprovecharse a su vez para calentamiento, estos consumos son los siguientes:

$$Q_{Separadoras} = 2 \times 979,45 \times 6 = 11753,4 \text{ kg vap}$$

$$Q_{total \text{ aprovechable}} = 28266,208 \text{ kg vap}$$

Cabe destacar que, por la presencia de contaminantes sólidos en el vapor, este no proporcionará toda la energía que usualmente podría proveer. Así se tomará un factor de 70 % de aprovechamiento de dicha energía para realizar un cálculo preliminar. Si se quisiera llegar a implementar la alternativa, se deberá consultar a los fabricantes de este tipo de intercambiadores de calor.

De la tabla A-9 @ 101,325 kPa (presión atmosférica), se obtiene $h_{fg} = 2256,5 \text{ kJ/kg}$ y una temperatura de 100 °C:

$$Q_{total \text{ aprovechable}} = 28266,208 \times 2256,5 \times 0,7 = 44647888,85 \text{ kJ}$$

Si comparamos la cantidad de energía requerida para el calentamiento de agua calculada en la sección anterior con la aprovechable del Render, se obtiene lo siguiente:

$$\% \text{ de calor suplido} = \frac{Q_{total \text{ aprovechable}}}{Q_{total \text{ necesitado}}} = \frac{44647888,85}{25507,4 \times 2075,5} \times 100 = 84,34 \%$$

En caso de querer utilizar este vapor para calentar agua destinada a esterilizadores, se podría calentar la siguiente masa de agua:

$$Q = mCp\Delta T$$

$$44647888,85 = (m) \times (4,18) \times (83 - 23) \rightarrow m = 178021,89 \text{ kg Agua}$$

Sección 2.6: Disminución de presión de Saturación

TABLA A-5

Agua saturada. Tabla de presiones

Pres., P kPa	Temp. sat., T_{sat} °C	Volumen específico, m^3/kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg		
		Líqu. sat., v_f	Vapor sat., v_g	Líqu. sat., u_f	Evap., u_{fg}	Vapor sat., u_g	Líqu. sat., h_f	Evap., h_{fg}	Vapor sat., h_g
1.0	6.97	0.001000	129.19	29.302	2355.2	2384.5	29.303	2484.4	2513.7
1.5	13.02	0.001001	87.964	54.686	2338.1	2392.8	54.688	2470.1	2524.7
2.0	17.50	0.001001	66.990	73.431	2325.5	2398.9	73.433	2459.5	2532.9
2.5	21.08	0.001002	54.242	88.422	2315.4	2403.8	88.424	2451.0	2539.4
3.0	24.08	0.001003	45.654	100.98	2306.9	2407.9	100.98	2443.9	2544.8
4.0	28.96	0.001004	34.791	121.39	2293.1	2414.5	121.39	2432.3	2553.7
5.0	32.87	0.001005	28.185	137.75	2282.1	2419.8	137.75	2423.0	2560.7
7.5	40.29	0.001008	19.233	168.74	2261.1	2429.8	168.75	2405.3	2574.0
10	45.81	0.001010	14.670	191.79	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9
15	53.97	0.001014	10.020	225.93	2222.1	2448.0	225.94	2372.3	2598.3
20	60.06	0.001017	7.6481	251.40	2204.6	2456.0	251.42	2357.5	2608.9
25	64.96	0.001020	6.2034	271.93	2190.4	2462.4	271.96	2345.5	2617.5
30	69.09	0.001022	5.2287	289.24	2178.5	2467.7	289.27	2335.3	2624.6
40	75.86	0.001026	3.9933	317.58	2158.8	2476.3	317.62	2318.4	2636.1
50	81.32	0.001030	3.2403	340.49	2142.7	2483.2	340.54	2304.7	2645.2
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6
125	105.97	0.001048	1.3750	444.23	2068.8	2513.0	444.36	2240.6	2684.9
150	111.35	0.001053	1.1594	466.97	2052.3	2519.2	467.13	2226.0	2693.1
175	116.04	0.001057	1.0037	486.82	2037.7	2524.5	487.01	2213.1	2700.2
200	120.21	0.001061	0.88578	504.50	2024.6	2529.1	504.71	2201.6	2706.3
225	123.97	0.001064	0.79329	520.47	2012.7	2533.2	520.71	2191.0	2711.7
250	127.41	0.001067	0.71873	535.08	2001.8	2536.8	535.35	2181.2	2716.5
275	130.58	0.001070	0.65732	548.57	1991.6	2540.1	548.86	2172.0	2720.9
300	133.52	0.001073	0.60582	561.11	1982.1	2543.2	561.43	2163.5	2724.9
325	136.27	0.001076	0.56199	572.84	1973.1	2545.9	573.19	2155.4	2728.6
350	138.86	0.001079	0.52422	583.89	1964.6	2548.5	584.26	2147.7	2732.0
375	141.30	0.001081	0.49133	594.32	1956.6	2550.9	594.73	2140.4	2735.1
400	143.61	0.001084	0.46242	604.22	1948.9	2553.1	604.66	2133.4	2738.1
450	147.90	0.001088	0.41392	622.65	1934.5	2557.1	623.14	2120.3	2743.4
500	151.83	0.001093	0.37483	639.54	1921.2	2560.7	640.09	2108.0	2748.1
550	155.46	0.001097	0.34261	655.16	1908.8	2563.9	655.77	2096.6	2752.4
600	158.83	0.001101	0.31560	669.72	1897.1	2566.8	670.38	2085.8	2756.2
650	161.98	0.001104	0.29260	683.37	1886.1	2569.4	684.08	2075.5	2759.6
700	164.95	0.001108	0.27278	696.23	1875.6	2571.8	697.00	2065.8	2762.8
750	167.75	0.001111	0.25552	708.40	1865.6	2574.0	709.24	2056.4	2765.7

Figura 74. Tabla de agua saturada
Fuente: Yunus Cengel, termodinámica.

En el caso del calentamiento, es bastante conveniente utilizar una presión más baja para favorecer el intercambio de calor del sistema. Equipos como las separadoras necesitan una presión considerable para que el fluido logre mover la canasta. Para este caso de estudio se

propondrá disminuir la presión de los intercambiadores de los tanques de almacenamiento de sebo y aceite vegetal en la jabonería, pues estos operan a una presión de 5,5 bares.

Este cambio conlleva un cambio de 2075,5 kJ/kg hasta un 2181,2 kJ/kg llegando a lo siguiente:

$Q_{Antes\ del\ cambio}$

$$= Q_{A.Coquito} + Q_{Esterlina} + Q_{Sebo\ Lavado} + Q_{Sebo\ recuperado} + Q_{Sebo\ render}$$

$$Q_{Antes\ del\ cambio} = 841,16 + 1238,51 + 440,36 + 492,56 + 2512,00 \\ = 5524,59\ kg\ de\ vapor$$

$$Q_{después\ del\ cambio} = 5524,59 \times \frac{2075,5}{2181,2} = 5256,87$$

$$Q_{Ahorrado} = Q_{Antes\ del\ cambio} - Q_{después\ del\ cambio} = 267,72\ kg\ de\ vapor$$

Sección 2.7: Combustibles alternos

En este cálculo se realizará una pequeña estimación del poder calorífico aprovechable del sebo. Este se produce en gran cantidad en la empresa, su gran mayoría es vendida a empresas de jabón y el porcentaje restante se consume por la jabonería local.

El poder calorífico del sebo es de 39 356 kJ/kg y el del búnker 42 460 kJ/kg; el consumo más alto registrado equivale a 7,411 m³ de búnker para suplir las necesidades de la empresa.

Así el sebo necesario para cumplir con la demanda sería el siguiente:

$$7,411\ m^3\ Búnker \times \frac{900\ kg\ Búnker}{1\ m^3\ Búnker} \times \frac{42460\ kJ}{1\ kg\ Búnker} \times \frac{kg\ Sebo}{39356\ kJ} = 7195,95\ kg\ Sebo$$

Con la demanda promedio sería:

$$5,309\ m^3\ Búnker \times \frac{900\ kg\ Búnker}{1\ m^3\ Búnker} \times \frac{42460\ kJ}{1\ kg\ Búnker} \times \frac{kg\ Sebo}{39356\ kJ} = 5155,6\ kg\ Sebo$$

Según producción se producen entre 5000 kg y 6000 kg de sebo diarios.

Sección 2.8: Impacto ambiental

El vapor como tal, al ser meramente agua en estado gaseoso, no genera un impacto ambiental considerable. Aun así, se tiene una influencia indirecta asociada a este, al disminuir las fugas, se disminuye la cantidad de energía requerida por el sistema para suplirla y lograr mantener los equipos funcionando con una adecuada cantidad de vapor. Así, el combustible ahorrado, según lo analizado, se convertirá en un ahorro de emisiones. De igual manera sucede con las demás alternativas, al reducir la cantidad de vapor necesaria para cierto proceso y disminuyendo las pérdidas de calor por aislamientos o procesos más eficientes se ayuda a disminuir la demanda de combustible.

Según lo calculado en las secciones anteriores se obtiene una cantidad de energía ahorrada en kilogramos de vapor, esta tiene su equivalencia en búnker necesario para producirse. Se parte que se necesitan 2056 kJ para producir 1 kg de vapor a la presión de operación de la caldera. Se utiliza la capacidad calorífica del combustible obtenida de su hoja de datos y al combinarle con la densidad se puede llegar a la equivalencia en litros de la siguiente manera:

$$\frac{2056 \text{ kJ}}{1 \text{ kg Vapor}} \times \frac{1 \text{ kg Búnker}}{42,46 \times 10^3 \text{ kJ}} \times \frac{m^3 \text{ Búnker}}{900 \text{ kg Búnker}} \times \frac{1000 \text{ L Búnker}}{m^3 \text{ Búnker}} = \frac{1028}{19107} \frac{\text{L Búnker}}{\text{kg Vapor}}$$
$$\frac{1}{38214} \frac{\text{L Búnker}}{\text{kJ}}$$

Este factor será utilizado para convertir la cantidad de energía a litros de combustible, después dichos litros serán expresados por precio (187,5 colones/litro) o en kilogramos de CO2 (3,101 kg/litro), según se necesite. En este caso, para el análisis de impacto ambiental solamente se tomará en cuenta el equivalente en CO2 de los litros de búnker quemados.

En el caso de la alternativa de recirculamiento de gases de chimenea, se calculará con una disminución del 20 % de la producción de NOx, respecto al consumo diario de búnker como se muestra a continuación:

Consumo diario promedio de búnker = 5310 L

Factor de emisión de NOx por litro de búnker = 0,02769

kg de NOx ahorrados = 29,40478 kg NOx => 8763,22 kg CO2

Sección 2.9: Análisis económico

En este caso de estudio, se realizará un pequeño análisis económico para verificar la viabilidad de las alternativas planteadas y comparar sus posibles ahorros con la inversión necesaria para realizar el cambio. Cabe destacar que, al realizar las cotizaciones, algunas fueron producto de estimaciones de los proveedores. Esto pues algunos de los proyectos planteados necesitan datos más minuciosos para realizar el dimensionamiento adecuado. Otras fueron realizadas por el mismo estudiante por falta de colaboración de algunas empresas por razones de competitividad en precios.

Así pues, se presenta la siguiente sección de cálculos con un primer estimado de las dimensiones de los proyectos a realizar. Las cotizaciones fueron brindadas por empresas como Alloy, Procoen y Agencias Vibo. También se realizaron llamadas telefónicas a suplidores locales y revisión de catálogos web en Amazon, StatesSupply y Tecnoval. Las cotizaciones brindadas por las empresas se expondrán en los anexos y se brindará un cuadro resumen de lo encontrado en su cálculo respectivo.

Se utilizarán dos factores para el cálculo de la inversión inicial, a fin de contemplar imprevistos en la instalación de los equipos. Para el calentador instantáneo, válvulas

reguladoras y el calentador de agua con vapores del Render se utiliza un factor del 10 % extra, pues los equipos son comprados en paquete con los demás dispositivos necesarios. En el caso del aislamiento de accesorios no se utiliza un factor, pues la chaqueta removible solo se instala sin más. Para el resto, al ser una cotización hecha por el practicante se utiliza un factor de 25 % extra, contemplando que el aislamiento de tubería se encarece en codos y otros accesorios. Además, los intercambiadores planteados requerirán un cálculo más riguroso en el cual pueda incrementarse la cantidad de tubos necesarios y un posible proceso de rolado en caso de no poder realizarse en el taller del departamento de mantenimiento.

Por último, se utilizará una tasa de retorno de inversión de un 2 %, esta es una tasa menor a la estipulada para periodos anuales. Para inversiones en bolsa en colones es del 4,55 % en colones y 2,45 % en dólares según el Banco de Costa Rica [33]. Aun así, se tomará un 2 % para realizar un cálculo más conservador del desarrollo de la inversión. Además, para los precios en dólares se tomará un tipo de cambio de 600 colones por cada dólar.

Retorno de condensados

Este caso particular no podrá ser dimensionado correctamente, pues deberá ser criterio de la empresa qué zonas serán utilizadas para el retorno de condensados y si se intervendrán los equipos que presentan contaminación del condensado. Si bien se presentó un estimado recuperable, el caso de estudio se verá afectado en un futuro dependiendo de las alternativas a implementar. Por ejemplo, si se recurre a utilizar los vapores del Render, como calentamiento de agua para matanza, se tendrá una gran disminución de la cantidad de condensado a disponer por la empresa.

También algunas zonas alejadas como la jabonería (218 m) incurren en una mayor inversión para el sistema de retorno de condensados. Estas, de seguir utilizando el mismo

sistema que poseen para el calentamiento de jabón, suponen una carga de condensados que genere un menor ahorro a lo largo del tiempo.

Así, al tener estas consideraciones y tanta incertidumbre en la evolución del sistema no se brindará un análisis económico de la inversión como tal, pero sí un indicador del ahorro obtenido.

Intercambiador instantáneo de agua caliente

Para este análisis se tiene una inversión inicial de USD 24 880,78. Esta se proyecta a un año en periodos mensuales, proporcionando un retorno de inversión en once meses. A continuación se adjunta la memoria de cálculos, por motivos de legibilidad se presenta la tabla partida en dos.

Intercambiador Instantáneo de Agua Caliente								
Detalle	Horizonte de Evaluación (Meses)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Ahorro		€ 1 827 120,96	€ 1 827 120,96	€ 1 827 120,96	€ 1 827 120,96	€ 1 827 120,96	€ 1 827 120,96	€ 1 827 120,96
Inversión Inicial	-€ 16 421 314,80							
Utilidad	-€ 16 421 314,80	€ 1 827 120,96	€ 1 827 120,96	€ 1 827 120,96	€ 1 827 120,96	€ 1 827 120,96	€ 1 827 120,96	€ 1 827 120,96
Valor Presente		€ 1 791 295,05	€ 1 756 171,62	€ 1 721 736,88	€ 1 687 977,34	€ 1 654 879,74	€ 1 622 431,12	€ 1 590 618,75
Valor acumulado		€ 1 791 295,05	€ 3 547 466,68	€ 5 269 203,56	€ 6 957 180,90	€ 8 612 060,64	€ 10 234 491,76	€ 11 825 110,51
VAN	€ 2 901 112,75							
TIR	5%							
Periodo Recuperación	1 mes	-€ 14 630 019,75	-€ 12 873 848,12	-€ 11 152 111,24	-€ 9 464 133,90	-€ 7 809 254,16	-€ 6 186 823,04	-€ 4 596 204,29

RENDIMIENTO	2%
-------------	----

Costos de Equipo	Diámetro	Cantidad	Inversión
Intercambiador Instantáneo	NA	1	\$ 24 880,78
			€ 14 928 468,00
			€ 14 928 468,00

8	9	10	11	12
€ 1 827 120,96	€ 1 827 120,96	€ 1 827 120,96	€ 1 827 120,96	€ 1 827 120,96
€ 1 827 120,96	€ 1 827 120,96	€ 1 827 120,96	€ 1 827 120,96	€ 1 827 120,96
€ 1 559 430,14	€ 1 528 853,08	€ 1 498 875,57	€ 1 469 485,85	€ 1 440 672,40
€ 13 384 540,65	€ 14 913 393,73	€ 16 412 269,30	€ 17 881 755,15	€ 19 322 427,55
-€ 3 036 774,15	-€ 1 507 921,07	-€ 9 045,50	€ 1 460 440,35	€ 2 901 112,75

Figura 75. Memoria de cálculos intercambiador instantáneo de agua caliente

Fuente: Elaboración propia, Excel.

