

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA EL CAMBIO DE UNA  
CALDERA DE COMBUSTIÓN A UNA CALDERA ELÉCTRICA**

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL  
GRADO DE BACHILLERATO EN INGENIERÍA  
ELECTROMECAÁNICA

SUSTENTANTE:

DILAN ALFONSO ACUÑA BERMÚDEZ

TUTOR:

ING. GILBERT MORA JIMÉNEZ

SAN JOSÉ, COSTA RICA

JULIO, 2020

## **Agradecimiento**

*A Dios, por permitirme llegar hasta aquí para llevar a cabo esta etapa tan importante en mi formación académica.*

*A los profesores que han estado en cada momento de la carrera, por todos sus aportes, conocimientos y experiencias profesionales compartidas; por el acompañamiento en esta etapa y por su efectivo apoyo, en especial a mi profesor tutor Gilbert Mora por toda la ayuda en este proceso y al director de carrera David Badilla.*

*También, un agradecimiento particular a las personas del Laboratorio de Soluciones Parenterales que me brindaron su ayuda y me facilitaron el uso de sus instalaciones para la realización de este proyecto.*

## **Dedicatoria**

*Dedico este trabajo en especial a mis padres y hermana quienes han estado en los momentos más felices y tristes de este proceso, siempre brindándome su apoyo absoluto para ser una persona de bien y responsable. Quienes con su amor, consejos y apoyo incondicionales me han dado las fuerzas para seguir adelante y así cumplir mis sueños y esta meta tan anhelada en mi vida.*

*A mis amigos por su apoyo durante el proceso, y por estar en todo momento.*

## Contenido

<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....	14
<b>Planteamiento del Problema</b> .....	15
<b>Objetivos</b> .....	15
<b>Objetivo general</b> .....	15
<b>Objetivos específicos</b> . ....	15
<b>Justificación</b> .....	16
<b>Antecedentes</b> .....	17
<b>Proyecciones</b> .....	22
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	23
<b>Generadores de vapor</b> .....	24
<b>Principios y funcionamiento</b> .....	24
<b>Calderas de combustión</b> .....	25
<b>Tipos de calderas</b> .....	26
<b>Clasificación de las calderas según disposición de los fluidos</b> .....	26
<b>Calderas acuotubulares</b> . ....	27
<b>Calderas piro tubulares</b> . ....	27
<b>Combustibles de uso industrial</b> .....	28
<b>Principales características del Búnker C</b> .....	28
<b>Precio del combustible</b> . ....	30
<b>Eficiencia de la caldera</b> .....	31
<b>Pérdidas de calor principales</b> .....	31
<b>Cálculo de la eficiencia</b> . ....	32
<b>Transferencia de energía</b> .....	32
<b>Calderas de resistencia eléctrica</b> .....	33

<b>Generalidades de mantenimiento de una caldera eléctrica.</b> .....	34
<b>Aprovechamiento de energías renovables</b> .....	35
<b>Factor de probabilidad de uso</b> .....	36
<b>Normativa y reglamentación.</b> .....	37
<b>Decreto Ejecutivo N°26789 – MTSS: Reglamento de calderas.</b> .....	37
<b>Decreto Ejecutivo N°36551–S–MINAET– MTSS: Reglamento sobre emisión de contaminantes atmosféricos provenientes de calderas y hornos de tipo indirecto.</b> .....	37
<b>Supervisión de la comercialización del suministro eléctrico en baja y media tensión AR-NT-SUCOM.</b> .....	37
<b>Supervisión de la instalación y equipamiento de acometidas eléctricas (norma técnica regulatoria AR-NT-SUINAC).</b> .....	37
<b>Código Eléctrico Nacional (NEC).</b> .....	38
<b>Instalaciones eléctricas</b> .....	38
<b>Elementos de una instalación eléctrica.</b> .....	39
<b>Demanda de una instalación.</b> .....	40
<b>Demanda máxima real de kVA.</b> .....	40
<b>Métodos y dispositivos de cableado.</b> .....	40
<b>Electroductos.</b> .....	42
<b>Tableros de distribución Switchgear.</b> .....	43
<b>Medición de la huella de carbono</b> .....	44
<b>Emisiones equivalentes por consumo de energía eléctrica.</b> .....	45
<b>Emisiones equivalentes procedentes del consumo de búnker</b> .....	46
<b>Análisis financiero</b> .....	47
<b>Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE)</b> .....	47
<b>Criterio de decisión</b> .....	48
<b>Valor Actual Neto (VAN)</b> .....	48

<b>Tasa de interés.</b> .....	48
<b>CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO</b> .....	50
<b>Método de la investigación</b> .....	50
<b>Enfoque de la investigación</b> .....	50
<b>Tipo de investigación</b> .....	50
<b>Tipo de Muestra</b> .....	50
<b>Fuentes de Información</b> .....	51
<b>Unidades de análisis</b> .....	52
<b>Instrumentos</b> .....	57
<b>CAPÍTULO IV: DESARROLLO</b> .....	58
<b>Cálculo consumos de vapor</b> .....	58
<b>Dimensionamiento de la caldera</b> .....	60
<b>Selección de la caldera</b> .....	64
<b>Análisis de gases efecto invernadero (GEI)</b> .....	64
<b>Emisiones procedentes de la caldera de búnker.</b> .....	65
<b>Emisiones procedentes de la caldera eléctrica.</b> .....	66
<b>Requerimientos de la instalación eléctrica</b> .....	67
<b>Factor de potencia.</b> .....	68
<b>Transformador.</b> .....	68
<b>Cálculo de la corriente.</b> .....	73
<b>Tablero de distribución switchgear.</b> .....	73
<b>Cálculo de calibres de cables.</b> .....	74
<b>Análisis financiero</b> .....	77
<b>Costos de operación de la caldera actual.</b> .....	77
<b>Costos de operación de la caldera eléctrica.</b> .....	78

Costos del sistema.....	82
Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) y Valor Actual Neto (VAN).....	84
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>86</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>86</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>87</b>
<b>CAPÍTULO VI: BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>89</b>
<b>CAPÍTULO VII: APÉNDICE .....</b>	<b>91</b>
<b>Apéndice 1. Cintra métrica marca Stanley .....</b>	<b>91</b>
<b>Apéndice 2. Canalización media tensión trifásica.....</b>	<b>92</b>
<b>Apéndice 3. Dimensiones para la fosa del transformador .....</b>	<b>93</b>
<b>Apéndice 4. Electroductos marca Schneider.....</b>	<b>94</b>
<b>Apéndice 5. Switchgear Power-Zone 4, bajo voltaje.....</b>	<b>95</b>
<b>Apéndice 6. Ampacidades permisibles en conductores .....</b>	<b>96</b>
<b>Apéndice 7. Conductor electro de puesta a tierra.....</b>	<b>97</b>
<b>Apéndice 8. Cotización aproximada del tablero switchgear.....</b>	<b>98</b>
<b>Apéndice 8. Precios de electroductos.....</b>	<b>98</b>
<b>Apéndice 9. Cotización caldera eléctrica.....</b>	<b>99</b>
<b>Apéndice 10. Precios conductores eléctricos .....</b>	<b>100</b>
<b>Apéndice 11. Precio canasta .....</b>	<b>100</b>
<b>Apéndice 12. Cotización de transformador.....</b>	<b>101</b>
<b>Apéndice 13. Diagrama de Gantt .....</b>	<b>102</b>
<b>Apéndice 14. Evaluación económica del proyecto .....</b>	<b>103</b>

