



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**



**Cargill Planta San Rafael (PIPASA)**

**“Estudio de viabilidad financiera, ambiental y energética para la sustitución de una de las calderas de búnker por una de biomasa en la Planta San Rafael de la empresa Cargill Costa Rica”**

**Informe de Práctica de Especialidad para optar por el título de ingeniero en Mantenimiento Industrial, grado de Licenciatura**

**Jorge Alberto Romero Arias**

**Cartago, noviembre 2018**


CARTA DE ENTENDIMIENTO

Fecha: 2018-11-6

Señores  
Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Sistema de Bibliotecas del Tecnológico

Yo Jorge Alberto Romero Arias  
carné No. 2013038272,  si autorizo  no autorizo, al Sistema de Bibliotecas del Tecnológico  
(SIBITEC), disponer del Trabajo Final de graduación, del cual soy autor, para optar por el grado  
de licenciatura, en la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Industrial  
, presentado en la fecha 2018-11-14, con el título Estudio de  
viabilidad financiera, ambiental y energética para la sustitución de una de las calderas  
de búnker por una de biomasa en la planta San Rafael de la empresa Cargill Costa  
Rica.

para ser ubicado en el Repositorio Institucional y Catálogo SIBITEC, con el objetivo de ser visualizado a través de la red Internet.

Firma de estudiante:   
Correo electrónico: jor2395@gmail.com  
Cédula No.: 1-1616-0288

**Profesor guía:**

**Ing. Oscar Bastos**

**Asesores industriales:**

**Ing. Diego Quesada**

**Ing. Ricardo Paniagua**

## **Dedicatoria**

Primeramente, a Dios, por ayudarme a superar cualquier adversidad que se presentó en este camino. Por estar presente en cada uno de los pasos buenos y malos que he tomado y me han llevado hasta donde estoy el día de hoy, sobre todo, por guiarme y ser la luz siempre en mi camino.

A mi madre y a mi padre, quienes son el motor de lo que hoy soy. Por haberme escuchado todas las veces que llegaba a contarles cosas sobre la universidad o el proyecto. Por haber sudado tanto como yo cada paso del camino. Por sufrir mis tristezas y festejar mis alegrías. Gracias por ser ese modelo a seguir y enseñarme a ser alguien perseverante, luchador por lo que quiere, perfeccionista en los detalles, pero, sobre todo, por haberme enseñado la humildad de aceptar mis errores cuando fallo. Sin duda alguna, esto es tan mío como de ustedes. Gracias por haberme acompañado en esta etapa tan importante, gracias por haberme acompañado siempre en la vida. Gracias por tanto amor. En fin, gracias por tanto y por todo.

A mi hermano gemelo Luis, por haberme enseñado a compartir lo que tengo. A explicar mis conocimientos, pero más aún, gracias por enseñarme a escuchar a los demás. Por tantísimo afecto y comprensión en estos largos seis años que hoy culminan. Gracias por ser un excelente compañero y socio de vida.

A todas las personas que de una u otra forma participaron en mi formación profesional y me ayudaron a llegar a este punto.

Siempre les estaré infinitamente agradecido.

## **Agradecimientos**

A Dios, por siempre guiarme en cada paso y decisión tomada durante estos seis años. Por bendecirme poniendo en mi camino a cada persona que me ayudó de una u otra forma.

A mi madre, padre y hermano, por ser la fuente de energía que nunca me falló. Por alentarme en los malos momentos y alegrarse de mis buenos momentos.

Al profesor Óscar Bastos, quien me aconsejó de la mejor manera durante este largo proyecto para poder finiquitar mis estudios satisfactoriamente.

Al ingeniero Diego Quesada, por tanta paciencia y consejo a la hora de validar las propuestas del proyecto. Por los conocimientos transmitidos y, sobre todo, por la confianza dada para la realización del proyecto.

Al ingeniero Hernán Moros, por ayudarme con los conocimientos financieros para poder aplicarlos a este proyecto.

Al ingeniero Ricardo Paniagua, por haberme aceptado en la empresa y ayudar a desempeñarme de la mejor manera posible.

A todos mis compañeros de la empresa Cargill, quienes me hicieron sentir en casa, en familia, por ayudarme con cada consejo o aliento a seguir adelante.

# Tabla de contenidos

Dedicatoria.....	3
Agradecimientos .....	4
Capítulo 1. Resumen y reseña de la empresa .....	10
1.1 Resumen.....	11
1.2 Abstract .....	12
1.3 Reseña de la empresa.....	13
Capítulo 2. Sistema de generación de vapor de Cargill Planta San Rafael Costa Rica .....	16
2.1 Introducción .....	17
2.2 Planteamiento del problema .....	18
2.3 Objetivo general.....	19
2.4 Objetivos específicos .....	19
2.5 Justificación.....	20
2.6 Viabilidad.....	24
2.7 Marco teórico .....	26
2.7.1 Tipos de combustibles.....	26
2.7.2 Gases de efecto invernadero y Unidades Costarricenses de Compensación (UCC) .....	28
2.7.3 Normativas y leyes de Costa Rica.....	30
2.7.4 Calderas de combustibles fósiles .....	34
2.7.5 Biomasa .....	35
2.7.6 Calderas de Biomasa .....	40
2.7.7 Ventajas y desventajas de utilizar biomasa .....	41
2.7.8 Sistemas de generación de vapor por biomasa en Costa Rica.....	42
2.7.9 Indicadores financieros .....	43
2.8 Descripción del sistema de generación de vapor .....	46
2.8.1 Rendering .....	47
2.8.2 Planta procesadora de pollo.....	49
2.8.3 Planta Kimby .....	49
2.8.4 Lavandería de planta PIPASA.....	50
2.8.5 Tanque de agua caliente.....	50
2.8.6 Tanque principal de búnker .....	51
2.8.7 Tuberías de trasiego de búnker .....	51
2.9 Alcance.....	53
2.10 Limitaciones.....	54
Capítulo 3. Desarrollo del proyecto .....	55

<b>3.1 Metodología</b> .....	56
<b>3.2 Recolección de consumos de búnker-C y vapor de agua</b> .....	57
<b>3.2.1 Búnker-C</b> .....	57
<b>3.2.2 Vapor de agua</b> .....	59
<b>3.3 Análisis y escogencia del combustible</b> .....	69
<b>3.4 Escogencia de caldera</b> .....	76
<b>3.5 Dimensionamiento de equipos adicionales y la ubicación del sistema</b> .....	82
<b>3.5.1 Silo de almacenamiento</b> .....	82
<b>3.5.2 Economizador</b> .....	84
<b>3.5.3 Filtro de humos multiciclónico</b> .....	84
<b>3.5.4 Filtro de mangas</b> .....	85
<b>3.5.5 Suministro de agua y aire comprimido</b> .....	86
<b>3.6 Análisis financiero</b> .....	91
<b>3.6.1 Escenario 1: Proyecto financiado por ECOsolutions</b> .....	95
<b>3.6.2 Escenario 2: Cargill asume la totalidad de la inversión</b> .....	100
<b>3.7 Análisis de impacto ambiental</b> .....	104
<b>Capítulo 4. Conclusiones y recomendaciones</b> .....	107
<b>4.1 Conclusiones</b> .....	108
<b>4.2 Recomendaciones</b> .....	109
<b>Capítulo 5. Bibliografía</b> .....	110
<b>Capítulo 6. Apéndices</b> .....	115

# Figuras

Figura 1. Proceso productivo en Cargill Planta San Rafael (PIPASA) .....	15
Figura 2. Importaciones anuales de hidrocarburos (1986-2015) en barriles y en dólares.	22
Figura 3. Costo del búnker desde enero del 2017 hasta octubre 2018 .....	22
Figura 4. Matriz energética de electricidad y búnker para planta PIPASA .....	23
Figura 5. Total de partículas en suspensión permisibles para calderas con combustibles líquidos y gaseosos .....	32
Figura 6. Emisiones permitidas de SO <sub>2</sub> .....	32
Figura 7. Comportamiento del poder calorífico según porcentaje de humedad .....	37
Figura 8. Biomasa aproximada por sector de Costa Rica .....	38
Figura 9. Vista interior de una caldera de biomasa .....	41
Figura 10. Cuatro cocinas de cárnicos .....	47
Figura 11. Blow tank alimentador de plumas .....	48
Figura 12. Tanque de agua caliente .....	50
Figura 13. Tanque principal de búnker .....	51
Figura 14. Tubería de trasiego de búnker .....	52
Figura 15. Desglose de consumos de búnker .....	53
Figura 16. Consumos en litros de búnker enero 2017 hasta junio 2018 .....	58
Figura 17. Tendencia de consumos de vapor por mes .....	64
Figura 18. Comportamiento de consumo de vapor para la primera semana de octubre 2017 .....	68
Figura 19. Capacidad de cobertura de la caldera de biomasa seleccionada .....	81
Figura 20. Silo hidráulico de almacenamiento .....	82
Figura 21. Características del silo de almacenamiento hidráulico .....	83
Figura 22. Parámetros de diseño del economizador .....	84
Figura 23. Filtro de humos multiciclón .....	85
Figura 24. Filtro de mangas .....	86
Figura 25. Requisitos del agua de alimentación .....	86
Figura 26. Presiones de aire necesarias establecidas por el fabricante .....	87
Figura 27. Calidad del aire comprimido solicitada por fabricante .....	87
Figura 28. Vista aérea del terreno seleccionado .....	89
Figura 29. Acomodo de equipos y caldera .....	91
Figura 30. Desglose detallado de la inversión .....	94
Figura 31. Modelo de precio de bandas .....	96



Figura 32. Matriz energética proyectada con la implementación de biomasa ..... 103  
Figura 33. Comparación de emisiones de GEI ..... 105

# Tablas

Tabla 1. Consumo de búnker-C en Planta San Rafael en el 2017.....	21
Tabla 2. Comparación de los tres derivados de petróleo más comunes.....	27
Tabla 3. Factores de emisión de los combustibles.....	29
Tabla 4. Clasificación de tipos de calderas.....	31
Tabla 5. Límites de O2, CO2 y hollín para los gases de caldera.....	31
Tabla 6. Factores de emisión para combustibles biomásicos más comunes de Costa Rica.....	36
Tabla 7. Especificación de las calderas.....	46
Tabla 8. Consumos y costos de búnker-C 2017.....	57
Tabla 9. Consumos energéticos.....	59
Tabla 10. Libras de materia prima de cocinas.....	61
Tabla 11. Consumos promedio de vapor por equipo.....	64
Tabla 12. Consumos reales de vapor para la primera semana de octubre 2017.....	66
Tabla 13. Aspectos importantes de combustibles por analizar.....	69
Tabla 14. Comparación de consumos mensuales de combustibles.....	70
Tabla 15. Emisiones mensuales de gases efecto invernadero.....	70
Tabla 16. Comparación de parámetros del chip de madera.....	72
Tabla 17. Demanda energética restante al implementar lodos.....	75
Tabla 18. Cantidades de chip necesaria implementando el uso de lodos.....	75
Tabla 19. Especificaciones técnicas de la caldera de biomasa L'Solé.....	78
Tabla 20. Costo de generación con 100% de búnker proyectado al 2019.....	95
Tabla 21. Valores límites del sistema de bandas.....	96
Tabla 22. Ahorros considerando consumo de búnker.....	97
Tabla 23. Ahorros con la implementación de lodos para la cogeneración.....	98
Tabla 24. Ahorros actualizados con posible incremento en el costo del chip.....	99
Tabla 25. Ahorros asumiendo la totalidad de la inversión.....	100
Tabla 26. Ahorros implementando el uso de lodos para el escenario 2.....	101
Tabla 27. Cuadro comparativo para el escenario 2.....	102
Tabla 28. Datos representativos de la matriz energética proyectada.....	104
Tabla 29. Multas económicas por emisiones de GEI.....	106



## Capítulo 1. Resumen y reseña de la empresa

## 1.1 Resumen

La presente investigación se basa en la viabilidad de instalar un sistema de generación de vapor con biomasa como combustible, para reducir el impacto ambiental, la dependencia a hidrocarburos y generar un ahorro significativo a la empresa Cargill Planta San Rafael (PIPASA). El proyecto inicia con la recolección de una serie de datos de búnker-C y vapor de agua, con el fin de obtener los consumos energéticos que presenta la planta, así como el impacto ambiental que esta genera con sus emisiones de gases efecto invernadero y los elevados pagos anuales por combustible. Una vez finalizada la recolecta de datos, los resultados permiten considerar diferentes escenarios.

El consumo promedio energético de la planta es de 10 922 35 MJ, un consumo promedio de 269 144 L de búnker mensuales, 10 050 toneladas de gases efecto invernadero emitidas al año, además de la compra anual de combustibles por \$1 617 535 y un consumo mensual de 7 toneladas hora de vapor de agua, el cual se obtiene a partir de la realización de un choque de horarios para observar la simultaneidad de trabajo de los equipos consumidores de vapor.

El proyecto está enmarcado en el tipo de investigación proyectiva, fundamentada a nivel comprensivo con un diseño de fuente mixta (documental y campo). Una vez establecidos los consumos mencionados anteriormente, se procede a analizar los posibles combustibles para sustituir el búnker, los cuales son GLP y biomasa (pellet y chip). Luego, se establece la capacidad necesaria de la caldera por instalar, la cual es de 9 toneladas hora de vapor, esto contemplando picos de consumo y los consumos bajos de la planta.

Para la mejora del sistema y el cumplimiento de los objetivos planteados, se proponen varios escenarios en la compra del equipo, de los cuales el más viable es asumir el total de la inversión y alimentar la caldera tanto con los lodos propios de la planta como con el chip de madera. Esto se debe a que el silo del chip tiene una autonomía de dos días para prevenir cualquier atraso de entrega de combustible. Sin embargo, una de las calderas de búnker-C (500BHP) debe permanecer instalada para poder suplir los picos de demanda que se generan en el proceso productivo.

De esta manera, se puede concluir que, con la implementación del nuevo sistema de generación de vapor propuesto a base de lodos y chip de madera, Cargill se asegura ahorros anuales de más de \$850 000 y se reducen más de 9500 toneladas anuales de gases efecto invernadero emitidas al medio ambiente.

## 1.2 Abstract

This investigation is focused on the viability of the installation of a biomass boiler system to reduce the environmental impact and dependence on fuel delivery while also gaining an annual savings for the company of Cargill San Rafael Plant (PIPASA).

The project begins with a data collection of fuel oil and steams demands to measure the plant's energy consumption and also the environmental impact it generates and the high annual payments for fuel. It allows to consider different scenarios to propose a more viable solution.

The average energy consumption of the plant is 10 922 350 MJ, an average consumption of 269 144 L of monthly bunker, 10 050 metric tons of global warming gases emitted per year. The annual fuel purchase is \$1 617 535 and a monthly consumption of 7 tons of steam per hour which is obtained from the performance of a dual schedule to simultaneously observe the work of the steam consuming equipment.

The project it's based on a comprehensive level with a mixed source design (documentary and field). Once the consumption mentioned above is established, we proceeded to analyze the possible fuels to replace the bunker, which are LPG and biomass (pellet and chip). Then the necessary capacity of the boiler to be installed was established (9-ton hour steam boiler), considering consumption peaks and the low consumption of the plant.

For the improvement of the system and the fulfillment of the proposed objectives, several scenarios were reviewed regarding the purchasing of the equipment. Of which, the most viable is to assume the total investment up front and feed the boiler with the plant's own sludge and chip wood since the silo of the chip has a range of two days to prevent any delay in the delivery of fuel.

However, one of fuel oil's boilers must remain installed in order to supply the demand peaks that are generated in the production process.

Thus, it can be concluded that with the implementation of the new steam generation system proposed of sludge and wood chip, Cargill ensures an annual savings of more than \$850,000 and a reduction of more than 9,500 tons of "efecto invernadero" gases emitted into the environment per year.

### **1.3 Reseña de la empresa**

Cargill es una empresa multinacional de origen estadounidense con 150 años de experiencia, dedicada principalmente a la producción de alimentos y bebidas. Desde su creación en 1865, ha ido creando lazos de colaboración estrecha con sus clientes y gracias a esto, le ha sido posible posicionar plantas de producción en 70 países con un total de 155 000 empleados aproximadamente. La empresa Cargill tiene como objetivo primordial realizar una producción responsable comprometida totalmente a reducir el impacto medioambiental y mejorar las comunidades en las que se vive y trabaja.

Los productos alimenticios ofrecidos son tanto para la nutrición humana como la nutrición animal. Se asiste a productores de ganadería y acuicultura con la intención de proveer una mejor nutrición animal mediante las capacidades de investigación que ofrece la empresa. Por otro lado, se procesan carnes vacunas, aves, productos de huevo, entre otros. A su vez, se fabrica sal que es usada en distintas áreas con importantes operaciones ubicadas en EE.UU., Canadá, América Central, China, Sudeste de Asia y el Reino Unido.

Además de la producción, los servicios de agricultura, alimentos, finanzas y suministro (transporte) son brindados por la empresa. En el campo de agricultura, Cargill compra, procesa y distribuye cereales, semillas oleaginosas, entre otras materias primas a fabricantes de alimentos y sistemas de nutrición animal. Para las finanzas, la empresa ofrece soluciones financieras y de gestión de riesgo a empresas agrícolas, alimenticias, financieras y energéticas. Por otro lado, también se les ofrece a los clientes suministros físicos, siendo así un proveedor líder en transporte marítimo con una flota considerable de renombre a nivel mundial.

En Costa Rica, Cargill incursionó específicamente en el año 1999 con la adquisición de la marca Cinta Azul. Luego de esto, fue tomando el poder en el mercado nacional mediante la compra de renombradas marcas alimenticias tanto para animales como para personas. Algunas de las marcas son: PIPASA, Cinta Azul, Zaragoza, Castillo del Roble, Kimby, Premier, Ascan, Mimados, Don Gato, Kan Kan, Dogui, Gati y Pet Master.

### **Misión**

“Crear un valor distintivo” (Cargill, 2016).

### **Visión**

Como uno de los mayores compradores mundiales de productos agrícolas, nuestro objetivo es ser el líder mundial en nutrición de personas. Cargill se compromete a utilizar nuestro liderazgo en el mercado para promover un entorno saludable y un suministro seguro de alimentos para una población mundial en crecimiento y más afluente. Creemos que los bosques y la agricultura deben coexistir y ambos son cruciales para la vida en el planeta. Los bosques proporcionan alimentos, agua, combustible, medicina y medios de subsistencia a miles de millones de personas, a la vez que proporcionan un hábitat vital, regulan el clima y almacenan carbono para un entorno más amplio. La agricultura es esencial para el sustento de miles de millones de personas y la seguridad alimentaria para todos. (Cargill, 2016)

A continuación, en la figura 1, se muestra el proceso productivo de la planta procesadora de pollo:

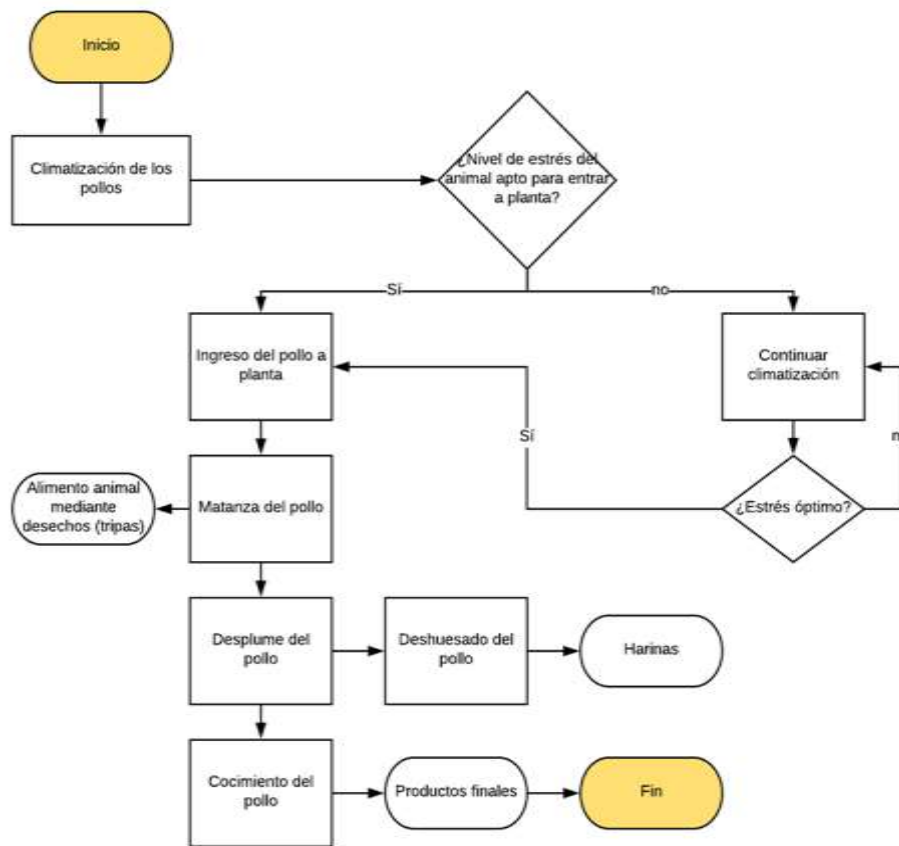


Figura 1. Proceso productivo en Cargill Planta San Rafael (PIPASA)

Fuente: elaboración propia.

Ahora, la planta de Cargill San Rafael está dividida por distintas secciones que intervienen directa e indirectamente en el proceso productivo. A continuación, se mencionan las distintas utilidades que se le da al vapor de agua, las cuales se van a detallar y explicar más adelante.

- *Rendering*
- Producción de pollo
- Lavandería
- Planta Kimby
- Calentamiento de búnker
- Calentamiento de agua
- Trazado para tuberías de búnker





## **Capítulo 2. Sistema de generación de vapor de Cargill Planta San Rafael Costa Rica**

## 2.1 Introducción

El tema del cambio climático ha creado consciencia en las personas durante los últimos años, esto debido a las consecuencias evidenciadas en los estilos de vida y en desastres naturales presentes en el planeta. Gracias a esto, las personas han comenzado a tomar acciones para detener dicho cambio climático, desde los hogares hasta las grandes industrias de producción. Disminuir la huella de carbono mediante la carbono neutralidad es un paso que cada vez más empresas están intentando dar, con el fin de ayudar a sus respectivos países a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) al medio ambiente.

Dejar de utilizar fuentes de energía provenientes de derivados del petróleo y sustituirlas por energías renovables reduce considerablemente la emisión de GEI a la atmósfera, gracias a sus bajos porcentajes de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso.

El proyecto presentado en este documento consiste en la sustitución de una caldera de búnker-C (*Oil 6 Fuel*) por otra de un combustible menos nocivo para el medio ambiente, respaldado por un estudio energético, técnico y económico que justifique la sustitución de la caldera para la empresa Cargill Planta San Rafael ubicada en la provincia de Alajuela. Mediante el uso de un cuadro, se comparan los combustibles candidatos a sustituir el búnker-C, tomando en cuenta aspectos como la disponibilidad que haya en el país, el precio establecido por distintos proveedores y la demanda requerida de vapor por el sistema instalado en planta.

La implementación de este proyecto ayudaría a la planta a cumplir con el lema bajo el que Cargill se rige a nivel mundial: *“Helping the World Thrive”* [ayudando al mundo a prosperar]. Esto gracias a una producción amigable con el ambiente. Además de los beneficios económicos, ambientales y de imagen que puede brindar la no continuidad del consumo de búnker para la generación de vapor.

## 2.2 Planteamiento del problema

La empresa Cargill tiene como uno de sus objetivos principales realizar los procesos de producción de una manera responsable y con el menor impacto medioambiental posible. Es decir, tener una producción que emita la menor cantidad posible de contaminantes y gases de efecto invernadero (GEI). Además, por encima de todo está la seguridad de las personas y en todo proceso productivo o actividad que se realice dentro de la empresa. La seguridad en Cargill es prioridad.

Actualmente, el sistema de generación de vapor de la planta de Cargill ubicada en San Rafael de Alajuela está conformado por dos calderas que funcionan con búnker-C (*Fuel 6 Oil*) como único combustible para la puesta en marcha de los equipos. Una de las calderas requiere ser sustituida por motivos de seguridad. Ya que, a pesar de que su vida útil está llegando a su fin, a la caldera se le han realizado gran cantidad de trabajos adicionales para mejorar su rendimiento, por lo que sus condiciones actuales son peligrosas para los operarios cerca de la zona.

Por otro lado, Cargill tiene la intención de reducir sus emisiones de GEI para seguir una línea de huella verde que distinga y destaque a la institución. Sin embargo, el combustible utilizado para la generación de vapor provoca grandes cantidades de emisiones que son dañinas para el medio ambiente, principalmente de dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Solamente en el año 2017 se emitieron alrededor de 10 052 toneladas de dióxido de carbono equivalente provenientes de la generación de vapor. En el 2018, solo entre los meses de enero y julio se han emitido aproximadamente 5 652 toneladas de dióxido de carbono equivalente.

A lo anterior hay que agregarle la constante molestia de los vecinos alrededor de la planta, debido a los olores de búnker quemado y demás gases que expulsan las calderas. A su vez, es muy probable que las molestias incrementen, ya que se espera la pronta apertura de un colegio técnico al costado noroeste de la planta.