Intercambiadores para tanques de sebo

Para estos intercambiadores es necesario realizar un diseño más detallado, pero al no contar con los datos suficientes, pues no se logró el acceso según lo indicado anteriormente con producción, se tomará una aproximación preliminar. Se comparará una válvula reguladora de presión, una trampa de vapor y se fabricará un serpentín para los cinco tanques. Se espera que el serpentín sea doblado en una espiral de nueve vueltas con un diámetro de 1 m y un diámetro del tubo de ¾” en el departamento de mantenimiento. De no ser posible realizarse en el departamento, se especulan dos días de trabajo de un soldador calificado (salario según Ministerio de Trabajo).

Así pues, se obtiene una inversión inicial de 9 953 675 colones y se espera una recuperación en 11 meses. El ahorro mensual equivale a 1 031 706 colones.

Intercambiador Tanques de Sebo									
Detalle	Horizonte de Evaluación (Meses)								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Ahorro		€ 1 031 706,48	€ 1 031 706,48	€ 1 031 706,48	€ 1 031 706,48	€ 1 031 706,48	€ 1 031 706,48	€ 1 031 706,48	€ 1 031 706,48
Inversión Inicial	-€ 9 953 675,00								
Utilidad	-€ 9 953 675,00	€ 1 031 706,48	€ 1 031 706,48	€ 1 031 706,48	€ 1 031 706,48	€ 1 031 706,48	€ 1 031 706,48	€ 1 031 706,48	€ 1 031 706,48
Valor Presente		€ 1 011 476,94	€ 991 644,06	€ 972 200,06	€ 953 137,31	€ 934 448,35	€ 916 125,83	€ 898 162,58	€ 880 162,58
Valor acumulado		€ 1 011 476,94	€ 2 003 121,00	€ 2 975 321,06	€ 3 928 458,37	€ 4 862 906,72	€ 5 779 032,55	€ 6 677 195,12	€ 7 567 357,60
VAN	€ 956 973,07								
TIR	4%								
Periodo Recuperación	11 Meses	-€ 8 942 198,06	-€ 7 950 554,00	-€ 6 978 353,94	-€ 6 025 216,63	-€ 5 090 768,28	-€ 4 174 642,45	-€ 3 276 479,88	-€ 2 395 928,33

RENDIMIENTO	
	2%

Costos de Equipo	Diámetro	Cantidad	Inversión (\$)	
Válvula reguladora Presión	3/4"	5	\$ 893,20	€ 2 679 600,00
Trampa de Vapor	3/4" F&T	5	\$ 161,23	€ 483 690,00
Soldador	Día	2		€ 48 000,00
Serpentín	3/4"	5		€ 4 751 650,00
total				€ 7 962 940,00

8	9	10	11	12
€ 1 031 706,48	€ 1 031 706,48	€ 1 031 706,48	€ 1 031 706,48	€ 1 031 706,48
€ 1 031 706,48	€ 1 031 706,48	€ 1 031 706,48	€ 1 031 706,48	€ 1 031 706,48
€ 880 551,55	€ 863 285,83	€ 846 358,66	€ 829 763,39	€ 813 493,52
€ 7 557 746,67	€ 8 421 032,50	€ 9 267 391,16	€ 10 097 154,55	€ 10 910 648,07
-€ 2 395 928,33	-€ 1 532 642,50	-€ 686 283,84	€ 143 479,55	€ 956 973,07

Figura 76. Memoria de cálculos intercambiadores de calor tanques de sebo

Fuente: Elaboración propia, Excel.

Intercambiadores pailas de jabón

Se proponen dos intercambiadores de calor que suplan los anillos actuales. El primero es de 18 vueltas alrededor del tornillo sin fin con un radio de 0,3 m. El segundo se planea acoplar en la parte inferior con una vuelta de 2 m, una de 1,5 m y dos de 1 m. También se toma en cuenta la conexión al serpentín, por lo cual se piden dos tubos extra. El sistema ya cuenta con una válvula reguladora de presión, válvulas de suministro y trampas de vapor. Aun así, se contempla un cambio de trampa pues la recomendada para este sistema es una de flotador, en este caso se tiene una termodinámica.

Por último, se toma que el soldador trabajará una semana en la instalación. Si bien será principalmente para la instalación de los serpentines, se dispone de mayor tiempo para corregir fugas en la chaqueta de vapor por el cambio en el sistema. Así el cálculo indica una inversión inicial de 1 088 545 colones con un retorno de dos meses.

Intercambiador Pailas de Jabón								
Detalle	Horizonte de Evaluación (Meses)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Ahorro		€ 675 202,32	€ 675 202,32	€ 675 202,32	€ 675 202,32	€ 675 202,32	€ 675 202,32	€ 675 202,32
Inversión Inicial	-€ 1 088 545,00							
Utilidad	-€ 1 088 545,00	€ 675 202,32	€ 675 202,32	€ 675 202,32	€ 675 202,32	€ 675 202,32	€ 675 202,32	€ 675 202,32
Valor Presente	€ 661 963,06	€ 648 983,39	€ 636 258,23	€ 623 782,57	€ 611 551,54	€ 599 560,34	€ 587 804,25	
Valor acumulado	€ 661 963,06	€ 1 310 946,45	€ 1 947 204,68	€ 2 570 987,25	€ 3 182 538,80	€ 3 782 099,13	€ 4 369 903,39	
VAN	€ 6 051 949,93							
TIR	62%							
Periodo Recuperación	2 Meses	-€ 426 581,94	€ 222 401,45	€ 858 659,68	€ 1 482 442,25	€ 2 093 993,80	€ 2 693 554,13	€ 3 281 358,39
RENDIMIENTO	2%							
Costos de Equipo	Diámetro	Cantidad	Inversión (\$)					
Trampa de Vapor	3/4" F&T	2	\$ 161,23	€ 193 476,00				
Soldador	Día	6		€ 144 000,00				
Serpentines	1 1/2"	1		€ 533 360,00				
total				€ 870 836,00				

8	9	10	11	12
€ 675 202,32	€ 675 202,32	€ 675 202,32	€ 675 202,32	€ 675 202,32
€ 675 202,32	€ 675 202,32	€ 675 202,32	€ 675 202,32	€ 675 202,32
€ 576 278,68	€ 564 979,10	€ 553 901,08	€ 543 040,27	€ 532 392,42
€ 4 946 182,06	€ 5 511 161,16	€ 6 065 062,24	€ 6 608 102,51	€ 7 140 494,93
€ 3 857 637,06	€ 4 422 616,16	€ 4 976 517,24	€ 5 519 557,51	€ 6 051 949,93

Figura 77. Memoria de cálculos intercambiadores de jabón

Fuente: Elaboración propia, Excel.

Reparación de fugas

En la reparación de fugas, se tomará el peor escenario, en el cual se requieran cambiar las válvulas donde se encontraron fugas, además se incluye la trampa de vapor de la lavandería que se encuentra en mal estado. Se toma el salario de un técnico electromecánico para realizar el trabajo en un total de una hora por reparación, lo cual suma 16 horas. Se obtiene una inversión inicial de 762 832 colones, con una recuperación de 5 semanas, lo cual proporciona ahorros mensuales de 794 166 colones.

Reparación de Fugas	Detalle	Horizonte de Evaluación (Semanas)					
		0	1	2	3	4	5
Ahorro			₡ 198 541,67	₡ 198 541,67	₡ 198 541,67	₡ 198 541,67	₡ 198 541,67
Inversión Inicial	-₡ 762 832,50						
Utilidad	-₡ 762 832,50	₡ 198 541,67	₡ 198 541,67	₡ 198 541,67	₡ 198 541,67	₡ 198 541,67	₡ 198 541,67
Valor Presente		₡ 194 648,69	₡ 190 832,05	₡ 187 090,25	₡ 183 421,81	₡ 179 825,30	
Valor acumulado		₡ 194 648,69	₡ 385 480,74	₡ 572 570,99	₡ 755 992,80	₡ 935 818,11	
VAN	₡ 172 985,61						
TIR	9%						
Periodo Recuperación	5 Semanas	-₡ 568 183,81	-₡ 377 351,76	-₡ 190 261,51	-₡ 6 839,70	₡ 172 985,61	

RENDIMIENTO 2%

Costos de Equipo	Diámetro	Cantidad	Inversión	
Válvula	1 1/2	2	\$ 148,47	₡ 89 082,00
Válvula	2	5	\$ 287,73	₡ 172 638,00
Válvula	3	1	\$ 100,00	₡ 60 000,00
Válvula	3/4	4	\$ 89,84	₡ 53 904,00
Válvula	1/2	4	\$ 87,07	₡ 52 242,00
Técnico	Reparación	16	₡ 3 900,00	₡ 62 400,00
Trampa de vapor	BH1	1	\$ 200,00	₡ 120 000,00
				₡ 610 266,00

Figura 78. Memoria de cálculos reparación de fugas

Fuente: Elaboración propia, Excel.

Cabe resaltar que esta inversión debería poder contemplarse dentro de los presupuestos anuales de mantenimiento, pero tomando el peor escenario se prefirió brindar un estimado del trabajo a realizar.

Aislamiento de tubería

El aislamiento de tubería presenta una inversión inicial de 1 816 650 colones, con ahorros mensuales de 427 537 colones. Así se proyecta para retornar la inversión en un periodo de cuatro meses.

Detalle	Aislamiento Tubería								
	Horizonte de Evaluación (Meses)								
	0	1	2	3	4	5	6	7	
Ahorro		€ 427 537,68	€ 427 537,68	€ 427 537,68	€ 427 537,68	€ 427 537,68	€ 427 537,68	€ 427 537,68	€ 427 537,68
Inversión Inicial	-€ 1 816 650,00								
Utilidad	-€ 1 816 650,00	€ 427 537,68	€ 427 537,68	€ 427 537,68	€ 427 537,68	€ 427 537,68	€ 427 537,68	€ 427 537,68	€ 427 537,68
Valor Presente	€ 419 154,59	€ 410 935,87	€ 402 878,30	€ 394 978,73	€ 387 234,05	€ 379 641,22	€ 372 197,28	€ 364 899,29	€ 357 744,41
Valor acumulado	€ 419 154,59	€ 830 090,46	€ 1 232 968,76	€ 1 627 947,49	€ 2 015 181,54	€ 2 394 822,77	€ 2 767 020,05		
VAN	€ 2 704 706,85								
TIR	21%								
Periodo Recuperación	4 Meses	-€ 1 397 495,41	-€ 986 559,54	-€ 583 681,24	-€ 188 702,51	€ 198 531,54	€ 578 172,77	€ 950 370,05	

RENDIMIENTO

Costos de Equipo	Diámetro	Cantidad	Precio Unitario	
Aislamiento Tubería	1/2"	88,90	€ 4 800,00	€ 426 720,00
Aislamiento Tubería	3/4"	13,60	€ 6 000,00	€ 81 600,00
Aislamiento Tubería	1"	0,00	€ 3 600,00	€ -
Aislamiento Tubería	1 1/2"	18,50	€ 6 600,00	€ 122 100,00
Aislamiento Tubería	2"	32,10	€ 6 000,00	€ 552 600,00
Aislamiento Tubería	2 1/2"	14,00	€ 7 200,00	€ 100 800,00
Aislamiento Tubería	3"	6,00	€ 9 000,00	€ 54 000,00
Aislamiento Tubería	4"	6,00	€ 15 000,00	€ 90 000,00
Aislamiento Tubería	6"	1,50	€ 17 000,00	€ 25 500,00
				€ 1 453 320,00

8	9	10	11	12
€ 427 537,68	€ 427 537,68	€ 427 537,68	€ 427 537,68	€ 427 537,68
€ 427 537,68	€ 427 537,68	€ 427 537,68	€ 427 537,68	€ 427 537,68
€ 364 899,29	€ 357 744,41	€ 350 729,81	€ 343 852,75	€ 337 110,54
€ 3 131 919,34	€ 3 489 663,75	€ 3 840 393,55	€ 4 184 246,31	€ 4 521 356,85
€ 1 315 269,34	€ 1 673 013,75	€ 2 023 743,55	€ 2 367 596,31	€ 2 704 706,85

Figura 79. Memoria de cálculos aislamiento de tubería

Fuente: Elaboración propia, Excel.

Aislamiento de accesorios

Este cálculo se realizó de igual manera que los anteriores, pero no se mostrará la memoria completa por su extensión. Presenta una inversión inicial de 7 535 784 colones, con un retorno mensual de 474 292 colones. Así, se proyectan utilidades hasta el décimo año.

Aislamiento									
Detalle	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Ahorro		€ 474 292,80	€ 474 292,80	€ 474 292,80	€ 474 292,80	€ 474 292,80	€ 474 292,80	€ 474 292,80	€ 474 292,80
Inversión Inicial	-€ 7 535 784,00								
Utilidad	-€ 7 535 784,00	€ 474 292,80	€ 474 292,80	€ 474 292,80	€ 474 292,80	€ 474 292,80	€ 474 292,80	€ 474 292,80	€ 474 292,80
Valor Presente	€ 464 992,94	€ 455 875,43	€ 446 936,70	€ 438 173,23	€ 429 581,60	€ 421 158,43	€ 412 900,42	€ 404 804,34	€ 396 852,26
Valor acumulado	€ 464 992,94	€ 920 868,37	€ 1 367 805,07	€ 1 805 978,31	€ 2 235 659,91	€ 2 656 718,34	€ 3 069 618,77	€ 3 474 423,10	€ 3 861 370,84
VAN	€ 219 583,11								
TIR	2%								
Periodo Recuperación	10 años	-€ 7 070 791,06	-€ 6 614 915,63	-€ 6 167 978,93	-€ 5 729 805,69	-€ 5 300 224,09	-€ 4 879 065,66	-€ 4 466 165,23	-€ 4 061 360,90

RENDIMIENTO		2%	
Costos de Equipo	Diámetro	Cantidad	Inversión
Intercambiador Instantáneo	NA	1	\$ 12 559,64
			€ 7 535 784,00

Item	Part number	Description	Specification	QTY	Unit Cost	Line Total
1	IB-ES-00034	0,75" Valve, Gate, 150W	LT450SS	7	\$143,36	\$1 003,54
2	IB-ES-00060	1" Valve, Gate, 150W	LT450SS	3	\$206,25	\$618,75
3	IB-ES-00115	1,5" Valve, Gate, 150W	LT450SS	10	\$239,90	\$2 399,00
4	IB-ES-00141	2" Valve, Gate, 150W	LT450SS	12	\$296,95	\$3 563,40
5	IB-ES-00174	2,5" Valve, Gate, 150W	LT450SS	9	\$308,65	\$2 777,85
6	IB-ES-00204	3" Valve, Gate, 150W	LT450SS	2	\$336,44	\$672,88
7	IB-ES-00234	4" Valve, Gate, 150W	LT450SS	1	\$384,73	\$384,73
8	IB-ES-00294	6" Valve, Gate, 150W	LT450SS	1	\$529,53	\$529,53
9	IB-ES-00322	8" Valve, Gate, 150W	LT450SS	1	\$609,98	\$609,98
Total						\$12 559,64

Figura 80. Memoria de cálculos aislamiento en accesorios

Fuente: Elaboración propia, Excel.