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Esquema del funcionamiento de un generador de vapor. ....	24
<b>Figura 2.</b> Caldera acuotubular. ....	27
<b>Figura 3.</b> Caldera piro tubular horizontal .....	28
<b>Figura 4.</b> Caldera eléctrica marca GVE INOX. ....	34
<b>Figura 5.</b> Powerbus.....	43

## Índice de cuadros

<b>Cuadro 1.</b> Propiedades físicas y químicas del Búnker C (Fuel Oil) .....	30
<b>Cuadro 2.</b> Precios en colones a clientes directos .....	31
<b>Cuadro 3.</b> Área porcentual de conductos en tuberías.....	42
<b>Cuadro 4.</b> Factor de emisión en el sector electricidad.....	45
<b>Cuadro 5.</b> Factores de emisión por la utilización de búnker .....	46
<b>Cuadro 6.</b> Potenciales de calentamiento global .....	47
<b>Cuadro 7.</b> Operacionalización de variables objetivo 1.....	52
<b>Cuadro 8.</b> Operacionalización de variables objetivo 2.....	53
<b>Cuadro 9.</b> Operacionalización de variables objetivo 3.....	54
<b>Cuadro 10.</b> Operacionalización de variables objetivo 4.....	55
<b>Cuadro 11.</b> Operacionalización de variables objetivo 5.....	56
<b>Cuadro 12.</b> Consumos de vapor de los equipos. ....	59
<b>Cuadro 13.</b> Energía consumida por el tanque de condensados.....	60
<b>Cuadro 14.</b> Energía absorbida por sistema .....	62
<b>Cuadro 15.</b> Consumos finales aplicando factor de uso .....	63
<b>Cuadro 16.</b> Dimensión de la caldera .....	64
<b>Cuadro 17.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente por uso de búnker .....	66
<b>Cuadro 18.</b> Balance eléctrico por fuente en el año 2019.....	66
<b>Cuadro 19.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente por uso de electricidad.....	67
<b>Cuadro 20.</b> Calibres de conductores.....	76
<b>Cuadro 21.</b> Costo por consumo de búnker, según tarifa que aplica a partir del 20 de junio del 2020 .....	78
<b>Cuadro 22.</b> Costos totales .....	78

<b>Cuadro 23.</b> Costo por consumo de potencia tarifa TMT, según tarifaria que aplica a partir del 1 de Julio del 2020 .....	79
<b>Cuadro 24.</b> Costo por consumo de potencia tarifa T-MTb, según tarifaria que aplica a partir del 1 de Julio del 2020 .....	79
<b>Cuadro 25.</b> Costo total por consumo de energía tarifa TMT, según tarifaria que aplica a partir del 1 de Julio del 2020.....	80
<b>Cuadro 26.</b> Costo total por consumo de energía tarifa T-MTb, según tarifaria que aplica a partir del 1 de Julio del 2020 .....	81
<b>Cuadro 27.</b> Resumen costos de la electricidad .....	81
<b>Cuadro 28.</b> Cotización final de la inversión .....	83
<b>Cuadro 29.</b> Comparación de costos búnker vs electricidad.....	84
<b>Cuadro 30.</b> Evolución Económica del proyecto .....	85

### Índice de gráficos

<b>Gráfico 1.</b> Comportamiento de los promedios de los gases de chimenea, para cada una de las dosis de aditivo.....	21
--	----

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

En los últimos años, el ser humano ha hecho un uso desconsiderado e irracional de los recursos, producto del acelerado crecimiento urbano. Sectores como la industria producen grandes emisiones de gases al ambiente; según estimaciones de Emission Data base for Global Atmospheric Research (EDGAR), las emisiones han aumentado en un 9,5% desde el año 2007. Con esto se ha generado un considerable impacto al medio ambiente, poniendo en evidencia el cambio climático, el cual, representa un reto tanto para el gobierno nacional como para gobiernos internacionales.

El ambiente y el factor clima son claves para nuestro futuro, ya que, son esenciales para el pleno desarrollo de los seres humanos. Si tales elementos naturales se ven alterados por la mano del hombre, el futuro no resulta ser muy prometedor para la humanidad ni para la naturaleza. Por lo cual aún se cree estar a tiempo para tomar medidas, ya que la inestabilidad ambiental conlleva un sin fin de consecuencias, provocando un problema que nos afecta a todos los seres vivos, el tan conocido calentamiento global.

Debido a esto, a través del tiempo se ha implementado la sustitución de energías no renovables o sucias por las llamadas energías limpias, con el fin de minimizar el impacto negativo generado al ambiente y poder continuar con el desarrollo humano.

El aprovechamiento de los recursos renovables para la generación de energía limpia en nuestro país, permite independizarse de un modelo de uso de combustibles fósiles, dependencia del petróleo, entre otros y de esta forma contribuir a una sostenibilidad ambiental y a frenar el cambio climático. El plan de descarbonización establece que la industria consolidará un sistema eléctrico nacional con capacidad, flexibilidad, inteligencia y resiliencia necesaria para abastecer y gestionar energía renovable a costo competitivo. Así mismo, mejores prácticas internacionales en sus procesos para minimizar emisiones.

Con el objeto de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en Costa Rica el gobierno ha venido implementando ciertas medidas, una de estas se da en las instituciones públicas, sirviendo de laboratorio de experiencias que contribuyan con la descarbonización del país, de tal manera que se insta al sector público a promover la transición hacia el uso de calderas eléctricas y así seguir velando por la protección del medio ambiente mediante la directriz del ministerio de ambiente y energía N° 006-2019-MINAE.

## **Planteamiento del Problema**

¿Cuál es la viabilidad para el cambio de una caldera de combustión a una caldera eléctrica en el Laboratorio de Soluciones Parenterales de la Caja Costarricense de Seguro Social?

## **Objetivos**

### **Objetivo general.**

Analizar cuál es la viabilidad para el cambio de una caldera de combustión a una caldera eléctrica en el Laboratorio de Soluciones Parenterales de la Caja Costarricense de Seguro Social, mediante un estudio técnico, económico y ambiental.

### **Objetivos específicos.**

- Determinar las características de operación de la caldera de combustión, y los diferentes equipos de la planta por medio del consumo de vapor de cada uno para conocer la demanda requerida.
- Dimensionar y seleccionar la caldera eléctrica que mejor se adecue a los requerimientos de la planta de acuerdo con el consumo de vapor para realizar el cambio.
- Determinar la cantidad de gases que se dejarán de emitir al ambiente con el cambio de la caldera según el análisis de los consumos búnker y de energía eléctrica para conocer la disminución de la huella de carbono.
- Definir los requerimientos técnicos de instalación de la caldera eléctrica por medio del cálculo de calibres de conductores eléctricos, canalización y la evaluación de las dimensiones del cuarto de calderas para una correcta instalación.
- Desarrollar un estudio financiero de las implicaciones del cambio de la caldera de combustión a la caldera eléctrica por medio de cotizaciones, estimación de costos de mantenimiento y costos de operación para conocer la rentabilidad de inversión del proyecto.

## **Justificación**

Durante el 2012, Costa Rica inicio un proyecto con el único propósito de ayudar al ambiente, se planteó la meta de ser un país carbono neutro para el año 2021. Actualmente la neutralidad de carbono para ese año es difícil de cumplir; sin embargo, fue un buen punto de inicio donde también se despertó el interés de las empresas privadas que por su propia voluntad se sumaron al cambio de optar por prácticas para reducir las emisiones y lograr alcanzar el título de carbono neutralidad, ayudando al planeta y a nosotros mismos.