En caso de que la empresa desee alcanzar la C-Neutralidad, pero las emisiones de  $CO_2$  emitidas por el sistema de generación de vapor no se logren reducir, se deben adquirir las unidades de compensación costarricenses (UCC). Es decir, se debe pagar un monto de \$7,5 por cada tonelada de dióxido de carbono emitida a la atmósfera. Por consiguiente, las toneladas emitidas solamente por las calderas en el 2017 equivalen a un monto aproximado de \$75 390 y entre los meses de enero y julio del 2018 son \$42 390.

Reducir las emisiones de dióxido de carbono al medioambiente puede traer muchos beneficios para la empresa. Por ejemplo, al vender productos bajo el sello de huella verde, se puede aumentar la competencia en el mercado a nivel local con otras marcas.

### **2.3 Objetivo general**

- Desarrollar una propuesta que justifique la sustitución de una caldera de combustible de hidrocarburos (búnker-C) por otra de un combustible más beneficioso para la empresa Cargill Planta San Rafael, mediante un estudio técnico, energético, ambiental y financiero.

### **2.4 Objetivos específicos**

- Establecer un estudio energético previo a la sustitución de la caldera que determine las demandas energéticas de vapor en la planta.
- Precisar el tipo de combustible óptimo para la sustitución del búnker-C mediante una comparación de ventajas y desventajas que se adecuen a las necesidades de la planta.
- Calcular los índices financieros (TIR, VAN, PR) del sistema de generación de vapor seleccionado para Planta San Rafael, con el fin de que, mediante la realización de un análisis financiero, se valide la propuesta.
- Verificar la reducción de las emisiones de  $CO_2$  anuales con la sustitución de la caldera de búnker-C para que el cambio del combustible propuesto sea válido.

## 2.5 Justificación

La tendencia del uso y la búsqueda de las energías renovables han incrementado con el pasar de los últimos años, debido a los graves impactos que ha causado el cambio climático sobre la humanidad. Las personas están conscientes de que un cambio es necesario y por esto una gran cantidad de países se han encaminado hacia la reducción de emisiones de GEI para obtener el título de carbono neutralidad.

Más específicamente, en Costa Rica, para el año 2012 el transporte aportaba la mayor cantidad de emisiones de GEI al medioambiente con un 69%, seguido por la industria manufacturera y de construcción con 16%, la cual es la categoría en donde entra Cargill (Zárate y Ramírez, 2016).

Costa Rica ha fijado como objetivo alcanzar la carbono neutralidad para el año 2021 y para el año 2016 había más de 65 empresas con el sello de carbono neutralidad por medio de los verificadores autorizados EARTH e INTECO, bajo la norma INTE 12-01-06:2011. Las personas y familias también pueden ser parte del reto, disminuyendo su huella de carbono y adaptándose a través de acciones simples (Villalobos, 2016).

Según el informe de sustentabilidad del 2016, para las plantas de Cargill en Brasil relacionadas con producción de alimentos para personas y nutrición animal, las toneladas de dióxido de carbono equivalentes son de 8847. En comparación al año anterior, estas se vieron reducidas 8794 Ton  $CO_{2eq}$ . Sin duda es un dato preocupante, ya que, como se menciona anteriormente, para el año 2017 en planta San Rafael se emitieron 10 052 Ton  $CO_{2eq}$  al año, solamente por el sistema de generación de vapor, esto sin contemplar las emisiones del resto de la planta (Militelli, Reis, Souza y Baptista, 2016).

Para ese mismo año, la planta de Cargill en San Rafael registra un consumo promedio de búnker-C de 269 144 litros mensuales y un consumo anual de 3 229 728 litros aproximadamente. Según RECOPE, los precios del litro del búnker-C (*Fuel 6 Oil*) publicados en La Gaceta nro. 89 el día 3 de mayo del 2018 es de ₡290,68. Es decir, que la facturación mensual promedio de combustible para generar vapor durante ese año es de ₡ 78 234 790 (\$138 223), mientras que la facturación anual es de ₡938 817 477 (\$1 658 682). Por esta razón, un cambio de las calderas puede implicar beneficios económicos y financieros a la empresa en relación con los gastos para la obtención del combustible.

Tabla 1. Consumo de búnker-C en Planta San Rafael en el 2017

Mes	Consumos Búnker	
	Gal	L
Enero	73 793	279 307
Febrero	63 839	241 630
Marzo	71 313	269 920
Abril	67 624	255 958
Mayo	70 478	266 644
Junio	73 188	277 016
Julio	62 884	238 015
Agosto	77 399	292 092
Septiembre	68 609	259 687
Octubre	77 963	295 092
Noviembre	71 528	270 733
Diciembre	74 708	282 770
<b>Total</b>	<b>853 326</b>	<b>3 228 864</b>
<b>Promedio</b>	<b>711 111</b>	<b>269 072</b>

Fuente: elaboración propia.

A lo descrito anteriormente, se le suma la tendencia de incremento en los precios de las importaciones de barriles de hidrocarburos al país en los últimos años, generando así un aumento en los precios de venta establecidos por RECOPE para que sea posible compensar los gastos de importación. En el gráfico de la figura 2 se aprecia de forma clara que, para el 2015, el costo de las importaciones disminuye un 42,3% aproximadamente (Zárate y Ramírez, 2016). Sin embargo, el precio del búnker-C en el 2018 es un 25% más elevado que el precio vigente en el año 2016 (El Mundo.CR, 2018).

A continuación, se muestra una gráfica que confirma lo dicho:

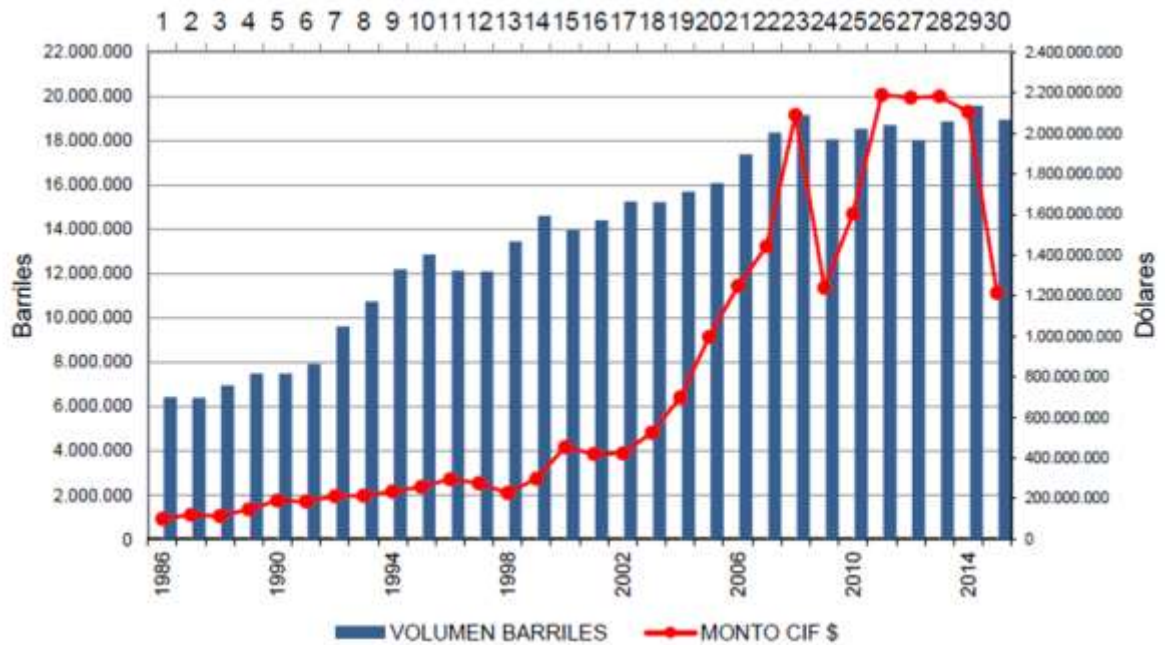


Figura 2. Importaciones anuales de hidrocarburos (1986-2015) en barriles y en dólares.

Fuente: Matriz energética de Costa Rica.

En la figura 2 no se muestran los datos entre el 2015 y el 2018, por lo que no se puede apreciar el comportamiento del costo del búnker. Sin embargo, en la figura 3 se muestran los costos del litro de búnker desde enero del 2017 hasta octubre del 2018. Se nota una tendencia al aumento del costo, aproximadamente un aumento de 6,7% cada año.



Figura 3. Costo del búnker desde enero del 2017 hasta octubre 2018

Fuente: elaboración propia basado en datos obtenidos de RECOPE (2011).

En Cargill Planta San Rafael, los mayores montos de facturación que existen se dan por los pagos de electricidad (demanda y energía) y por la adquisición del búnker. De acuerdo con los pagos registrados desde el mes de enero del 2017 hasta diciembre del mismo año, se genera una matriz que muestre los porcentajes en cuanto a pagos por consumo. Cabe destacar que solo se toman estas dos fuentes de energía, debido a que el sistema de refrigeración fue renovado casi en su totalidad, por lo que no se requiere una compra constante de refrigerantes. Por otro lado, la fuente hídrica que tiene la planta es proveniente en su totalidad de pozos de agua propios ubicados dentro de la propiedad y debido a esto no se generan pagos a entes externos proveedores de agua y el único pago que se realiza es un derecho de extracción de agua a la municipalidad local. El GLP se incluye en la matriz, pero como se puede ver a continuación en la figura 4, el gasto por la compra del mismo es casi insignificante en comparación con los otros dos mencionados.

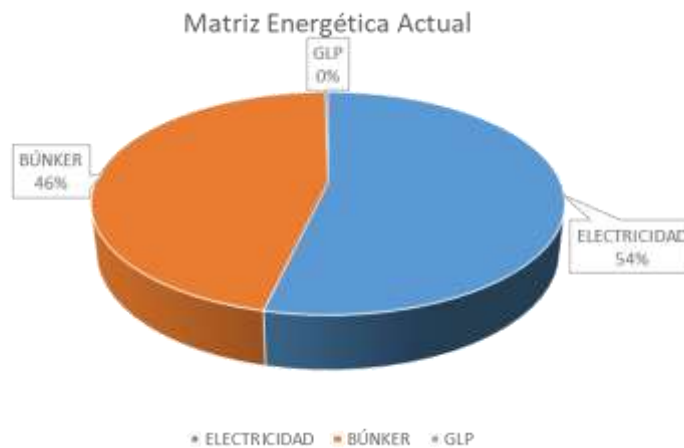


Figura 4. Matriz energética de electricidad y búnker para planta PIPASA

Fuente: elaboración propia.



De la matriz mostrada en la figura 4, se puede observar que el búnker-C representa un 46% del total de la facturación de la empresa. Este porcentaje es bastante considerable, ya que solo un 8% lo separa de lo que representa el pago de la electricidad dentro de la planta (54%). Es decir, que existe una gran dependencia al búnker para que la planta tenga un óptimo funcionamiento y una óptima producción. Si la empresa pudiera disminuir el consumo del *Fuel 6 oil* por otro combustible de menor costo y con buenas condiciones para la combustión, se evidenciaría un ahorro considerable aumentando así las utilidades disponibles para la empresa.

La utilización de GLP como fuente de energía es casi despreciable en comparación al resto, ya que se adquiere en cantidades muy pequeñas y solo tiene utilización en el área de cocinas del comedor.

## 2.6 Viabilidad

Hay varios aspectos que facilitan la investigación y la vuelven viable, entre ellos se pueden mencionar: disponibilidad de recursos financieros, disponibilidad de recurso humano, disponibilidad de acceso a la información, servicio de transporte y comida, son de los aspectos más relevantes.

- Disponibilidad de recursos financieros: la empresa brinda un pago mínimo para cubrir gastos básicos como viáticos, inversión en equipos para medición y combustibles.
- Disponibilidad de recurso humano: los operadores de calderas, la supervisión de José Camareno (supervisor de mantenimiento), supervisión de Gabriela Sibaja (supervisora de mantenimiento), apoyo del ingeniero Ricardo Paniagua (superintendente de mantenimiento), apoyo del ingeniero Diego Quesada (superintendente de refrigeración).
- Disponibilidad de acceso a la información: el fácil acceso a información relevante para la realización del proyecto, consumos de vapor, consumos de búnker-C, entre otros.

- Transporte y comida: la empresa brinda servicio de transporte a las localidades más importantes de la Gran Área Metropolitana (GAM) (Alajuela, Heredia y San José), especialmente para los turnos nocturnos. A su vez, hay una soda localizada en la planta para la compra de alimentos y un comedor gratuito para la comida del almuerzo.

## 2.7 Marco teórico

### 2.7.1 Tipos de combustibles

De acuerdo con el Balance Energético Nacional del 2015, en Costa Rica se registra un consumo energético de 140 514 TJ/año aproximadamente. De este total, un 22% es debido al consumo generado en el sector industrial, es decir, 38 777 TJ/año aproximadamente (Ministerio de Ambiente y Energía, 2015).

Los derivados del petróleo representan un 27.03% del consumo total de energía en el sector industrial. La red eléctrica nacional aporta un 24.35%, mientras que los sistemas para la generación de vapor aportan un 48.62% aproximadamente (DSE, 2014).

Los combustibles derivados del petróleo más utilizados en Costa Rica para los sistemas de generación vapor son el búnker-C, el diésel y el gas licuado de petróleo (GLP). El diésel para generación térmica es una mezcla de hidrocarburos que se obtiene de la destilación fraccionada del petróleo a una temperatura entre 250°C y 350°C a presión atmosférica. Es más sencillo de refinar que la gasolina, tiene mayores cantidades de componentes minerales y de azufre.

Además, tiene un 18% más de energía por unidad de volumen que la gasolina, lo que, sumado a la mayor eficiencia de los motores diésel, contribuye a que su rendimiento sea mayor. Las propiedades del combustible, tales como temperatura de ignición, volatilidad, estabilidad a la oxidación, la potencia, el desgaste, la formación de depósitos y la emisión de gases, dependen directamente de la composición del mismo. Así mismo, este tipo de diésel se establece en el Reglamento Técnico RTCA 75.02- 17:06 según Decreto nro. 33664 COMEX-MINAE y presenta una viscosidad mayor a la del diésel automotriz. Al ser un combustible más pesado, brinda un mayor contenido energético convirtiéndolo en idóneo para la generación estacionaria con un poder calorífico de 10 680 kcal/kg (Refinadora Costarricense de Petróleo, S.A. [RECOPE], 2011).

Por otra parte, está el gas licuado del petróleo (GLP o LPG por sus siglas en inglés), consiste en una mezcla de gases condensables provenientes del proceso de refinación del petróleo. El mismo es inodoro e incoloro, pero se le adiciona un aditivo que le otorga un olor pestilente para posibilitar su identificación en caso de fugas. Los tipos de LPG dependen de los componentes, puede ser solo propano, solo butano o una mezcla de ambos y en menor proporción también están presentes etileno, propileno, butileno y pentano (RECOPE, 2011).

El búnker-C es un combustible que normalmente proviene de la primera etapa del proceso de refinación del petróleo (destilación atmosférica), viscoso y con alto contenido energético, lo cual lo hace apto para ser usado en calderas, hornos y para las plantas de generación eléctrica. En los procesos de refinación del *fuel oil* se obtienen subproductos como aceites, lubricantes y asfaltos, además, contiene grandes cadenas de hidrocarburos. A su vez, es usado como combustible en motores marinos (RECOPE, 2011).

El búnker-C se clasifica con números del 1 al 6, para tal clasificación se considera su punto de ebullición, su composición y su viscosidad. De acuerdo con su número, cuanto más alto sea este, mayor será su viscosidad; mediante decreto ejecutivo nro. 15993 MEC de la Gaceta nro. 32 del jueves 14 de febrero de 1985 se establece la norma vigente para el bunker C.

A continuación, en la tabla 2, se muestra una tabla comparativa de los tres combustibles en aspectos de densidad, poder calorífico y precio:

Tabla 2. Comparación de los tres derivados de petróleo más comunes

Combustible	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Posición	Poder Calorífico (kcal/kg)	Posición	Precio (₡)	Posición	Total
Diésel	843,3	2	10 680	2	497,39	3	7
GLP	533,05	3	12 330	1	226,81	1	5
Búnker-C	936,6	1	10 400	3	308,91	2	6

Fuente: elaboración propia (Datos obtenidos de RECOPE).

En la tabla 2, se muestran los datos de densidad, poder calorífico y el precio en moneda local de los tres combustibles mencionados anteriormente. Las columnas con el título de posición indican la característica más favorable con un número 1 y con un número 3 la menos favorable. La última columna es la suma de las posiciones. En este caso, el número menor es el más favorable, debido a que obtuvo las mejores posiciones en cada una de las características.

Es notable que el gas licuado del petróleo (GLP) posee un mayor poder calorífico en comparación con los otros dos combustibles. Sin embargo, su baja densidad va a recurrir a una mayor cantidad de gas para suplir la demanda energética de combustión, por esto el precio registrado por litro de gas es mucho menor que los otros dos.

Ahora bien, el búnker-C, pese a tener el poder calorífico más bajo entre los tres de la tabla, su alta densidad es de suma importancia, ya que se va a ocupar una menor cantidad de combustible para alcanzar los valores energéticos de combustión deseados, como se menciona anteriormente. Gracias a esto el diésel y el búnker-C poseen los precios más altos.

### **2.7.2 Gases de efecto invernadero y Unidades Costarricenses de Compensación (UCC)**

Los gases de efecto invernadero se definen como componente atmosférico, tanto natural como antropogénico, que absorbe y emite radiación a longitudes de onda específicas dentro del espectro de radiación infrarroja emitida por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. Los seis gases o familias contempladas por el Protocolo de Kioto y el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) son: el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), el metano ( $\text{CH}_4$ ), el hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ), los cloro fluoro hidrocarbonados (CFC) y perfluorocarbonados (PFC) (Hidalgo, 2013).

Contemplando los ámbitos ambientales, se debe analizar los kilogramos de dióxido de carbono emitidos al medio ambiente por litro de combustible consumido ( $\text{kgCO}_2/\text{Lcombustible}$ ) y así corroborar cuál combustible contribuye más a la huella de carbono.

Tabla 3. Factores de emisión de los combustibles

Combustible	$kgCO_2/L$	$kgCH_4/L$	$kgN_2O/L$	$kgCO_{2eq}/L$
<b>Diésel</b>	2,613	0,00122	0,00002442	2,6231
<b>GLP</b>	1,611	0,00027	0,000002745	1,6124
<b>Búnker-C</b>	3,101	0,00138	0,00002769	3,1125

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional (IMN), 2016.

En la tabla 3, se observa de manera clara que el búnker-C es el combustible que más contribuye con kilogramos de dióxido de carbono por litro de combustible consumido. Lo que incrementa la huella de carbono de las industrias y las multas por compensación de las emisiones son más costosas (UCC).

Según el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAЕ), actualmente el costo de la multa tiene un valor de \$7,5 por cada tonelada de dióxido de carbono equivalente emitida al medioambiente y este es el único ente regulador y comercializador de las unidades (FONAFIFO, 2014).

La norma INTE 12-01-06:2011 indica que los factores de emisión utilizados en Costa Rica son los mostrados en la tabla 3 brindados por el IMN. Se pueden utilizar los factores brindados por el IPCC, en caso de que la fuente de emisión esté ausente en el documento oficial del IMN. La siguiente fórmula es aplicada para la obtención de las toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes:

$$Emisión = \sum (Combustible * FE_{CO_2,CH_4,N_2O})$$

Ecuación 1. Emisión de kg CO<sub>2</sub> equivalentes

Fuente: Gómez et al. (2006).

Donde:

- Emisión: kilogramos de CO<sub>2</sub> equivalente
- Combustible: litros del combustible consumido
- FE: factor de emisión

La sumatoria anterior se realiza para el dióxido de carbono, el óxido nitroso y el metano. El cálculo para el dióxido de carbono se realiza igual que la ecuación 1. Los cálculos para el metano y el óxido nitroso antes de introducirlos en la ecuación 1 se realizan de la siguiente manera:

$$Emisión_{CH_4yN_2O} = Combustible * \frac{FE_{CH_4\delta N_2O}}{10^6} * FE_{CO_2}$$

Ecuación 2. Emisión de kg CO2 equivalentes para CH4 y N2O

Fuente: Gómez et al. (2006).

Donde:

- Emisión: kilogramos de CO<sub>2</sub> equivalente por metano y óxido nitroso
- Combustible: litros del combustible consumido
- $FE_{CO_2}$ : Factor de emisión del dióxido de carbono (Tabla 4)
- $FE_{CH_4\delta N_2O}$ : Factor de emisión para metano y óxido nitroso (Tabla 4)

### 2.7.3 Normativas y leyes de Costa Rica

En Costa Rica, existen ciertos decretos y leyes que regulan aspectos como la clasificación de las calderas por su capacidad de producción, la cantidad de partículas que emiten las calderas, concentraciones de compuestos químicos en las emisiones, dimensiones de los cuartos de calderas, entre otros. Esto permite asegurar cierto nivel de seguridad en las instalaciones que contienen los equipos de combustión fija y, a la vez, prevenir emisiones excesivas de contaminantes a la atmósfera.

Según el artículo 2 del decreto nro. 26789-MTSS, las calderas se clasifican de la siguiente manera:

Tabla 4. Clasificación de tipos de calderas

<b>Categoría</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
Capacidad de producción de vapor (kg/h)	Más de 7500	De 2000 a 7500 inclusive	Más de 70 a 2000 inclusive	Menor o igual a 70
Área de superficie de calefacción (m <sup>2</sup> )	más de 200	De 60 a 700 inclusive	Más de 2 a 60 inclusive	Menor o igual a 2

Fuente: decreto nro. 26789-MTSS, artículo 2.

Ahora bien, el decreto nro. 25584 MINAE-H-MP regula las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), oxígeno (O<sub>2</sub>) y hollín que puedan estar presentes en los gases de desecho de los sistemas de combustión fija. En la tabla 5 se ponen en evidencia los valores límites:

Tabla 5. Límites de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y hollín para los gases de caldera

Tipo de combustible	Límites permitidos (porcentaje en volumen)				Nivel máximo de hollín según norma ASME D 2156
	Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )		Oxígeno (O <sub>2</sub> )		
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	
Diésel	12%	13,5%	2%	5%	1
GLP	10,5%	11,5%	1%	3%	1
Búnker-C	12%	13,5%	2%	5%	4
Carbón Mineral	14%	15,5%	3%	5%	4
Diésel Pesado	12%	13,5%	2%	5%	3

Fuente: Decreto nro. 25584 MINAE-H-MP, artículo 88.

El decreto nro. 36551-S-MINAET-MTSS establece el Reglamento sobre Emisión de Contaminantes Atmosféricos Provenientes de Calderas y Hornos de Tipo Indirecto. En él se establecen los valores máximos permisibles de emisión del total de partículas en suspensión, dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).



	GRANDES	MEDIANOS	PEQUEÑOS
CATEGORÍA	A	B	C,D
(*)	135	150	175
(*) Para calderas se clasifican según el Decreto Ejecutivo No. 26789-MTSS:  Reglamento de Calderas, <i>La Gaceta</i> N° 65 del 2 de abril de 1998 y sus reformas.  Para hornos de tipo indirecto se clasifican según el artículo 1º, inciso B) de este reglamento.			

Figura 5. Total de partículas en suspensión permisibles para calderas con combustibles líquidos y gaseosos

Fuente: decreto nro. 36551-S-MINAET-MTSS

La figura 5 es válida para calderas que usen combustibles líquidos y gaseosos, para los sistemas que utilicen biomasa los límites se reducen a 120 mg/m<sup>3</sup> para tipo A, mientras que para los tipos B, C y D el límite permanece igual a los de la figura 11. En la figura 6 se muestran los valores límites de dióxido de azufre para las calderas que usen combustibles líquidos, gaseosos y sólidos (biomasa) de hasta un contenido de azufre del 3%.

	GRANDES	MEDIANOS	PEQUEÑOS
CATEGORÍA	A	B	C,D
(*)	2500	2500	2500

Figura 6. Emisiones permitidas de SO<sub>2</sub>

Fuente: decreto nro. 36551-S-MINAET-MTSS

Este decreto también establece los métodos de muestreo de gases de combustión de las calderas, así como los reportes operacionales, sanciones y control estatal del funcionamiento de las calderas.

Por otro lado, a nivel interno de Cargill, la empresa cuenta con una serie de permisos que habilitan la realización de ciertos trabajos peligrosos, los cuales ponen en riesgo la integridad física del operario o contratista. Estos permisos deben estar firmados y autorizados por los supervisores de mantenimiento, o bien, por los intendentes de mantenimiento, de lo contrario, si el operario procede a realizar algún trabajo que requiera de estos permisos, se expone a una sanción o amonestación.