Se realizó un análisis similar solamente para las válvulas mayores a tres pulgadas, pues son las que más calor disipan y tienen un menor costo de aislamiento. La inversión se reduce a 1 318 272 colones, con un retorno mensual de 144 576 colones. El retorno de inversión sería de cinco años.

Pre calentamiento con vapores del Render

Esta alternativa presenta una inversión inicial de 52 800 000, colones con ahorros mensuales de 5 257 641 colones. El retorno de la inversión se obtendría en el doceavo mes.

Pre calentamiento Vapores Render									
Detalle	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Ahorro		€ 5 257 641,12	€ 5 257 641,12	€ 5 257 641,12	€ 5 257 641,12	€ 5 257 641,12	€ 5 257 641,12	€ 5 257 641,12	€ 5 257 641,12
Inversión Inicial	-€ 52 800 000,00								
Utilidad	-€ 52 800 000,00	€ 5 257 641,12	€ 5 257 641,12	€ 5 257 641,12	€ 5 257 641,12	€ 5 257 641,12	€ 5 257 641,12	€ 5 257 641,12	€ 5 257 641,12
Valor Presente	€ 5 154 550,12	€ 5 053 480,51	€ 4 954 392,65	€ 4 857 247,70	€ 4 762 007,55	€ 4 668 634,85	€ 4 577 092,99	€ 4 487 346,07	€ 4 399 358,89
Valor acumulado	€ 5 154 550,12	€ 10 208 030,63	€ 15 162 423,28	€ 20 019 670,98	€ 24 781 678,53	€ 29 450 313,38	€ 34 027 406,37	€ 38 514 752,45	€ 42 914 111,34
VAN	€ 2 801 348,86								
TIR	3%								
Periodo Recuperación	12 MESES	-€ 47 645 449,88	-€ 42 591 969,37	-€ 37 637 576,72	-€ 32 780 329,02	-€ 28 018 321,47	-€ 23 349 686,62	-€ 18 772 593,63	-€ 14 285 247,55

RENDIMIENTO		2%	
Costos de Equipo	Diámetro	Cantidad	Inversión
Intercambiador Instantáneo	NA	1	\$ 80 000,00
			€ 48 000 000,00
			€ 48 000 000,00

8	9	10	11	12
€ 5 257 641,12	€ 5 257 641,12	€ 5 257 641,12	€ 5 257 641,12	€ 5 257 641,12
€ 5 257 641,12	€ 5 257 641,12	€ 5 257 641,12	€ 5 257 641,12	€ 5 257 641,12
€ 4 487 346,07	€ 4 399 358,89	€ 4 313 096,95	€ 4 228 526,43	€ 4 145 614,14
€ 38 514 752,45	€ 42 914 111,34	€ 47 227 208,29	€ 51 455 734,72	€ 55 601 348,86
-€ 14 285 247,55	-€ 9 885 888,66	-€ 5 572 791,71	-€ 1 344 265,28	€ 2 801 348,86

Figura 81. Memoria de cálculos calentador de agua con vapores del render.

Fuente: Elaboración propia, Excel.

Disminución de presión de vapor tanques de jabonería

Esta alternativa plantea cambiar la presión de funcionamiento de los calentadores de la jabonería, implementando una válvula reguladora de presión por cada intercambiador. Así se obtiene una inversión inicial de 6 600 000 colones, con recuperaciones anuales de 777 784 colones, para obtener un retorno de la inversión de diez años.

Detalle	Reducción Presión Saturación								
	Horizonte de Evaluación (Años)								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Ahorro		€ 777 784,32	€ 777 784,32	€ 777 784,32	€ 777 784,32	€ 777 784,32	€ 777 784,32	€ 777 784,32	€ 777 784,32
Inversión Inicial	-€ 6 600 000,00								
Utilidad	-€ 6 600 000,00	€ 777 784,32	€ 777 784,32	€ 777 784,32	€ 777 784,32	€ 777 784,32	€ 777 784,32	€ 777 784,32	€ 777 784,32
Valor Presente		€ 762 533,65	€ 747 582,01	€ 732 923,54	€ 718 552,49	€ 704 463,22	€ 690 650,22	€ 677 108,06	€ 677 108,06
Valor acumulado		€ 762 533,65	€ 1 510 115,65	€ 2 243 039,19	€ 2 961 591,68	€ 3 666 054,90	€ 4 356 705,12	€ 5 033 813,17	€ 5 033 813,17
VAN	-€ 1 566 186,83								
TIR	-5%								
Periodo Recuperación	10 años	-€ 5 837 466,35	-€ 5 089 884,35	-€ 4 356 960,81	-€ 3 638 408,32	-€ 2 933 945,10	-€ 2 243 294,88	-€ 1 566 186,83	-€ 1 566 186,83

RENDIMIENTO		2%
Costos de Equipo	Diámetro	Cantidad
Intercambiador Instantáneo	2 1/2"	5
		Inversión
		\$ 2 000,00
		€ 6 000 000,00
		€ 6 000 000,00

8	9	10
€ 777 784,32	€ 777 784,32	€ 777 784,32
€ 777 784,32	€ 777 784,32	€ 777 784,32
€ 663 831,43	€ 650 815,13	€ 638 054,04
€ 5 729 416,84	€ 6 380 231,96	€ 7 018 286,01
-€ 870 583,16	-€ 219 768,04	€ 418 286,01

Figura 82. Memoria de cálculos cambio de presión de saturación
Fuente: Elaboración propia, Excel.

Capítulo 3: Discusión

En este capítulo se realizará un resumen de los cálculos anteriores, verificando uno por uno su viabilidad. Se analizarán los retornos de inversión y su periodo de recuperación para identificar las alternativas más tentadoras para el beneficio económico de la empresa. Primero recapitularemos la sección de cálculos en la siguiente tabla resumen.

Tabla 3.1. Resumen de oportunidades de ahorro energético en valores diarios

Alternativa	Ahorro kg vapor	Ahorro en litros de búnker	Ahorro económico en colones	Ahorro kg CO2
Retorno de condensados	3368,80	181,25	33 984,20	562,06
Intercambiador agua caliente	7566,82	407,11	76 130,03	131,28
Intercambiador tanques sebo	4261,31	229,27	42 987,77	710,97
Intercambiador pailas jabón	2887,95	155,38	28 133,43	481,83
Reparación de fugas	980,60	171,71	32 110,49	532,47
Aislamiento tubería	1765,91	95,01	17 814,07	294,63
Aislamiento accesorios	327,31	17,61	3293,70	54,61
Pre calentamiento de agua con vapores del Render	21 511,87	1157,39	216 431,47	3587,86
Disminución de presión de saturación	267,719	14,40	2700,64	44,65

Fuente: Elaboración propia.

Retorno de condensados

Como se logró apreciar, si es posible retornar el 44 % de condensado al sistema, implica un ahorro sustancial en la cantidad de agua necesaria para reposición de la caldera. Además, se logra un ahorro de 3368 kg de vapor en el calentamiento del agua de reposición a su vez, tomando un escenario sumamente desfavorable. La alternativa también cuenta con otro tipo de ahorros indirectos y condiciones deseables para la disposición del condensado. Se tiene un ahorro en la cantidad de químicos utilizados para el tratamiento del agua de la caldera, pues el agua de retorno fue previamente tratada. Si bien este aporte no fue contemplado en el cálculo de ahorros, se debe tener presente para ser analizado por la empresa que le realiza el tratamiento químico a la caldera.

Siguiendo con los ahorros indirectos, se tiene un claro ahorro en el consumo de agua de esta aplicación, reduciendo el consumo en un 44 % más la masa de agua (en este caso vapor) utilizada para calentar el mismo líquido al ingreso de la caldera. Por último, el retorno de condensado no se dispondrá hacia la planta de tratamiento, pues será redirigido a la caldera. Las altas temperaturas del condensado afectan los microorganismos que influyen en los procesos de tratamiento de agua.

Por último, antes de instalar el sistema, se debe realizar una revisión de la hermeticidad de los equipos mostrados en rojo en la figura 71, con principal atención al cooker 4, cooker 3, tanque de estearina de palma y romana de sebo. Esto para asegurar un condensado limpio de contaminantes y no comprometer la integridad de la caldera.

Intercambiador de agua caliente

Se recomienda realizar un cambio en el sistema de calentamiento de agua en la empresa, pues el sistema actual posee un pobre aprovechamiento del vapor. Se analizó utilizar un intercambiador con vapor proveniente de la caldera para suplir la demanda actual de agua caliente este se ve opacado a la con la capacidad de aprovechamiento de los vapores del proceso de rendering. Aun así, la cantidad de vapores aprovechables de este proceso permite calentar un 84 % del agua que necesita la empresa, eliminando así la demanda de vapor necesaria por este tipo de equipos. Prácticamente sería “gratis” el calentamiento de agua, pues ya se tiene una carga de vapor necesaria para el proceso del rendering y estos vapores a aprovechar actualmente se desechan. El único inconveniente es que esta alternativa no supe toda la demanda de agua caliente.

Si bien el intercambiador de calor para los vapores del render requiere una mayor complejidad, pues necesita un sistema para filtrar el vapor de contaminantes, este proporciona una gran alternativa energética para disminuir el consumo de vapor. Además, este vapor se encuentra a presión atmosférica, lo cual garantiza una gran capacidad para sustraer la energía del vapor suministrado.

Ambas alternativas pueden llegar a tener un gran impacto en el ahorro energético, pero la de vapores del Render puede llegar a no suplir correctamente toda la demanda y además posee un precio mayor de adquisición con un periodo mucho mayor de retorno de la inversión.

Intercambiadores por serpentín

El diseño de los intercambiadores de calor por serpentín para las cocinas de sebo y las pailas de la jabonería no será contemplado en este informe, pues se quiere realizar un sondeo

de los posibles ahorros presentes en la empresa. El desarrollo de un diseño requiere un análisis más detallado del proceso de intercambio de calor en el fluido a calentar. Si bien se tiene la magnitud de energía necesaria, se requieren datos más detallados tanto del sistema mecánico, como de producción, para sacar el mejor provecho. Por ejemplo, se puede proponer un serpentín hecho de un solo tubo de pequeño diámetro y este podrá calentar el fluido en cierto tiempo gracias al vapor. Si se utiliza un tubo de mayor diámetro y embobinado para propiciar una mejor área de transferencia, se logrará el mismo objetivo, pero en un tiempo más reducido y posiblemente más apetecido para producción. Por lo cual, se aconseja realizar un diseño más detallado para lograr mejores resultados en la eficiencia del equipo.

Las pailas de la jabonería también poseen un mal uso del vapor para calentar y mantener el calor. El intercambio de calor por chaqueta introduce el vapor por la parte inferior de la paila y en la parte superior existe una apertura para dejar salir el vapor. La parte inferior también tiene una parte para desaguar el condensado por una válvula. El primer aspecto a mencionar sobre esta configuración es la entrada de vapor, pues usualmente se realiza por la parte superior del recipiente para facilitar el manejo del condensado. Al remover parte de la energía, este condensado cae por gravedad hacia el fondo. Si la entrada de vapor se ve obstruida por condensado, afectará el paso del vapor al recipiente proporcionando deficiencias de calentamiento.

La salida de vapor por la parte superior es completamente innecesaria, pues básicamente se está desperdiciando el vapor que sale a la atmósfera. Si bien el recipiente no fue diseñado para soportar grandes presiones, la presión de trabajo después del manifold es de 1,5 bares manométricos, la cual es relativamente baja. Si esta presión sigue siendo

excesiva se puede agregar otra válvula reguladora de presión para disminuirle hasta una presión ligeramente superior a la atmosférica que garantice el funcionamiento de la trampa de vapor. El vapor de la chaqueta tiene una prevista para utilizarse en la limpieza de tubería, se recomienda seguir utilizando la prevista con una salida antes de la entrada de la trampa de vapor. Esto para aprovechar condensado en la limpieza.

El segundo aspecto es meramente para la paila 1, esta calienta la masa de jabón por dos métodos. El primero es utilizar un anillo intercambiador de calor sellado y segundo un anillo más pequeño agujereado para agregar vapor vivo desde el fondo del recipiente. Según el proceso de calentamiento se utiliza o no el vapor vivo y la utilización de este provocan cambios hasta del 60 % en velocidad de producción. Se puede proveer al sistema con un intercambiador más grande que garantice un intercambio más rápido de vapor, sin necesidad de utilizar el serpentín agujereado.

Se pueden agregar dos serpentines, uno al fondo del recipiente para solventar el calentamiento de reprocesado de jabón que utiliza solo una porción en la parte inferior del recipiente. El otro serpentín se puede posicionar alrededor del eje del tornillo sin fin que impulsa el fluido. Este permite una mejor transferencia de calor cuando el recipiente está completamente lleno, así se puede solventar el subdimensionamiento de los intercambiadores ya instalados para no recurrir a utilizar vapor vivo.

El cálculo de los intercambiadores dependerá de las características del jabón y deberá calcularse con el producto más difícil de calentar. Debido a la falta de información brindada al estudiante por razones de confidencialidad, no se podrá realizar un correcto dimensionamiento del intercambiador. Además, si no se quisiera realizar el cambio del

intercambiador, se puede cambiar la instalación de la chaqueta que requiere una menor inversión y eliminaría la fuga más grande de vapor por causa del orificio de 1 1/2”.

Al igual que en el calentamiento de agua, los porcentajes de vapor extra que se le está suministrando al sistema sobredimensionado no necesariamente indican un desperdicio de tal magnitud. Antes bien, demuestran que se le está entregando una mayor energía al sistema de lo que realmente necesita, esto provoca un calentamiento del fluido mayor del dimensionado con las consideraciones tomadas anteriormente. Si bien los operarios y el personal a cargo pueden pensar que cuanto más caliente, mejor es el proceso, este argumento es falso, pues según se define el proceso en la fase de diseño, el sistema se dimensiona para cumplir con los requerimientos. Si este se encuentra por debajo, posee deficiencias para dar abasto a los requerimientos y si le sobrepasa genera deficiencias causadas por un mayor uso de recursos del necesario. Por esto el sistema deberá estar acondicionado a trabajar en condiciones cercanas a un máximo punto de eficiencia operacional.

Reparación de fugas

No se logró rastrear la totalidad de las fugas en el sistema de vapor debido a la cantidad de trabajos del proceso productivo. Estos confieren interferencias auditivas en la detección de fugas, pues el funcionamiento de la maquinaria proporcionaba ruido de interferencia. También por la variabilidad de las labores realizadas, se pudieron haber pasado por alto algunas fugas considerables. Así pues, se recomienda el involucramiento de los trabajadores de la zona para la detección futura de fugas. Estas personas, al conocer la maquinaria con la que se trabaja, poseen una mayor capacidad de detección de fugas por un cambio en funcionamiento de los equipos, ya sea por incremento de ruido o por falta de presión.