El país continúa sus esfuerzos para reducir emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar su capacidad para enfrentar los efectos del cambio climático en sectores claves. Como indica el Ministro de Ambiente y Energía, el Dr. Edgar Gutiérrez Espeleta (2016):

Somos un país pequeño con metas grandes. Nos caracteriza un espíritu pionero. Históricamente, el país se ha propuesto metas ejemplares para el mundo y las ha cumplido. Somos el primer país sin ejército, el primer país tropical en haber revertido el proceso de deforestación y estamos actuando para convertirnos en el primer país carbono neutral.

Se contemplan cambios en la oferta de movilidad y transporte público y privado, en la gestión de las formas de energía, en la construcción sostenible y la industria. Como es mencionado por el presidente de la República Carlos Alvarado, es un gran reto que debe asumir el país en el cual todos debemos participar, “El cambio climático es el principal reto para los próximos 30 años, el calentamiento global es la principal amenaza para el país, la región y el mundo”.

Se pretende es lograr un balance entre la emisión de gases de efecto invernadero y emprender acciones de compensación como la reforestación y aprovechamiento de fuentes de energía alternativas. Es por esto que el Ministerio de Ambiente y Energía emite la directriz No 006-2019-MINAE dirigida al sector público donde se insta a la transición hacia el uso de calderas eléctricas considerando los análisis técnicos y de costos, financieros y otros correspondientes. Con el objeto de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y contribuir a la descarbonización del país.

Es el por esto, que el objetivo del presente trabajo consiste en realizar el estudio de viabilidad para el cambio de una caldera de combustión a una caldera eléctrica en el Laboratorio de Soluciones Parenterales de la Caja Costarricense de Seguro Social.

## **Antecedentes**

En el presente apartado se incluyen los estudios o trabajos relacionados con el tema e investigación, tanto a nivel nacional como internacional.

**Autor:** Yenny Sofía Díaz Palencia.

**Fecha:** 2010.

**Institución:** Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

**Tema:** Análisis del Cambio Climático.

En el estudio Análisis del Cambio Climático para la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia por Sofía Díaz, se expone acerca del aumento de la quema del combustible fósil y los cambios en la utilización del territorio continúan provocando la emisión de cantidades crecientes de gases de efecto invernadero a la atmósfera terrestre. El calentamiento progresivo de la tierra debido a dichas actividades es el fenómeno al cual se le denomina Calentamiento global.

Se habla acerca de los desarrollados los cuales deben dirigir las acciones y plantear los objetivos vinculantes que reduzcan sus emisiones hasta un 80%, por lo menos, para el año 2050; se incluyen metas, a mediano plazo, de difícil rendimiento que los conduzca a su objetivo. De acuerdo con el análisis del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), para el 2020, los países desarrollados, en conjunto, deberían reducir sus niveles de emisión entre un 25-40% por debajo de los índices de 1990.

El desarrollo e instalación de tecnología es básica para enfrentar las causas y consecuencias que conlleva el cambio climático que van desde las fuentes de energía de bajas emisiones de carbono, hasta la construcción de una infraestructura capaz de resistir los efectos del cambio climático, y el reemplazo de combustibles fósiles por otros menos contaminantes.

Hoy se habla de cambio climático para describir en general las variaciones climáticas de los últimos cien años aproximadamente. Existe un consenso científico por el que estos cambios, así como los previstos para el resto del siglo XXI, son en su mayor parte consecuencia de la actividad humana más que de los cambios naturales en la atmósfera. La mayoría de los científicos cree que los excesivos gases de efecto invernadero que los humanos han emitido suponen la mayor amenaza para el clima.

Es por esto que en Costa Rica el gobierno está comprometido a trabajar constructivamente en favor para controlar el cambio climático, y se ha tomado acciones propias con el fin de tratar de

reducir los gases emitidos la ambiente y se toman medidas como la migración de combustibles fósiles a la utilización de energías limpias o renovables.

**Autor:** Jose Antonio Ruiz Díaz.

**Fecha:** 2009.

**Institución:** Universidad de Salamanca.

**Tema:** Cambio Climático, ¿Un Desafío A Nuestro Alcance?

En el libro Cambio Climático, ¿Un Desafío A Nuestro Alcance?, escrito por Jose Antonio Ruiz Díaz se abarca el tema sobre el cambio de combustibles fósiles a energías renovables, no existe duda alguna de que los aspectos relacionados con consumo de energía, en especial si se trata de energía primaria relacionada con los combustibles fósiles, tiene una gran influencia sobre la posibilidad que se produzca el cambio climático del que se habla en los últimos años.

Las energías no renovables y su consumo indiscriminado, han sido una de las causas que más ha repercutido en la decisión tomada por unanimidad del Panel Intergubernamental de Naciones Unidas para achacar al hombre buena parte de la responsabilidad de cómo se encuentran las cosas con respecto a la climatología.

Muchos países pobres dedican la mayor parte de su presupuesto a la importación de petróleo. El uso de combustibles fósiles es el principal motivo por el cual se produce la contaminación del aire y como consecuencia de todo esto, deriva en una serie de problemas de salud. Dice que es posible crear una infraestructura renovable y descentralizada de la energía, basada en la electricidad y en la producción de hidrógeno a partir de fuentes de energías locales como el sol, viento y agua, aprovechando así las condiciones naturales que los países a menudo ofrecen.

En apoyo de esta teoría están las decisiones adoptadas por la unión europea que basan la lucha contra el cambio climático o sus consecuencias en alcanzar unas cotas de energía renovable para los próximos años (2020) pensando en ello se conseguirá una disminución de emisiones de gases de efecto invernadero.

En nuestro país considerando que el Acuerdo de París establece como meta mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los

riesgos y efectos del cambio climático, se emite la directriz dirigida al sector público para la transición hacia el uso de calderas eléctricas.

**Autor:** Yonder Alberto Miranda Gamboa.

**Fecha:** 2014.

**Institución:** Instituto Tecnológico De Costa Rica.

**Tema:** Justificación de la sustitución de una caldera de búnker por una caldera de biomasa por Eco Solutions en Bridgestone de Costa Rica.

En la investigación realizado por el Ingeniero Yonder Alberto Miranda titulada Justificación de la sustitución de una caldera de búnker por una caldera de biomasa por Eco Solutions en Bridgestone de Costa Rica, realizada para optar por el título de Licenciatura en Ingeniería en Mantenimiento Industrial.

Como parte del objetivo principal planteado, mediante el proyecto pretende dar una justificación que tome en cuenta los factores ambiental, técnico, económico y energético de la sustitución de una caldera de búnker por una caldera biomásica en la empresa Bridgestone de Costa Rica, ubicada en Belén de Heredia.

Mediante el desarrollo del proyecto se determinan los aspectos básicos de cada una de las áreas a estudiar como parte de la justificación incluyendo:

- Dimensionamiento de la caldera necesaria para sustituir la anterior caldera de búnker.
- Determinación de la cantidad de energía necesaria requerida por el proceso de fabricación de llantas.
- Cálculo de la cantidad de toneladas de dióxido de carbono emitidas a la atmosfera comparando la generación de vapor con búnker y con biomasa.
- Análisis económico general sobre el proyecto, rentabilidad, periodo de retorno de inversión.

Se realizó un estudio que contempló estos aspectos básicos de la sustitución de la caldera teniendo en cuenta las expectativas tanto de Bridgestone como Eco Solutions en cuanto a las necesidades de energía del proceso de producción de vapor, la cual tenía una demanda de energía mensual promedio de 10.697.154,40 MJ que corresponde a 263.594,87 litros de búnker y 528,91

toneladas métricas de pellets. Con base en esto se seleccionó una caldera de 600 BHP o 6 MW y una generación de vapor de 9,2 toneladas de vapor por hora.