A continuación, se mencionan los permisos existentes en la empresa y se describen los trabajos que requieren de estos:

- **Permiso para trabajos en espacio confinado:** son permisos que se otorgan a los operarios cuando se necesita realizar algún tipo de trabajo en espacios reducidos y con aberturas limitadas de entrada y salida con ventilación natural desfavorable. Aquí se pueden acumular tóxicos, productos inflamables o incluso puede presentarse una atmósfera deficiente en oxígeno. Por ejemplo, trabajos en tanques, tuberías de gran diámetro, chimeneas, entre otros.
- **Permiso para trabajos de corte y soldadura:** estos permisos se habilitan cuando se requiere realizar distintos trabajos de soldadura, cabe recalcar que estos solo se les entregan a soldadores certificados.
- **Permiso para trabajos de altura:** los permisos de altura se conceden cuando se requiere realizar trabajos a una altura mayor de 1,50 metros. Ya sean trabajos de limpieza, lavado e incluso mantenimiento y cambio de tuberías. Para estos trabajos se requieren equipos de seguridad como escalera y arnés.
- **Permiso para trabajos eléctricos:** son permisos otorgados a personas que van a realizar trabajos que incluyan riesgo eléctrico. Como, por ejemplo, trabajos de mantenimiento a centros de control de motores, paneles eléctricos, transformadores de potencia, entre otros.
- **Permiso para trabajos con andamios:** este tipo de permisos se tramitan cuando hay que realizar trabajos de altura e involucren andamios para alcanzar la altura deseada.

- **Permisos para trabajos de izamiento con grúa:** en la empresa solamente una persona puede tramitar este tipo de permisos y se otorgan cuando algún equipo o maquinaria va a ser trasladado por medio de grúas.
- **Permisos de trabajos en techo:** cuando se realizan trabajos fuera de los caminos de seguridad que se establecen en los techos de la empresa, es obligatorio solicitar un permiso de este tipo.
- **Permisos de línea rota:** consisten en un permiso muy importante para la empresa, ya que se requieren cuando se realiza algún trabajo o mantenimiento sobre una línea que transporta cualquier tipo de flujo. Pueden ser líneas que transporten agua, GLP, aire comprimido, vapor, amoniaco, distintos tipos de combustible, entre otros.

De todos los permisos mencionados anteriormente, los que son de interés y hay que tener en consideración para la puesta en marcha del proyecto y el resto de su vida útil son los siguientes: trabajos en espacios confinados, trabajos de altura, trabajos eléctricos, izamiento con grúa y los de línea rota.

#### 2.7.4 Calderas de combustibles fósiles

Este tipo de calderas utilizan combustibles derivados directamente del petróleo y suelen ser el tipo de caldera más común, debido al alto poder calorífico presente en sus combustibles, lo cual facilita el proceso de combustión.

Las calderas que funcionan gracias a la combustión de estos combustibles tienden a tener una baja inercia. Es decir, son capaces de reaccionar de manera eficaz ante cualquier cambio brusco en la demanda de vapor que se presente en el proceso productivo.

La generación de vapor mediante el uso de calderas de combustibles fósiles suele tener distintas utilidades. Se utilizan para la generación de electricidad; este tipo de aplicación se da en industrias que aprovechan la generación de vapor para alimentar simultáneamente a turbinas generadoras de electricidad y así reducir el costo de la facturación eléctrica. A su vez, se utilizan como generadoras de energía térmica en procesos industriales que requieran el uso de vapor, tales como calefacción, cocción de alimentos, secado de uniformes, entre otros.

Las calderas de gas derivado del petróleo (GLP), a diferencia de las de búnker y diésel, funcionan de una manera más silenciosa y sin emitir tantos contaminantes al medio ambiente. En los últimos años, ha existido la tendencia de transformar los centros de generación de vapor que funcionan con búnker o diésel a que funcionen alimentados por GLP. A pesar de que se requiere una mayor cantidad de combustible, el gas es menos dañino que los mencionados anteriormente.

También existen las calderas que funcionan con dos tipos de combustibles, llamadas calderas duales. Este tipo de equipos implementan una nueva tecnología en el quemador, el cual es apto para la combustión de dos tipos de combustibles. Por lo general, existen quemadores duales de gas (GLP) y búnker, o bien, gas y diésel. Esta nueva tecnología de calderas introduce al mercado una nueva oportunidad de ahorro para las industrias que posean procesos de generación de vapor.

### **2.7.5 Biomasa**

El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz, macadamia), del aserradero (podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica y otros). La disponibilidad de cada recurso varía de región a región, de acuerdo con el clima, el tipo de suelo, la geografía, la densidad de la población, las actividades productivas, etcétera. (Negocios verdes, s.f., párr.2)

La utilización de la biomasa como combustible ha sido una de las opciones en Costa Rica y América Central para reducir el impacto ambiental por el uso de los combustibles derivados del petróleo. El sector agropecuario del país presenta un gran potencial en disponibilidad de residuos biomásicos, disponibilidad que abre la ventana a reducir emisiones de gases de efecto invernadero y una mejora en la eficiencia energética y económica del sector (Coto, 2013).

La biomasa se refiere a cualquier material orgánico derivado de plantas o animales disponible en una forma renovable. La biomasa incluye la madera, cultivos agrícolas, cultivos herbáceos o maderables, residuos orgánicos municipales y excretas (International Energy Agency [IEA], 2012).

Existen dos tipos de biomasa: biomasa seca y biomasa húmeda. La biomasa residual seca hace referencia a todos los residuos obtenidos por actividad humana en los campos agrícolas y forestales, por ejemplo, corteza, aserrín, astillas, trozos, ramas, etc. La biomasa residual húmeda hace referencia a todos los residuos obtenidos por actividad humana o animal que dan como resultado flujos residuales de origen orgánico, por ejemplo, agua residual urbana, residuos industriales biodegradables y residuos ganaderos (Miranda, 2014).

La utilización de la biomasa pura como combustible tiene unas emisiones consideradas neutras, en el sentido de que el CO<sub>2</sub> emitido en la combustión ha sido absorbido previamente de la atmósfera. Por lo tanto, se aplicará a la biomasa pura un factor de emisión de cero (Ton CO<sub>2</sub>/TJ) (Catalunya, 2011). Entiéndase biomasa pura cuando está compuesto como mínimo de un 97 % (en masa) de carbono de biomasa en la cantidad total de carbono presente en el combustible o material.

La aplicación de un factor cero a la biomasa se debe a que la planta absorbe la misma cantidad de CO<sub>2</sub> durante su vida que la cantidad producida al quemar este combustible. Por consiguiente, los GEI se reducen considerablemente al usar biomasa como combustible para la generación de vapor. A esto se le llama un *ciclo cerrado de carbono*.

En Costa Rica, los tipos de combustibles biomásicos más utilizados son: pellets, chips de madera y balas de pasto. A continuación, se muestra en la tabla 6 los factores de emisión para los combustibles mencionados anteriormente.

Tabla 6. Factores de emisión para combustibles biomásicos más comunes de Costa Rica

<b>Biomasa</b>	<b>kgCO<sub>2</sub>/L</b>	<b>kgCH<sub>4</sub>/L</b>	<b>kgN<sub>2</sub>O/L</b>	<b>kgCO<sub>2eq</sub>/L</b>
<b>Chip de madera</b>	0	0,0001287	0,0000819	0,0281
<b>Pellets</b>	0	0,000198	0,000126	0,0432
<b>Balas de Pasto</b>	0	0,0001287	0,0000819	0,0281

Fuente: Gómez et al. (2006).

Cuando se realiza la combustión de la biomasa para la generación de vapor, se va a generar ceniza. Existe una clasificación de biomasa según la composición de su ceniza (Saidur, Abdelaziza, Demirbas, Hossain y Mekhilef, 2011):

1. Biomasa rica en calcio (Ca) y potasio (K) con inclinación a silicio (Si). La ceniza de madera, por lo general, es rica en Ca y K.
2. Biomasa rica en Si y Ca con inclinación a K. La mayoría de estos combustibles pertenecen a biocombustibles herbáceos o agrícolas. Algunos pueden tener alto contenido de potasio y cloro (Cl). La cáscara de arroz tiene altos contenidos de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) y el bagazo lo contiene en menor cantidad.
3. Biomasa rica en Ca, K y fósforo (P). Un ejemplo son los girasoles. Los mayores componentes de la ceniza son  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$  y  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

El poder calorífico de la biomasa depende linealmente del porcentaje de humedad que tenga. Es decir, se va a tener un mayor poder calorífico si se tiene un menor porcentaje de humedad. Existe la posibilidad de extraer la humedad para reducir su porcentaje, pero implica invertir más dinero para someter el producto a procesos de secado.

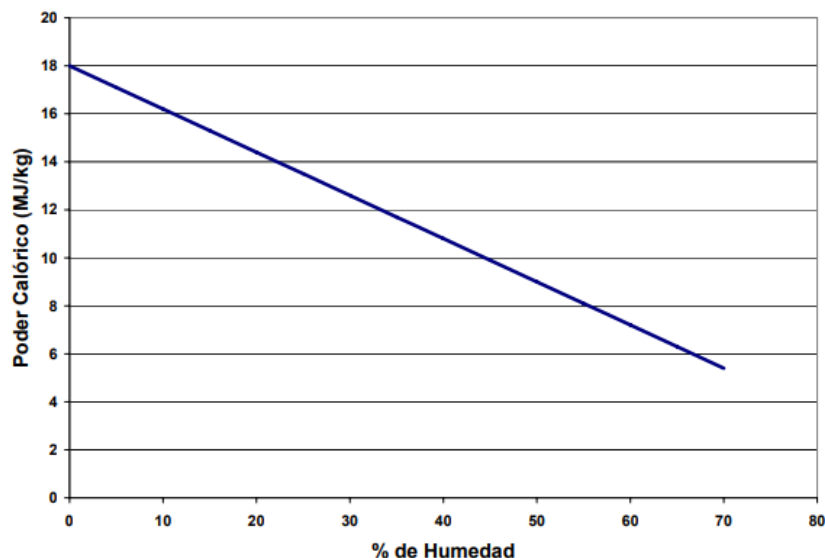


Figura 7. Comportamiento del poder calorífico según porcentaje de humedad

Fuente: Dirección Sectorial de Energía.

De la biomasa húmeda disponible para el año 2012, los sectores agrícolas y de aserraderos representan cerca del 52%, mientras que los sectores pecuarios representan un 47,13%. En tanto que, en biomasa seca, los sectores agrícolas y forestales representan cerca de un 55% y los sectores pecuarios representan un 44,6%. A nivel del total de energía primaria potencial, los sectores agrícolas y aserraderos concentran un 54% del total de esa energía (Coto, 2013).

Sector		Producción (t)	Biomasa Húmeda (t)	Biomasa Seca (t)	Energía Primaria (TJ)
Agrícola y Forestal	Caña	4.005.752	4.534.511	1.782.264	25.277,7
	Piña	2.484.729	8.165.717	817.429	9.482,2
	Palma	1.111.250	444.500	247.142	4.874,3
	Aserraderos	1.002.644	411.084	219.930	4.068,7
	Café	658.346	404.883	96.744	1.587,9
	Banano	1.948.869	405.365	60.805	705,3
	Arroz	214.279	44.999	38.249	590,2
	Naranja	280.000	140.000	21.000	347,6
	<b>Sub total</b>			<b>14.551.058</b>	<b>3.283.562</b>
Sector		Número de Animales	Biomasa Húmeda (TM)	Biomasa Seca (TM)	Energía Primaria (TJ)
Pecuario	G. Lechero	793.563	7.035.243	1.407.049	21.982,8
	G. Carne	630.312	4.928.873	736.387	11.504,8
	Avícola	65.932.297	488.277	430.487	4.986,1
	G. Porcino	831.427	521.464	78.220	1.079,4
<b>Sub total</b>			<b>12.973.858</b>	<b>2.652.143</b>	<b>39.553,2</b>
<b>Total</b>			<b>27.524.916</b>	<b>5.935.705</b>	<b>86.487,0</b>

Figura 8. Biomasa aproximada por sector de Costa Rica

Fuente: Coto (2013).

La figura 8 respalda lo mencionado en el párrafo anterior, donde se evidencia que la mayor cantidad de biomasa disponible en el país es aportada por los sectores agrícola y forestal. Se puede observar que los residuos de caña de azúcar y de piña son los que hay en mayor abundancia, sin embargo, la caña de azúcar es aprovechada casi en su totalidad en autoconsumo por los ingenios, donde la utilizan para la generación de energía eléctrica y vapor de agua. Luego está la piña. El residuo de las siembras de piña es el rastrojo, pese a su gran abundancia en forma de biomasa, la mayor problemática que presenta es su alto porcentaje de humedad (entre 80% y 90% aproximadamente). Por lo que dificulta la opción de utilizarlo como combustible para calderas, pero puede ser aprovechada en otros tipos de proyectos como la generación de biogás impulsada por el ICE (Cascante, 2017).

Ahora bien, los dos sectores siguientes que más aportan biomasa al país son la palma africana y los aserraderos. La palma africana, al igual que la caña de azúcar, es consumida casi en su totalidad por las empresas procesadoras de palma en forma de autoconsumo con los mismos fines que los ingenios. Por otro lado, en los aserraderos se presenta que de cada árbol se aprovecha como madera a lo sumo el 20%, el porcentaje restante se distribuye en residuos, quedando un 40% en las fincas forestales (ramas y raíces) y el otro 40% en los aserraderos en forma de astillas, corteza y aserrín (FAMAGRO, 2015).

La zona Huetar Norte de Costa Rica produce 80 000 toneladas de residuos forestales por año a niveles de aserradero. Este volumen de biomasa puede generar energía de aproximadamente 700 000 GJ por año adicionando estimaciones de residuos acumulados en aserraderos de 713 500 toneladas (FAMAGRO, 2015).

Solamente en la zona de San Carlos, de la biomasa proveniente de la madera, un 36% se utiliza en autoconsumo, un 30% se vende, un 32% se acumula y se degrada y un 2% se regala (Chacón, 2012). Para el año 2016, se producen 109 209 toneladas de biomasa, es decir, en la zona hay aproximadamente 11 113 toneladas de biomasa que no se aprovechan (Barrantes, 2018).



### 2.7.6 Calderas de Biomasa

Las calderas de biomasa son equipos generadores de calor por medio de la quema de materia orgánica. En muchos países de Europa, este tipo de calderas son utilizadas como medios de calefacción ante los fuertes inviernos presentes en el continente.

Este tipo de equipos también tienen mucha utilidad en el ámbito industrial. Muchas empresas alrededor del mundo utilizan calderas de biomasa para generar electricidad por medio de turbinas de vapor, aunque por lo general son empresas que generan su propio combustible como, por ejemplo, los ingenios o arroceras. A su vez, tienen utilidad en la generación de energía térmica (vapor de agua) para alimentar procesos de producción (Miranda, 2014).

Las calderas de biomasa tienen ciertas características y especificaciones que son muy importantes y distintas a las calderas de búnker o diésel que abundan más en la industria. Primero, el tiempo que tarda una caldera de biomasa en elevar la presión de trabajo suele ser mucho mayor en comparación con las calderas de combustibles fósiles. Esto suele causar problemas si la demanda de vapor tiene picos elevados muy variables. Por otro lado, al apagar este tipo de calderas, su temperatura interna necesita un tiempo prolongado para verse reducida, ya que la biomasa continúa quemándose. También, la biomasa cuando se quema produce ceniza y dependiendo de las normativas de cada país que regulan las emisiones, estas cenizas deben de ser procesadas por filtros especiales. Esta ceniza también puede alterar el funcionamiento y la eficiencia de las calderas, si no se cuenta con un buen mantenimiento o limpieza constante de la cámara de combustión (Miranda, 2014).

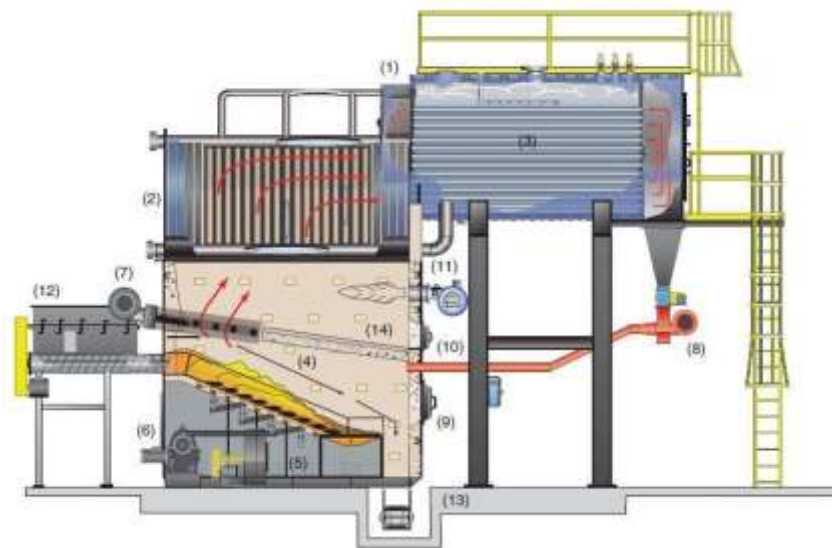


Figura 9. Vista interior de una caldera de biomasa

Fuente: Direct Industry (2018).

En la figura 9, se pueden apreciar las partes básicas que componen una caldera de biomasa. Donde el número 3 señala el tanque de tubos que contiene el agua por evaporar, esta es la caldera en sí y donde se da la generación de vapor. El número 4 es la cámara donde se quema la biomasa, aquí es donde se genera la ceniza y la misma debe ser removida para una óptima operación. El número 11 representa al quemador encargado de la combustión. El número 12 señala el tornillo de alimentación del combustible de biomasa proveniente del silo de almacenamiento, entre otros. En esta representación hacen falta equipos vitales como los filtros de ceniza, el economizador, el recolector de ceniza y la chimenea. Estos son equipos adicionales que mejoran el rendimiento de la caldera.

### 2.7.7 Ventajas y desventajas de utilizar biomasa

#### Ventajas:

- La ceniza generada durante la quema del combustible, además de ser menor a la ceniza generada por búnker-C y diésel, puede ser reutilizada como abono para los suelos.

- La biomasa emite una menor cantidad de gases que afectan la atmósfera en comparación con los combustibles fósiles. Esto sucede ya que los gases que se generan en la combustión de la biomasa equivalen a los gases que absorbe la planta durante su ciclo de vida.
- Impulsa a más empresas a utilizar este tipo de combustible para generar vapor y así contribuir a nivel país a disminuir la huella de carbono.
- Puede ser un impulso de generación de empleo para las zonas rurales, ya que se necesita mucha mano de obra para tratar y procesar la biomasa antes de ser utilizada como combustible.

#### Desventajas:

- No hay un poder calorífico establecido para los distintos tipos de biomasa, ya que este varía según el porcentaje de humedad presente en el combustible.
- Se requiere de un área grande de almacenamiento.
- Implica costos de transporte, ya que, por lo general, la biomasa es producida y procesada en zonas rurales.

#### **2.7.8 Sistemas de generación de vapor por biomasa en Costa Rica**

En Costa Rica, los principales usuarios de biomasa para la generación de vapor son los ingenios o cooperativas. La mayoría de ellos generan vapor para alimentar pequeñas turbinas generadoras de electricidad con la intención de ser independientes y autoabastecerse eléctricamente de manera parcial o total.

CoopeVictoria es una cooperativa localizada en el cantón de Grecia, en Alajuela. En esta localidad, se procesan azúcar y café, por lo que las calderas de biomasa son alimentadas con los desechos de las recolectas de los productos mencionados. Cuando la biomasa generada por la empresa no cubre la demanda del proceso productivo, compran leña de proveedores externos, además de las calderas de búnker que están como respaldo.

Por otro lado, estudiantes del Tecnológico de Costa Rica también han realizado este tipo de proyectos en empresas de alto renombre para optar por los grados de Maestría y Licenciatura. El ingeniero Luis Valerio llevó a cabo el proyecto de la sustitución de las calderas de búnker instaladas en Florida Bebidas S.A. por una caldera de biomasa, con el fin de obtener el grado de Maestría. En conclusión, el proyecto logra reducir los costos de adquisición del combustible en un monto de casi \$580 000 anuales y una disminución de las emisiones de gases efecto invernadero de 18 110 toneladas de dióxido de carbono.

El ingeniero Yonder Miranda también basa su práctica profesional en la sustitución de una caldera de búnker por otra que funcione a base de biomasa. El proyecto fue realizado en Bridgestone y se determinó que, al ahorrarse 283 613 litros de búnker-C por mes, permite un ahorro de \$550 000 anuales aproximadamente, además, con el uso de la biomasa como combustible, se logra evitar la emisión mensual de 700 toneladas de dióxido de carbono a la atmósfera, es decir, 8 400 toneladas de dióxido de carbono anuales aproximadamente.

### **2.7.9 Indicadores financieros**

Según Espinoza (2010), en su libro *Los Proyectos de Inversión*, un estudio de factibilidad está compuesto de antecedentes, un estudio de mercado, un estudio técnico, un estudio financiero y otros, por ejemplo, legales y ambientales.

Una de las secciones más significativas de un estudio de factibilidad es el estudio y análisis financiero. Ya que consiste en determinar, por medio de indicadores financieros, la rentabilidad del proyecto, para la cual es necesario haber estimado con anticipación los ingresos, así como los costos de inversión inicial y los de operación del proyecto (Espinoza, 2010).

Espinoza (2010) establece que un estudio financiero se resume de la siguiente manera:

- Inversión inicial: hace mención del costo de las adquisiciones como terreno, edificios, equipos, activos intangibles. También el costo de consultorías afines.

- Costo de producción y de operación: se refiere a los costos directos, indirectos y generales, relacionados con la operación y la producción. Aquí se puede incluir la materia prima, mano de obra, servicios de energía y pago de impuestos.
- Capital de trabajo: se refiere a la cantidad de efectivo necesario para la operación del proyecto. Por lo general, está relacionado con el nivel de actividad del proyecto y se recupera una vez que este finalice su vida útil.
- Costo de capital: se refiere al costo de financiamiento del proyecto y se determina en función de las distintas fuentes de financiamiento.
- Flujos de efectivo del proyecto: toma como base los precios y las cantidades de producto que se planea vender anualmente según el estudio de mercado, así como los costos de producción, operación y depreciaciones de los activos, se construyen los flujos de efectivo del proyecto, que son los que se utilizarían para calcular la rentabilidad del mismo.
- Rentabilidad del proyecto: para determinarla se hace uso de las técnicas de evaluación de inversiones como el VAN y el TIR.
- Escenarios: se debe llevar a cabo un análisis de al menos tres escenarios (normal, pesimista y optimista), el cual permita sensibilizar la rentabilidad del proyecto ante cambios de las principales variables macro y microeconómicas.

Uno de los puntos importantes de un estudio financiero es la medición de la rentabilidad del proyecto mediante el uso de indicadores. Existen dos tipos de indicadores para el análisis de los proyectos de inversión: indicadores aproximados o no financieros y los financieros (Espinoza, 2010).

A continuación, se mencionan y se describen los indicadores que se consideran más importantes y necesarios para describir o determinar la rentabilidad de un proyecto. Los siguientes indicadores presentados son no financieros (aproximados) como financieros.

### **Periodo de recuperación (PR)**

Según Espinoza (2010), se define como el tiempo en años que tarda en recuperarse el monto de la inversión inicial de un proyecto.

$$PR = \frac{I}{F_n}$$

Ecuación 3. Cálculo del periodo de recuperación

Fuente: Espinoza (2010).

Donde:

- I = Inversión inicial
- $F_n$  = Flujo neto de efectivo anual

### **Valor actual neto (VAN)**

El VAN es uno de los métodos financieros más utilizados en la evaluación financiera del proyecto de inversión, dado que sí toma en cuenta los flujos de efectivo en función del tiempo (Espinoza, 2010).

Consiste en encontrar la diferencia entre el valor actualizado de los flujos de beneficio y el valor actualizado de las inversiones y otros egresos de efectivo. La tasa que se utiliza para descontar los flujos es el rendimiento mínimo aceptable para la empresa (K), por debajo del cual los proyectos de inversión no deben efectuarse.

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^n \frac{F_n}{(1 + K)^n}$$

Ecuación 4. Cálculo del valor actual neto

Fuente: Espinoza (2010).

### **Tasa interna de retorno (TIR)**

La TIR de un proyecto de inversión es la tasa de descuento (r), la cual hace que el valor actual neto de los flujos de beneficio (positivos) sea igual al valor actual de los flujos de inversión negativos (Espinoza, 2010).

$$I_0 = \sum_{n=1}^n \frac{F_n}{(1 + TIR)^n}$$

Ecuación 5. Cálculo de la tasa interna de retorno

Fuente: Espinoza (2010).

## 2.8 Descripción del sistema de generación de vapor

El sistema de generación de vapor instalado en planta San Rafael inicia por medio de una caldera Kewanee y otra Cleaver Brooks de 500 BHP y 350 BHP respectivamente.

A continuación, en la tabla 7, se muestran sus especificaciones:

Tabla 7. Especificación de las calderas

Caldera	Potencia (BHP)	Capacidad (lb/hr)	Combustible	Presión (psi)
Cleaver Brooks	350	12 075	Búnker-C	150
Kewanee	500	17 250	Búnker-C	150

Fuente: elaboración propia.