Aislamiento de tubería

Se aconseja aislar aquellas superficies con temperatura mayor a los 60 °C, pero menores a los 100 °C. Aunque las pérdidas de energía son menores por tener una menor temperatura, el aislarles permitirá disminuir la cantidad de vapor necesaria y ayudará a disminuir la presión de trabajo de la caldera, además de los ahorros de combustibles asociados. Así, se debe contemplar el aislamiento futuro de las tuberías de agua caliente, sebo caliente, jabón y las de retorno de condensado, de ser instalado.

Aislamiento de accesorios

En este caso, se presenta un ahorro más bajo en comparación con el aislamiento de tubería y es un poco más complejo su aislamiento, pues se requiere remover el aislamiento en caso de mantenimiento. Además, existen pocas empresas que venden el servicio de chaquetas removibles hechas a la medida. Lastimosamente se encuentra entre las dos alternativas que generan un menor beneficio económico a la empresa.

Aun así, esta alternativa puede llegar a ser viable algún día, según los avances tecnológicos en materiales aislantes térmicos, así como el aumento en la importación y producción de dichos productos. Por lo cual, en caso de encontrar tiempos con productos más baratos o combustible más caro, puede llegar a ser un potencial de ahorro futuro.

Presión de saturación

La presión máxima de la caldera deberá suplir a la presión máxima de operación del equipo que demande la mayor presión, además de las pérdidas entre la caldera y el equipo crítico. En este caso los equipos que demandan mayor cantidad de presión y caudal de vapor son los del Render. Este tipo de equipos se encuentra regulado en la industria de producción

de harina de carne y les exige estrictamente una temperatura determinada. Dicha temperatura se alcanza a la presión de trabajo de la caldera 6,5 bares, por lo cual es imposible disminuir la presión sin tener implicaciones legales para la empresa. Por este motivo se descarta esta alternativa.

Aunque no es posible disminuir la presión de vapor en el cuarto de calderas, es posible y apetecible realizarlo a la entrada de un equipo. El calor latente de condensación del vapor es el encargado de transferir energía al fluido a calentar, este se encuentra en función de la presión a la que se encuentre el vapor. Al disminuir la presión desde 6,5 bares manométricos (750 kPa abs) a 1,5 bares manométricos (250 kPa abs), se logran aprovechar 124,8 kJ extras por cada kilogramo de vapor, como se mostró en la figura 74. Esto implica un ahorro de un 6 % en la cantidad de vapor suministrada a cada equipo. Si el equipo opera a 5,5 bar, el ahorro es de 2 % en vapor.

Pre calentamiento de aire y agua de reposición

Se puede utilizar un sistema de recirculamiento de gases de combustión para el pre calentamiento de aire, este método además ayuda a disminuir la cantidad de emisiones ambientales asociadas. Este tipo de tecnologías no aportan un ahorro económico a la empresa, pero sí un ahorro en cantidad de emisiones atmosféricas. Recirculando un 10 % de los gases de chimenea se puede lograr un decremento de un 20 % a un 25 % de la producción de óxidos nitrosos sin afectar la combustión. Aunque se disminuya la temperatura de la llama por una menor cantidad de oxígeno, el sistema aporta aire caliente aumentando la transferencia de calor por convección [34].

Otros fabricantes indican que se pueden reducir las emisiones de óxido nitroso hasta en un 50 % con costos de implementación de un 15 % del costo asociado a chimenea y control

que combustión en la caldera [35]. Utilizando esta alternativa se lograría ahorrar 8763,22 kg de CO₂ equivalente al día y 2628,966 toneladas al año. Si bien es incierto si se logrará brindar un ahorro económico, si trabajase en conjunto con un control de gases de combustión podría modularse hasta una condición favorable para la eficiencia de caldera donde como mínimo no afecte negativamente y como máximo ayude a mejorar la eficiencia.

El control de combustión por gases de escape es una buena alternativa para conocer además el estado de funcionamiento de la caldera, propiciando un control más detallado y seguro de la combustión. Además, este permite la detección de posibles problemas en los cuales se tenga que intervenir el equipo para ajustar algún parámetro antes de causar un daño mayor.

También se puede apoyar en el sistema de retorno de condensados el cual proporciona agua caliente de reposición para el incremento de eficiencia. Esto elevará considerablemente la temperatura del agua de suministro de la caldera. Además, el agua de reposición puede ser calentada por el sistema de purga continua o incluso por un tanque de flasheo para aprovechar la purga de fondo.

En el caso del retorno de condensados, en los cálculos anteriores se tomó una temperatura menor a la temperatura de agua de reposición. No obstante, la temperatura promedio en la salida de las demás trampas de vapor indicó una temperatura que ronda los 90 °C, esta al ser mayor a los 74 °C incrementará la temperatura de ingreso a la caldera. Al ser incierta la situación para realizar un cálculo seguro, se deberá calcular en caso de implementar el sistema de retorno y será un ahorro extra al sistema.

Caso similar sucede con el sistema de purga de la caldera, pues se dificultó la medición de la masa de agua purgada de la caldera. Esta puede ser perfectamente utilizada para el precalentamiento de agua de entrada a la caldera mediante un intercambiador de calor.

Combustibles alternos

Si bien es posible alimentar a la caldera con la cantidad de sebo producida y prácticamente sería gratis mantenerle funcionando, no es una alternativa viable en estos momentos. La parte de producción no reveló los datos en específico, pero sí dejó claro que el litro de sebo vendido supera el costo del litro de búnker. Por este motivo, sería un desperdicio de dinero, pues se estaría utilizando un combustible más caro del que ya se tiene.

Otro aspecto importante es la garantía de la caldera que sigue vigente hasta el otro año y bajo este periodo el departamento de mantenimiento no se arriesgará a utilizar sebo para evitar algún daño del equipo que no sea cubierto por la garantía. Por esto queda descartado el uso de este combustible momentáneamente. En caso de un alza del precio del combustible, se puede llegar a considerar como una alternativa válida, pero se deberá tener una buena comunicación con ventas para saber qué es más factible para la empresa.

Por último, este puede ser mezclado en proporciones con el diésel para ayudar a disminuir en cierto porcentaje el consumo de combustible sin afectar la demanda de vapor. Se recomienda realizar una prueba en algún laboratorio químico para saber cuáles son las proporciones ideales de cada compuesto para la mezcla. Esto es crucial, pues, si bien no se logra satisfacer el consumo máximo, sí se logra el consumo promedio. Entonces, en días donde se tenga baja producción de sebo, se podría recurrir a quemar búnker.

Tabla 3.2. Resumen de oportunidades de ahorro energético ordenadas según inversión inicial, ahorro económico, ahorro en toneladas de CO₂ y retorno de inversión

Alternativa	Inversión inicial (€)	Ahorro económico (millones € anuales)	Ahorro TON CO2	Retorno de inversión
Retorno de condensados	No aplica	9,79	161,87	No aplica
Intercambiador agua caliente	16 421 314,80	22,84	39,38	11 meses
Intercambiador tanques sebo	9 953 675,00	12,380	204,76	11 meses
Intercambiador pailas jabón	1 088 545,00	8,10	138,77	2 meses
Reparación de fugas	762 832,50	9,25	153,35	5 semanas
Aislamiento tubería	1 816 650,00	5,13	84,85	4 meses
Aislamiento accesorios	7 535 784,00	0,95	15,73	10 años
Pre calentamiento de agua con vapores del Render	52 800 000,00	63,7205	1033,30	12 meses
Disminución de presión de saturación	6 600 000,00	0,78	12,86	10 años

Fuente: Elaboración propia.

Desde el punto de vista económico, se descartarían las inversiones con periodos de retorno superiores a dos años, pues en dicho intervalo de tiempo pueden realizarse una gran cantidad de cambios a nivel de sistema de vapor y empresa. Al agrandar el periodo de tiempo, se expone a tener varios inconvenientes en el proceso de retorno de la inversión. Por este motivo se descartan la alternativa de aislamiento de accesorios y la de disminuir la presión de saturación. Si dichas alternativas en algún futuro obtienen ahorros mayores producto de un incremento en los procesos de producción, pueden llegar a ser apetecibles para la empresa.

Respecto al calentamiento de agua es más apetecido el ahorro obtenido al optar por un calentador de agua instantáneo. Así esta alternativa es aproximadamente cinco veces más barata que el intercambiador de vapores del Render de agua, por lo cual deberá analizarse con mayor detenimiento en caso de captar el interés de la gerencia. Con los vapores del Render no se logra suplir toda la demanda de agua caliente, solo el 84 %. Además, según la guía brindada por el suplidor de Alloy en el país, se indica que en caso de actualizar el equipo se puede tener un mejor aprovechamiento del vapor para calentar, pues sería más limpio.

Se tienen tres ahorros considerables que poseen periodos de recuperación bastante cortos. Primero, se deberán apuntar los esfuerzos a la reparación de fugas de vapor, pues posee la inversión inicial más baja con ahorros sustanciales para la empresa. Respecto a la jabonería, esta deberá estar bajo la lupa del departamento de mantenimiento, pues, además de presentar varias fugas, también posee muy malas prácticas en el aprovechamiento de vapor. Aunque su funcionar sea menor en comparación a otros departamentos, posee grandes posibilidades de ahorro energético.

El aislamiento de tubería de vapor también desenlaza en un fuerte ahorro energético con un retorno menor a medio año. Dicho ahorro puede valorarse el incluir el cambio de aislante en mal estado, brindado un valor acumulado mayor al final de la inversión y mejorando la eficiencia del sistema de distribución.

Indicadores energéticos

Un mejor conocimiento del sistema de vapor permite llevar un control más preciso y una detección más exacta de anomalías en el proceso productivo. Así, mediante la instalación de manómetros y fluxómetros se puede realizar un seguimiento más detallado tanto en el cobro del vapor como en los indicadores de cada área. Por ejemplo, se puede manejar el total

de la producción del área y dividirlo entre el vapor requerido para producirlo; entonces el departamento puede documentar anomalías y fundamentar renovación de equipo obsoleto de una forma más fácil.

Si bien el indicador final variará de acuerdo con lo más útil para producción, se plantean los siguientes:

- Matanza: Kilogramo de vapor por kilogramo de carne producido.
- Jabonería: Kilogramo de vapor por kilogramo de Jabón producido.
- Render: Kilogramo de vapor por kilogramo de harina de carne producida.
- Formados: Kilogramo de vapor por cantidad de productos.

Estos indicadores además de apoyar el control, serán útiles en caso de optar por una certificación ISO 50001. Aunque el futuro sea incierto respecto a las tarifas eléctricas del siguiente año, este será un buen aporte a los esfuerzos de la organización. Si bien se expresan los indicadores en kilogramos de vapor y no en kilo Julios, que sería la verdadera unidad de energía, es más fácil llevar el control en el departamento correspondiente tomando la medida del fluxómetro en caso de implementarse.

Capítulo 4: Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

1. Se logró evaluar la condición energética del sistema de vapor de la empresa Coopemontecillos R. L.
2. Se estableció un balance energético de vapor identificando los principales consumidores según el área de proceso productivo y su respectivo horario de consumo.
3. Se definieron y evaluaron las oportunidades de ahorro energético, ahorro de combustible, ahorro de emisiones e incremento de eficiencia.
4. Se evidenciaron los beneficios ambientales, económicos y competitivos, producto de las mejoras energéticas planteadas.

Recomendaciones

1. Cambiar todo método de intercambio de calor que utilice vapor vivo por una mejor alternativa.
2. Instalar aislamiento térmico en las tuberías de vapor que no lo tengan y cambiar el aislamiento en mal estado.
3. Reemplazar el calentamiento de agua de la empresa en los tanques por un intercambiador de calor instantáneo.
4. Cambiar el sistema de intercambio de calor en las pailas de jabonería.
5. Brindar inspecciones periódicas a los departamentos enfocadas al aprovechamiento de vapor y detección de malfuncionamientos.

6. Si se realizara una inspección de fugas, preferiblemente utilizar días fríos o lluviosos para visibilizarlas mejor. El siseo de las gotas de lluvia también permitirá detectar superficies calientes en caso de no tener cámara termográfica.
7. Comprar una cámara termográfica que facilite la detección de anomalías en la red de vapor.
8. Inspeccionar corrosión en tuberías de vapor deterioradas por su exposición al ambiente producto de falta de aislamiento.
9. Inspeccionar hermeticidad de los consumidores de vapor para evitar contaminación del condensado.
10. Revisar periódicamente el funcionamiento de válvulas y trampas de vapor.
11. Involucrar al personal en la detección de anomalías en la red de vapor.
12. Contemplar la inclusión de un sistema analizador de gases de combustión.
13. Utilizar la purga continua de la caldera para el calentamiento de agua de reposición y el enfriamiento de esta antes de su disposición final.
14. Agregar un sistema de recirculación de gases de chimenea para disminuir la cantidad de contaminantes atmosféricos.
15. Instalar fluxómetros y manómetros en los cabezales de vapor en la empresa.
16. Llevar un control mensual de indicadores energéticos.
17. Remover los equipos de vapor en desuso para evitar pérdidas.
18. Aislar los cabezales de vapor que no tengan aislante térmico.
19. Utilizar lodos para producción de biogás.

Referencias **bibliográficas**

- 1] CoopeMontecillos R.L, «CoopeMontecillos R.L,» CoopeMontecillos R.L, Octubre 2020. [En línea]. Available: <https://montecillos.com/nosotros/>. [Último acceso: 08 Octubre 2020].
- 2] Coopemontecillos R.L, *Documental 50 Aniversario*, Alajuela: Coopemontecillos R.L, 2014.
- 3] ONU, «Organización de Naciones Unidas,» 12 Junio 2020. [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.
- 4] UNE-EN ISO, «Sistemas de gestión de la energía. Requisitos con Orientación para su uso (ISO 50001:2018),» INTERNACIONAL S.A.U., Madrid, España, 2018.
- 5] A. C. Fletcher, «ISO 50001, Guía de implantación de sistemas de gestión de la energía,» 2018.
- 6] Cosntitución Política de la República de Costa Rica, Cosntitución Política de Costa Rica, 1949.
- 7] MINAE, «II Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.,» Ministerio de Ambiente y Energía , San José, Costa Rica, 2019.
- 8] L. Szentirmai y T. Szarka, «Electrical Energy Quality Role on the Globe,» University of Miskolc, Hungary, Miskolc, 2007.
- 9] CACME, «Guía de Eficiencia en Sistemas de Vapor,» Comité Argentino del Consejo Mundial de Energía, 2020.
- 10] AMATEK, «Steam System Components,» AMATEK, 8 10 2020. [En línea]. Available: <https://www.csiheat.com/heatracingsolutions/steamsystemcomponents#:~:text=In%20the%20boiler%2C%20heat%20is,the%20steam%20through%20the%20system.&text=Steam%20exits%20the%20boiler%20through%20piping%20referred%20to%20as%20the%20steam%20header..> [Último acceso: 8 10 2020].
- 11] Spirax Sarco, «Spirax Sarco,» Spirax Sarco, 2020. [En línea]. Available: <https://www.spiraxsarco.com/learn-about-steam/the-boiler-house/shell-boilers>. [Último acceso: 8 10 2020].

12] MINAET, «Reglamento sobre Emisión de Contaminantes Atmosféricos Provenientes de Calderas y Hornos de Tipo Indirecto,» Poder Ejecutivo, San José, Costa Rica, 2011.