El ingeniero Miranda determinó que la disminución de emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera por la generación de vapor fue de un 40% sobre el proceso, las toneladas de dióxido de carbono evitadas son de aproximadamente un 60% respecto de la producción de vapor usando solamente búnker, las cuales se registran en 696,94 toneladas de CO<sub>2</sub> liberadas al año.

Al concluir la investigación se establece que existe una diferencia de precio de un 20% del pellet respecto al búnker lo que genera ahorros mensuales mayores a los 22 millones de colones, generando ahorros anuales de más de 500 millones de colones. De acuerdo al análisis financiero presentado el periodo de retorno de inversión es de menos de 2 años para Bridgestone y de aproximadamente 4 años para Eco Solutions, por la cual la evaluación final el proyecto fue viable en cuanto al tiempo necesario para recuperar la inversión inicial.

**Autor:** Ana Margarita Vargas González.

**Fecha:** 2006.

**Institución:** Universidad De Costa Rica.

**Tema:** Caracterización De Aditivos Para Combustible Tipo Búnker C Utilizado En Una Caldera Acuotubular Con Relación A Sus Efectos Contaminantes.

La anterior investigación realizada por Ana Margarita Vargas reúne información sobre los diversos tipos de calderas que existen, haciendo énfasis en las calderas acuotubulares. Se exponen los sus parámetros de calidad del tipo de combustible a utilizar, en este caso Búnker C (fuel oil N°6), desde una perspectiva internacional, nacional y de las normas internas establecidas por la Refinadora Costarricense de Petróleo.

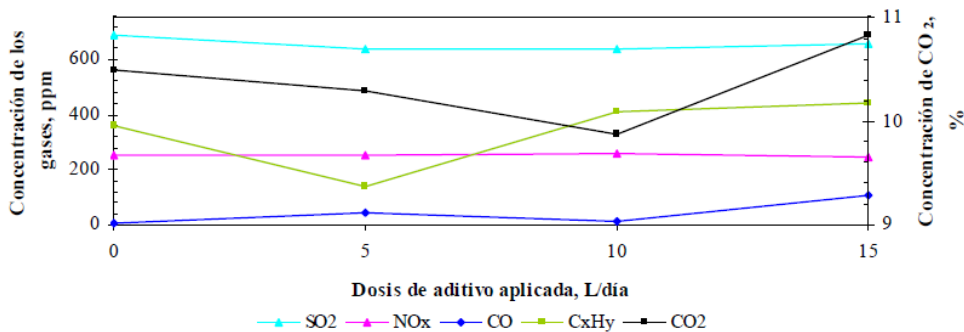
Se hace mención de los contaminantes atmosféricos provenientes de los generadores de vapor a partir de la combustión y de los posibles tipos de aditivos para tratar algunos problemas provenientes por el uso de este tipo de combustible.

Habla acerca de las especificaciones técnicas internas para búnker C, el combustible debe cumplir con parámetros que aseguren la calidad, a lo largo de toda la línea de importación: desembarque, almacenamiento, proceso o mezcla, transporte y distribución al cliente. Para esto, RECOPE ha establecido un sistema de controles en cuatro puntos específicos y así garantizar condiciones aceptables a sus clientes. En Costa Rica, las especificaciones técnicas para este

combustible están asociadas, además, a una Normativa Nacional, el Decreto No. 15993 MEIC, Gaceta No. 32 del 14 de febrero de 1985.

En la investigación se concluyó que el aditivo agregado en la caldera no presentó cambios significativos de los gases de chimenea, como se observa en la figura 1, los porcentajes de emisión se mantenían constantes sin importar los litros de aditivo que se le agregaran o por la cantidad de días que se usaran. Por lo que se puede ver que, aunque a pesar de que se trate de disminuir las emisiones de gases de chimenea que generan las calderas es un parámetro difícil de controlar.

**Gráfico 1.** Comportamiento de los promedios de los gases de chimenea, para cada una de las dosis de aditivo.



**Fuente:** Vargas, 2006.

Los contaminantes a partir de los generadores de vapor según el grado y la permanencia, alteran los procesos fisiológicos y el crecimiento de los seres vivos, así como la productividad y la calidad de la vegetación, favorecen la producción de humo niebla (“smog”) fotoquímico y lluvia ácida.

El calentamiento global de la atmósfera es otro efecto nocivo de la contaminación atmosférica. Se atribuyen, como causas principales, la concentración alta de gases como dióxido de carbono y metano en la atmósfera. Esto da paso al efecto invernadero, ya que el calor de la tierra queda atrapado en la atmósfera, es aquí donde hoy en día se busca como poder ayudar al planeta y una manera de hacerlo es con la utilización de las fuentes de energía renovables.

## **Proyecciones**

En el presente trabajo se busca realizar el estudio de viabilidad técnica, ambiental y económica para el cambio de una caldera de combustión a una caldera eléctrica en la Laboratorio de Soluciones Parenterales de la Caja Costarricense del Seguro Social, acatando la directriz emitida por el Ministerio de Ambiente y Energía la cual insta al sector público a realizar la transición con el objeto de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en las instituciones públicas.

Al concluir, el mismo se entregará un disco compacto que contendrá una memoria de cálculo, el análisis de costos de inversión y operación de la caldera, los resultados del valor actual neto (VAN), la tasa de interna de retorno (TIR), estimación de las emisiones de gases, el periodo de recuperación de la inversión.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Las múltiples aplicaciones que tienen las calderas industriales, las condiciones variadas de trabajo y las innumerables exigencias de orden técnico y práctico que deben cumplir para que ofrezcan el máximo de garantías en cuanto a solidez, seguridad en su manejo, durabilidad y economía en su funcionamiento, ha obligado a los fabricantes de estos equipos a un perfeccionamiento constante a fin de enfrentar los problemas. La búsqueda de soluciones ha originado varios tipos existentes agrupados según sus características más importantes.

Los sistemas de vapor tienen hoy en día un uso muy extenso en aplicaciones diversas, tales como generación de energía mecánica y eléctrica, como agente calefactor en servicios comerciales e industriales, y como materia prima en determinados procesos entre otros.

El vapor es utilizado de forma general como fuente de calor o para generar potencia mecánica. En las plantas térmicas el vapor se expande en una turbina, su energía es transformada en potencia mecánica, y esta a su vez en potencia eléctrica. En los procesos industriales el vapor es utilizado como fuente de calor para múltiples aplicaciones. En los sistemas de energía total, el vapor se utiliza para la producción combinada o secuencial de energía eléctrica y térmica, lo cual incrementa la eficiencia global del sistema.

El elemento central en un sistema de vapor lo constituye el generador de vapor o caldera de vapor, el generador de vapor está constituido por un conjunto de superficies de calentamiento y equipos, integrados en un esquema tecnológico para generar y entregar vapor en la cantidad, con los parámetros, calidad y en el momento requerido por los equipos de uso final, en forma continua y operación económica y segura, a partir de la energía liberada en la combustión de un combustible orgánico (Borroto y Rubio, 2007).