Dicho sistema tiene una capacidad total instalada de generación nominal de 29 325 lb/hr de vapor. La caldera Cleaver Brooks de 350 BHP trabaja con una eficiencia del 85%, mientras que la Kewanee de 500 BHP trabaja con una eficiencia de 87,5% aproximadamente. Teniendo establecidas las eficiencias de dichas calderas, la generación de vapor real pasa a ser de 25 358 lb/hr de vapor.

La caldera Cleaver Brooks, como se mencionaba anteriormente, es la que se desea cambiar debido a su antigüedad. La mayor carga del proceso productivo es llevada por la caldera Kewanee de 500 BHP, pero mientras se esté efectuando el proceso de matanza de pollo es necesario que la caldera de 350 BHP entre a generar vapor simultáneamente con la de 500 BHP para soportar la demanda, esto debido a que los picos que se generan en el momento sobrepasan la capacidad de la caldera Kewanee. Lo anterior se va a explicar más detalladamente en capítulos posteriores.

A continuación, se describen los procesos que demandan vapor en la planta y se menciona si se consideran cargas constantes o cargas variables de vapor. Este dato va a ser de ayuda para el capítulo 3, donde se describe el desarrollo del proyecto.

### 2.8.1 Rendering

En esta parte de la planta, se procesan todos los subproductos del pollo (desechos): vísceras, plumas, sangre, cabezas, patas, grasa, raspado de pechugas y pollos muertos. Todos los productos mencionados anteriormente son materia prima para la producción de harina. A esta materia prima se le aplica energía calórica en forma de vapor para reducir la humedad y el contenido de agua presente en ella, para luego ser sometida a un proceso de cocción y, finalmente, obtener la harina.

En el *render* hay instaladas seis cocinas que se encargan de realizar los procesos de secado y cocción de la materia que ingresa. Cuatro de ellas son para la cocción de cárnicos y dos para la cocción de plumas y sangre. La demanda de vapor que presentan las cocinas es variable, ya que depende de la cantidad disponible de materia prima proveniente del proceso de matanza del pollo y sus horarios también son distintos días tras día.



Figura 10. Cuatro cocinas de cárnicos

Fuente: Cargill Planta San Rafael



Las cocinas son alimentadas por medio de dos *blow tanks* que le inyectan la materia prima a presión. El *blow tank* encargado de inyectar los cárnicos se presuriza con aire comprimido, mientras que el *blow tank* de plumas se presuriza con vapor hasta alcanzar una presión de 2 bar (29 psi). Este proceso de presurización tarda alrededor de dos minutos en promedio.

El *blow tank* de vapor, al igual que las cocinas, se considera una carga variable, debido a que la inyección de vapor al tanque para presurizarlo tarda dos minutos aproximadamente y la inyección se da justo antes de poner en funcionamiento las cocinas de plumas. Por lo general, hay un lapso de dos horas y media aproximadas.



Figura 11. Blow tank alimentador de plumas

Fuente: Cargill Planta San Rafael

En el *render* también se localiza la máquina expeller que demanda vapor. Esta máquina se encarga de aplastar la harina proveniente de las cocinas para extraer la mayor cantidad de aceite posible y calentar el producto mediante el uso de vapor de agua. La máquina expeller se considera como una carga constante de vapor durante las 24 horas del día, ya que, aunque no haya harina disponible para extraer su aceite, se mantiene en funcionamiento para mantener su temperatura constante.

### 2.8.2 Planta procesadora de pollo

Los equipos que demandan vapor de agua en esta área son un total de 12 estaciones de esterilización que requieren agua caliente para descontaminar utensilios como cuchillos en la sección de cortes. La elevación de la temperatura se da gracias a dos intercambiadores de calor que funcionan por medio de vapor. Cuando el agua pasa por el primero, la temperatura pasa de temperatura ambiente a 65°C y el segundo termina de elevarla hasta los 90°C.

Los esterilizadores en promedio trabajan desde las 7:00 p.m. hasta las 4:00 p.m., cuando se termina de realizar los cortes y proceso del pollo dentro de planta, 21 horas aproximadamente. Esto quiere decir que es una demanda de vapor constante en magnitud, pero variable en el tiempo.

También, hay instaladas tres escaldadoras encargadas del desplume de los pollos, siendo estas las que más demandan vapor en el procesamiento del pollo, debido a la gran cantidad de producto que pasa por ellas. Estas escaldadoras trabajan únicamente durante el proceso de matanza, es decir, de 7:00 p.m. a 10:00 a.m. aproximadamente. Cuando hay matanza de gallinas, el proceso se extiende hasta las 12:00 m.d. Por consiguiente, al igual que los esterilizadores, las escaldadoras son una demanda de vapor constante en magnitud, pero variable en el tiempo.

### 2.8.3 Planta Kimby

En la planta vecina Kimby, los equipos que consumen vapor son dos hornos encargados de cocinar pechuga y salchichón. Actualmente, la cocción de salchichón solo se efectúa por pedidos externos de los clientes, por lo que no es un producto constante. Ahora bien, la demanda de vapor que representan estos hornos en comparación con la totalidad del sistema es casi despreciable para cuestión de cálculos. Sin embargo, es una carga variable, ya que depende de la cantidad de kilos de producto ingresado a los hornos.

#### 2.8.4 Lavandería de planta PIPASA

En la lavandería de la planta PIPASA hay dos secadoras instaladas marca Maxy Dry, las cuales son las que consumen vapor en esta sección para el secado de uniformes. Esta se cuenta como una carga constante en magnitud, debido a que las secadoras tienen una demanda para funcionar en óptimas condiciones, pero en cuanto al tiempo funcionan de la siguiente manera: 26 tandas de secado por día, donde cada una de ellas tarda alrededor de 45 minutos; 30 minutos de secado y 15 minutos de enfriamiento, por lo que el consumo de vapor se da en los 30 minutos de secado.

#### 2.8.5 Tanque de agua caliente

El agua almacenada en este tanque es destinada para muchos usos a nivel de planta. El tanque cuenta con un serpentín en su parte baja por el que pasa el flujo encargado de calentar el agua dentro de él y mantenerla a un promedio de 75°C. Para calentar dicha agua se usa tanto el vapor generado por el secado en las cocinas del render como el vapor generado directamente de las calderas.

En este caso, la demanda de vapor es muy variable, ya que solo va a tener un consumo directo de las calderas cuando las cocinas no brinden la cantidad suficiente de vapor para mantener el agua a 75°C.

A continuación, en la figura 12, se muestra el tanque de agua caliente:



Figura 12. Tanque de agua caliente

Fuente: Cargill Planta San Rafael

### 2.8.6 Tanque principal de búnker

El búnker, al ser un combustible espeso, se mantiene a una temperatura de 50°C para que resulte más sencillo su trasiego, hasta el tanque diario ubicado en el cuarto de calderas. Para mantener la temperatura se hace fluir vapor de agua a una presión de 20 psi a través del serpentín del tanque. Esta se comporta como una demanda constante, ya que siempre se va a requerir de vapor para mantener la temperatura del búnker a niveles óptimos.

A continuación, en la figura 13, se observa el tanque principal de búnker:



Figura 13. Tanque principal de búnker

Fuente: Cargill Planta San Rafael

### 2.8.7 Tuberías de trasiego de búnker

Se trata de una tubería *tracing*, la cual envuelve y calienta las tuberías que transportan el búnker al tanque diario de consumo. Esto con la intención de calentarlas para la facilidad del trasiego. Se comporta también como una demanda constante.

A continuación, en la figura 14, se observa la tubería de trasiego:



Figura 14. Tubería de trasiego de búnker

Fuente: Cargill Planta San Rafael.

En la figura 15, se desglosan los porcentajes de consumo de búnker de cada proceso descrito anteriormente. Se evidencia que el proceso de *render* es el que más consume vapor, ya que las cocinas junto a la máquina expeller y al *blow tank* suman un 77,6% del consumo total. Luego, sigue la planta procesadora de pollo con un 10,83% del consumo, del cual las escaldadoras de pollo son las que más demandan vapor. En un tercer lugar, está el tanque de agua caliente con 9,59% del consumo total. Luego, en menores proporciones y demandas muy pequeñas están las dos secadoras de la lavandería, el calentamiento del serpentín del tanque de búnker, las tuberías de trasiego de búnker y la demanda requerida por los dos hornos de la planta Kimby.

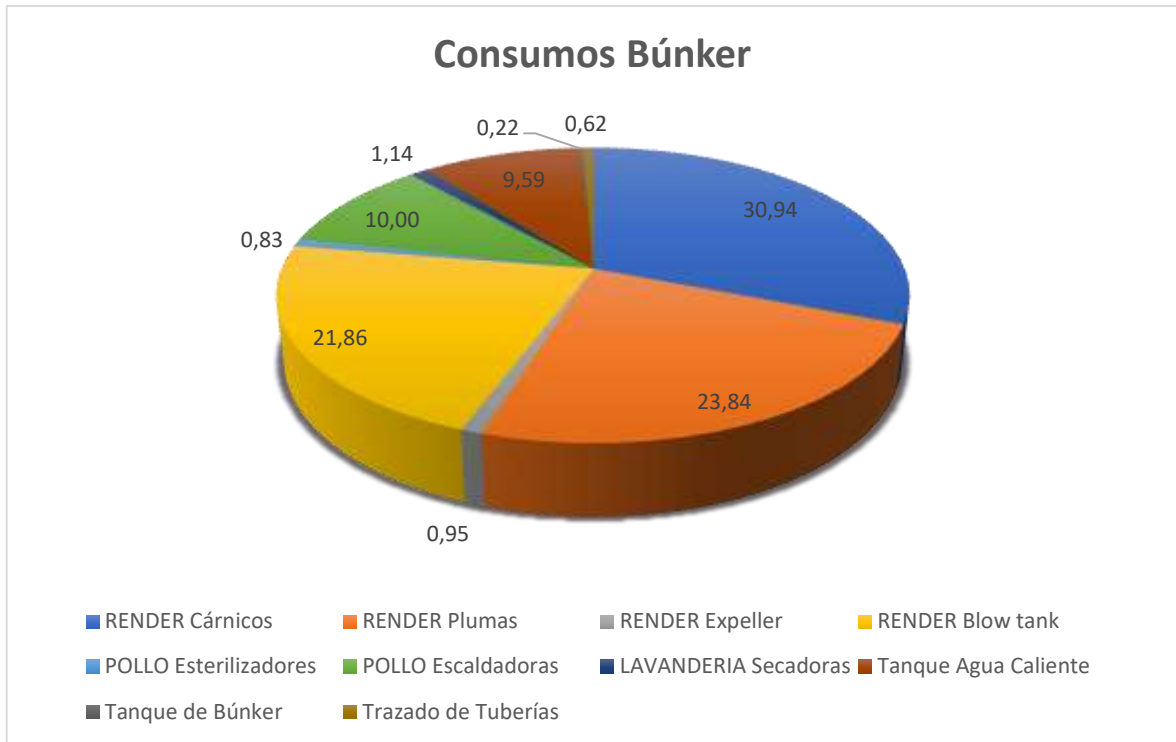


Figura 15. Desglose de consumos de búnker

Fuente: elaboración propia.

### 2.9 Alcance

Con la realización de este proyecto, se busca ayudar a la empresa a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero mediante la sustitución de una de las dos calderas de búnker-C que funcionan en la planta San Rafael, además de ayudar a mejorar la imagen ambiental de la empresa ante sus competidores, se pueden reducir los costos de obtención del combustible.

Se brindará un análisis económico detallado de los posibles escenarios por presentarse con sus debidas propuestas. Dicho análisis es respaldado por indicadores financieros como el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el periodo de retorno (PR).

La realización del proyecto es una propuesta para los departamentos de ingeniería y finanzas de la empresa Cargill, quienes son los encargados de tomar la decisión de aceptar la propuesta u optar por declinarla.

### 2.10 Limitaciones

La principal limitante encontrada es que se requiere de constantes capacitaciones para ingresar a ciertas zonas de la planta de producción. Pese a ser necesario e importante, esto puede ocasionar atrasos en los pasos por seguir mencionados en la metodología para la realización del proyecto.

Por otro lado, en ningún punto de la red de vapor se encuentran instalados medidores de flujo, por lo que la estimación del consumo requiere de tiempo, ya que se debe ir a los equipos y ver si cuentan con datos de placa. De lo contrario, se revisan los manuales directamente de los proveedores y se procede a realizar los cálculos necesarios para obtener un estimado del consumo de vapor.



## Capítulo 3. Desarrollo del proyecto



### 3.1 Metodología

Antes de empezar el proyecto, se establece una metodología por seguir como guía para alcanzar los objetivos planteados en el capítulo 1.

1. Recolección de datos de consumo de vapor, combustible, costos y emisiones

Se realiza una recolección de datos históricos sobre los consumos de vapor, combustible, los costos de los mismos y las emisiones, para luego llevar a cabo un debido análisis de la información.

2. Cálculos de energía, búnker y el combustible elegido necesario para el funcionamiento del sistema de vapor

En esta fase se calcula la cantidad de búnker consumido para obtener el equivalente del nuevo combustible seleccionado necesario para suplir de manera eficiente la demanda de vapor que presenta la planta.

3. Análisis de ahorros por sustitución del combustible

Se analiza el posible porcentaje de sustitución del búnker-C y el ahorro que se obtiene al dejar de consumir el combustible. También se analiza el ahorro en la energía eléctrica consumida por el nuevo sistema.

4. Dimensionamiento de los sistemas para el nuevo equipo de generación

Se dimensiona la nueva caldera y se analizan sus características con base en el código de calderas de Costa Rica. El asilo para almacenar el combustible seleccionado se debe dimensionar, de manera que pueda abastecer la cantidad de combustible demandado por el proceso. También se realiza un diseño del sistema de alimentación de agua (de ser necesario).

5. Análisis de costos del nuevo sistema por instalar y ubicaciones del mismo

Realizar un análisis profundo de los costos que implica la compra e instalación del nuevo sistema, costo de mantenimiento, costo de operación, entre otros. A su vez, analizar la disponibilidad de espacio presente en la planta para posicionar lo mencionado en el punto 4.

## 6. Verificación de permisos necesarios

Analizar cuáles permisos de entes gubernamentales son necesarios para la realización del proyecto.

## 7. Comprobación económica-ambiental

Se realiza un cálculo que permita obtener las emisiones de GEI emitidas por el combustible usado actualmente en comparación con las emisiones generadas por el combustible por seleccionar; también la superficie boscosa equivalente para reprimir dichas emisiones. Además, se realiza un estudio de factibilidad del proyecto, ganancias generadas por el mismo, costo de la inversión inicial y su retorno.

### 3.2 Recolección de consumos de búnker-C y vapor de agua

#### 3.2.1 Búnker-C

En la zona donde se encuentra instalado el tanque de almacenamiento de búnker, hay un dispositivo que mide la cantidad de litros de combustible consumidos por día. Este dato es tomado por los calderistas de turno y anotado en un libro de registros, donde también se llevan los datos de ingreso de búnker al tanque.

En la tabla 9, se muestra el consumo promedio, consumo máximo y consumo mínimo de búnker durante el año 2017 y sus costos respectivos.

Tabla 8. Consumos y costos de búnker-C 2017

BÚNKER-C	(gal)	(L)	Costo ¢/mensual	Costo \$/mensual
<b>Max. Consumo</b>	77.955,00	295.091,78	85.777.277,70	151.549,43
<b>Prom. Consumo</b>	71.100,33	269.144,04	78.234.789,78	138.223,52
<b>Min. Consumo</b>	62.877,00	238.015,34	69.186.298,38	122.236,84

Fuente: elaboración propia.

Ahora, en la figura 16 se puede observar el consumo de litros de búnker-C mes a mes desde enero del 2017 hasta junio del 2018. Donde octubre y julio son los meses que presentan el consumo máximo y mínimo respectivos mostrados en la tabla 9. Más adelante se analiza los consumos de vapor de agua mes a mes para comprobar los consumos de búnker mencionados anteriormente.

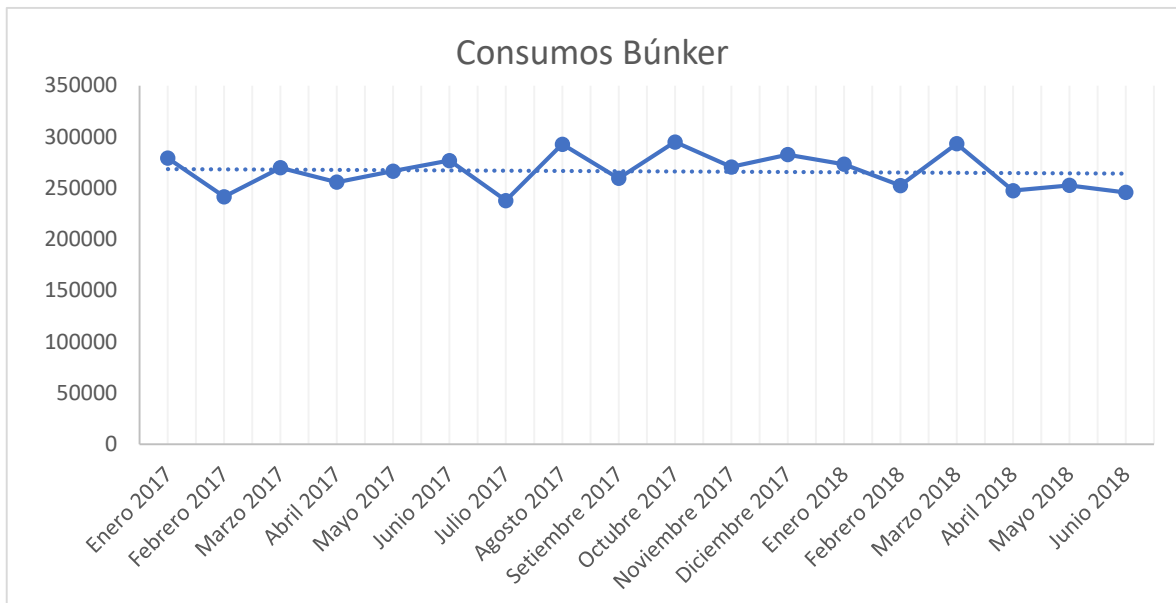


Figura 16. Consumos en litros de búnker enero 2017 hasta junio2018

Fuente: elaboración propia.

Ahora bien, según el consumo de búnker, se puede determinar la cantidad de energía que demanda la producción de vapor de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$Energía_{comb_{bun}} = Litros\ de\ Búnker * Densidad\ del\ Búnker * Poder\ Calorífico$$

Ecuación 6.Energía de combustión del búnker

Fuente: Miranda (2014).

De acuerdo con los datos de consumo de búnker presentados en la tabla 9, se obtienen los siguientes consumos energéticos demandados por la producción de vapor en la planta. Estos datos energéticos facilitan calcular la equivalencia del combustible necesario que se vaya a seleccionar para que se continúe cumpliendo con la demanda de vapor establecida por la planta.

Tabla 9. Consumos energéticos

Consumo Energético	
Consumo de Energía	(MJ)
Máximo	11 975 355,47
Promedio	10 922 349,63
Mínimo	9 659 090,83

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.2 Vapor de agua

La recolección de datos de vapor es más compleja, debido a que no se cuenta con medidores de flujo instalados en la planta, por lo que se debe averiguar los consumos de los equipos instalados o, en el caso de las cocinas del *render*, revisar los ingresos de productos y realizar los cálculos debidos para obtener la información deseada. Dichos cálculos se apoyan en una auditoría realizada en el mes de agosto del 2017 por parte de la empresa Sílex. En esta auditoría se establecen los consumos de vapor de ciertos equipos, pero únicamente para el mes mencionado anteriormente, por lo que se deben calcular los consumos de vapor para los meses restantes del año.

Para este caso en específico, se calculan los consumos de vapor para el año fiscal pasado, ya que no se cuenta con la información necesaria para abarcar los meses anteriores. Primero se explican los cálculos de las cargas constantes mencionadas en el capítulo 2: máquina expeller, esterilizadores, escaldadoras, secadoras, tanque de agua caliente, tanque de búnker y tuberías de trasiego de búnker.

Como se explica en el capítulo 2, los esterilizadores trabajan a cierta temperatura gracias a los dos intercambiadores de calor que se encargan de elevar la temperatura del agua. Según el reporte de la auditoría de Sílex, el rebalse de agua de los esterilizadores es de 0,77 galones por minuto de agua (2,91 L/min), con esto se procede a calcular la demanda de vapor por los intercambiadores.

$$Vapor = \frac{masa\ de\ agua * c_p * \Delta T}{h_{vapor}} * n_{int} * 30días * hr_{proceso}$$

Ecuación 7. Consumo de vapor esterilizadores

Fuente: Auditoría Silex.

Donde:

- $c_p$ : calor específico del agua
- *masa de agua*: el consumo de agua al mes expresado en libras
- $\Delta T$ : diferencia de las temperaturas de salida y entrada en el intercambiador
- $h_{vapor}$ : calor específico del vapor a 100 psig
- $n_{int}$ : eficiencia del intercambiador
- $hr_{proceso}$ : tiempo aproximado que trabaja la planta en horas

Otras de las cargas constantes son las dos secadoras presentes en la lavandería de la planta. Como se explica en secciones anteriores del documento, el tiempo que duran consumiendo vapor es de 30 minutos aproximadamente y de acuerdo con el catálogo del fabricante, esos equipos tienen un consumo energético de 210 000 BTU/h (222 MJ/h), por lo tanto, la ecuación 8 permitirá obtener el consumo de vapor de las dos secadoras.

$$Vapor = \frac{Consumo\ Energético}{h_{vapor}} * 2$$

Ecuación 8. Consumo de vapor para las secadoras

Fuente: Conocimiento adquirido.

Para la obtención del consumo de vapor que requiere el calentamiento del búnker, se toma el dato directo registrado en la auditoría. Se procede a aforar la descarga de condensado de la trampa de vapor, la cual está abierta al ambiente, para obtener un valor de condensación.

De la misma manera que se obtiene el consumo para el calentamiento del tanque de búnker, se obtienen los consumos para la demanda del trazado de las tuberías de vapor y la demanda de la máquina expeller. Sin embargo, para las cocinas de *rendering* y para el *blow tank* de plumas, se determina la demanda de vapor según la cantidad de producto que sea ingresado, en otras palabras, dicha demanda será muy variable en el tiempo.

El departamento encargado del *rendering* cuenta con un registro de las horas de funcionamiento de las cocinas, así como la cantidad de producto que es ingresado a ellas y al *blow tank* de plumas. A nivel interno, se maneja un índice que funciona de la siguiente manera: del total de plumas ingresadas a las cocinas, se obtiene un 26% aproximado de harina, mientras que para el caso de los cárnicos se obtiene un 29% o 30% de harina. El resto del producto es evaporado en forma de agua y se aprovecha para calentar el serpentín del tanque de agua caliente.

A continuación, en la tabla 10, se ejemplifica el cálculo para el mes de octubre:

Tabla 10. Libras de materia prima de cocinas

OCTUBRE 2017			
Total visera cruda (lb)	1.684.748,00	Total pluma/sangre (lb)	494.281,00
Total harina visera producida (lb)	488.576,92	Total harina pluma producida (lb)	128.513,06
Total agua evaporada (lb)	1.196.171,08	Total agua evaporada (lb)	365.767,94

Fuente: elaboración propia.

Seguidamente, se procede a calcular el vapor requerido por las cocinas de vísceras para el mes de octubre:

$$Vapor = \frac{[(m_{agua} * c_{pagua} * \Delta T)/n_{cocinas}] + [(m_{agua} * c_{latente})/n_{cocinas}]}{h_{vapor}}$$

Ecuación 9. Consumo de vapor mensual para cocinas de cárnicos

Fuente: Auditoría Silex.

Donde:

- $c_{pagua}$ : Calor sensible del agua
- $c_{latente}$ : Calor latente del agua
- $n_{cocinas}$ : Eficiencia de cocinas
- $m_{agua}$ : Masa de agua evaporada

Ahora bien, para obtener el consumo de vapor de las cocinas de plumas, se usa la siguiente ecuación:

$$Vapor = \frac{\left(\frac{h_{out} - h_{in}}{n_{cocinas}} * m_{total}\right) + [(m_{agua} * c_{latente})/n_{cocinas}]}{h_{agua}}$$

Ecuación 10. Consumo de vapor mensual para cocinas de plumas

Fuente: Auditoría Silex.

Donde:

- $h_{out}$ : Entalpía de salida a 20 psig
- $h_{in}$ : Entalpía de entrada a 20°C
- $m_{total}$ : Masa total de plumas y cárnicos

Seguidamente, se procede a calcular el consumo de vapor del *blow tank* alimentador de plumas con la siguiente fórmula:

$$Vapor = \frac{Energía\ de\ cocinas}{33475} * 34,5$$

Ecuación 11. Consumo de vapor de blow tank

Fuente: Conocimiento adquirido.

Una vez obtenido el valor de consumo de las cocinas, se puede determinar la demanda de vapor para mantener caliente el tanque de agua. Se debe calcular la energía necesaria para mantener el tanque a 74°C, luego se resta esta energía menos la energía producida por el agua evaporada en las cocinas (es la energía disponible para inyectarle al serpentín del tanque). El resultado de la resta es la energía extra que necesita suministrar la caldera en forma de vapor para mantener el agua del tanque a su temperatura óptima.