13] MTSS, «Reglamento de Calderas,» Gobierno de la república, San José, Costa Rica, 2001.

14] MINAE, «Plan Nacional de Energía 2015-2030,» Ministerio de Ambiente y Energía, San José, Costa Rica, 2015.

15] USAID, «Guía de Buenas Prácticas En Eficiencia Energética para Sistemas de Vapor,» USAID, Estados Unidos, 2011.

16] CSIRO, «Analysis of Rendering and Hot Water Heat Energy Use in Meat Plants,» CSIRO, Australia, 1997.

17] AMPC, «Options to Maximise Process Heat Recovery at Red Meat Processing Facilities».

18] T. T. Adams, «A Demostration of Fat And Grease as an Industrial Boiler Fuel,» The University of Georgia, Georgia, EEUU, 2002.

19] RECOPE, «Bunker, Ficha de Datos de Seguridad,» RECOPE, 2020.

20] INSTITUTO METROLÓGICO NACIONAL, «Factores de emisión gases efecto invernadero,» MINAE, San José, Costa Rica, 2018.

21] M. T. V. Moreno, Manual del Biogas, Santiago, Chile: MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF, 2011.

22] MINAE, «Inventario Nacional de gases de efecto invernadero y absorción de carbono,» MINAE, San José, Costa Rica, 2012.

23] Spirax Sarco, «Distribución del Vapor, Guia de Referencia Técnica,» SPIRAX-SARCO S.A., Madrid, España.

24] Y. A. CENGEL, Transferencia de calor, Nevada: McGraw-Hill, 2004.

25] Nicholson, «DURA-FLO INVERTED BUCKET TRAPS».

Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, «Ministerio de Trabajo y Seguridad Social,» Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, 19 Diciembre 2019. [En línea]. Available: <http://www.mtss.go.cr/temas-laborales/salarios/lista-salarios.html>. [Último acceso: 11 06 2020].

Engineering ToolBox, «Specific Heat of some Liquids and Fluids.,» 2003. [En 27] línea]. Available: https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-fluids-d_151.html. [Último acceso: 20 11 2020].

TLV, «TLV,» TLV, 2020. [En línea]. Available: 28] <https://www.tlv.com/global/LA/calculator/steam-flow-rate-through-orifice.html>. [Último acceso: 20 11 2020].

Y. Cengel, Termodinámica, México, D.F.: The McGraw-Hill, 2012. 29]

ALLOY, «CHARACTERISTICS OF ALLOY BATCH COOKERS,» 07 2013. 30] [En línea]. Available: https://j.b5z.net/i/u/2143818/f/Batch_Cooker_Characteristics_-_Alloy_July_2013.pdf. [Último acceso: 24 11 2020].

L. A. T. y. J. O. V. Mónica P. Guerrero, «Correlación de Propiedades de Aceites 31] Vegetales y Sebo Vacuno Usando Aproximantes de Padé,» *Información Tecnológica*, vol. 19, n° 4, pp. 19-24 , 2008.

INTECNO, «GrupoIntecno,» 25 11 2020. [En línea]. Available: 32] http://www.grupointecno.com/catalogos/_Lavadoras%20secadoras%20industriales.pdf

BCR, «BANCO DE COSTA RICA,» BANCO DE COSTA RICA, 09 12 2020. 33] [En línea]. Available: https://www.bancobcr.com/wps/portal/bcr/bancobcr/personas/inversiones/certificados_de_deposito_a_plazo/tasas_de_interes_para_cdps/. [Último acceso: 09 12 2020].

Cleaver Brooks, «Energy Solutions Center,» 01 2009. [En línea]. Available: 34] <http://cleanboiler.org/learn-about/boiler-efficiency-improvement/boiler-combustion/>.

T. Dwyer, «cibse Journal,» BOSCH, 12 2016. [En línea]. Available: 35] <https://www.cibsejournal.com/cpd/modules/2016-12-nox/>.

CLEAVER-BROOKS, *Model CBLE, Packaged Boiler: Operation and 36] Maintenance Manual*, U.S.A: CLEAVER-BROOKS, 2009.

PROGRAMA NACIONAL DE MANTENIMIENTO Y EQUIPAMIENTO, 37] *Guia de Mantenimiento y Redes de Distribución de Vapor*, Ministerio de Salud.

38] ABCO Industries, «Recover Heat From Waste Incineration,» ABCO, Texas, EEUU, 1995.

39] U.S DEPARTMENT OF ENERGY, «Improving Steam System Performance: A Sourcebook for Industry,» The United States Department of Energy, Advanced Manufacturing Office, Washington DC, EEUU, 2004.

40] U.S DEPARTMENT OF ENERGY, «Industrial Heat Pump for Steam and Fuel Savings,» U.S DEPARTMENT OF ENERGY, 2003.

41] U. D. O. ENERGY, «Use Feedwater Economizers for Waste Heat Recovery,» U.S DEPARTMENT OF ENERGY, 2012.

42] U.S DEPARTMENT OF ENERGY, «Improve Your Boiler's Combustion Efficiency,» U.S DEPARTMENT OF ENERGY, 2012.

43] U.S Department of Energy, «Insulate Steam Distribution and Condensate Return Lines,» U.S Department of Energy, Washington DC, EEUU, 2012.

44] G. Harrell, «Steam Survey Guide,» The University of Tennessee, Oak Ridge, Tennessee, 2002.

45] G. S. Javier Armijo, «AHORRO DE ENERGÍA EN UNA CALDERA UTILIZANDO ECONOMIZADORES,» Facultad de Química e Ingeniería Química, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2008.

46] D. L. R. R. JUAN PABLO GUIOT MELO, «DISEÑO DE UN ECONOMIZADOR PARA UNA CALDERA DE 500BHP,» FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA, Bogotá, 2018.

47] M. N. A. Coello, «Mejoramiento del Sistema de Vapor y Condensado en una Industria Cartonera,» ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL, GUAYAQUIL – ECUADOR, 2005.

48] «Auditoría Energética al Circuito de Vapor y Condensado de una Planta de Elaboración de Café Liofilizado,» ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL, GUAYAQUIL - ECUADOR, 2013.

49] HAARSLEV, «Rendering Solutions Products Brochure,» Haarslev Industries A/S , Søndersø • Denmark, 2020.

Anexos

1. Manual de mantenimiento

A continuación, se desglosan las actividades de mantenimiento preventivo recomendadas para los diversos componentes del sistema de vapor. Se expondrán según la frecuencia de realización y el elemento al que pertenecen. Así pues, se plantearán inspecciones semanales, mensuales, semestrales y anuales del cuarto de calderas, sistema de distribución y trampas de vapor.

Las frecuencias y labores a realizar son tomadas del manual de CleaverBrooks [36] y del Programa Nacional de Mantenimiento y Equipamiento del PRONAME [37]. Estos se adaptarán a las condiciones encontradas en la planta. Así se plantea el siguiente arreglo.

Mantenimiento diario:

- Revise el nivel de agua.
- Inspeccione visualmente el sistema de combustión.
- Purgue el sistema de nivel de agua.
- Lleve un registro de temperatura de vapor, presión de vapor, presión de combustible, presión de aire comprimido y temperatura de gases de chimenea de la caldera.
- Realice el tratamiento de agua según lo estipulado.

Mantenimiento semanal:

- Verificar el funcionamiento del quemador (llama continua).
- Revisar la presión de combustible.
- Limpiar filtros y boquillas de búnker. Si la salida se torna difícil, rote hacia delante y atrás hasta que salga por sí mismo. No lo fuerce con una llave.

- Inspeccionar uniones flexibles.
- Funcionamiento y limpieza del ventilador.
- Correcto funcionamiento de control de nivel de agua de la caldera.
- Revisar sistema de desconexión por alarma de bajo nivel de agua en condiciones de trabajo.
- Verificar la perfecta condición de las válvulas de seguridad.
- Asegurar la correcta lubricación de accesorios.
- Limpiar el detector de flama con un trapo húmedo y suave.
- Limpieza e inspección de caja de viscosidad.
- En caso de encontrar una llama perezosa y larga, limpiar la boquilla del quemador (Sección 8.7.4).
- Revisar el medidor de aceite lubricante del compresor, si no es visible se debe cambiar el vidrio antes de operar. Limpiar el filtro si es necesario.

Mantenimiento mensual:

- Limpiar y ajustar conexiones de accesorios eléctricos. Revise si están flojos.
- Inspeccionar quemador.
- Revisar fugas de gases de chimenea.
- Busque por puntos calientes (que antes no estaban).
- Revise las levas.
- Revise buen cierre de válvula de combustible.
- Revise controles y límites operacionales.
- Revise controles de seguridad.

- Busque derrames, ruidos, vibraciones y condiciones inusuales.
- Revise el control por bajo nivel de agua.
- Revise luces de advertencia y alarmas.

Mantenimiento trimestral:

- Eliminar depósitos de lodos con chorros de agua y medios mecánicos. Si la incrustación es excesiva utilizar medios químicos en el lado de calentamiento de agua.
- Corroborar la integridad del aislante de la caldera, reparar cuando sea necesario.
- Revisar fugas en el interior de la caldera. En caso de encontrar, repare inmediatamente.
- Limpiar el difusor del quemador, ajustar y lubricar el dámper de ser necesario.
- Reemplazo si es necesario de empaques de la bomba de alimentación de agua.
- Lubricar bomba de alimentación de agua.
- Revise el funcionamiento de la válvula de retención de agua de alimentación.
Desarme para limpieza y ajuste interior.
- Revise los interruptores de mercurio del control de presión por modulación.
- Revisar y lubricar las levas del motor de control electrónico de modulación de ser necesario.
- Purgar y limpieza de los tanques de combustible accesibles.
- Revisión de unidades de mantenimiento de aire comprimido.
- Revisar fugas de chimenea y corrosión en esta. Limpie y pinte de ser necesario.
- Reemplace el vidrio del medidor de agua en caso de estar en mal estado.
- Ajustar las bridas de la caldera.

Mantenimiento trimestral (accesorios):

- **Quemador:**
 - Limpie boquillas utilizando el solvente adecuado.
 - Remover, desarmar y limpiar la cámara de aire.
 - Inspeccionar las puntas de los electrodos y ajustar de ser necesario.
 - Verifique el correcto apriete de los cables de encendido. Tallarles de ser necesario.
 - Revise que el tornillo retenedor del control de flama esté ajustado al igual que el amplificador y el módulo programador.

- **Bomba de combustible:**
 - Verificar y lubricar los rodamientos, sustituirlos en caso de ser necesario.
 - Limpiar internamente la bomba.
 - Verificar intensidad de corriente del motor.

- **Ventilador:**
 - Limpiar la malla de entrada de aire.
 - Limpiar el rotor del ventilador.
 - Inspeccionar si las partes están correctamente ajustadas.
 - Verificar intensidad de corriente.
 - Sustituya rodamientos si lo amerita.

- **Compresor:**
 - Limpiar las partes mecánicas y revisar desgaste.
 - Lubrique rodamientos y sustituya en caso de necesitarlo.
 - Verifique la corriente del motor.
 - No es recomendable abrirle.

Mantenimiento trimestral sistema de distribución:

- Revise la integridad del aislamiento térmico y repare en caso de daños.
- Si encuentra alguna fuga, reporte y repare inmediatamente.
- Corrobore el buen funcionamiento de las válvulas, manómetros, filtros y accesorios del sistema.
- Revise el correcto funcionamiento de las trampas de condensado.
- Inspeccione soportes y ajustes en el sistema.

Mantenimiento bianual:

- Limpiar el interior de los tubos de la caldera y placas con cepillo de alambre. Debe realizarse en seco y utilizando mascarilla (deshollinado).
- Revisar refractarios y sellos, si existe presencia de grietas reparar con cemento refractario. Se debe eliminar el hollín posteriormente.
- Inspeccione el correcto distanciamiento y estado de los electrodos de ignición.
- Remover las tapas de registro y poner empaquetaduras nuevas eliminando los depósitos de las orillas. En caso de estar en buen estado se pueden conservar hasta el siguiente análisis trimestral.

- Destape el nivel de agua, limpie la bola y paredes para evitar obstrucciones en partes móviles.
- Examinar presencia de corrosión.
- Limpie filtros de búnker.

Mantenimiento anual:

- Limpiar exteriormente la caldera.
- Reparar y pintar donde sea necesario.
- Cambiar válvulas defectuosas.
- Remover los tapones de inspección y limpiar las tuberías accesibles.
- Ajustar el manómetro principal.
- Cambiar empaquetaduras del cristal de nivel, de ser necesario.
- Revisar y ajustar las válvulas de seguridad y solenoides.
- Limpiar recalentador de búnker, remueva cualquier acumulación de sólido tanto del calentador como del tanque.
- Desarmar el sistema de control de nivel, limpiarlo y repararlo si lo amerita.
- Revisar niveles de Óxidos Nitrosos en gases de chimenea.
- Revisión de falla de llama piloto (Sección 8.6.1).
- Revisión de fallo de luz de llama principal (Sección 8.6.2).
- Revisar pérdida de flama (Sección 8.6.3).
- Realizar inspección anual de calderas.

Ajustes: En caso de necesitar algún ajuste la caldera, referirse al capítulo 6 y 8 del manual y seguir las recomendaciones del fabricante.

Por último, se proporciona la siguiente tabla con los problemas más comunes ocurridos y sus posibles causas. Estos son referenciados del manual de la caldera:

Problema	Posibles causas
El quemador no inicia	<ol style="list-style-type: none"> 1. No hay voltaje en las terminales del relé del programador: <ol style="list-style-type: none"> a. Interruptor principal desconectado b. Fusible del circuito de soplado c. Conexión eléctrica suelta o rota. 2. El programador del relé requiere un reinicio. 3. Circuito abierto <ol style="list-style-type: none"> a. Presión o temperatura por arriba del valor de operación configurado (Luz de carga de demanda no brilla). b. Agua por debajo del nivel requerido. <ol style="list-style-type: none"> 1) Luz de bajo nivel de agua debe indicar esta condición. 2) Revisar el botón de reseteo manual del control de bajo nivel de agua. c. La presión del combustible deberá encontrarse fuera de los interruptores de baja y alta presión. d. La pistola del quemador debe estar en una posición adelantada, cercana al interruptor de aceite. e. La temperatura del aceite está por debajo de la mínima programada. 4. El circuito de interconexión de la válvula de combustible no está cerrado. <ol style="list-style-type: none"> a. El interruptor de la válvula auxiliar de combustible no está cerrado.
No hay ignición	<ol style="list-style-type: none"> 1. Falta de chispa: <ol style="list-style-type: none"> a. Electrodo aterrizado o ruptura de la porcelana. b. Configuración de electrodos inadecuada. c. Pérdida de terminal en el cable de ignición d. Daño en el transformador de ignición. e. Voltaje insuficiente en la ignición Piloto. 2. Chispa pero no hay flama: <ol style="list-style-type: none"> a. Falta de combustible, no hay presión de gas, válvula cerrada, tanque vacío, línea rota...