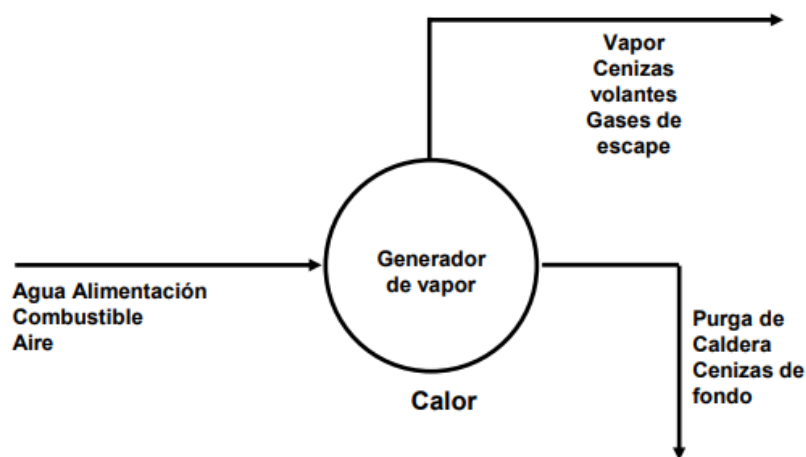
Hoy en día las calderas constituyen un elemento esencial en el funcionamiento de prácticamente todas las empresas industriales al proporcionar la potencia o el calor necesario para el proceso, dependiendo sus resultados productivos y económicos en gran medida de la confiabilidad, seguridad y eficiencia con que operen las calderas.

Por tanto, el personal de operación y supervisión del departamento de generación de vapor tiene una gran responsabilidad que requiere del conocimiento y actualización continua en las técnicas y procedimientos para garantizar la estabilidad y seguridad en el suministro de vapor según los requerimientos del proceso, con el menor consumo de combustible, con el menor gasto y el mínimo impacto ambiental.

## Generadores de vapor

Los generadores de vapor “Son dispositivos diseñados para suministrar calor a una masa de agua que puede estar o no en reposo, con el fin de provocar en ella el cambio de estado. Estos dispositivos son conocidos como calderas y funcionan poniendo en contacto el agua a evaporar con superficies a temperaturas elevadas conocidas como superficies de calefacción, logrando así que el calor viaje de las superficies con temperaturas altas hacia el agua que se encuentra a una temperatura más baja”. (Osejo, 2017).

**Figura 1.** Esquema del funcionamiento de un generador de vapor.



**Fuente:** Marcano, R, 2006.

## Principios y funcionamiento

Las calderas, en términos generales son dispositivos utilizados para la producción de vapor en los procesos industriales, ya sea como proporcionadores de fuerza o bien como medio de calefacción. En las calderas, el calor se transmite desde una fuente externa, como la combustión, a un fluido también contenido en ellas.

La caldera, propiamente, es el cuerpo que da forma al recipiente y aquellas superficies sobre las que ocurre la convección. La unidad que comprende al hogar (cámara donde ocurre la combustión) y a la caldera se denomina generador de vapor. Sin embargo, bajo el término “caldera” se sobreentiende que se trata de una unidad generadora de vapor, más aún si el hogar está autocontenido en ella (Shield, 1978, citado por Vargas, 2006).

La producción de calor depende directamente de factores como:

- Grado de la combustión: si se consume o no todo el combustible y si se logra la combustión completa.
- Superficie de calefacción: a través de la cual ocurre la convección, a mayor superficie mayor sería el calor transmitido.
- Circulación: de los gases de combustión y del vapor dentro del aparato.
- Distribución de la superficie: es decir, el área en la que ocurren los procesos de radiación y convección.

Cuando ocurre la combustión sus productos deben removerse, ya sea por tiro natural, como en una chimenea, por tiro forzado o por tiro inducido mediante un ventilador. Las calderas, además, pueden estar equipadas con sobre calentadores si se desea calentar el vapor a una temperatura superior a la de saturación y con recalentadores, si el vapor se emplea más de una vez. También se puede contar con dispositivos antiespumantes y otros mecanismos que eliminen el agua líquida arrastrada por el vapor, para asegurar un vapor seco (Florencio, 1969), citado por Vargas 2006.

La energía liberada por la reacción de combustión, entre el oxígeno y el combustible, se transfiere como calor al agua también contenida en la caldera, la cual sufre un aumento de temperatura. Una vez que el agua alcanza su punto de ebullición se convierte en vapor por la diferencia entre las densidades del vapor y el agua. El primero asciende y se acumula en la parte superior de la caldera. Se sugiere no alimentar agua dura al sistema de vapor, por lo que ésta se somete a un tratamiento químico previo para eliminar las impurezas tales como sales solubles, las cuales se expulsan mediante dispositivos de purga (Méndez, 1985), citado por Vargas 2006.

### **Calderas de combustión**

La combustión es una reacción química en la que un oxidante interactúa con un combustible liberando grandes cantidades de calor. En este tipo de calderas se aprovecha la temperatura de los gases productos de combustión para calentar el agua. Se caracterizan por su alta eficiencia, su baja complejidad, su fácil uso, mantenimiento y los bajos precios del combustible en comparación con otras fuentes de calor. La principal desventaja de este tipo de calderas es la producción de gases de efecto invernadero y material particulado producto de la reacción de combustión. Todas las calderas de combustión, sin importar su tipo deben contar con los siguientes elementos mínimos para su funcionamiento (Osejo, 2017).

- **Cámara de combustión:** es el espacio físico en donde se lleva a cabo la reacción de combustión y dependiendo de la configuración de la caldera puede o no ser parte integral del sistema de transferencia de calor.
- **Sistema de transferencia de calor:** es el encargado de transferir la energía contenida en los gases de combustión al agua.
- **Quemador:** es el dispositivo encargado de comenzar, mantener y terminar la reacción de combustión de una manera segura y controlada regulando el flujo de los reactivos hacia la cámara de combustión.
- **Cámara de agua:** es el depósito en donde se contiene el agua que será evaporada.
- **Cámara de vapor:** es el depósito en donde se almacena el vapor para su distribución.
- **Chimenea:** es el ducto a través del cual los gases de combustión son liberados a la atmósfera después de haber cedido el calor aprovechable al agua.
- **Sistema de monitoreo y control:** es el conjunto de elementos encargados de monitorear y controlar las condiciones al interior de la caldera.
- **Bomba de alimentación:** el dispositivo que suministra el agua a la caldera y reponer el líquido evaporado.

### **Tipos de calderas**

Ya que el vapor es una sustancia de gran utilidad en la industria, se han desarrollado una gran variedad de equipos para generarlo. Estos equipos vienen en diferentes tamaños, capacidades, configuraciones y hacen uso de una gran variedad de fuentes de calor.

Una primera clasificación y tal vez la más amplia e importante, surge al separar los equipos según la fuente de calor de la que disponen, así se tienen generadores de resistencia eléctrica, de combustión, de energía solar, de energía nuclear entre los más importantes. En el presente trabajo no es necesario profundizar en las calderas de tipo nuclear ni de energía solar, ya que estas son para casos muy especializados en los que las demandas de vapor son de tal magnitud que justifican sus muy elevados costos de instalación y operación.

### **Clasificación de las calderas según disposición de los fluidos**

Las calderas se clasifican en función del paso del fluido portador de calor a través de los tubos de intercambio, de la siguiente manera.