A continuación, se explican las ecuaciones por utilizar:

$$Q = \frac{m * c_p * \Delta T}{n_{serpentín}}$$

Ecuación 12. Energía requerida para el tanque de agua caliente

Fuente: Auditoría Silex.

$$Q_{dispo} = \frac{m_{ev} * h_v}{hr_{cocinas}}$$

Ecuación 13. Energía disponible por cocinas

Fuente: Auditoría Silex.

$$Vapor = \frac{\frac{Q - Q_{dispo}}{h_v}}{n_{serpentín}}$$

Ecuación 14. Vapor requerido por calderas

Fuente: Auditoría Silex.

Donde:

- $m$ : flujo másico del agua
- $c_p$ : calor específico del agua
- $h_v$ : Entalpía específica del vapor
- $n_{serpentín}$ : eficiencia del serpentín
- $hr_{cocinas}$ : horas que trabajan las cocinas
- $m_{ev}$ : masa de agua evaporada en cocinas

Habiendo realizado todos los pasos anteriores para los meses que abarcan desde junio 2017 hasta junio 2018, se obtiene el gráfico de la figura 17. Dicho gráfico muestra la tendencia de demanda de vapor por mes de la planta con un consumo máximo de 10 342 503 lb/mes, un consumo promedio de 9 742 169 lb/mes y un consumo mínimo de 9 175 438 lb/mes.

En el presente gráfico, los datos pueden tener un porcentaje de error asociado a las cantidades de producto ingresadas a las cocinas y *blow tank*. Además, el error del operario a la hora de hacer los apuntes en los registros puede alterar levemente los resultados.

Se puede observar de manera clara que, en la figura 17, el mes en el que más se produjo vapor fue octubre del 2017. El consumo de vapor se ve disminuido en el transcurso del presente año, esto se confirma con la explicación del encargado de producción de harinas de *rendering*, donde afirma que la producción de harinas en el transcurso del 2018 ha sido menor en comparación con la del año anterior.



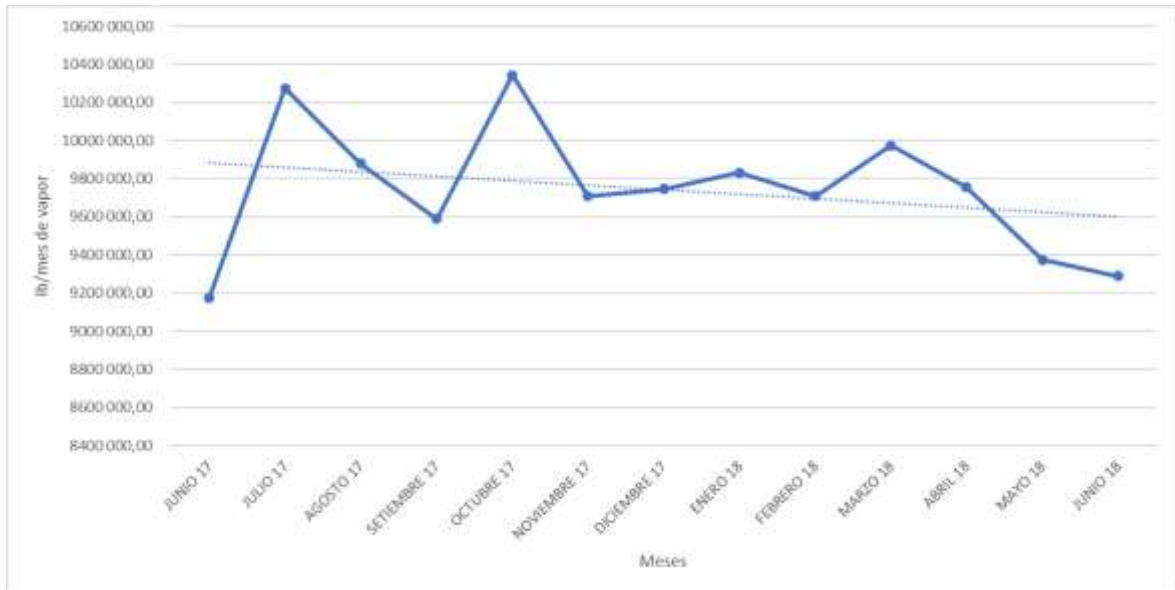


Figura 17. Tendencia de consumos de vapor por mes

Fuente: elaboración propia.

Ahora bien, luego de obtener los consumos por mes para el pasado año fiscal, se procede a calcular un estimado aproximado de los consumos de vapor por equipo. Cabe recalcar que los datos presentados de las demandas variables son un promedio de los resultados obtenidos, por lo que no son demandas reales. Estas pueden variar según los kilos de producto ingresado a distintos equipos.

Tabla 11. Consumos promedio de vapor por equipo

<b>Demandas</b>	<b>lb/h</b>
Cocinas	8 206,95
Expeller	156,21
Blow Tank	4 234,76
Escaldadora	5 492,30
Esterilizadores	155,00
Tanque Búnker	37,26
Tanque Agua	1 871,35
Trasiego Búnker	104,53
Lavandería	353,00
<b>TOTAL</b>	<b>20 611,36</b>

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 12, se muestran los consumos promedios de vapor por equipo mencionados anteriormente, para un total de 20 611,36 lb/h. Sin embargo, es incorrecto afirmar que ese dato total es el consumo base de la planta, debido a que no todos los equipos funcionan simultáneamente e incluso este valor podría aumentar o disminuir dependiendo de la cantidad de materia prima que se les ingresa a los equipos con cargas variables

Analizando las figuras 16 y 17, se observa que el mes de octubre del 2017 es el que más consume búnker-C y demanda vapor. Por esta razón, se escoge dicho mes para analizar la simultaneidad de los equipos y establecer los valores reales de consumo de vapor. Específicamente, la primera semana del mes de octubre es la escogida, ya que presenta los mayores consumos de combustible.

En la figura 18, se muestra el consumo de vapor mencionado anteriormente y cada punto presente en la imagen es una hora del día. En ella se puede apreciar que las horas de más demanda son en las que está activo el proceso de matanza, el cual abarca desde las 7:00 p.m. hasta las 10:00 a.m. aproximadamente. Mientras que en las llanuras del gráfico se encuentran los lapsos de poca producción. Aquí no todas las cocinas están encendidas o en funcionamiento, por lo tanto, una de las calderas es capaz de llevar toda la carga de la planta (la caldera Kewanee de 500 BHP).

En la tabla 13, se tabulan los datos de consumo de vapor mínimo, promedio y máximo representados en la gráfica de la figura 18. Se obtiene un consumo mínimo de 6 631 lb/h (3 ton/h), un consumo promedio de 15 000 lb/h (7 ton/h) y el pico de mayor consumo es de 24 595 lb/h (11 ton/h). Se debe recordar que estos son los datos del mes con el mayor registro de consumos, por ende, el dato de consumo mínimo presente en la tabla 13 no es el menor que existe en el sistema de vapor. Sin embargo, los datos de consumo promedio y máximo sí son más estables en el transcurso del año.

Al obtener los datos de consumos reales de vapor y compararlos con la capacidad nominal de producción instalada, se evidencia que el sistema actual no es aprovechado en su totalidad. Las calderas instaladas tienen una capacidad de producción de 29 325 lb/h (850 BHP), mientras que la demanda promedio real de la planta es de apenas 14 903 lb/h (430 BHP). En otras palabras, el sistema actual es aprovechado en tan solo un 51% aproximadamente. Está claro que hay picos de demanda que se elevan de manera considerada, sin embargo, las demandas presentadas en estos picos no prevalecen tanto tiempo en comparación con la demanda promedio de la planta.

El sobredimensionamiento de estos sistemas es común cuando se utilizan combustibles fósiles, ya sean líquidos o gaseosos (búnker, diésel, GLP, kerosene, entre otros), debido a que suelen diseñarse a partir de la demanda máxima para garantizar la cobertura de los picos extremos que se presentan. Estas calderas no suelen tener problemas con lo anterior, debido a que cuentan con inercias muy bajas que les permiten reaccionar ante cualquier cambio espontáneo de demanda.

Para los sistemas con calderas de biomasa, la situación es diferente. Si se dimensionan a partir de la demanda máxima, la caldera va a tener problemas al momento de adaptarse a los cambios de demanda, debido a que son calderas con inercias bastante altas. Si se presenta un pico de demanda de 5 minutos, en el cual se demande una cantidad muy superior a la demanda promedio, la caldera de biomasa no va a ser capaz de responder a la generación de vapor. Una vez que finalice este pico, la caldera apenas va subiendo su capacidad.

Es importante mencionar que no se recomienda cubrir la demanda de vapor con 100% de biomasa y sustituir por completo el combustible fósil. La acción más sensata por realizar es cubrir la mayor cantidad posible de la demanda con biomasa y dejar la caldera de hidrocarburos para que ayude a suplir los picos. De esta manera, se le brinda cierto porcentaje de confiabilidad al sistema y se asegura una buena eficiencia para cubrir lo que la planta demanda en cualquier momento.

Tabla 12. Consumos reales de vapor para la primera semana de octubre 2017

<b>Consumo Octubre</b>	<b>lb/h</b>	<b>kg/h</b>
MAX	24.595,40	11.156,29
PROM	14.903,72	6.760,22
MIN	6.630,86	3.007,71

Fuente: elaboración propia.



### 3.3 Análisis y escogencia del combustible

En la escogencia del nuevo combustible por utilizar para la generación de vapor, se deben considerar los aspectos mencionados en la sección 2.8.2 del presente documento: la densidad, el poder calorífico y su costo de venta. Se evalúan distintos escenarios para diferentes combustibles. Específicamente, se analiza el escenario actual con búnker-C como combustible, un eventual escenario de utilización de GLP como combustible y el último escenario analizado es con el uso de biomasa como combustible, más en específico, los chips de madera.

También se analiza la posibilidad de usar los lodos generados en los procesos productivos procesados en la planta de tratamiento de agua que posee el complejo. A continuación, se muestran en la tabla 13 los aspectos mencionados anteriormente para los combustibles por analizar:

Tabla 13. Aspectos importantes de combustibles por analizar

	<b>Poder Calorífico (MJ)</b>	<b>Densidad (kg/m3)</b>	<b>Precio</b>
<b>Búnker-C</b>	41	989,8	\$0,5/L
<b>GLP</b>	51	560	\$0,39/L
<b>Chip</b>	8	250	\$0,5/Ton

Fuente: elaboración propia.

Con los datos mostrados anteriormente, se puede calcular la cantidad necesaria de cada tipo de combustible para satisfacer la demanda energética de la planta. Dicha demanda se muestra en la tabla 10. De igual manera, se menciona de nuevo a continuación:

- Consumo energético máximo: 11 975 355 MJ
- Consumo energético promedio: 10 922 350 MJ
- Consumo energético mínimo: 9 659 091 MJ

Una vez establecidos los consumos energéticos de la planta relacionados al vapor de agua, se puede obtener la cantidad de combustible necesario con las siguientes fórmulas:

$$GLP_{Equivalente} = \frac{\text{Consumo energético}}{P.\text{Calorífico}_{GLP} * \text{Densidad}_{GLP}}$$

Ecuación 15. GLP necesario para suplir demanda

Fuente: Conocimiento adquirido.

$$Biomasa_{Equivalente} = \frac{Consumo\ Energético}{P. Calorífico_{chip} \left(\frac{MJ}{kg}\right)}$$

Ecuación 16. Chip de madera necesario para suplir demanda

Fuente: Conocimiento adquirido.

A continuación, en la tabla 14, se muestran las distintas cantidades de combustible necesario para suplir la demanda mensual que presenta la planta de Cargill. Además, también se evidencia el costo que representa cada combustible para satisfacer la demanda.

Tabla 14. Comparación de consumos mensuales de combustibles

<b>Consumos</b>	<b>Litros de búnker</b>	<b>Litros GLP</b>	<b>Ton de chips</b>
Consumo Máx	295 092	419 305	1 497
Consumo Prom	269 144	382 435	1 365
Consumo Mín	238 015	338 203	1 207
<b>Costos Mensuales</b>	<b>\$Búnker</b>	<b>\$GLP</b>	<b>\$Chips</b>
Consumo Máx	151 549	168 025	74 846
Consumo Prom	138 224	153 251	68 265
Consumo Mín	122 237	135 526	60 369

Fuente: elaboración propia.

Tabla 15. Emisiones mensuales de gases efecto invernadero

<b>Combustible</b>	<b>Consumo</b>	<b>Uni</b>	<b>Ton GEI</b>
Búnker-C	269.144	L	837,7
GLP	382.435	L	616,6
Biomasa	1.365	Ton	38,4

Fuente: elaboración propia.

En las tablas 14 y 15, se pueden apreciar los distintos escenarios en costos y emisiones para cada uno de los combustibles evaluados. En el caso del búnker, evidencia la situación actual vivida en la planta. Si se busca conseguir ahorros de algún tipo, no se van a lograr realizando un cambio por otra caldera más eficiente que funcione a base de búnker, ya que los costos van a ser muy similares, además de que se va a continuar contribuyendo con altas emisiones de gases de efecto invernadero. Por otro lado, si se considera sustituir la actual caldera por otra que funcione a base de gas licuado de petróleo, se van a disminuir las emisiones mensuales de gases de efecto invernadero, pero no va a facilitar la tarea de conseguir ahorros. Esto debido a que el costo mensual de adquisición de GLP va a ser mayor que el costo mensual de adquisición del búnker-C.

En un principio, la empresa puso en consideración instalar una caldera dual que funcione con GLP y búnker-C como combustibles. Es poco probable recibir ahorros en sistemas duales búnker/gas, debido a que sus costos por litro son muy similares. Sin embargo, con sistemas duales que funcionen diésel/gas o búnker/gas para sustituir el uso del diésel, sí evidencia una cantidad de ahorro importante, debido a que el costo del diésel es mucho mayor al de los otros dos combustibles restantes. Por ende, el escenario que incluye diésel sí representaría un ahorro significativo, contrario al escenario con el búnker.

El escenario más favorable en cuanto a gastos por adquisición del combustible y disminución de emisiones es el de la biomasa. En las tablas 15 y 16, se pone en evidencia que la disminución de dichos gastos es bastante significativa, además de reducir las emisiones de forma notoria. Por esto se decide realizar los análisis financieros más concretos con base en una caldera que funcione con biomasa como combustible.



Ahora bien, el tipo de biomasa escogida para la alimentación de la caldera es el chip de madera (astilla de madera), el pellet no se toma en consideración, debido a que en la actualidad existe una alta demanda de este combustible y una baja disponibilidad en el país, además, solo existe una empresa con la tecnología y capacidad de tratar la madera para convertirla en pellet propiamente. Según la norma ISO 17225, esta debe cumplir ciertas condiciones y parámetros en cuanto a los contenidos de nitrógeno, azufre, cloro, cenizas, contenido de humedad y poder calorífico para un funcionamiento óptimo de la caldera.

A continuación, en la tabla 16 se comparan los contenidos mínimos establecidos por la norma, con los contenidos presentes en el combustible del proveedor Pelletics.

Tabla 16. Comparación de parámetros del chip de madera

<b>Características del Chip o Astilla de Madera</b>		
<b>Contenidos</b>	<b>Según ISO 17225</b>	<b>Proveedor</b>
Humedad	< 50%	(54,37±0,66)% m/m
Cenizas	< 10%	(1,09±0,04)% m/m
Cloro	< 0,3%	(0,1±0,01)% m/m
Azufre	< 0,2%	(0,09±0,01)% m/m
Nitrógeno	< 1,3%	(0,09±0,01)% m/m
Poder Calorífico (MJ)	8,27	8,21
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	250 < d < 350	250

Fuente: ISO 17225 y resultados de laboratorio.

Al hacer un análisis dentro de los límites establecidos por la norma y los resultados arrojados por el laboratorio del combustible del proveedor, se puede apreciar que, en cuanto a contenido de cenizas, se está aproximadamente un 9% por debajo del límite que exige la norma, debido a esto no hay motivos por los cuales preocuparse por posibles emisiones de ceniza. Además, el sistema que se propone instalar contiene equipos que absorben todo tipo de emisión de ceniza. Por otro lado, en contenido de cloro, azufre y nitrógeno también se cumple con los límites establecidos por ley. En cuanto a contenido de humedad, se sobrepasa un 4% de lo que dicta la norma, sin embargo, es muy común encontrar chip de madera con contenidos de humedad que rondan entre 50% y 55%, por lo que el dato arrojado por el laboratorio no va afectar de ninguna manera. Por otro lado, el poder calorífico cumple también, el dato del laboratorio tan solo varía 0,06MJ del establecido por la norma.

Como se menciona anteriormente, los resultados provenientes del laboratorio son propios de los chips que vende la empresa Pelletics. Sin embargo, es importante contar con uno o dos proveedores más que puedan garantizar las cantidades necesarias de biomasa con la calidad y especificaciones similares a las que se necesita en el proceso. De esta manera, se garantiza la confiabilidad en el suministro de combustible y se prevén desabastecimientos que pongan en peligro la producción en la planta.

Maderas Cultivadas de Costa Rica es otra empresa a la que se contacta para obtener información de sus productos. Esta es una empresa que fabrica muebles de madera y cuenta con varias fábricas a lo largo del territorio nacional. La madera sobrante del proceso de fabricación es tratada y vendida para los distintos usos que se le puede dar, dichos productos son: aserrín, chips frescos del aserrío diario y chips frescos mezclados con aserrín almacenados a la intemperie.

De los productos mencionados anteriormente, los chips frescos del aserrío diario son los de mayor interés para los fines del proyecto, ya que cuentan con un contenido de humedad que va desde 45% hasta 55% y un poder calorífico de 7,78 MJ por cada kilogramo. Los productos que vende la empresa de Maderas Cultivadas son certificados por el ICE, pero no cuentan con estudios y análisis propios de laboratorios. El costo de adquisición depende del volumen que se vaya a comprar, ya que el metro cúbico posee un valor de ₡3 570. El monto anterior equivale a \$24,41 la tonelada métrica, esto para facilidad de comparar los precios entre los proveedores.

Para garantizar un suministro de biomasa constante, se recomienda establecer contratos con las empresas proveedoras del combustible seleccionadas, donde estas se comprometan a satisfacer la cantidad de chip que se necesita para cubrir con la demanda energética. Dicho contrato sirve como respaldo ante cualquier situación adversa en la que la empresa no garantice la disponibilidad de la biomasa. Por ejemplo, que el ente proveedor de combustible decida destinar la mayoría del chip a un nuevo cliente que paga más por la obtención de la tonelada. Además, dentro de los contratos se puede negociar la estabilidad del costo de la biomasa por el tiempo que este tenga rigor, de esta manera los costos para generar vapor a costa de biomasa no se van a ver incrementados.

Como se menciona en el inicio de esta sección, el otro tipo de combustible que se toma en consideración son los lodos propios de Cargill. Los lodos son residuos sólidos que se generan en la última etapa del tratamiento dado a las aguas residuales de los procesos presentes en la planta. Actualmente, el tratamiento y transporte de estos lodos representan gastos para la empresa. Mensualmente, se paga un promedio aproximado de \$10 000 a la empresa encargada de transportar los contenedores llenos de lodos, los cuales se producen en una cantidad promedio de 260 toneladas métricas cada mes.

Estos lodos ya se han sometido a pruebas de laboratorios con la intención de ver qué tan práctico puede ser someterlos a combustión para generar vapor de agua. A continuación, se muestra parte de los resultados:

- Contenido de humedad: 55%

- Poder calorífico (base húmeda): 9,78 MJ

Según los datos anteriores y las demandas energéticas que posee la planta mostradas en la tabla 10, se requieren 1 117 toneladas mensuales de lodos para cubrir solamente la demanda promedio. Este escenario no es posible por obvias razones, ya que solamente se cuenta con una disponibilidad de 260 toneladas de lodos al mes. Sin embargo, existe la posibilidad de balancear y distribuir los consumos de combustible entre los lodos y los chips de madera.

Según la disponibilidad de lodos existente y el poder calorífico que estos presentan, se pueden cubrir 2 542 800 MJ de los 10 922 350 MJ que demanda la planta en promedio, es decir, los lodos pueden cubrir un 23,28% de la demanda promedio. En la tabla 18, se pueden observar las demandas energéticas restantes para los consumos máximos, consumos promedios y consumos mínimos tomando en consideración la magnitud de energía que puede ser cubierta por la combustión de los lodos.

Tabla 17. Demanda energética restante al implementar lodos

<b>Demanda Energético Restante</b>	
<b>Consumo de Energía</b>	<b>(MJ)</b>
Máximo	9.432.555,47
Promedio	8.379.549,63
Mínimo	7.116.290,83

Fuente: elaboración propia.

La implementación de los lodos para la generación de vapor repercute directamente en una menor cantidad de chip de madera necesaria para abastecer satisfactoriamente lo que resta de la demanda energética. Esto quiere decir que el costo total para generar vapor a costa de biomasa se va a ver reducido considerablemente, ya que se debe comprar una menor cantidad de chip de madera.

Tabla 18. Cantidades de chip necesaria implementando el uso de lodos

<b>CHIPS</b>	<b>(ton)</b>	<b>Costo \$/mensual</b>
<b>Max. Consumo</b>	1.179,07	58.953,47
<b>Prom. Consumo</b>	1.047,44	52.372,19
<b>Min. Consumo</b>	889,54	44.476,82

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 19 se muestran las cantidades necesarias de chip de madera contemplando la combustión de lodos. Hay una reducción de 305,56 toneladas métricas de chip de madera, ya que sin el uso de los lodos el consumo promedio de chip es de 1 350 toneladas. Esto representa un ahorro de \$15 155 solamente en la compra de chip de madera.

### 3.4 Escogencia de caldera

En secciones anteriores se explica que no es correcto instalar calderas de biomasa de manera sobredimensionada. Lo anterior se debe a los picos de consumo que puede haber dentro del proceso productivo de una planta, ya que, al tener inercias tan elevadas, los equipos no son capaces de reaccionar a los cambios bruscos de demanda. Por esta razón, en un inicio se parte de que la caldera por instalarse debe abarcar solamente la demanda promedio de la planta.

Con ayuda de los datos de consumo mostrados en la tabla 10 y el flujo de vapor de la figura 18, se contacta a dos fabricantes de calderas (uno español y otro belga) con la intención de que en conjunto se pueda encontrar el equipo más apropiado que pueda trabajar bajo las condiciones que presenta la planta. Vale recalcar que ambas marcas de fabricantes ya cuentan con proyectos instalados y puestos en marcha en Costa Rica, por lo que facilita el proceso de obtener referencias acerca del comportamiento del sistema instalado y del proceso de negociación del proyecto.

Además de la gráfica del flujo de vapor, ambos fabricantes solicitan la siguiente información con el fin de familiarizarse con el proyecto y así realizar ofertas más acertadas:

- Presión de trabajo en puntos de consumo: de 7 bar a 10 bar (100 psi a 150 psi)
- Temperatura de salida del vapor: 168 °C aproximadamente
- Horas de funcionamiento al año: 7 482 horas/año
- Consumo promedio de vapor: 15 000 lb/h (7 000 kg/h)

Después de largos análisis en conjunto y de comparar las posiciones de ambos ofertantes, se llega a la conclusión de que los picos de vapor visibles en la figura 18 no son tan críticos como parecen. En otras palabras, las elevaciones del flujo de demanda no tienen una alta repetitividad (cada 10 minutos), sino que se dan cada cierto lapso que le permiten a la caldera poder incrementar la generación de vapor hasta alcanzar el pico de demanda presentado.

Lo explicado anteriormente descarta la posibilidad de incluir dentro del proyecto cualquier tipo de equipo que ayude a suplir vapor en los picos de demanda como, por ejemplo, los tanques acumuladores de vapor. Contemplar el uso de un equipo como este solo implica incrementar los costos del proyecto innecesariamente.

La primera propuesta consta de una caldera de 750 BHP con capacidad de producción de 11,5 Ton/h de vapor (25 353 lb/h) aproximadamente. Esta caldera pese a estar sobredimensionada, está capacitada para cubrir cualquier pico de demanda presentado en el proceso productivo, además de cubrir cualquier posible incremento en la producción de la planta en el futuro. Sin embargo, la problemática se da cuando las demandas de la producción son muy bajas.

El fuego bajo de la caldera de biomasa es de aproximadamente el 25%-30% de la capacidad nominal, es decir, que para esta caldera el fuego bajo es de 3,4 Ton/h (7 605 lb/h). Los datos de consumo mínimo presentados en la tabla 13 representan el mes de mayor demanda del año, por lo que existen consumos mínimos aún más pequeños que los que se muestran. Estos consumos están por debajo de la capacidad mínima de la caldera, por lo que representan un serio problema de constantes arranques y pares de la máquina que pueden repercutir en la disminución de la vida útil del equipo con el paso del tiempo.