	<ul style="list-style-type: none"> b. Solenoide piloto dañada. c. Voltaje insuficiente en las terminales del circuito de ignición. d. Mucho Aire <ol style="list-style-type: none"> 3. Interruptor de bajo nivel de fuego abierto. <ul style="list-style-type: none"> a. Motor de dámper no cerrado, leva deslizada, interruptor defectuoso. b. Dámper atascado. 4. Detector de flama defectuoso, obstruido o sucio. 5. Voltaje insuficiente en la válvula principal del circuito ramal.
Flama piloto pero no hay flama principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Flama piloto insuficiente. 2. Unidad de incineración de aceite: <ul style="list-style-type: none"> a. Alimentación de combustible obstruida. b. Bomba de combustible fuera de funcionamiento. c. No hay combustible. d. Válvula principal fuera de funcionamiento. e. Revisar boquilla, pistola y líneas de combustible. 3. Detector de flama defectuoso, obstruido o sucio. 4. Voltaje insuficiente en la válvula principal.
Quemador se mantiene en bajo fuego	<ol style="list-style-type: none"> 1. Presión o temperatura por arriba de la configuración del control modulador. 2. Interruptor manual-automático en posición errónea. 3. Motor modulador fuera de servicio. 4. Control modulador fuera de servicio. 5. Atascamiento o soltura de leva, tornillos...
Apagón durante operación	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pérdida o paro de suministro de combustible. 2. Válvula de combustible defectuosa o sin voltaje. 3. Detector de flama defectuoso. 4. Lentes obstruidos o sucios. 5. Si el interruptor de bloqueo del programador no se ha disparado, verifique el circuito límite para un control de seguridad abierto. 6. Si el interruptor de bloqueo del programador se ha disparado: <ul style="list-style-type: none"> a. Revisar las líneas de combustible y válvulas. b. Revise el detector de flama. c. Revise por circuitos abiertos. d. La luz de falla de llama se energiza por falla de encendido, llama principal falla, señal de llama inadecuada o control abierto en el funcionamiento circuito de interbloqueo. 7. Relación aire-combustible inapropiada. <ul style="list-style-type: none"> a. Desliz en el enlace.

	<ul style="list-style-type: none"> b. Dámper atascado en posición abierta. c. Suministro de combustible fluctuante. <ul style="list-style-type: none"> 1) Obstrucción temporal de la línea de combustible. 2) Bajonazo temporal de la presión de combustible. 3) Válvula de puerta de orificio abierta. 8. Dispositivo de bloqueo en mal estado.
<p>Motor modulador no funciona</p>	<ul style="list-style-type: none"> 1. Interruptor Manual-Automático en mal posición. 2. Pérdida de conexión. 3. El motor no se abre ni se cierra durante la purga previa o el cierre apagado del quemador: <ul style="list-style-type: none"> a. Motor defectuoso, b. Conexión eléctrica floja. c. Transformador del motor defectuoso. 4. El motor no opera acorde a la demanda: <ul style="list-style-type: none"> a. Interruptor Manual-Automático en mal posición. b. Control de modulación mal configurado o fuera de servicio. c. Motor defectuoso. d. Conexión eléctrica floja. e. Transformador del motor del dámper defectuoso.

2. Cotizaciones



FROM
Tania Pizarro
Proyectos de Conservación de Energía
S.A.
Apartado Postal 152-1260
www.procoen.com

PHONE
+506 4408-0034

FOR
Antonio Sanchez

QUOTE NUMBER
3414

DATE
December 8, 2020

VALID UNTIL
January 7, 2021 at 10:37AM

Aislamiento térmico en chaquetas desmontables y reusables Shannon Enterprises

Chaquetas de aislamiento Shannon enterprises

Las chaquetas de aislamiento están específicamente diseñadas para cada aplicación.

Las principales ventajas de las chaquetas son:

- Grandes ahorros de energía por una disminución de las pérdidas de calor.
- Prevención de quemaduras en los colaboradores al no dejar superficies de alta temperatura expuestas
- Disminución de la temperatura ambiente en las plantas al reducir la transferencia de calor
- Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero al requerir un menor consumo de combustible



Shannon_All_4.01.16

aislamiento

Aislamiento para válvulas de compuerta

Chaquetas de aislamiento térmico específicamente diseñada con las dimensiones del accesorio.

Temperatura máxima de operación de 450 F

Larga vida útil

Diseñada para instalarse y desinstalarse sin necesidad de usar herramientas

Montaje y desmontaje de forma rápida

Puede usarse en exteriores

Shannon_All_4.01.16

Shannon - Chaquetas de Aislamiento

12,559.64
x 1
12,559.64

Total USD

\$12,559.64

Notas importantes

Precios Ex Works North Tonawanda, NY
Precios válidos para las cantidades ofertadas

Tania Pizarro Rodríguez

Presupuesto de Ventas
PBX +506 4408-0034
M +506 7298-3002
www.procoen.com



Nuestras líneas para la industria



FROM
Tania Pizarro
Proyectos de Conservación de Energía
S.A.
Apartado Postal 152-1260
www.procoen.com
PHONE
+506 4408-0034

FOR
Antonio Sanchez

QUOTE NUMBER
3415
DATE
December 8, 2020
VALID UNTIL
January 7, 2021 at 11:25AM

Calentadores de agua instantáneos alimentados por vapor

Eco pack

Calentador instantaneo de agua alimentado por vapor

Para calentar 66.0 gpm de agua en los tubos de 73.4 ° F a 181.4 ° F usando 3.976 lbs / hr de vapor saturado a 95 psig antes y 90 psig después de la válvula de control

Conexión de entrada y salida de agua 2" NPT

Entrada de vapor en 4" ANSI,RF&SO

Salida de condensado en 1-1/4" NPT

Caída de presión en el agua 1.2 PSI

Carcasa en acero al carbono

Cabezal de acero al carbono

Espejo de acero al carbono

Tubos de acero inoxidable

Diseñado para 150 PSIG a 400 F en la carcasa y 150 PSIG a 400 F en los tubos

El paquete incluye:

- Intercambiador de calor de carcasa y tubos
- Válvula de alivio
- Filtro
- Purga de aire
- Válvula autorregulada de temperatura
- Trampas de vapor
- Manómetros
- Termómetros
- Soportería

Aislamiento térmico no incluido



Eco-Pack Español

24,880.78
x 1
24,880.78

Total USD

\$24,880.78

NOTAS

Precios indicados en dólares americanos (US\$)

Precios Ex Works Old Bridge, NJ

Tiempo de entrega estimado de 6 a 8 semanas después de planos aprobados

Precios no incluyen fletes

Forma de pago 30% adelanto con orden de compra y saldo antes de despachar

Tania Pizarro Rodríguez

Presupuesto de Ventas

PBX +506 4408-0034

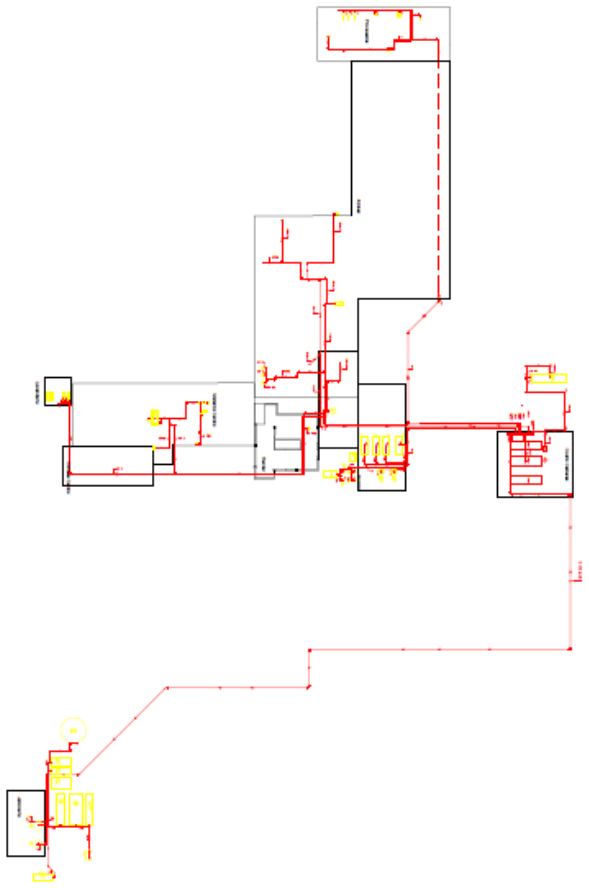
M +506 7298-3002

www.procoen.com



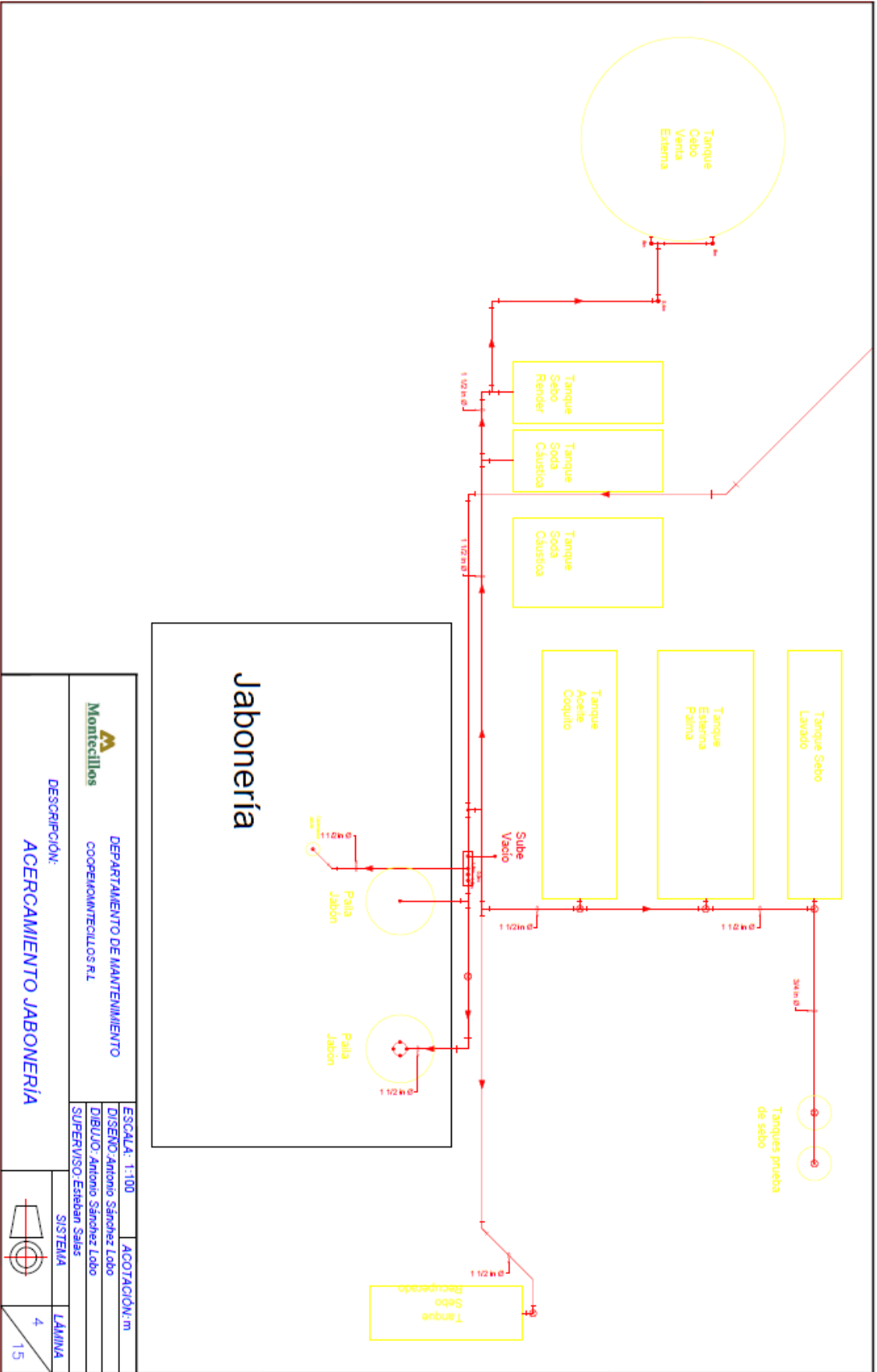
3. Planos del sistema de vapor

Los planos que se exponen a continuación son ilustrativos, pues originalmente están en formato A3. Se recortaron para poder incluirlos en este documento, de manera que no tiene la misma escala, ni la resolución adecuada.

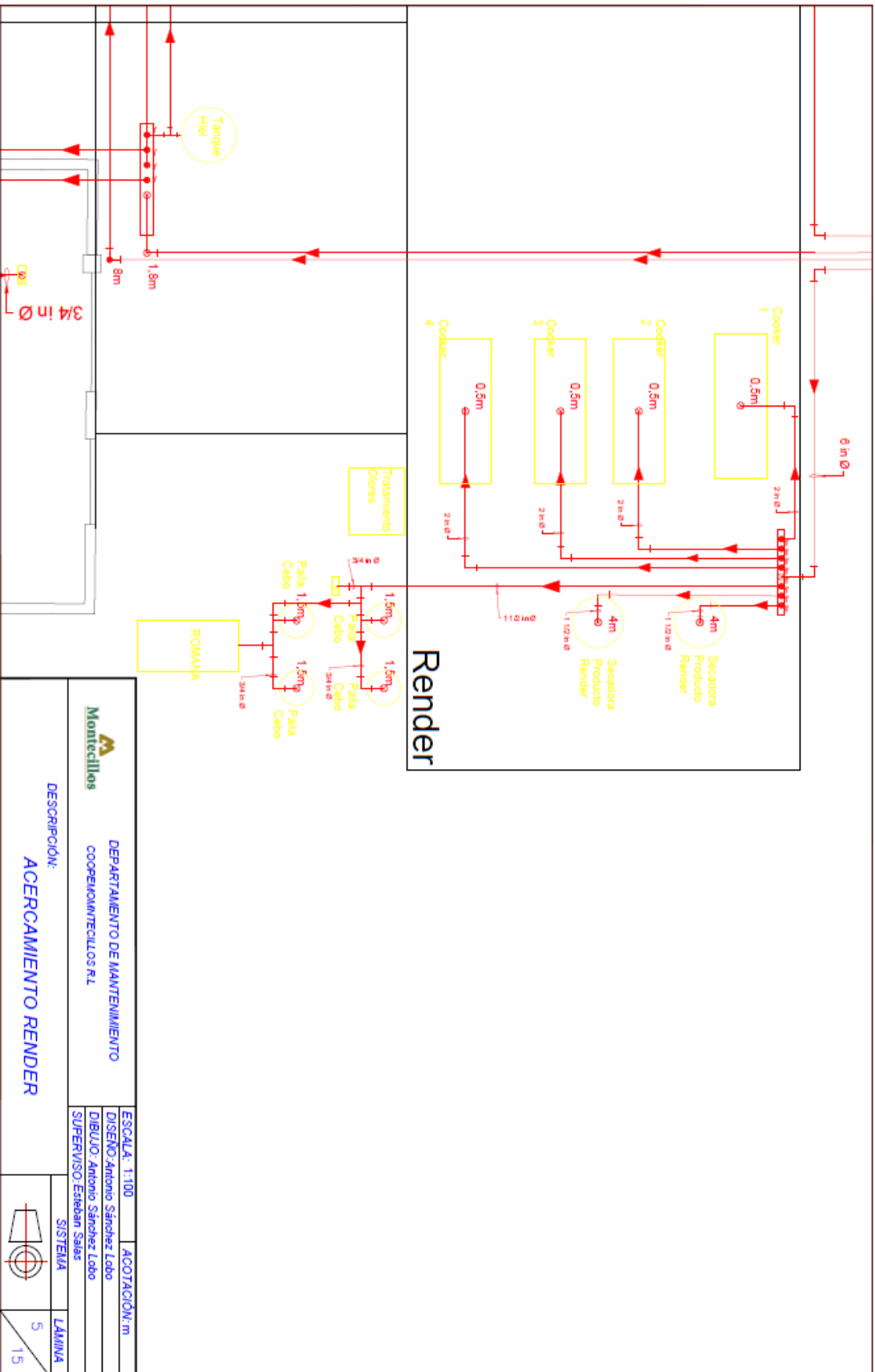


 Montecillos	DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO COOPERATIVA MONTECILLOS R.L.	ESCALA: 1:1000 ACOTACION: m	
	DISEÑO: Antonio Sánchez Lobo DIBUJO: Antonio Sánchez Lobo SUPERVISOR: Esteban SALLAS	SISTEMA	LÁMINA
	DESCRIPCIÓN:	VISTA DE PLANTA	2 / 15