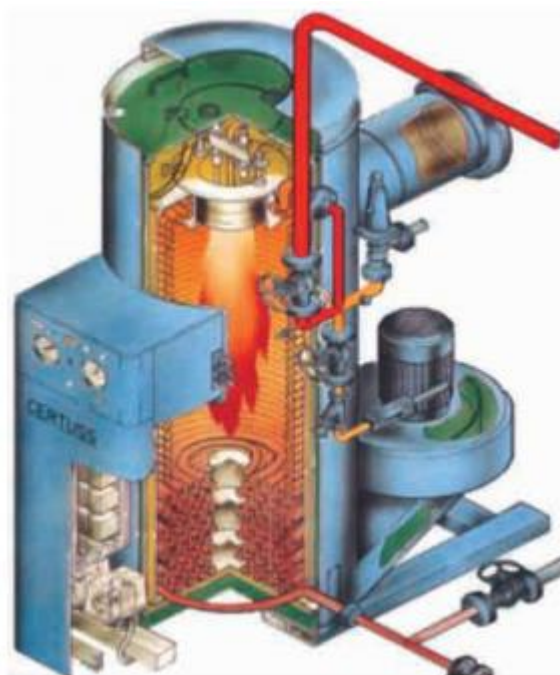
### **Calderas acuotubulares.**

Son aquellas calderas en las que el fluido de trabajo se desplaza por el interior de tubos durante su calentamiento y los gases de combustión circulan por el exterior de los mismos. Son de aplicación cuando se requiere una presión de trabajo por encima de los 22 bar. Por su diseño constructivo, lógicamente tienen un bajo volumen de agua y, por lo tanto, pueden ser clasificadas como clase primera gran número de ellas.

En el caso de calderas de vapor, el título de vapor es muy bajo (0,85), es decir, que el contenido de agua por unidad de masa es muy alto (15%) si no se les añaden subconjuntos secadores del vapor, tales como recalentadores o sobre calentadores.

Las exigencias de la calidad del agua de alimentación a estas calderas suelen ser superior al requerido para otro tipo de calderas (Uceda, 2012).

**Figura 2.** Caldera acuotubular



**Fuente:** Uceda, 2012.

### **Calderas pirotubulares.**

Son las más antiguas y de uso más extendido debido a su diseño simple y sus bajos costos. En este tipo de calderas, los tubos de acero se encuentran sumergidos en un tanque cilíndrico que

actúa como cámara de agua y de vapor, mientras que, por el interior, los gases de combustión circulan a alta temperatura. (Osejo, 2017).

Son de aplicación principalmente cuando la presión de trabajo es inferior a los 22 bar, por su diseño, tienen un gran volumen de agua. Dicho volumen de agua les permite adaptarse mejor a las variaciones de la instalación que las calderas acuotubulares (Uceda, 2012).

**Figura 3.** Caldera piro tubular horizontal



**Fuente:** Uceda, 2012.

### **Combustibles de uso industrial**

El Búnker es un combustible que normalmente proviene de la primera etapa del proceso de refinación (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.

#### **Principales características del Búnker C.**

Es una de las propiedades de mayor importancia en el uso de este combustible, pues relaciona con el adecuado funcionamiento de los sistemas que usan búnker en la industria. La viscosidad del búnker aumenta conforme se incrementa el número de carbonos de las moléculas que lo componen y crece rápidamente al disminuir la temperatura.

#### ***Punto de fluidez.***

Se le conoce también como punto de derrame y es la temperatura a la cual el combustible se vuelve semisólido por la cristalización de ceras y otros compuestos presentes él. Esto dificulta el manejo del producto por parte de las bombas.

### ***Temperatura de inflamación.***

La temperatura de inflamación es un dato importante para la seguridad en el almacenamiento y manejo de un combustible. Se define como la temperatura más baja a la que debe calentarse el líquido para que genere vapores suficientes capaces de iniciar la combustión en presencia de una fuente de ignición.

### ***Agua y sedimento.***

El agua disminuye el poder calórico del combustible y la temperatura del hogar, lo cual propicia que se alcance el punto de rocío ácido y ocurra corrosión. Además, al ser el agua levemente más densa que el combustible, se tiende a acumular en el fondo de los tanques por condensación, por su parte, los sedimentos tienden a acumularse en los filtros, quemadores y otros componentes del equipo de combustión, además de generar bloqueo o atascamientos.

### ***Poder calórico.***

Es la cantidad de energía que potencialmente puede liberar un kilogramo de combustible (Julio/kg) durante el proceso de combustión. Su valor no se especifica en las normas de calidad para el Búnker C, pero es un dato importante para realizar los balances de energía y determinar el costo energético del producto. El Búnker C que distribuye RECOPE tiene un poder calórico neto promedio de 42,5 MJ/kg para el año 2018. Se define como requisito mínimo de compra 41,0 MJ/kg.

### ***Densidad.***

La densidad no tiene una relación directa con las características del búnker, pero, es un dato necesario para los cálculos de balance de energía. Esta propiedad aumenta conforme se incrementa el tamaño de las moléculas que componen el combustible. El promedio para el 2018 fue de 987,0 kg/m<sup>3</sup> con un ámbito de variación entre 951,0 y 992,0 kg/m<sup>3</sup>.

**Cuadro 1.** Propiedades físicas y químicas del Búnker C (Fuel Oil)

Propiedad	Mín	Promedio	Máx	Límite de Especificación	Método
Viscosidad a 50 °C, mm <sup>2</sup> /s	270	389	489	Máximo 640	ASTM D-445
Temperatura del punto de fluidez, °C	-33	3	15	Máximo 15	ASTM D-6749
Temperatura de inflamación, °C	91	94	99	Mínimo 60	ASTM D-93
Fracción masa de ceniza, %	0,05	0,07	0,08	Máximo 0,10	ASTM D-482
Fracción masa residuo carbón Conradson, %	11	13,2	16	Máximo 18	ASTM D-4530
Fracción de volumen agua y sedimento, % v/v	0,1	0,4	2	Máximo 2,0	ASTM D-1796
Poder calórico neto, MJ/kg	42,2	42,5	42,8	Reportar	ASTM D-4868
Calor de Combustión bruto, kcal/kg	9584	9875	10165	Reportar	ASTM D-4809
Densidad a 15 °C a muestra, kg/m <sup>3</sup>	951	987	992	Máximo 991,0	ASTM D-1298
Fracción masa de Azufre, %	1	2	3	Máximo 3	ASTM D-4294
Contenido de Vanadio, mg/kg	164	198	292	Máximo 350	ASTM D-5863
Fracción volumen de agua por destilación, %v/v	0,1	0,2	0,4	Máximo 0,5	ASTM D-95

**Fuente:** Departamento de Control de Calidad RECOPE y análisis de puerto de carga

#### **Precio del combustible.**

Los precios al consumidor son establecidos por la Autoridad Reguladora de Servicios Públicos (ARESEP). Los precios se establecen con base en el precio internacional del producto, el tipo de cambio, el margen de operación de las Estaciones de Servicio, Transportistas, RECOPE y los impuestos. Precios publicados en La Gaceta No.146, del 19 de junio del 2020. Cambio en Impuesto Único: Rige a partir del 20 de junio del 2020. Precios publicados en La Gaceta No.158, del 01 de julio del 2020. Cambio en Combustibles en Estaciones de Servicio y Terminales de Venta: Rige a partir del 02 de julio del 2020.

**Cuadro 2.** Precios en colones a clientes directos

<b>Producto</b>	<b>Precio / Litro Sin Impuesto</b>	<b>Impuesto Único</b>	<b>Precio / Litro Total</b>
Búnker C	134.54	24.25	158.79

Fuente: RECOPE, 2020.

### **Eficiencia de la caldera**

La eficiencia de una caldera, dicho de manera simple, corresponde a la razón entre el calor absorbido (por el agua, vapor, fluido térmico, etc.) y el calor liberado en el equipo. La diferencia entre el calor liberado y el calor absorbido corresponderá a las pérdidas de calor de la caldera. Dado que una caldera consume durante un año, por concepto de uso de combustible, varias veces el valor (capital) inicial de uno de estos equipos, los ahorros que son posibles de obtener con el incremento de solo un par de puntos de eficiencia son considerables.