Ahora bien, la escogencia de la caldera se lleva a cabo junto al asesoramiento de la empresa ECOsolutions, empresa con los derechos de distribución en el país. La caldera es de la marca española L'Solé y posee las características que se muestran a continuación en la tabla 19:

Tabla 19. Especificaciones técnicas de la caldera de biomasa L'Solé

<b>Fabricante</b>	L'Solé	<b>País</b>	España
<b>Tipo de Medio</b>	Vapor saturado		
<b>Producción Nominal</b>	9 Ton/h	19 842 lb/h	
<b>Potencia Nominal</b>	600 BHP		
<b>Eficiencia</b>	85,6%		
<b>Presión de Diseño</b>	14 bar	203 psi	
<b>Presión de Trabajo</b>	12 bar	174 psi	
<b>Disponibilidad anual</b>	> 7500 h/año		

Fuente: L'Solé.

Con las especificaciones mostradas anteriormente, se puede cubrir una mayor cantidad adicional que la demanda promedio que presenta la planta, ya que, como se muestra en la tabla, la caldera puede producir 9 000 toneladas de vapor, 19 842 libras de vapor aproximadamente. Gracias a que la caldera ayuda a cubrir una mayor parte de la demanda, influye directamente en que la utilización de la caldera Kewanee sea única y exclusivamente para suplir los picos que estén por encima de la producción nominal de la caldera de biomasa. Por ende, se evidencia una disminución considerable en el uso del búnker para la generación de vapor.

A su vez, tomando en consideración la capacidad mínima de la caldera, la cual es 2,7 ton/h (5 952 lb/h), hay un mayor margen para cubrir las demandas por baja producción. Además, las cámaras de combustión de las calderas de biomasa tienen un comportamiento similar al de una fogata. Cuando el equipo se apaga, el combustible presente en dicha cámara va a seguir hirviendo y calentando el medio, por lo que este combustible remanente posibilita cubrir demandas aún más bajas que la mínima producción nominal de la caldera. Con esto se evita que el equipo entre en arranques y paros que influyan en un desgaste.

Otro criterio que se toma en consideración para la escogencia de la caldera es que el fabricante español ofrece una tecnología que permite realizar la combustión con cualquier tipo de biomasa que tenga un contenido de humedad menor o igual a 60%. En otras palabras, la caldera que se considera en la tabla 20 es multicomcombustible, por lo que no hay una dependencia fija al chip de madera en caso de una eventual falta de disponibilidad del mismo. Además, entre las dos calderas analizadas esta es la única con la que se pueden aprovechar los lodos.

En la figura 19 aparece información muy similar a la que se muestra en la figura 18, solamente que se representa con una línea roja la producción nominal de la caldera de biomasa seleccionada. Evidenciando así la gran cobertura que tiene para la demanda total de la planta. Vale recordar que este gráfico representa el mes de mayor consumo, por lo que los picos en los meses restantes pueden ser aún menores que los mostrados, lo que significa una reducción aún más significativa en cuanto al uso de búnker.

El departamento de producción maneja un indicador que muestra un crecimiento en la producción de pollo de 2% anualmente. Sin embargo, el comportamiento de la producción de harinas que se realiza en el *rendering* no es tan estable como el indicador de pollo. Es suficiente con decir que la producción de harinas durante el 2018 ha sido mejor que la del 2017, por lo que no se puede establecer un indicador confiable que muestre el comportamiento de la producción.

La posibilidad de incrementos en la producción con el pasar de los años no representa ningún riesgo para el sistema de generación de vapor propuesto, ya que la capacidad nominal de producción de la caldera es de casi 5 000 lb/h (2 270 kg/h) por encima de la demanda promedio de la planta. Suponiendo que la producción de harinas se comporte igual a la producción de pollo y esta aumente 2% cada año, se necesitarían 300 lb/h (136 kg/h) más de vapor cada año, es decir, se tardaría un lapso de casi 17 años para alcanzar la capacidad de producción de la caldera. Por ende, es un escenario muy positivo para la empresa.



En cuanto al tema de emisión de cenizas en la combustión, el sistema de generación de biomasa incluye un sistema de multiclones junto a un filtro de mangas que se encargan de absorber toda ceniza generada por la quema del chip. Esta ceniza es almacenada en contenedores y puede ser vendida a terceros que le vayan a dar uso como abono para cultivos.

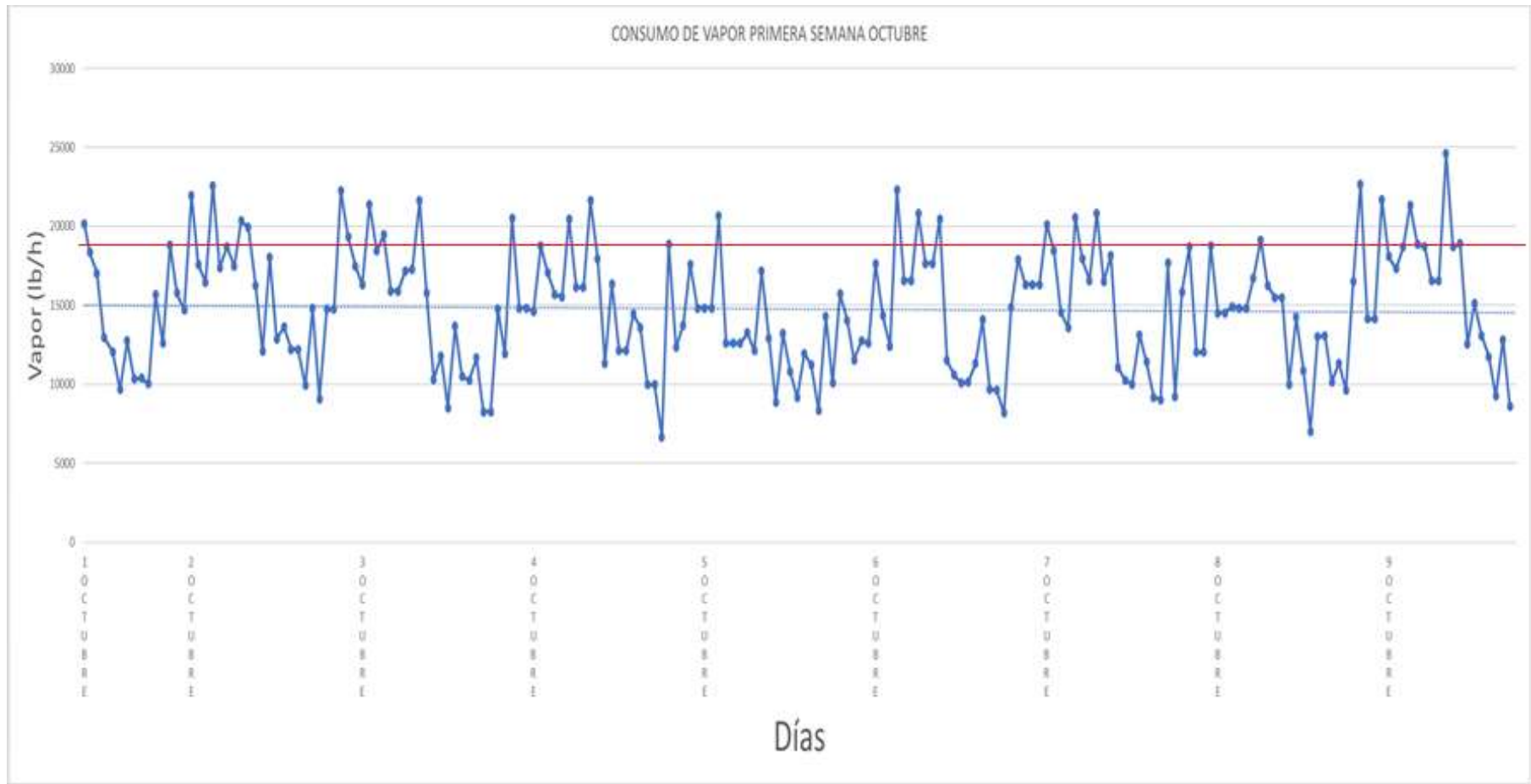


Figura 19. Capacidad de cobertura de la caldera de biomasa seleccionada

Fuente: elaboración propia.

### 3.5 Dimensionamiento de equipos adicionales y la ubicación del sistema

#### 3.5.1 Silo de almacenamiento

El silo de almacenamiento escogido es un silo hidráulico. Este es un elemento de recepción y almacenaje excavado similar a una piscina que consiste en una construcción estanca de hormigón armado o metálica, generalmente rectangular, dotado de una plataforma hidráulica en su base.

La función de este silo hidráulico no es tan solo la recepción y almacenamiento del combustible que será utilizado por la planta, sino que, además, es el elemento que inicia el transporte de ese combustible de una forma homogénea y controlada gracias a su sistema de patines de empuje sobre perfiles de acero que extraen el combustible. El silo es controlado por un sistema de control llamado LSLogic Control, el cual automatiza la extracción del combustible en función de la demanda energética de la planta y el poder calorífico del propio combustible.

El silo hidráulico en sí consta de una unidad de recepción y almacenaje, y una segunda unidad que es la zona donde se montan los cilindros hidráulicos de doble efecto junto a las estaciones hidráulicas.

Los cilindros se colocan en una ubicación especial escogida por la empresa para garantizar una óptima distribución del combustible. Estos, a su vez, se controlan por dos centrales hidráulicas. Cada cilindro está provisto de un juego de rótulas y pernos, soportes delanteros y traseros, así como conductos de conexión a la central.

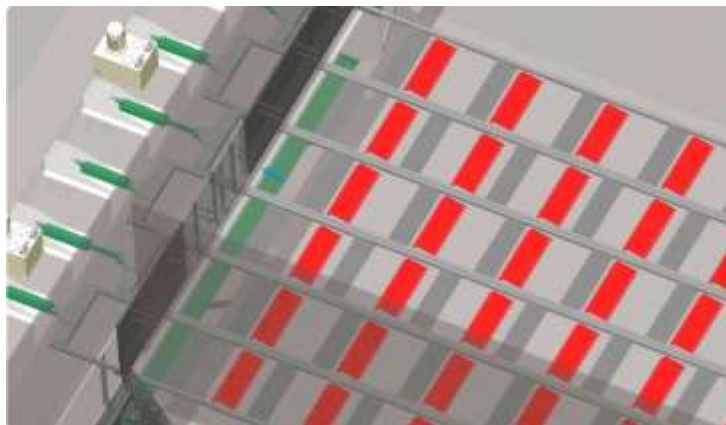


Figura 20. Silo hidráulico de almacenamiento

Fuente: L'Solé.

Según los expertos belgas que visitaron la planta, por lo general, el silo de almacenamiento de biomasa suele dimensionarse para que pueda cubrir la demanda de un fin de semana, es decir, se diseña con una autonomía de dos días. Por lo que el silo propuesto es diseñado para la autonomía antes mencionada con dimensiones de 11x12x4 metros (ancho, largo, altura).

A continuación, en la figura 21, se muestran las características del silo de almacenamiento propuesto para la planta:

Características presupuestadas		
Autonomía	48	h @ 100% carga
Consumo	215	m <sup>3</sup> / 24 h
Capacidad	430	m <sup>3</sup>
Ancho	11,0	m
Largo silo	12,0	m
Altura máxima combustible	4,0	m
Densidad máxima combustible	350	kg/m <sup>3</sup>

Figura 21. Características del silo de almacenamiento hidráulico

Fuente: L'Solé.

Con las dimensiones del silo propuesto para una autonomía de dos días, se requiere que, cuando el proyecto vaya a ser puesto en marcha, lleguen cuatro camiones a depositar la cantidad de combustible necesaria para la producción de dos días, luego de esto se va a requerir un flujo de dos camiones por día para que provisionen el chip de madera, debido a que cada camión puede transportar 27 toneladas. A la semana se requiere un flujo de 10 camiones.

### 3.5.2 Economizador

Es un intercambiador de calor que tiene como función precalentar el agua de alimentación a la caldera. Este economizador, específicamente, mediante la recuperación de energía de los gases resultantes de la combustión de la misma caldera, aumenta el rendimiento térmico de todo el sistema. Además, una de las grandes ventajas que presenta el economizador propuesto, es que posee un actuador neumático automático para evitar daños en el sistema.

Parámetros de diseño	
Temperatura de gases Salida de caldera	240 °C
Temperatura de gases Salida del Economizador	185 °C
Rendimiento térmico Sin Economizador	81%
Rendimiento térmico Con Economizador	85,6%

Figura 22. Parámetros de diseño del economizador

Fuente: L'Solé.

### 3.5.3 Filtro de humos multiciclónico

El filtro de gases multiciclónico se instala entre la salida de la caldera y el ventilador de tiro inducido. Tiene como misión primordial separar partículas en suspensión en los gases provenientes de la combustión.

El filtro se diseña especialmente para el caudal y tipo de combustible por utilizar. El seleccionado específicamente para este sistema llega a una reducción de las partículas emitidas superior al 80%.

Los gases pasan a través de los ciclones con una gran velocidad periférica, quedando las partículas separadas del flujo. Su almacén se construye con chapa de acerp H-II y se aísla térmicamente mediante una lana mineral de roca en todos sus lados.

Una vez que se separan las partículas de los gases, estas son enviadas al contenedor de cenizas mediante el filtro de mangas que se explica más adelante. El multiciclón se equipa con una válvula rotativa para garantizar el balance de presiones del sistema.



Figura 23. Filtro de humos multiciclón

Fuente: L'Solé.

### 3.5.4 Filtro de mangas

Un filtro de mangas es un dispositivo para la separación de partículas sólidas en suspensión de una corriente gaseosa. Los gases procedentes de la caldera primero son tratados en el multiciclón ubicado a la salida de la caldera y luego se dirigen al filtro de mangas cargados de partículas de la combustión.

El filtro por instalar está diseñado específicamente para este tipo de aplicaciones, cuyas propiedades permiten:

- Una reducción de las turbulencias en el canal de entrada.
- Una distribución equilibrada del gas hacia cada uno de los compartimientos autónomos que lo componen.
- Una separación de mangas acorde a la aplicación de tratamiento requerida para asegurar que no se produzcan puentes de contacto entre mangas y así garantizar la caída de producto a las tolvas.
- Una velocidad de paso constante a través del tejido.

- Reparto de gas a través del canal aerodinámico de recepción del polvo con cambio de dirección de los gases, expansión del gas en la propia tolva y a todo lo largo de la altura de la manga



Figura 24. Filtro de mangas

Fuente: L'Solé.

### 3.5.5 Suministro de agua y aire comprimido

La calidad del agua de alimentación a la caldera debe cumplir con la norma EN 12953-10. A continuación, en la figura 25, se muestran las especificaciones detalladas que se requieren.

Agua de alimentación		
General: Agua limpia, sin olor y sin sustancias no disueltas		
Parámetro	Unidades	Valores
Presión de operación	bar	> 0,5 a 20
Valor pH a 25°C	-	> 9,2
Contenido de oxígeno O <sub>2</sub>	mg/l	< 0,05
Dureza total (Ca+Mg)	mmol/l	< 0,01
Contenido de hierro total	mg/l	< 0,3
Contenido de cobre total	mg/l	< 0,05
Contenido de aceite y grasa	mg/l	< 1

Figura 25. Requisitos del agua de alimentación

Fuente: L'Solé.

Para el sistema de aire comprimido, Cargill debe proveer los conductos desde las instalaciones existentes hasta la planta. Se debe tener especial cuidado con que todas las conexiones se realicen de acuerdo con las normas ISO 8573-1. Cada conexión debe ser suministrada con una unidad de mantenimiento con válvulas de parada manuales y de ser necesario, válvulas de reducción de presión.

A continuación, en la figura 26, se muestran los requisitos de calidad del aire comprimido y la presión de suministro pedidos por el fabricante español:

Presión de suministro		
En la entrada de la unidad de mantenimiento	> 4,5	bar(g)
En el sistema de distribución	6,0	
En el compresor	8,0	
Voltaje mínimo	3 x 400	V
Sistema de suministro TN-C	3 Ph. + PE	

Figura 26. Presiones de aire necesarias establecidas por el fabricante

Fuente: L'Solé.

Calidad del aire comprimido				
Concentración de aceite	Clase 3		< 1,0	mg/m <sup>3</sup>
Partículas sólidas	Clase 1	0,1 < d d ≤ 0,5 μm	< 100k	part./m <sup>3</sup>
		0,5 < d d ≤ 1,0 μm	< 1k	
		1,0 < d d ≤ 5,0 μm	< 10	
Punto máximo de condensación bajo presión del agua	Clase 4		+3	°C

Figura 27. Calidad del aire comprimido solicitada por fabricante

Fuente: L'Solé.



Ahora bien, todos estos equipos requieren de un espacio físico considerablemente grande para ser ubicados. Cargill cuenta con una serie de terrenos alrededor de sus plantas contemplando futuras expansiones de sus instalaciones. La empresa proveedora de la caldera realiza una visita a la planta, con la finalidad de escoger el espacio físico más beneficioso para instalar todos los equipos que componen el nuevo sistema de generación de vapor de agua.

En la figura 28, se puede observar desde una vista aérea las instalaciones tanto de Planta San Rafael como de la Planta Kimby. Con un cuadro negro se remarca la ubicación actual del cuarto de calderas y con un cuadro rojo se señala el terreno seleccionado para construir el nuevo sistema.

En la imagen no se logra apreciar ninguna vía de acceso, sin embargo, en el mes de enero del 2019 inicia la construcción de un proyecto que incluye una carretera, la cual pasa justo por el costado de donde aparece el cuadro rojo, por lo que se va a contar con una carretera para el ingreso de los camiones cargados de chip de madera.



Figura 28. Vista aérea del terreno seleccionado

Fuente: Google Earth.

Ahora bien, se muestra el eventual acomodo de la caldera y equipos anexos para un óptimo funcionamiento. No se contempla el posicionamiento del silo de almacenamiento, sin embargo, eventualmente este debe colocarse de manera horizontal en la parte de abajo de la imagen, Es decir, justo debajo de los equipos señalados con los números 1, 12 y 13. De esta manera, el piso móvil hidráulico traslada el chip de derecha a izquierda, para que al final del lado izquierdo del silo, un transportador de cadenas lleve la biomasa hasta los tornillos sin fin de alimentación a la caldera. Aun así, los equipos se pueden reacomodar a beneficio de Cargill. A continuación, se mencionan los equipos enumerados en la figura 29:

1. Sistema de alimentación de la biomasa
2. Horno y caldera
3. Economizador
4. Multiciclón
5. Filtro de mangas
6. Abanico
7. Cañón de chimenea
8. Extractor de la ceniza en el horno
9. Extracción de ceniza del filtro de mangas
10. Transportador de cenizas
11. Contenedor de cenizas hermético
12. Tanque flash
13. Grupo de bombeo

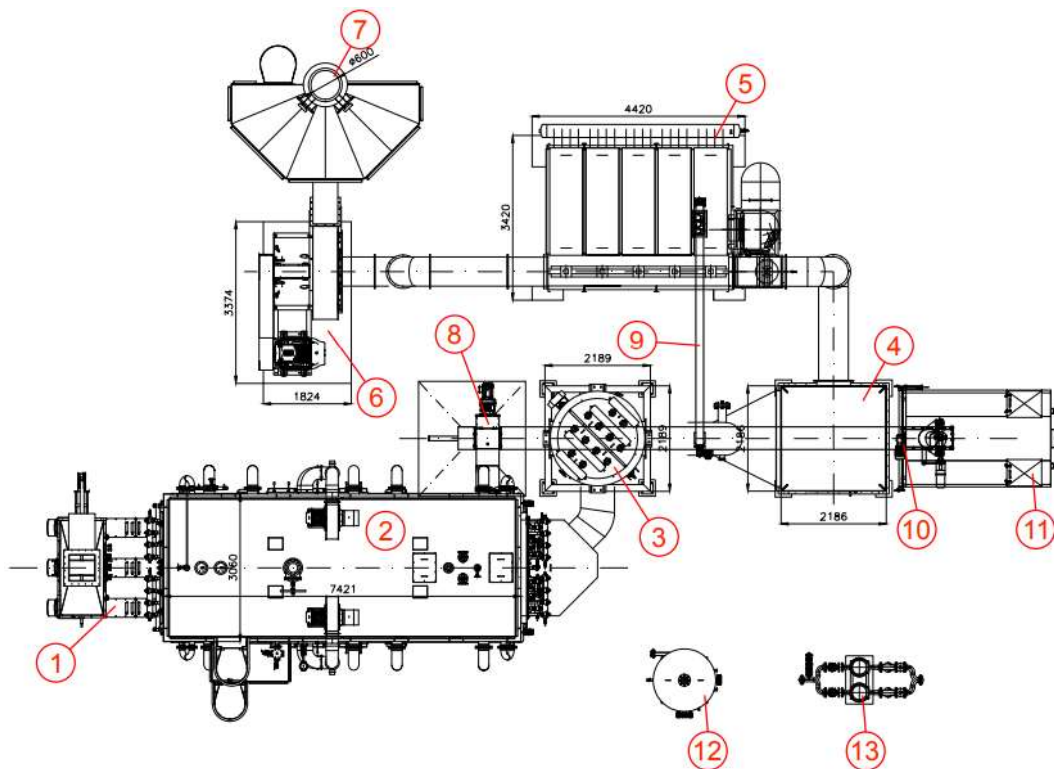


Figura 29. Acomodo de equipos y caldera

Fuente: L'Solé.

### 3.6 Análisis financiero

Durante el proceso del análisis financiero del proyecto, se contemplan y estudian a detalle y con profundidad dos posibles escenarios. El primero de ellos es contemplando un financiamiento por parte de la empresa proveedora de los equipos, mientras que el segundo escenario contempla si Cargill decide asumir el total de la inversión.

Para decidir cuál de los dos escenarios es el más beneficioso para la empresa, se analizan y se comparan los ahorros generados en ambos casos, el tiempo en que se paga la inversión y se empiezan a generar ingresos, la tasa interna de retorno y el valor actual neto de los ingresos (VAN).

En cuanto al VAN, rige la siguiente regla:

- VAN > 0: Se elige el proyecto
- VAN < 0: No se acepta el proyecto

- VAN = 0: Financieramente no se elige, pero estratégicamente puede ser escogido

Si el VAN del proyecto da positivo, se garantiza la recuperación de la inversión, pagar el financiamiento, generar un excedente que proporcione una mayor riqueza y se relaciona con el objetivo final de la empresa (maximizar sus ganancias).

Ahora bien, la regla del TIR o IRR dicta lo siguiente:

- Si el  $TIR > K$  y  $VAN > 0$ , se elige el proyecto
- Si el  $TIR < K$  y  $VAN < 0$ , no se elige el proyecto
- Si el  $TIR = 0$  y  $VAN = 0$ , no se elige el proyecto

La constante K presentada anteriormente se refiere al rendimiento mínimo necesario para cubrir los costos financieros de las fuentes de financiamiento, independientemente de su origen. Este valor Cargill lo define de manera interna para todos sus proyectos y se actualiza año tras año según los beneficios esperados. Se utiliza un valor de K de 10,50%. Sin embargo, Cargill no acostumbra a financiarse con entes bancarios para la realización de sus proyectos, sino que siempre se rige bajo su propio capital. Por ende, la constante K solo se toma en cuenta para la obtención del VAN.

Además, Cargill posee su propio formato estándar para realizar los análisis financieros de cualquier proyecto y rige en todos los países, en el cual se ingresan los valores de vida útil de los equipos y el impuesto sobre la renta que rige en el país donde se esté. Cargill establece que, a nivel interno, una caldera posee una vida útil de 15 años, cuando en realidad ronda entre 20 y 25 años.

El formato varía según el monto de la inversión por realizar y toman en consideración las vidas útiles de los equipos establecidas propiamente por la empresa. Por otro lado, los dos indicadores con más relevancia para Cargill son la tasa interna de retorno y el tiempo en el que se paga la inversión. Para el primero, el margen de aceptabilidad del proyecto se da con un TIR entre el 20% y el 25%, mientras que para el segundo, dependiendo de la inversión necesaria, un proyecto aceptable se da cuando el retorno es en menos de 5 años.

Para los cálculos y estudios mostrados a continuación, se contempla el costo del búnker para el mes de octubre, el cual es de ₡300,88 el litro y un tipo de cambio de ₡585/\$. El proveedor de búnker para Cargill cobra ₡11,85/litro en promedio adicionales por el transporte del combustible hasta la planta, incluso el costo por el transporte alcanza los ₡20/litro en ciertos meses. A su vez, se proyectan los costos de operar con búnker-C desde el 2019 (año de puesta en marcha del proyecto) hasta el año 2029, siguiendo la tendencia de aumento anual de 6,7% y un aumento en el costo del mantenimiento año tras año para las dos calderas. Por otro lado, para los análisis de generar vapor con biomasa, también se contempla un aumento anual en el costo de la tonelada proporcional al aumento del precio del búnker (más adelante se detallan los precios), esto refleja un caso crítico debido a que es muy difícil que el precio de la biomasa aumente de esta manera. A su vez, se toman en cuenta los eventuales costos del mantenimiento de la caldera de biomasa y los equipos anexos a ella.

Todos los resultados y tablas proyectadas a 10 años para cada uno de los escenarios se muestran en el capítulo de anexos. En esta sección de análisis, se ponen en evidencia únicamente los ahorros inmediatos que se evidenciarían durante el primer año de puesta en marcha del proyecto, es decir, durante el 2019. Y también el análisis de cada uno de los indicadores financieros.