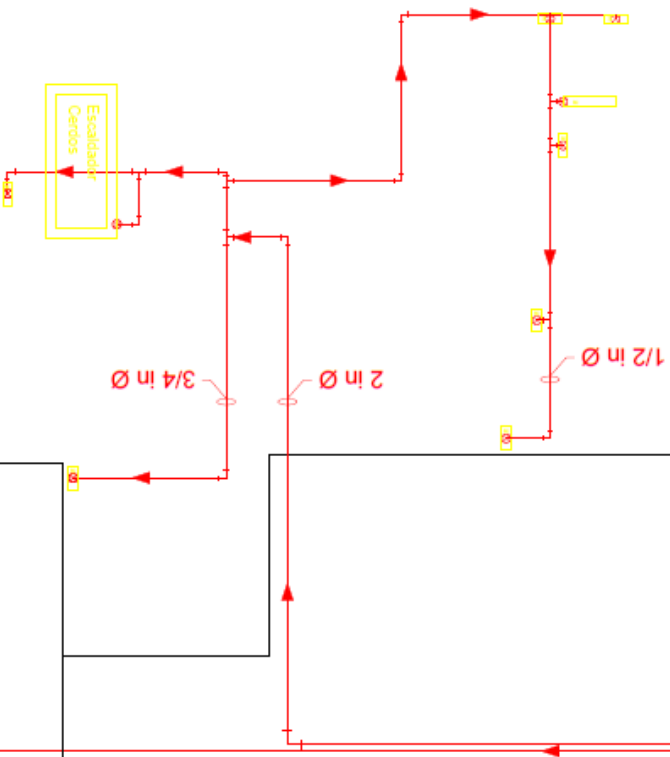


	DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO	ESCALA: 1:100	ACOTACIÓN: m
	COOPERATIVA MONTECILLOS R.L	DISEÑO: Antonio Sánchez Lobo	
		DIBUJO: Antonio Sánchez Lobo	
DESCRIPCIÓN:		SUPERVISOR: Esteban Salas	
ACERCAMIENTO JABONERÍA		SISTEMA	LÁMINA
			4 / 15



	DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO	ESCALA: 1:100	ACOTACION: m
	COOPERATIVA MONTECILLOS S.L	DISEÑO: Antonio Sánchez Lobo	
		SUPERVISOR: Esteban Salas	
DESCRIPCIÓN:	ACERCAMIENTO RENDER	SISTEMA	LÁMINA 5 / 15

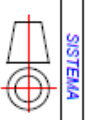
Matanza Cerdos



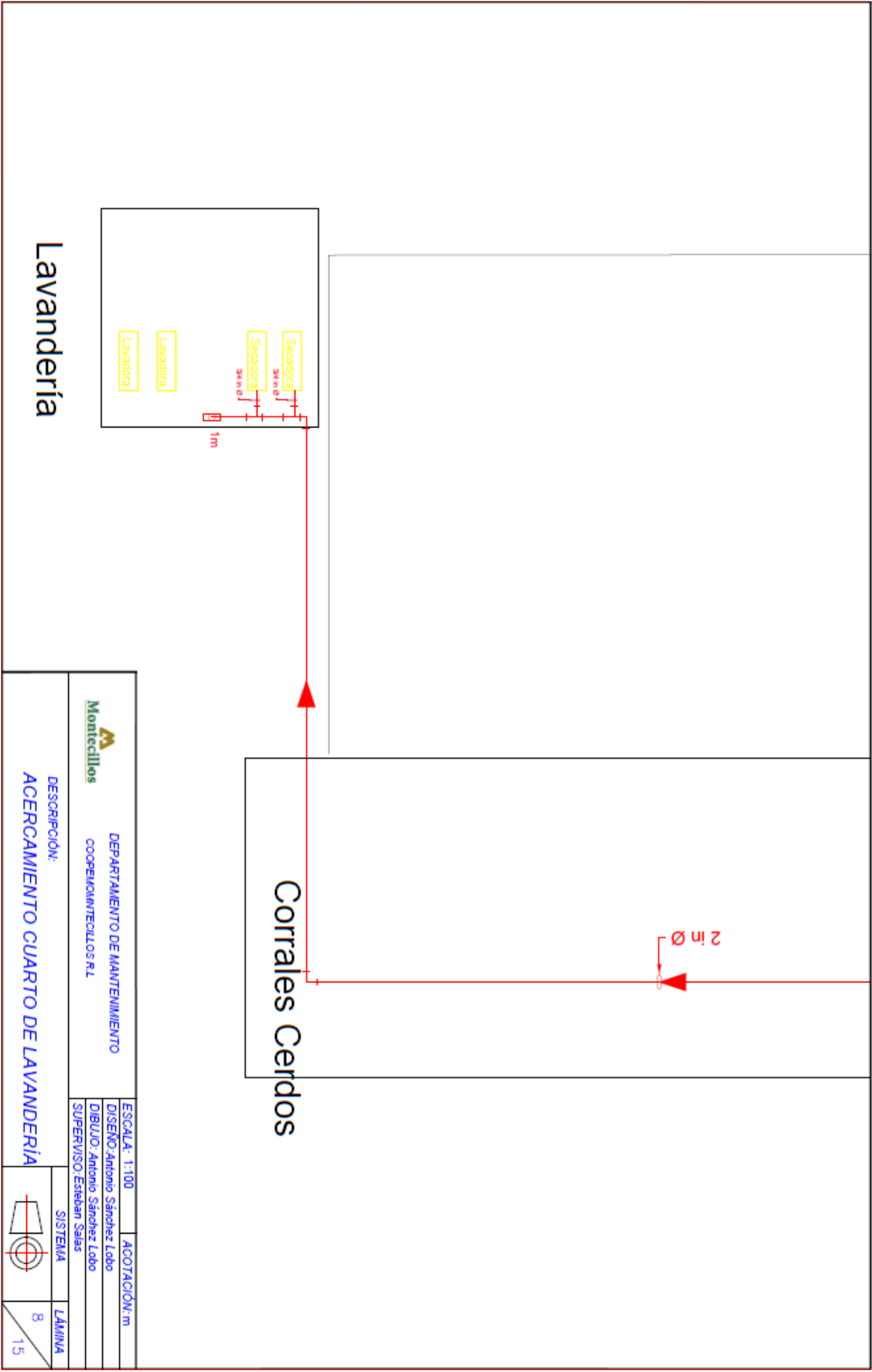
DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO
COOPERMONTECILLOS R.L

ESCALA: 1:10 ACOTACION: m
DISEÑO: Antonio Sánchez Lobo
DIBUJO: Antonio Sánchez Lobo
SUPERVISOR: Esteban Salas


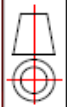
DESCRIPCIÓN:
ACERCAMIENTO MATANZA DE CERDO

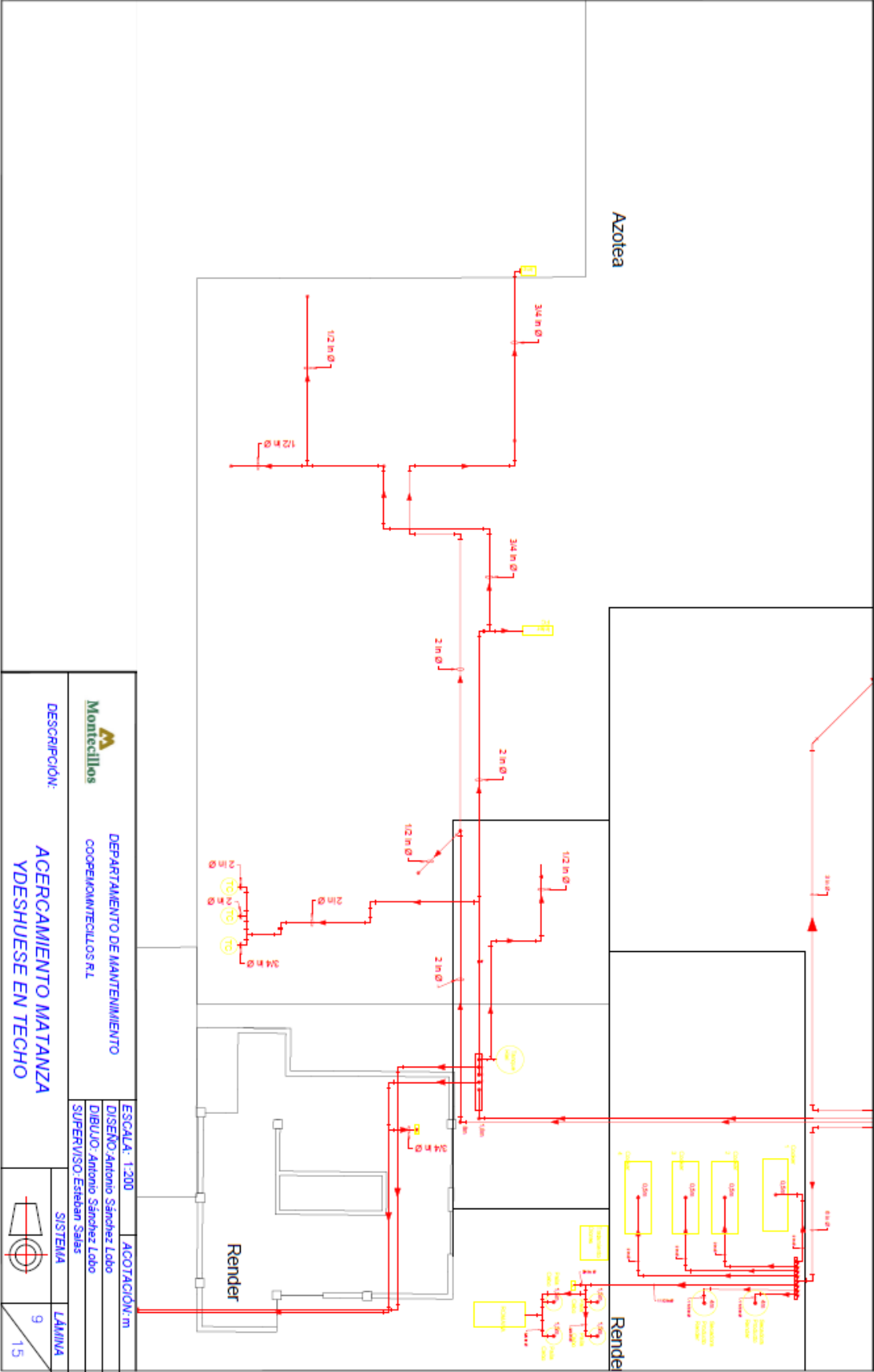




SISTEMA
LÁMINA
7
15

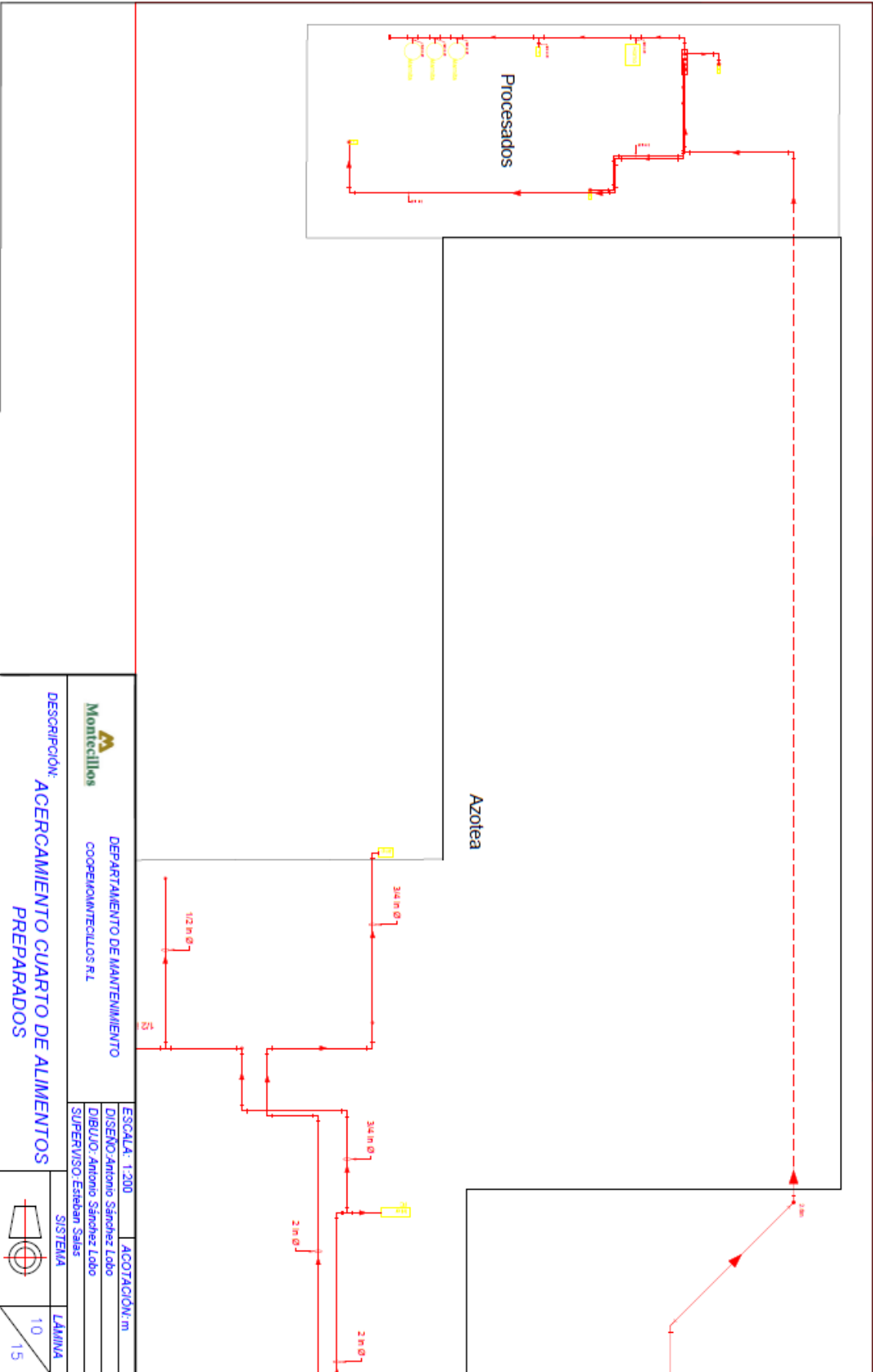



Lavandería

	DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO	ESCALA: 1:100	ACOTACION: m
	COOPERATIVA/TECILLLOS R.L	DISEÑO: Antonio Sánchez Lobo	
DESCRIPCION:	ACERCAMIENTO CUARTO DE LAVANDERÍA	DIBUJO: Antonio Sánchez Lobo	
		SUPERVISOR: Esteban Salas	
		SISTEMA	LÁMINA
			8 / 15