#### **Pérdidas de calor principales.**

##### ***Pérdida de calor asociada al exceso de aire.***

El concepto de exceso de aire tiene relación con la cantidad de aire para la combustión que debe ser entregado por sobre el estequiométrico, para lograr una buena mezcla aire/combustible y con ello una buena combustión.

El trabajar con excesos de aire inferiores a los recomendados también provoca disminuciones drásticas en la eficiencia de una caldera, debido a la combustión incompleta del combustible.

##### ***Pérdida de calor asociada a la temperatura de los productos de la combustión.***

Un aumento en la temperatura en los productos de la combustión puede provocar una significativa reducción de la eficiencia de las calderas, esto debido a que gran parte de la energía transferida del combustible al sistema se escapa a la atmosfera en lugar de transmitirse al agua.

##### ***Pérdida de calor en la purga.***

Reducir la cantidad de agua/vapor eliminada a través de la purga de la caldera permitirá conseguir una reducción en las pérdidas de calor asociadas a la purga, se estima que un adecuado tratamiento de agua y un buen manejo por parte de los operadores puede traer consigo ahorros de combustible cercanos al 1 %.

***Pérdidas de calor debido a no contar con un sistema de precalentamiento del aire requerido para la combustión.***

Una mayor temperatura del aire de la combustión permite obtener una combustión más completa.

***Pérdidas de calor asociadas a la operación dinámica, puntos de máxima eficiencia y pérdidas de calor por radiación.***

Las pérdidas de calor asociadas a la operación dinámica de una caldera pueden ser considerables y tienen relación con un sobredimensionamiento de la caldera con respecto a la demanda de energía. La operación dinámica de una caldera se refiere a las variaciones de carga y a los ciclos de encendido y apagado que realiza. Lo ideal es que una caldera trabaje en formas continua.

**Cálculo de la eficiencia.**

Para calcular la eficiencia de la caldera mediante este método, dividimos la producción total de energía de una caldera por entrada total de energía dada a la caldera, multiplicada por cien.

$$\eta = \frac{Q}{q} * 100$$

(Ecuación 1)

Donde:

$Q$  = energía a la salida

$q$  = energía de entrada

**Transferencia de energía**

Algunas de las numerosas formas de la energía son: térmica, mecánica, eléctrica, química y nuclear, incluso la masa puede ser considerada una forma de energía. Ésta se puede transferir en dos formas distintas: calor y trabajo. Para volúmenes de control, la energía se puede transferir por flujo de masa. Una transferencia de energía hacia o desde un sistema cerrado es calor si la provoca una diferencia de temperatura.

La energía puede existir en varias formas: térmica, dinámica, cinética, potencial, eléctrica, magnética química y nuclear, cuya suma conforma la energía total  $E$  de un sistema la cual se denota por unidad de masa mediante  $e$  y se expresa como:

$$e = \frac{E}{m}$$

(Ecuación 2)

## **Calderas de resistencia eléctrica**

Las calderas eléctricas de vapor son generadores de calor que emplean como fuente de alimentación la electricidad, en lugar de la tradicional quema de combustible. El vapor es generado mediante transferencia de calor a presión constante.

Cuando se hace circular una corriente a través de un cuerpo de alta resistividad eléctrica, este elevará su temperatura como resultado de las colisiones entre las moléculas del material y los electrones que intentan atravesarlo. Este tipo de materiales se conocen como resistencias eléctricas y se utilizan en las calderas para calentar el agua.

Este tipo de calderas es el de menor complejidad, pues básicamente constan de un recipiente para contener agua, con una resistencia eléctrica inmersa en su interior. Estas constan de unos hilos encapsulados y con una cubierta metálica aislada eléctricamente que están sumergidas en el agua para generar vapor a presión moderada, con capacidad de producción baja. Estos tipos de unidades no dependen de la conductividad o resistencia del agua para generar calor. Estas calderas no generan residuos contaminantes lo que las hace idóneas para locaciones con condiciones de limpieza especiales.

Las calderas eléctricas de vapor se emplean principalmente en la industria química, cosmética, farmacéutica y alimentaria, tanto en el calentamiento de todo tipo de fluidos, como en los procesos de esterilización.

La crisis energética y las regulaciones de contaminación del aire han creado una demanda de calderas eléctricas de producción elevada, por encima de los 4.500 kg/h de producción. Allí es donde la energía eléctrica es barata, las unidades de alta tensión están disponibles, y ahora sus capacidades en aumento. Una unidad de alta tensión se clasifica como caldera con una potencia eléctrica entre 2.300 y 15.000 voltios (V) (Kohan, 2000).

**Figura 4.** Caldera eléctrica marca GVE INOX.



Fuente: Magnabosco SRL.

En la Figura 4, se muestra una caldera eléctrica fabricada por la empresa GVE INOX. Pensada para la industria alimentaria de conservas, químicos, petroquímicos, farmacéuticas y en general en cualquier industria que requiero una producción de vapor con niveles mínimos de contaminación. Junto a esta se puede observar una resistencia eléctrica para inmersión y sujeción por brida usada en este tipo de calderas.

#### **Generalidades de mantenimiento de una caldera eléctrica.**

De acuerdo a recomendaciones vistas en manuales de diferentes proveedores de caderas eléctricas, estos son algunas de los de mantenimientos requeridos por las calderas:

- Supervisar al mes de la instalación su funcionamiento y posteriormente cada seis meses por personas correctamente cualificadas y competentes la parte eléctrica de la caldera, para confirmar que los componentes están funcionando satisfactoriamente. Así como de limpieza y socado de tornillos cuando así lo requiera los conexionados a barras de cobre de distribución, contactores, etc... estén correctamente apretados. Observar también el envejecimiento de los cables, para su posible sustitución si fuere necesario.

- Observación al mes de funcionamiento y posteriormente cada seis meses los ruidos, olores anormales u otros factores destacables en las válvulas de seguridad, valvulería en general, presostato de seguridad, presostato de regulación, manómetro y sondas de los reguladores de nivel.
- Observación al mes de funcionamiento y posteriormente cada seis meses, por personas correctamente cualificadas y competentes de la verificación funcional de los interruptores de nivel y las sondas, mediante el descenso del nivel de agua a los puntos de conmutación del nivel de agua máximo, mínimo y muy bajo.
- Observación y verificación funcional del presostato de seguridad mediante el ascenso de la presión bajando el punto de consigna para su posterior disparo, (no olvidar volver a poner el punto de consigna a la presión máxima una vez verificada la prueba).
- Una vez al año, se realizará una inspección visual de los principales elementos de control y seguridad del equipo por el inspector propio del usuario, que realizará el registro correspondiente.

### **Aprovechamiento de energías renovables**

Es importante destacar que el aprovechamiento de los recursos renovables para la generación de energía, puede permitir a la región ir sustituyendo poco a poco el uso de combustibles fósiles y así contribuir para la reducción de la emisión de gases del efecto invernadero.

Con el constante crecimiento en la demanda de energía eléctrica, se debe optar por proyectos de eficiencia energética o bien a través de proyectos que generen energía a base de fuentes renovables, de esta manera no solo se contribuye a la reducción de la emisión de gases si no a el aumento en la diversificación energética en los países, se contribuye a la sostenibilidad del medio ambiente y a aportar como herramienta en el combate del cambio climático.

Hoy en día, las energías renovables representan el 20% del consumo de electricidad en el mundo, y dentro de este porcentaje, la energía más utilizada es la hidráulica, con un 90% del total. El resto del aprovechamiento de las energías anteriormente mencionadas es más bien anecdótico, siendo de un 5,5% la biomasa, 1,5% la geotérmica, y 0,5 la solar y la eólica respectivamente. La

mayor parte de esta energía se utiliza para generar electricidad, y el resto para calefacción, climatización y transporte (Energías Renovables, s.f.).