Agregando a lo explicado anteriormente, el proyecto es de gran interés para un departamento de la Bolsa de Valores de Costa Rica llamado Bonos Verdes. Es un grupo de personas que se encargan de financiar proyectos con direcciones proambiente, por lo que una intervención de estos bonos podría incrementar los beneficios económicos para la empresa.

A continuación, en la figura 30, se muestra el desglose detallado de la inversión del equipo de generación seleccionado, incluyendo el transporte, permisos de instalación, supervisión de proyecto, impuestos, instalación y puesta en marcha:

INVERSIÓN INICIAL		
Cantidad	Producto	Precio
1	Caldera Multifuel CHIP 5,8 MW	\$ 1.886.172,76
1	Transporte CIF Puerto Limón	\$ 80.000,00
1	Transporte	\$ 25.000,00
1	Instalación, permisos y puesta en marcha	\$ 150.000,00
1	Project Management	\$ 94.308,64
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 2.235.481,40</b>
	Impuesto de Venta	\$ 245.202,46
	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 2.480.683,86</b>
**	Obra civil no está contemplada pero se estima en:	\$ 150.000,00

Figura 30. Desglose detallado de la inversión

Fuente: elaboración propia

En la primera fila de la figura 30, se observa el costo de la caldera multicomcombustible con todos los equipos anexos para su funcionamiento (colector de cenizas, economizador, filtro de mangas, tanque flash, equipo eléctrico, bombas de agua, sistema de alimentación de biomasa, entre otros), el cual abarca el mayor porcentaje de la inversión. También se observan los costos de transporte tanto marítimo como terrestre. Aquí cabe mencionar que Cargill posee su propia naviera, por lo que el costo de la segunda fila podría verse disminuido. La obra civil no se contempla dentro de la cotización, mas no así en los cálculos de las secciones posteriores y esta tiene un costo aproximado de \$150 000. Obra civil se le llama a toda la infraestructura que necesitan los equipos para funcionar, tanto el cuarto de calderas como el silo de almacenamiento de la biomasa.

Ahora bien, para tener una mejor comprensión de la situación que se presenta actualmente, así como facilitar la comparación con los escenarios que se muestran y explican más adelante, la tabla 20 muestra el costo total que representaría seguir generando vapor a costa de un consumo de 100% de búnker para el año 2019. Se contempla tanto el costo del combustible como el costo por mantenimiento de las calderas.

Tabla 20. Costo de generación con 100% de búnker proyectado al 2019

<b>Generación con Búnker-C</b>	
<b>Gastos</b>	<b>Año 1</b>
Consumo búnker (\$)	1 740 236
Mantenimiento (\$)	6 000
<b>TOTAL (\$)</b>	<b>1 746 263</b>

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se describen con detalle los distintos escenarios posibles en cuanto a los ahorros presentados según el combustible utilizado y la forma de financiamiento.

### **3.6.1 Escenario 1: Proyecto financiado por ECOsolutions**

En este primer escenario, la empresa ECOsolutios propone asumir el total de la inversión y alquilarle el equipo a Cargill. Bajo este modelo de negocio, el costo de la tonelada de chip pasa de costar \$50,09 a \$77,2, en el que se incluye \$4,9 dólares de pago por el mantenimiento de los equipos y los \$22,21 restantes son destinados para pagar el financiamiento que el proveedor solicita al asumir la inversión.

Parte de la propuesta es que el precio de la biomasa va a variar en función al precio del litro de búnker, a esto se le llama un sistema de bandas. Esta variación del costo de la biomasa tiene un tope mínimo y un tope máximo que se muestran en la tabla 21 Si el costo del búnker por alguna razón es menor al tope mínimo, la tonelada de chip no va a costar menos de los \$77,2 mencionados anteriormente, mientras que, si el costo del búnker se incrementa por encima del tope máximo, la tonelada de chip no va a costar más que \$92,64.



Tabla 21. Valores límites del sistema de bandas

TIPO DE BANDA	CHIP		BÚNKER	
Banda Baja	\$	77,2	\$	0,39 ¢ 226,36
Banda Alta	\$	92,64	\$	0,46 ¢ 266,98

Fuente: elaboración propia.

Bajo este modelo, la única manera de que Cargill logre observar ahorros es en el caso de que el costo del litro de búnker esté por encima del tope máximo (¢266,98). En caso contrario, si el precio del litro de búnker se encuentra fluctuando dentro de los valores límites, el costo por generar con biomasa va a ser igual al costo por generar con búnker, por lo que no se evidencia ningún tipo de ahorro para Cargill.

A continuación, se muestra el sistema de bandas donde la línea roja representa los posibles precios que puede llegar a tener el chip de madera, mientras que el área sombreada de verde representa la variación del precio que tiene el litro de búnker según la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE).



Figura 31. Modelo de precio de bandas

Fuente: ECOSolutions.

Bajo este modelo de trabajo, la empresa ECOsolutios asegura un ahorro anual aproximado de \$310 124 por la sustitución de combustible. Sin embargo, este monto de ahorro es supuesto a que toda la demanda de la planta puede cubrirse con biomasa y como se aprecia en el gráfico de consumo de vapor de la figura 19, hay picos de demanda que deben cubrirse con el apoyo de la caldera de búnker remanente. La cantidad de búnker necesaria para suplir los picos de demanda son 58 330 litros, \$30 000 aproximadamente. Esto representa una disminución de 3 170 533 litros de consumo de búnker.

Por ende, una vez realizados los cálculos de combustible de búnker necesario para suplir estos picos, los ahorros se modifican de la siguiente manera mostrada en la tabla 22:

Tabla 22. Ahorros considerando consumo de búnker

<b>Generación con Biomasa</b>	
<b>Gastos</b>	<b>Año 1</b>
Consumo de biomasa (\$)	1 500 768
Consumo de búnker (\$)	30 000
Mantenimiento (\$)	
<b>TOTAL (\$)</b>	<b>1 530 768</b>
<b>Ahorros Generados</b>	
<b>Ahorros</b>	<b>Año 1</b>
Ahorros por sustitución de combustible (\$)	260 919
Ahorros por mantenimiento (\$)	
<b>TOTAL (\$)</b>	<b>260 919</b>

Fuente: elaboración propia.

Si se consideran los ajustes del costo de generación con biomasa contemplando el uso de búnker, se puede apreciar que el ahorro real que obtiene Cargill al implementar el proyecto es de \$260 124. En otras palabras, los ahorros se reducen \$50 000 aproximadamente en comparación con el ahorro presentado al inicio.

En este primer escenario, también se puede analizar el comportamiento del proyecto en el aspecto financiero, si se incluyen los lodos como combustible para una cogeneración de vapor con el chip de madera. De igual forma que en el caso anterior, se contempla el ahorro por sustitución del combustible, el cual va a ser mayor, debido a que se necesita una menor cantidad de biomasa y también se contempla el ahorro generado al dejar de pagar una tercerización por el retiro y transporte de los lodos.

Tabla 23. Ahorros con la implementación de lodos para la cogeneración

<b>Cogeneración chips-lodos</b>	
<b>Gastos</b>	<b>Año 1</b>
Consumo de biomasa (\$)	1 164 418
Consumo de búnker (\$)	30 000
<b>TOTAL (\$)</b>	<b>1 194 418</b>
<b>Ahorros Generados</b>	
<b>Ahorros</b>	<b>Año 1</b>
Ahorros por sustitución de combustible (\$)	538 185
Ahorros por mantenimiento (\$)	
Ahorro por evitar pago de lodos	100 000
<b>TOTAL (\$)</b>	<b>638 185</b>

Fuente: elaboración propia.

Con la implementación de los lodos, solamente por la sustitución del combustible, se evidencian incrementos en los ahorros anuales de \$277 266 en comparación con el modelo en el que solo se utiliza chip de madera. Si se adiciona el ahorro por evitar el pago del retiro de los lodos, se suman \$100 000 al año, para un total de incremento en el ahorro de \$377 266 en comparación con utilizar solamente el chip como combustible.

El caso expuesto anteriormente puede provocar que el costo de la tonelada del chip de madera en el tope máximo del sistema de bandas incremente. Esto se debe a una menor cantidad de biomasa necesitada para cubrir la demanda de la planta. Por lo que el pago por el financiamiento del préstamo que asume ECOsolutions va a ser menor y esto representa un eventual riesgo para ellos.

Con el escenario anterior, se establecen los siguientes indicadores que observaría la empresa ECOsolutions:

- VAN = \$1 055 281
- IRR (TIR) = 18%
- Periodo de recuperación: entre el cuarto y quinto año

Inicialmente, la empresa proveedora había establecido un costo máximo en la tonelada del chip de \$100,6. Entonces, se asume un posible incremento en el costo de la biomasa al monto mostrado, se realiza el debido análisis financiero para observar si el proyecto sigue siendo viable y detallar los ahorros generados. Con esto ECOsolutions se asegura un menor riesgo de inversión y así el proyecto les sigue siendo rentable tanto a ellos como a Cargill.

Ahora bien, habiendo establecido el costo de la tonelada de biomasa, ECOsolutions evidenciaría los siguientes valores en los indicadores financieros:

- VAN = \$1 832 713
- IRR (TIR) = 23%
- Periodo de recuperación: se mantiene entre el cuarto y quinto año

En la tabla 24, se observa un incremento en el costo de la generación de vapor de \$100 000 aproximadamente, esto en comparación con lo mostrado en la tabla 24. Por consiguiente, los ahorros se ven disminuidos en la misma cantidad.

Tabla 24. Ahorros actualizados con posible incremento en el costo del chip

<b>Cogeneración chips-lodos</b>	
<b>Gastos</b>	<b>Año 1</b>
Consumo de biomasa (\$)	1 264 470
Consumo de búnker (\$)	30 000
<b>TOTAL (\$)</b>	<b>1 294 470</b>
<b>Ahorros Generados</b>	
<b>Ahorros</b>	<b>Año 1</b>
Ahorros por sustitución de combustible (\$)	438 134
Ahorros por mantenimiento (\$)	
Ahorro por evitar pago de lodos	100 000
<b>TOTAL (\$)</b>	<b>538 134</b>

Fuente: elaboración propia.

### 3.6.2 Escenario 2: Cargill asume la totalidad de la inversión

Este segundo escenario analiza los beneficios económicos que se obtendrían si Cargill decide asumir la totalidad de la inversión con sus propios fondos. Al haber un riesgo posible económico, se deben evaluar indicadores financieros que demuestren que el proyecto es viable económicamente hablando. Además, Cargill exige que dicho análisis se realice bajo los formatos estándar establecidos por la empresa, los cuales son utilizados para cualquier proyecto en todos los países donde Cargill tenga plantas instaladas.

Bajo este escenario, el costo de la tonelada del chip de madera es el básico, \$50,09. El pago por el mantenimiento de los equipos se debe considerar por aparte, ya que no se incluye dentro de los costos del combustible.

A continuación, en la tabla 25, se muestran los ahorros para este escenario:

Tabla 25. Ahorros asumiendo la totalidad de la inversión

<b>Generación con Biomasa</b>	
<b>Gastos</b>	<b>Año 1</b>
Consumo de biomasa (\$)	810 857
Consumo de búnker (\$)	30 000
Mantenimiento (\$)	80 000
<b>TOTAL (\$)</b>	<b>920 857</b>
<b>Ahorros Generados</b>	
<b>Ahorros</b>	<b>Año 1</b>
Ahorros por sustitución de combustible (\$)	969 416
Ahorros por mantenimiento (\$)	-73901
<b>TOTAL (\$)</b>	<b>895 516</b>

Fuente: elaboración propia.

De la información mostrada en la tabla 26, se aprecia que el costo por generar con biomasa es mucho menor en comparación con el costo mostrado en el primer escenario. Además, este escenario implica un mayor desembolso de dinero para cubrir los mantenimientos anuales que requiera la caldera y los sistemas auxiliares, pero no afectan de manera considerable los ahorros finales, los cuales son de \$895 516 al año aproximadamente.

Luego de haber establecido los ahorros proyectados para los siguientes 10 años, se ingresan los resultados dentro del formato propio de Cargill para realizar los análisis financieros. En este formato se considera la depreciación del equipo a 15 años y se obtienen los siguientes resultados:

- VAN = \$2 830 814
- IRR (TIR) = 29,1%
- Periodo de recuperación = 3,4 años
- Ahorros después de impuestos = \$728 344

Con estos datos presentados, el proyecto se considera muy viable. A pesar de que tanto el VAN como el TIR son positivos, este último supera el rango de aceptabilidad que establece Cargill, lo que representa un proyecto muy atractivo para la empresa.

Al igual que en el primer escenario, en este también se debe analizar una eventual cogeneración entre chip de madera y los lodos de la planta, para facilitar la escogencia de cuál es el que genera mayores beneficios para la empresa. A diferencia del primer escenario, en este los costos de la biomasa se reducen y se deben contemplar los gastos por mantenimiento, así como el ahorro por evitar el pago de la tercerización de tratamiento de los lodos.

Tabla 26. Ahorros implementando el uso de lodos para el escenario 2

<b>Cogeneración chip-lodos</b>	
<b>Gastos</b>	<b>Año 1</b>
Consumo de biomasa (\$)	629 595
Consumo de búnker (\$)	30 000
Mantenimiento (\$)	80 000
<b>TOTAL (\$)</b>	<b>739 595</b>
<b>Ahorros Generados</b>	
<b>Ahorros</b>	<b>Año 1</b>
Ahorros por sustitución de combustible (\$)	1 140 641
Ahorros por mantenimiento (\$)	-73901
Ahorro por evitar pago de lodos (\$)	100 000
<b>TOTAL (\$)</b>	<b>1 166 740</b>

Fuente: elaboración propia.

Con la implementación de los lodos en este escenario, solamente por evitar consumir búnker y sustituirlo por una combinación de chips y lodos, se evidencian incrementos en los ahorros anuales de \$181 262 en comparación con el modelo en el que solo se utiliza chip de madera. Si se adiciona el ahorro por evitar el pago del retiro de los lodos, se suman \$100 000 al año, para un total de incremento en el ahorro de \$277 262 en comparación con utilizar solamente el chip como combustible.

Luego de haber establecido los ahorros proyectados para los siguientes 10 años, se ingresan los resultados dentro del formato propio de Cargill para realizar los análisis financieros. En este formato se considera la depreciación del equipo a 15 años y se obtienen los siguientes resultados:

- VAN = \$4 742 789
- IRR (TIR) = 39,6%
- Periodo de recuperación = 2,6 años
- Ahorros después de impuestos = \$889 872

Teniendo todas las posibilidades que se pueden dar dentro de los dos escenarios, es notable que el escenario dos genera mayores ahorros a la empresa, sin importar que el monto por invertir es considerablemente elevado. Ahora, dentro del escenario dos, se presentan las posibilidades de implementar el sistema de generación utilizando 100% chip de madera como combustible o de utilizar como combustible tanto el chip de madera como los lodos.

A continuación, en la tabla 27 se presenta un resumen con los indicadores de ambos casos, con la intención de visualizar cuál es el más viable para la empresa.

Tabla 27. Cuadro comparativo para el escenario 2

<b>Cuadro Comparativo Asumiendo el Total de la Inversión</b>		
<b>Indicadores</b>	<b>Utilizando Chips</b>	<b>Utilizando Chips-Lodos</b>
VAN (\$)	2 830 814	5 224 966
IRR/TIR (%)	29,1	42,10%
PR (años)	3,4	2,5
Ahorros luego de impuestos (\$)	728 344	948 937

Fuente: elaboración propia.

Analizando el cuadro de la tabla 27, se aprecia que la implementación de una cogeneración entre chips de madera y los lodos es el mejor escenario tomando en cuenta que, con el pasar de los años, los ahorros van a ir aumentando considerablemente. Además, el proyecto se paga en 2,5 años, por lo que quedan 17,5 años restantes para generar ahorros, ya que el fabricante asegura una vida útil para el equipo de 20 años.

Contemplando que se escoge la cogeneración con los dos combustibles descritos para la puesta en marcha del proyecto, la matriz energética de la planta va a sufrir cambios considerables. En la figura 32, se aprecia la matriz energética proyectada para un eventual sistema de generación de vapor con biomasa, en ella ya se contempla la necesidad de la utilización del búnker para suplir las demandas pico, este pasa de representar un 46% de la facturación por energías anual de la empresa a representar tan solo un 1%. El pago por obtención del chip pasa a representar un 25% del total, mientras que el pago por la facturación eléctrica es el que pasa a representar la mayor proporción con un 74% del total.

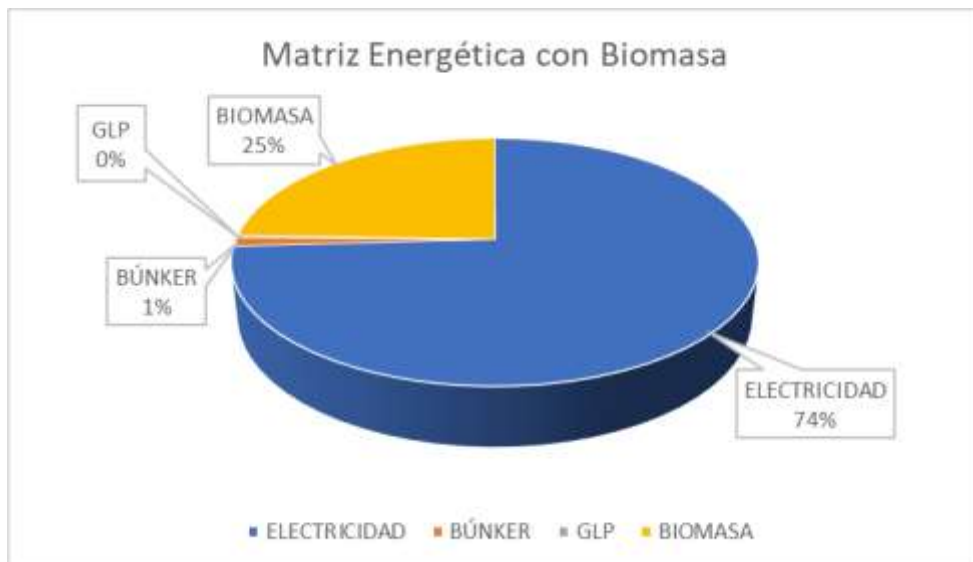


Figura 32. Matriz energética proyectada con la implementación de biomasa

Fuente: elaboración propia.



En la tabla 28, se muestra el desglose de los datos que representan los porcentajes mostrados en la figura 32.

Tabla 28. Datos representativos de la matriz energética proyectada

<b>Combustible</b>	<b>Actual</b>	<b>\$</b>	<b>Chip/Lodos</b>	<b>\$</b>
<b>Electricidad</b>	54%	1.922.844	74%	1.922.844
<b>Búnker</b>	46%	1.653.951	1,16%	30.000
<b>GLP</b>	0,22%	7.993	0,31%	7.993
<b>Biomasa</b>	0%	-	25%	629.595

Fuente: elaboración propia.

### 3.7 Análisis de impacto ambiental

En los últimos años, el mercado moderno ha tenido un nuevo tipo de competencia en cuanto a qué tan amigables con el ambiente son los procesos de producción para obtener el producto final. Por esta razón, un eventual reconocimiento para la empresa de esfuerzo y garantía en la reducción de sus emisiones de gases de efecto invernadero es de suma importancia para sumar valor a su competencia en el mercado.

En esta sección, se analiza el impacto ambiental para el sistema instalado actualmente y para la propuesta más viable elegida en el análisis financiero. Se utilizan los datos de emisiones en toneladas de dióxido de carbono equivalente mostradas en la tabla 5 para el búnker y en la tabla 8 para el chip de madera, para luego ser ingresados en la ecuación 1 y así obtener los datos de emisiones totales.

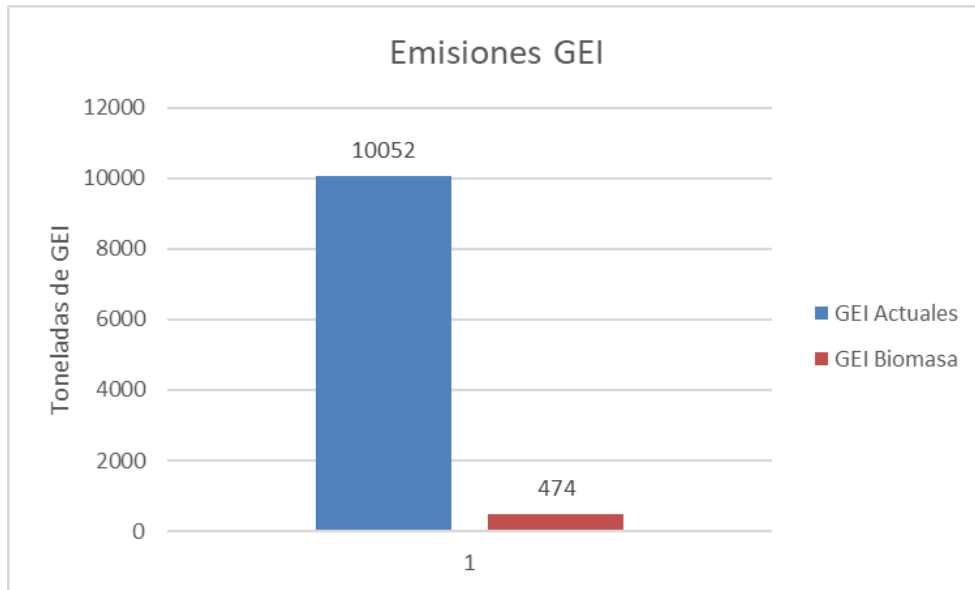


Figura 33. Comparación de emisiones de GEI

Fuente: elaboración propia.

En la figura 33, se muestran tanto las toneladas emitidas actualmente como las toneladas que emite un eventual sistema de vapor con biomasa. La barra azul en la figura 33 representa las emisiones presentadas en la actualidad, las cuales son 10 052 toneladas al año aproximadamente. Mientras que la barra roja representa las eventuales emisiones para el sistema propuesto, incluyendo tanto la biomasa como el búnker necesario para suplir los picos de demanda y son aproximadamente 474 toneladas anuales. Por consiguiente, se visualiza una reducción aproximada de más de 9 000 toneladas de gases efecto invernadero al año.

Como se menciona en secciones anteriores, una certificación de huella verde a nivel nacional implica una multa económica por cada tonelada emitida que no se logre evitar con las modificaciones que exige la norma. Es decir, si Cargill desea certificarse como una empresa carbono neutral, con los consumos de búnker y emisiones existentes actualmente, la multa anual sería de \$75 375. Mientras que, para las emisiones presentes con el sistema propuesto, la multa ambiental sería de tan solo \$3 551 al año. Lo que representa un ahorro adicional de \$71 824.

A continuación, en la tabla 29, se muestran las multas ambientales para cada caso:

Tabla 29. Multas económicas por emisiones de GEI

<b>Sistemas</b>	<b>Multa ambiental (\$)</b>
Sistema Actual	75.375
Sistema con Biomasa	3.551
<b>Ahorro</b>	<b>71.824</b>

Fuente: elaboración propia.

Existe un estudio hecho en Chile por la Corporación Nacional Forestal (CONAF) en el que se establecen estándares sobre la cantidad de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que pueden absorber las distintas especies de árboles presentes en el territorio chileno. Como resultado, el eucalipto presenta la mayor capacidad de absorción con 29,9 por hectárea cultivada al año.

Con base en lo explicado anteriormente, con la finalidad de tener una mayor claridad en cuanto al impacto de las emisiones presentes en la figura 33, mediante la ecuación 17 se calcula la cantidad de hectáreas necesarias de eucalipto para retirar del medio ambiente el dióxido de carbono emitido en ambos casos.

$$\text{Hectareas de Eucalipto} = \frac{\sum \text{Ton CO}_2 \text{ al año}}{29,9 \frac{\text{Ton CO}_2 \text{ al año}}{\text{ha}}}$$

Ecuación 17. Hectáreas de eucalipto necesarias

Fuente: Torres (2012).

Una vez ingresados los datos de emisiones para ambos casos, se obtiene lo siguiente: para que en un año se retiren las 10 052 toneladas de dióxido de carbono emitidas por la combustión de búnker en el sistema actual, se necesitan 336 hectáreas de eucalipto según la fórmula. Mientras que, para el sistema propuesto basado en la combustión de biomasa, se necesitan aproximadamente 16 hectáreas para retirar las 474 toneladas de dióxido de carbono que se emiten al medioambiente.