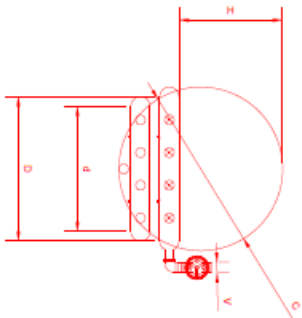


 Montecillos		DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO COOPERMONTECILLOS S.R.L.	
DESCRIPCIÓN: ACERCAMIENTO MATANZA Y DESHUESE EN TECHO		ESCALA: 1:200 ACOTACION: m	
DISEÑO: Antonio Sánchez Lobo SUPERVISOR: Esteban Saas		DIBUJO: Antonio Sánchez Lobo SUPERVISOR: Esteban Saas	
SISTEMA		LAMINA	
		9 / 15	



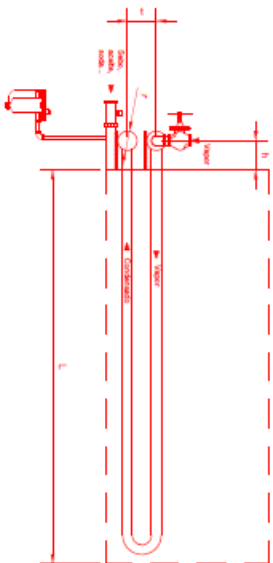
	DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO COOPERATIVAS R.L.	ESCALA: 1:200 ACOTACION: m
	DESCRIPCION: ACERCAMIENTO CUARTO DE ALIMENTOS PREPARADOS	DISEÑO: Antonio Sánchez Lobo DIBUJO: Antonio Sánchez Lobo SUPERVISOR: Esteban Salas
SISTEMA		LAMINA 10 / 15

1: Calentamiento de Tanques Jabonería Vista Frontal
 SIN ESCALA- ACOTACION SEGUN LO INDICADO




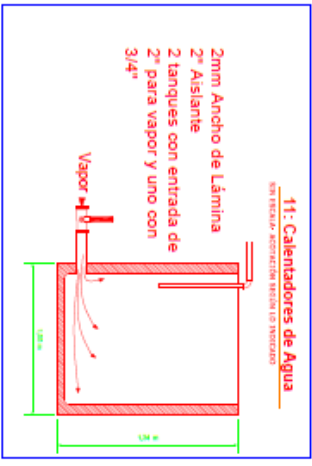
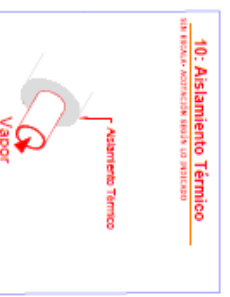
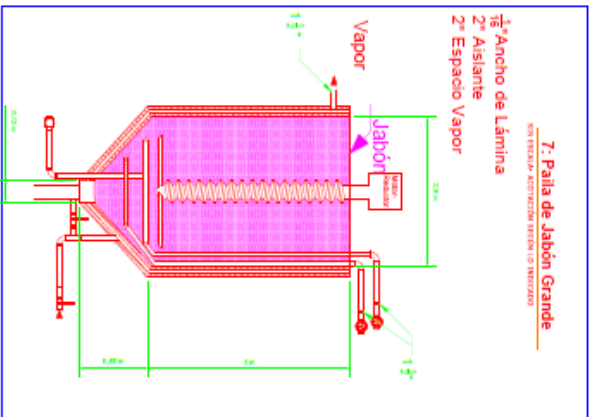
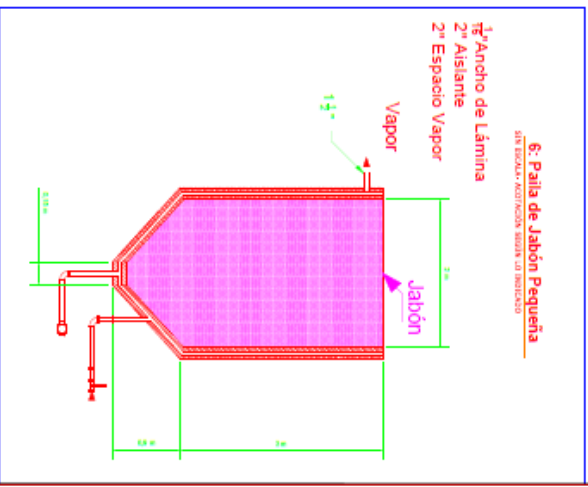
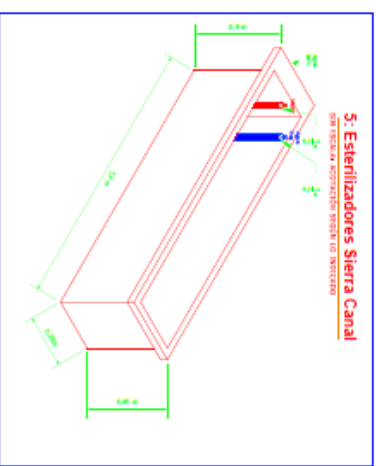
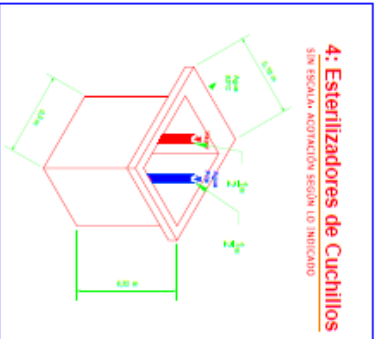
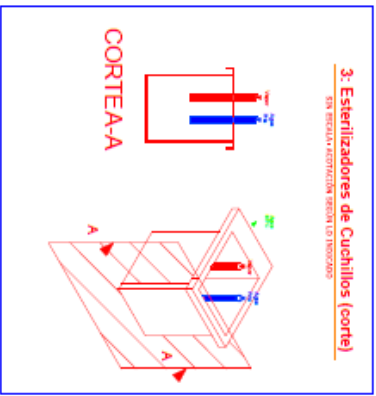
Tanque	D (m)	d (m)	C	H	V
Solo Tanque	2.4	2	3.2	2.5	1.4
Acero Cobalto	1.5	1	2.2	2.5	1.4
Eschilla 1/2 mts	1.7	1.5	2	2.5	1.4
Solo Inyectores	1.4	1	1.8	1.3	1.2
Solo Calentador	1.7	1.4	1.8	1.2	1.2

2: Calentamiento de Tanques Jabonería Vista Lateral
 SIN ESCALA- ACOTACION SEGUN LO INDICADO

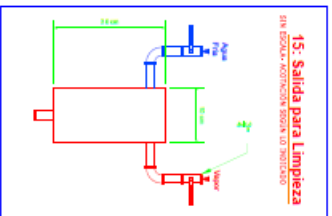
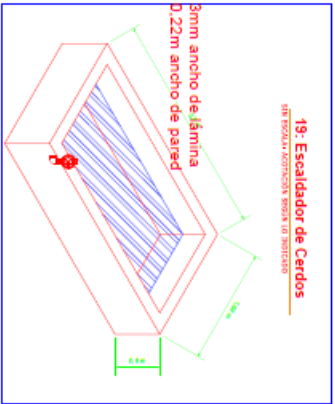
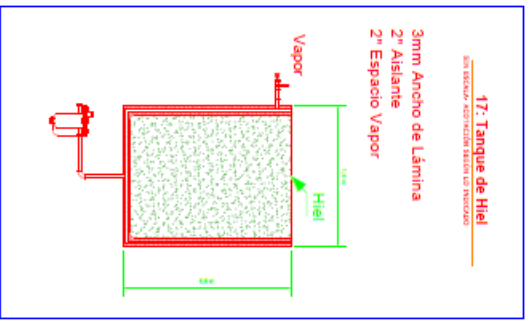
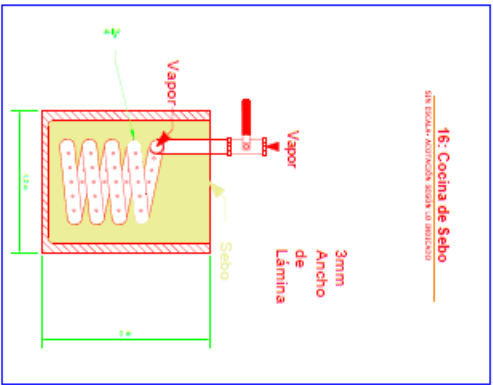
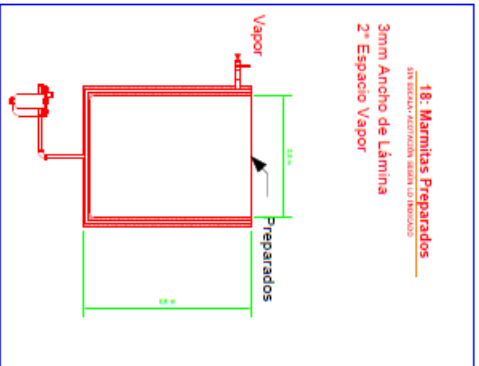
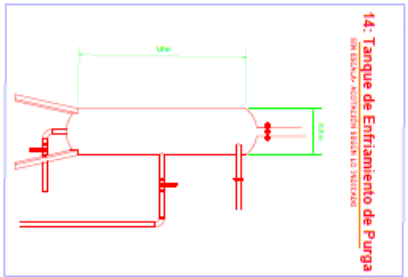
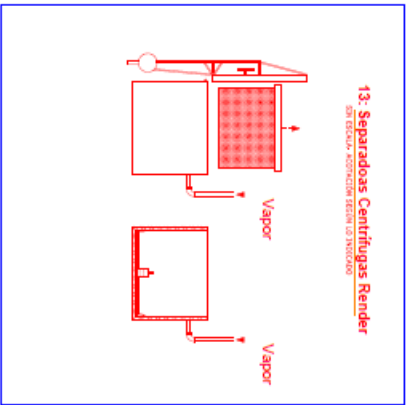
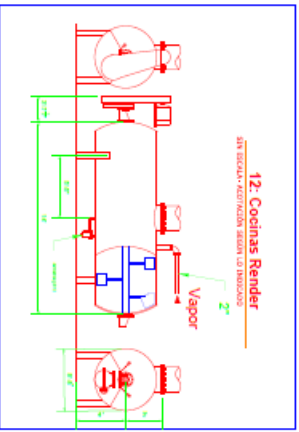


Tanque	m	m	m	m	m
Solo Tanque	5.3	0.25	0.25	8	
Acero Cobalto	0.4	0.15	0.3	7.3	
Eschilla 1/2 mts	0.4	0.15	0.25	6.5	
Solo Inyectores	5.3	0.25	0.25	4.5	
Solo Calentador	5.3	0.2	0.2	4.5	

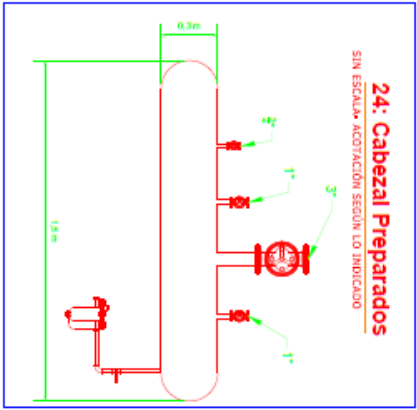
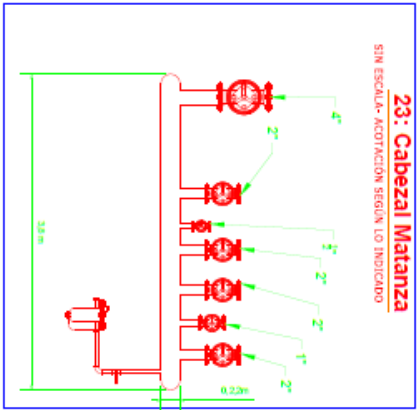
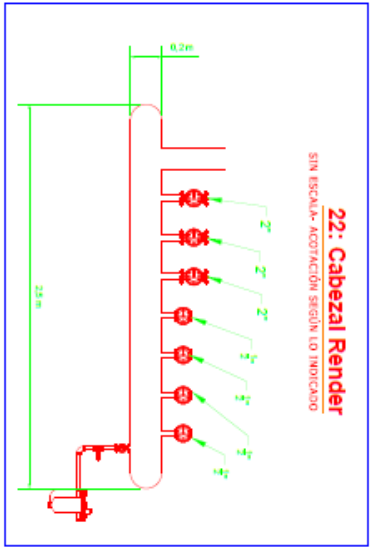
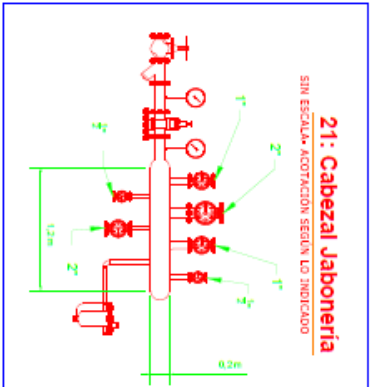
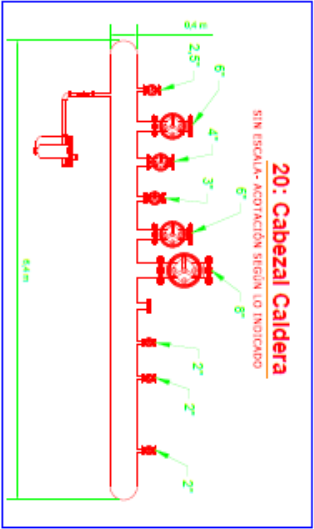
	DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO COOPERATIVATECILLOS R.L	ESCALA: INDICADA DISEÑO: Antonio Sanchez Lobo DIBUJO: Antonio Sanchez Lobo	ACOTACION INDICADA SUPERVISOR: Esteban Salas
	DESCRIPCION: DETALLES	SISTEMA	LAMINA 11 / 15




		DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO	
		COOPERATIVA MONTECILLOS R.L	
DESCRIPCIÓN: DETALLES CONTINUACIÓN	ESCALA: INDICADA	ACOTACIÓN: INDICADA	
	DISEÑO: Antonio Sánchez Lobo		
	DIBUJO: Antonio Sánchez Lobo		
	SUPERVISOR: Esteban Salas		
	SISTEMA	LÁMINA	
		12	15

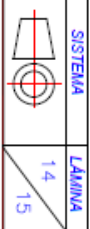


	DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO	ESCALA: INDICADA	ACOTACION: INDICADA
	COOPERMANTECILLOS R.L	DISEÑO: Antonio Sánchez Lobo	DISEÑO: Antonio Sánchez Lobo
		SUPERVISO: Esteban Salas	SUPERVISO: Esteban Salas
DESCRIPCIÓN:	DETALLES CONTINUACIÓN		SISTEMA
			LÁMINA
			13 / 15



 DEPARTAMENTO DE MAINTENIMIENTO COOPERATIVAMTECILLOS F.L	ESCALA: INDICADA	ACOTACION: INDICADA
	DISEÑO: Antonio Sánchez Lobo DIBUJO: Antonio Sánchez Lobo SUPERVISOR: Esteban Salas	
	SISTEMA	LÁMINA

DESCRIPCIÓN:
DETALLES CONTINUACIÓN



Diagnóstico y propuestas de oportunidades de conservación de la energía en Coopemontecillos R. L., Alajuela por Antonio Sánchez Lobo se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