## Capítulo 4. Conclusiones y recomendaciones

#### 4.1 Conclusiones

1. Mediante un estudio energético realizado al inicio del proyecto, se logran establecer las demandas energéticas de vapor presentadas en la planta. Estas demandas son las que deben ser suplidas por el nuevo combustible necesario y facilita establecer la cantidad necesaria del mismo.
2. La selección y escogencia del nuevo combustible resulta ser una mezcla de biomasa entre chip de madera adquirida con proveedores externos junto con los lodos generados al finalizar el procesamiento de líquidos en la planta de tratamiento de aguas que posee Cargill. Con esto se asegura una alta disponibilidad de combustible, además de cubrir las demandas energéticas de vapor que presenta la planta.
3. Con los análisis financieros realizados detalladamente, se establecen tres indicadores que muestran resultados positivos para el sistema escogido. Se muestra un valor actual neto (VAN) de \$4 742 789, una tasa interna de retorno (TIR) de 39,6%, mientras que el periodo de recuperación de la inversión (PR) es de tan solo 2,6 años.
4. Se estima que, con la implementación de un sistema de generación de vapor que utilice tanto el chip de madera como los lodos de la planta como combustible, se remueven del medio ambiente más de 9 000 toneladas de dióxido de carbono al año aproximadamente. Esto representa un avance significativo camino a obtener la certificación como empresa carbono neutral.
5. Es necesario definir un procedimiento para el departamento de control y calidad en el que se vigile la calidad del combustible almacenado y se mantenga bajo las condiciones deseadas.

## 4.2 Recomendaciones

1. Cuando el sistema sea puesto en marcha, todas las superficies que desprendan calor deben estar debidamente aisladas con el tipo de aislamiento que recomiende el fabricante para la prevención de quemaduras o lesiones aún más graves.
2. Se recomienda la obtención de un medidor de flujo de vapor para llevar un mejor control de las demandas que presente la planta. Se puede instalar uno a la salida del *manifold* principal de vapor o dos en las salidas de las calderas.
3. La obtención de un medidor de humedad es recomendable para mantener un control en los contenidos de humedad que posee el chip de madera, una vez depositados en el silo de almacenamiento. Con esto, cualquier anomalía puede ser reportada a la empresa proveedora de la biomasa.
4. Se recomienda establecer acuerdos legales anuales con una o dos empresas proveedoras de biomasa, con la intención de asegurar la disponibilidad del combustible y que el sistema tenga una buena confiabilidad operacional.
5. Es recomendable que los camiones que transportan la biomasa ingresen por la romana que posee la empresa. De no ser posible, se recomienda instalar una en la nueva carretera que se va a construir. Con esto la empresa se puede asegurar de que se está entregando la cantidad de combustible comprado.
6. Se recomienda que Cargill solicite los reportes de mantenimiento a la empresa encargada de este servicio, con el fin de llevar un historial en cuanto a las intervenciones a los equipos, cuáles han sido sustituidos o reparados y tener conocimiento sobre los costos de los mismos. Esto permite un mejor control en cuanto al mantenimiento brindado a todo el sistema.



## Capítulo 5. Bibliografía

- Barrantes, E. (Junio de 2018). *Estudio de Factibilidad de Incentivos Estatales para la Promoción de Uso de Equipos de Combustión Fija a Base de Biomasa en la Industria*. Cartago, Cartago, Costa Rica: Tecnológico de Costa Rica.
- Cascante, S. (29 de Agosto de 2017). ICE convertirá rastrojo de piña en biogás. *La Prensa Libre*.
- Catalunya, G. d. (Marzo de 2011). *GUÍA PRÁCTICA PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO (GEI)*. Obtenido de <http://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=MCRST234ZI97531&iid=97531>
- Chacón, L. (2012). *Diagnóstico de las existencias de los residuos forestales en la región Huetar Norte de Costa Rica*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/LuisGodio/informe-final-diagnostico-de-las-existencias-de-los-residuos-forestales-en-la-regin-huetar-norte-de-costa-rica-051212>
- Coto, Ó. (2013). *Evaluación de la generación de residuos agrícolas orgánicos (RAO) en costa rica e identificación de sector prioritario*. San José.
- Dirección Sectorial de Energía (DSE). (Diciembre de 2011). *VI Plan Nacional de Energía*. Obtenido de [http://www.dse.go.cr/es/03Publicaciones/01PoliticaEnerg/Diagnostico\\_VI\\_PNE\\_2012-2030\\_julio2012.pdf](http://www.dse.go.cr/es/03Publicaciones/01PoliticaEnerg/Diagnostico_VI_PNE_2012-2030_julio2012.pdf)
- Direct Industry. (2018). *Productos*. Obtenido de <http://www.directindustry-china.cn/>



El Mundo.CR. (28 de febrero de 2018). *CICR preocupada por aumentos en los precios de los combustibles*. Obtenido de <https://www.elmundo.cr/cicr-Preocupada-Aumentos-Los-Precios-Los-Combustibles/>

Espinoza, S. (2010). *Los proyectos de inversión*. Cartago: Tecnológico de Costa Rica.

FARMAGRO S.A. (Marzo de 2015). *CONGRESO DE ENERGÍA BIOMÁSICA*. Obtenido de Producción de Astillas: [http://www.cicr.com/wp-content/uploads/2016/04/213\\_cproduccion\\_de\\_chips\\_de\\_residuos\\_juan\\_battalla\\_farmagro.pdf](http://www.cicr.com/wp-content/uploads/2016/04/213_cproduccion_de_chips_de_residuos_juan_battalla_farmagro.pdf)

FONAFIFO. (s.f.). *Fondo Nacional de Financiamiento Forestal*.

Gómez, D., Watterson, J., Americano, B., Ha, C., Marland, G., Matsika, E., . . . Treanton, K. (2006). Combustión Estacionaria. En IPCC, *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (págs. 2.1-2.47). Argentina.

Hidalgo, A. (2013). *Cálculo del inventario de gases de efecto invernadero de actividades y eventos corporativos*.

Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2016). *Factores de emisión gases efecto invernadero*. Obtenido de <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/factoresemision/factores-emision2016/html5/index.html?page=1&noflash>

- INTECO. (18 de Noviembre de 2011). INTE/ISO 50001:2011. *Sistemas de la gestión de la energía - Requisitos con orientación para su uso*. San José, San José, Costa Rica.
- International Energy Agency (IEA). (Marzo de 2013). *2012 Annual Report*.  
Obtenido de [www.iea.org](http://www.iea.org)
- Militelli, V., Reis, L., Souza, L., & Baptista, A. (2016). *Relatório de sustentabilidade*. Obtenido de <https://www.cargill.com/static/brazil-annual-report/2016/cargill-relatorio-de-sustentabilidade-2016.pdf>
- Miranda, Y. (2014). *Justificación de la sustitución de una caldera de bunker por una caldera de biomasa por eco solutions en bridgestone de Costa Rica*.  
<https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/5825>.
- Negocios Verdes. (s.f.). *Biomasa: La energía de la naturaleza*. Obtenido de <http://www.negociosverdes.mx/biomasa-la-energia-de-la-naturaleza/>
- Pacheco, M. (2017). *Auditoría al Sistema de Vapor PLanta Proceso San Rafael, Corporación PIPASA*. San Rafael.
- Poder Ejecutivo de la República de Costa Rica. (16 de Febrero de 1998). *Decreto N°26789 Reglamento de Calderas*. Obtenido de [https://www.cso.go.cr/normativa/decretos\\_normativa\\_reglamentaria/Reglamento%20de%20Calderas.pdf](https://www.cso.go.cr/normativa/decretos_normativa_reglamentaria/Reglamento%20de%20Calderas.pdf)
- Refinadora Costarricense de Petróleo, S.A. (RECOPE). (2011). *Manual de Productos RECOPE*. Obtenido de [https://www.recope.go.cr/wp-content/uploads/2013/07/Manual\\_Productos.pdf](https://www.recope.go.cr/wp-content/uploads/2013/07/Manual_Productos.pdf)

Saidur, R., Abdelaziza, E., Demirbas, A., Hossain, M., & Mekhilef, S. (2011). *A review on biomass as fuel for boilers*. Obtenido de Renewable and Sustainable Energy Reviews.

SENER. (2014). *Manual para la Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía*. México D.F: Conuee/GIZ.

Torres, F. (11 de Diciembre de 2012). *El eucalipto es el árbol que más CO2 captura en Chile*. Obtenido de VeoVerde:  
<https://www.nuevamujer.com/bienestar/2012/12/11/el-eucalipto-es-el-arbol-que-mas-co2-captura-en-chile.html?year=2012&month=12&page=1&blog=latam&kind=category>

Villalobos, C. (10 de 7 de 2016). *Costa Rica ya tiene 65 empresas certificadas C-Neutral*. *El Financiero*.

Zárate, D., & Ramírez, R. (Octubre de 2016). *Matriz Energética de Costa Rica*. Obtenido de <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/fesamcentral/12979.pdf>



## Capítulo 6. Apéndices

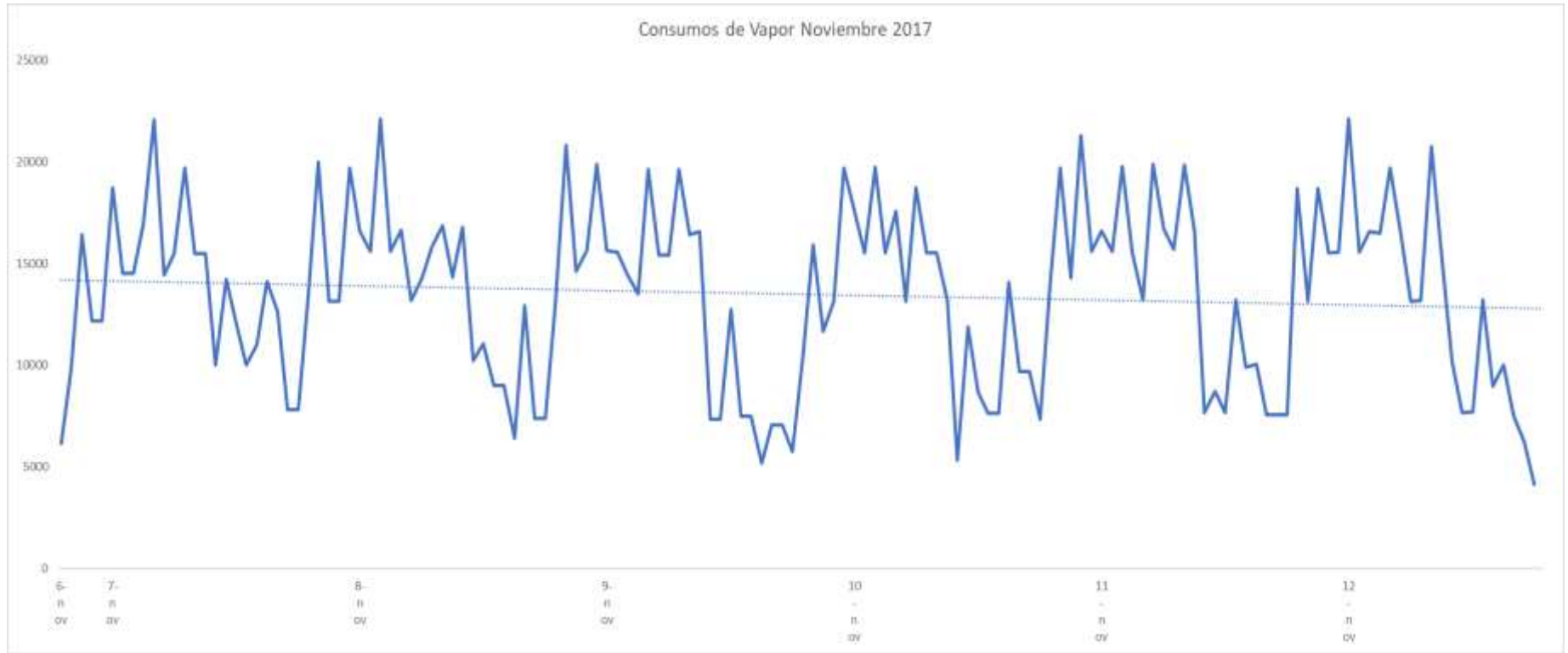
**Apéndice 1. Tabla de equivalencias**

<b>Tabla de Equivalencias</b>	
1 MJ	239 kcal
1 MJ	947 BTU
1 kg	2,20 lb
1 BHP	9,81 kW
1 PSI	0,0689 bar

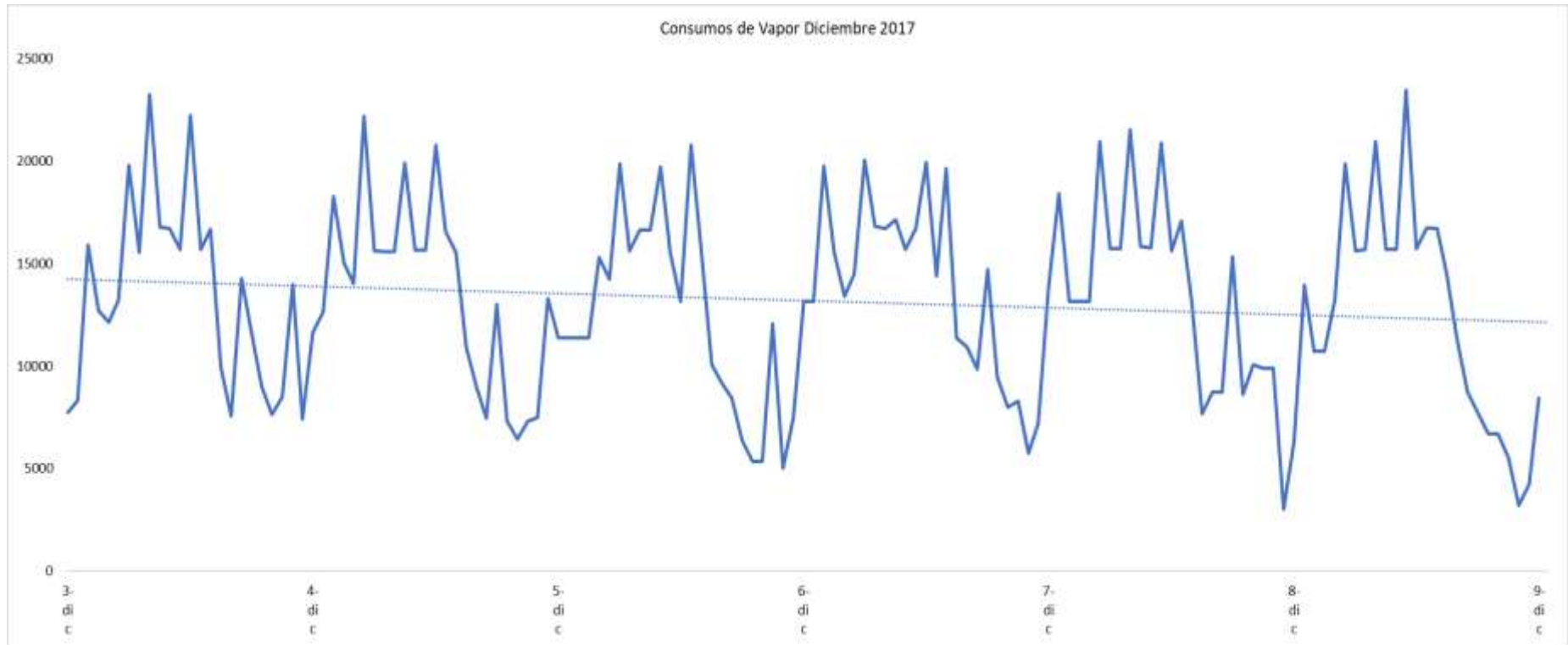
**Apéndice 2. Resultados del análisis financiero arrojados por el formato de Cargill para el escenario con lodos**

<b>PROJECT COSTS AND FINANCIAL MEASURES:</b>	
Capital Allocation	\$2.550.000
Incremental Operating Working Capital	\$0
Initial Start-up Expenses Before Tax	\$0
<b>Total Funds Requested</b>	<b>\$2.550.000</b>
Present Value of Free Cash Flows (Planning Horizon)	\$6.752.560
Present Value of Terminal Value	\$540.230
<b>NPV</b>	<b>\$4.742.789</b>
<b>IRR</b>	<b>39,6%</b>
<b>Payback on Fixed Investment</b>	<b>2,6</b>

Apéndice 3. Flujo de vapor para el mes de noviembre del 2017



Apéndice 4. Flujo de vapor para el mes de diciembre del 2017



**Apéndice 5. Análisis financiero con formato de Cargill para el escenario con lodos**

DEPRECIATION CALCULATIONS:											
	Yr 1	Yr 2	Yr 3	Yr 4	Yr 5	Yr 6	Yr 7	Yr 8	Yr 9	Yr 10	
Book Depreciation	\$166.000	\$166.000	\$166.000	\$166.000	\$166.000	\$166.000	\$166.000	\$166.000	\$166.000	\$166.000	
Tax Depreciation (Override if Non-US)*	\$243.846	\$435.846	\$349.446	\$280.326	\$225.126	\$180.726	\$161.046	\$161.046	\$161.286	\$0	
<i>*If tax calculations are different, please enter correct amounts</i>											
INVESTMENT ANALYSIS (in '000s):											
	Initial Period	Yr 1	Yr 2	Yr 3	Yr 4	Yr 5					
Net Revenue		\$1.166.740	\$1.242.958	#####	\$1.410.960	\$1.503.444	\$1.602.089	\$1.707.305	\$1.819.532	\$1.939.238	\$2.066.920
Cost of Goods Sold (not including depreciation)											
<b>Gross Profit</b>		<b>\$1.166.740</b>	<b>\$1.242.958</b>	<b>#####</b>	<b>\$1.410.960</b>	<b>\$1.503.444</b>	<b>\$1.602.089</b>	<b>\$1.707.305</b>	<b>\$1.819.532</b>	<b>\$1.939.238</b>	<b>\$2.066.920</b>
Total Ongoing Operating Expenses + SG&A											
<b>EBITDA</b>		<b>\$1.166.740</b>	<b>\$1.242.958</b>	<b>#####</b>	<b>\$1.410.960</b>	<b>\$1.503.444</b>	<b>\$1.602.089</b>	<b>\$1.707.305</b>	<b>\$1.819.532</b>	<b>\$1.939.238</b>	<b>\$2.066.920</b>
EBITDA % of Revenue		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Depreciation Expense		\$166.000	\$166.000	\$166.000	\$166.000	\$166.000	\$166.000	\$166.000	\$166.000	\$166.000	\$166.000
<b>Earnings Before Interest and Taxes</b>		<b>\$1.000.740</b>	<b>\$1.076.958</b>	<b>#####</b>	<b>\$1.244.960</b>	<b>\$1.337.444</b>	<b>\$1.436.089</b>	<b>\$1.541.305</b>	<b>\$1.653.532</b>	<b>\$1.773.238</b>	<b>\$1.900.920</b>
Income Taxes on EBIT		\$236.175	\$254.162	\$273.347	\$293.811	\$315.637	\$338.917	\$363.748	\$390.234	\$418.484	\$448.617
Other Tax Adjustments (enter expense as positive)		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
<b>Net Operating Profit After Tax</b>		<b>\$764.565</b>	<b>\$822.796</b>	<b>\$884.904</b>	<b>\$951.149</b>	<b>\$1.021.807</b>	<b>\$1.097.172</b>	<b>\$1.177.557</b>	<b>\$1.263.299</b>	<b>\$1.354.754</b>	<b>\$1.452.303</b>
+Depreciation		\$166.000	\$166.000	\$166.000	\$166.000	\$166.000	\$166.000	\$166.000	\$166.000	\$166.000	\$166.000
+Other Non-Cash Charges (i.e. Asset Retirement)		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
+/-Deferred Tax Adjustment		\$18.372	\$63.684	\$43.293	\$26.981	\$13.954	\$3.475	(\$1.169)	(\$1.169)	(\$1.112)	(\$39.176)
-Increase in OPWC (+decrease in OPWC)		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
-Capital Expenditures	(\$2.550.000)										
-Start-Up Expenses After Tax	\$0										
<b>Free Cash Flow</b>	<b>(\$2.550.000)</b>	<b>\$948.937</b>	<b>\$1.052.480</b>	<b>#####</b>	<b>\$1.144.130</b>	<b>\$1.201.761</b>	<b>\$1.266.647</b>	<b>\$1.342.388</b>	<b>\$1.428.130</b>	<b>\$1.519.641</b>	<b>\$1.579.127</b>
Terminal Value (Default - Net Property Value)											<b>\$890.000</b>



**Apéndice 6. Proyección a 10 años para el primer escenario sin lodos**

<b>Generación con Biomasa</b>										
<b>Gastos</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>	<b>Año 10</b>
Consumo de biomasa (\$)	810.856,92	865.184,33	923.151,68	985.002,85	1.050.998,04	1.121.414,91	1.196.549,70	1.276.718,54	1.362.258,68	1.453.530,01
Consumo de búnker (\$)	30.000	31.500	33.075	34.729	36.465	38.288	40.203	42.213	44.324	46.540
Mantenimiento (\$)	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000
<b>TOTAL</b>	<b>920.856,92</b>	<b>976.684,33</b>	<b>1.036.226,68</b>	<b>1.099.731,60</b>	<b>1.167.463,23</b>	<b>1.239.703,35</b>	<b>1.316.752,57</b>	<b>1.398.931,55</b>	<b>1.486.582,34</b>	<b>1.580.069,85</b>
	929.379,10									

<b>Generación con Búnker-C</b>										
<b>Gastos</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>	<b>Año 10</b>
Consumo de búnker (\$)	1.740.236,02	1.856.831,84	1.981.239,57	2.113.982,62	2.255.619,46	2.406.745,96	2.567.997,94	2.740.053,80	2.923.637,41	3.119.521,11
Mantenimiento (\$)	6.099	6.404	6.724	7.061	7.414	7.784	8.174	8.582	9.011	9.462
<b>TOTAL</b>	<b>1.746.335,26</b>	<b>1.863.236,04</b>	<b>1.987.963,98</b>	<b>2.121.043,26</b>	<b>2.263.033,12</b>	<b>2.414.530,31</b>	<b>2.576.171,51</b>	<b>2.748.636,05</b>	<b>2.932.648,76</b>	<b>3.128.983,04</b>

<b>Ahorros Comparados con el Sistema Actual</b>										
	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>	<b>Año 10</b>
Ahorros por Sustitución de Combustible	959.379	1.023.148	1.091.163	1.163.709	1.241.087	1.323.620	1.411.651	1.505.548	1.605.702	1.712.531
Ahorros por Mantenimiento	- 73.901	- 73.596	- 73.276	- 72.939	- 72.586	- 72.216	- 71.826	- 71.418	- 70.989	- 70.538
<b>Ahorro por evitar pago de lodos</b>										
<b>TOTAL</b>	<b>885.478,34</b>	<b>949.551,71</b>	<b>1.017.887,30</b>	<b>1.090.769,16</b>	<b>1.168.500,27</b>	<b>1.251.403,85</b>	<b>1.339.824,67</b>	<b>1.434.130,52</b>	<b>1.534.713,75</b>	<b>1.641.992,88</b>

**Apéndice 7. Proyección a 10 años para el primer escenario con lodos**

<b>Generación con Biomasa</b>										
<b>Gastos</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>	<b>Año 10</b>
Consumo de biomasa (\$)	629.595,24	671.778,12	716.787,25	764.812,00	816.054,40	870.730,04	929.068,96	991.316,58	1.057.734,79	1.128.603,02
Consumo de búnker (\$)	30.000	31.500	33.075	34.729	36.465	38.288	40.203	42.213	44.324	46.540
Mantenimiento (\$)	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000
<b>TOTAL</b>	<b>739.595,24</b>	<b>783.278,12</b>	<b>829.862,25</b>	<b>879.540,75</b>	<b>932.519,59</b>	<b>989.018,49</b>	<b>1.049.271,83</b>	<b>1.113.529,59</b>	<b>1.182.058,45</b>	<b>1.255.142,86</b>
	1.110.640,79									

<b>Generación con Búnker-C</b>										
<b>Gastos</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>	<b>Año 10</b>
Consumo de búnker (\$)	1.740.236,02	1.856.831,84	1.981.239,57	2.113.982,62	2.255.619,46	2.406.745,96	2.567.997,94	2.740.053,80	2.923.637,41	3.119.521,11
Mantenimiento (\$)	6.099	6.404	6.724	7.061	7.414	7.784	8.174	8.582	9.011	9.462
<b>TOTAL</b>	<b>1.746.335,26</b>	<b>1.863.236,04</b>	<b>1.987.963,98</b>	<b>2.121.043,26</b>	<b>2.263.033,12</b>	<b>2.414.530,31</b>	<b>2.576.171,51</b>	<b>2.748.636,05</b>	<b>2.932.648,76</b>	<b>3.128.983,04</b>

<b>Ahorros Comparados con el Sistema Actual</b>										
	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>	<b>Año 10</b>
Ahorros por Sustitución de Combustible	1.140.641	1.216.554	1.297.527	1.383.899	1.476.030	1.574.304	1.679.132	1.790.950	1.910.226	2.037.458
Ahorros por Mantenimiento	- 73.901	- 73.596	- 73.276	- 72.939	- 72.586	- 72.216	- 71.826	- 71.418	- 70.989	- 70.538
Ahorro por evitar pago de lodos	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
<b>TOTAL</b>	<b>1.166.740,03</b>	<b>1.242.957,92</b>	<b>1.324.251,73</b>	<b>1.410.960,01</b>	<b>1.503.443,91</b>	<b>1.602.088,71</b>	<b>1.707.305,42</b>	<b>1.819.532,48</b>	<b>1.939.237,64</b>	<b>2.066.919,87</b>