Los países tienen un bajo porcentaje de aprovechamiento de las energías renovables a pesar de la saturación del mercado por exceso de generación eléctrica, esto sumado a los progresivos problemas económicos y financieros hacen que la transición en la manera de pensar debido a que el objetivo ha sido una creciente sociedad industrial sea obligatoria.

Las fuentes de energía renovable se dividen en dos grandes grupos: no contaminantes y contaminantes.

Entre las más conocidas, la energía eólica proveniente del viento, energía hidráulica proveniente de los ríos y corrientes de agua dulce y la energía solar son energías limpias y las que se obtienen a partir de la materia orgánica o biomasa que son denominadas contaminantes.

Una manera de aprovechar más eficientemente la energía renovable proveniente del sol es implementarlo directamente a las necesidades de calefacción, refrigeración e iluminación; así bien la energía eólica e hidráulica las cuales se utilizan para bombeo y en muchos casos dependiendo del tipo de maquinaria para transmisión mecánica directa del movimiento desde las aspas para accionarla, la gran ventaja de este tipo de energías es que son casi inmunes al constante cambio en los precios de los combustibles fósiles como petróleo, el carbón o el gas natural, pero no cambian la dependencia de estas a diferencia de la biomasa (Miranda, 2014).

### **Factor de probabilidad de uso**

Para poder dimensionar la caldera, es esencial conocer la demanda de vapor requerida por el sistema, misma que se conoce a través del consumo de vapor requerido por cada uno de los equipos; datos que se pueden encontrar en las placas características de cada uno.

Sin embargo, estos datos solo permiten dimensionar la caldera de forma preliminar, dado que, como lo menciona Torres (2014), los consumos sumados de los equipos nos sirven para poder dimensionar la caldera preliminarmente, ya que, la suma de estos en total nos daría una caldera sobredimensionada. (p.57). Lo cual, representa la posibilidad de tener una caldera poco eficiente para sistemas donde no todos los equipos operan al mismo tiempo.

Con base en lo anterior, es necesario plantear fórmulas que permitan dimensionar de mejor manera la caldera, lo anterior, a través de factores de probabilidad de uso, los cuales, según Araya (2014) permiten:

Conocer la probabilidad de uso simultáneo de vapor en los diversos equipos del sistema y calcular la capacidad de la caldera en función de la utilización paralela de los equipos. Esto con el fin, de no sobredimensionar la máquina para cubrir la demanda de todos los equipos trabajando al mismo tiempo, pues esta situación tiene bajísima probabilidad de ocurrencia. (p.34).

### **Normativa y reglamentación.**

#### **Decreto Ejecutivo N°26789 – MTSS: Reglamento de calderas.**

El reglamento de calderas establece los parámetros de clasificación de las calderas, los requerimientos mínimos de los cuartos de calderas y equipos necesarios para su operación, las pruebas e inspecciones a realizar a los instrumentos además de los requisitos a cumplir por parte de los inspectores autorizados.

#### **Decreto Ejecutivo N°36551–S–MINAET– MTSS: Reglamento sobre emisión de contaminantes atmosféricos provenientes de calderas y hornos de tipo indirecto.**

El reglamento sobre emisiones establece los valores máximos permitidos para los gases de combustión provenientes de calderas de hidrocarburos y biomasa, los métodos de muestreo, así como los reportes operacionales, sanciones y control estatal del funcionamiento de las calderas.

#### **Supervisión de la comercialización del suministro eléctrico en baja y media tensión AR-NT-SUCOM.**

Esta norma técnica establece las condiciones bajo las cuales se brindará el servicio eléctrico en sus etapas de distribución y de comercialización, comprendiendo los aspectos técnicos, comerciales, tarifarios y contractuales del servicio.

#### **Supervisión de la instalación y equipamiento de acometidas eléctricas (norma técnica regulatoria AR-NT-SUINAC).**

Esta norma establece las condiciones técnicas que deben considerar las empresas distribuidoras de energía eléctrica previo a la conexión o reconexión de sus redes con la instalación eléctrica de los inmuebles de los abonados. Asimismo, fija las distancias de separación entre las

redes de distribución y edificios, con el fin de garantizar las condiciones mínimas de seguridad y protección.

Su aplicación es de obligatoriedad para todas las empresas de distribución de energía eléctrica, que se encuentren establecidas en el país o que llegasen a establecer bajo régimen de concesión, de conformidad con las leyes correspondientes.

### **Código Eléctrico Nacional (NEC).**

El NEC establece los parámetros de operación de todo tipo de sistemas eléctricos, protecciones de sobrecarga, térmicas, corto circuito y especificaciones sobre los conductores requeridos.

### **Instalaciones eléctricas**

En el país a partir del 15 de febrero de 2012 se acoge como norma oficial en materia de sistemas eléctricos la norma NFPA 70 de la National Fire Protection Association (NFPA), Código Eléctrico Nacional (NEC) por sus siglas en inglés National Electrical Code , en su última versión actualizada en español, emitida por la NFPA, y las versiones que a futuro emita la NFPA de la norma NFPA-70 en su versión en español, entrarán en vigencia y surtirán efectos jurídicos en Costa Rica, en el momento que el Ministerio de Economía Industria y Comercio realice la comunicación oficial de la adopción de la nueva versión, a través del Diario Oficial La Gaceta.

Todos los profesionales y técnicos calificados para diseñar, instalar, renovar, modificar, ampliar, supervisar, aprobar y verificar los sistemas eléctricos de la infraestructura cubierta por el NEC en su última versión, deben acatar obligatoriamente las disposiciones de este código.

El NEC, es un código de origen estadounidense diseñado con el fin de salvaguardar a las personas y a la propiedad, de los peligros provenientes del uso de la electricidad, una instalación eléctrica, segura y confiable es aquella que reduce al mínimo la probabilidad de ocurrencia de accidentes que pongan en riesgo la vida y la salud de los usuarios, reduciendo la posibilidad de fallas en los equipos eléctricos. La confiabilidad de una instalación eléctrica se base en aspectos como:

- Realizar un buen diseño eléctrico, según el requerimiento de los equipos en el lugar.
- El uso de materiales eléctricos adecuados y de calidad para garantizar la vida útil de la instalación.

- La instalación debe estar realizada por un técnico calificado.

### **Elementos de una instalación eléctrica.**

Toda instalación eléctrica está compuesta por 4 partes, ya que es importante que las nuevas instalaciones eléctricas y las existentes cuenten con una media de protección ante descargas eléctricas atmosféricas o sobre voltajes producto de fallas eléctricas en la red. Los elementos que conforman la instalación eléctrica son:

#### ***Acometida eléctrica.***

La acometida es el medio por el cual se suministra la energía eléctrica a la instalación del usuario, este suministro eléctrico que se recibe en el inmueble puede llegar de manera aérea o subterránea. La acometida está compuesta de todas aquellas partes o equipos como conductores, canalizaciones, conduleta, poste, medidor, interruptor y accesorios para la conexión a la red de distribución eléctrica (ICE, s.f.).

#### ***Supresor de tensión.***

Es el componente de protección que permite direccionar la corriente producto de un sobre voltaje en la acometida o corrientes inducidas por descargas atmosféricas a tierra evitando que corrientes o sobre voltajes dañen los componentes eléctricos (ICE, s.f.).

#### ***Instalación de puesta a tierra.***

Es la instalación de una o varios electrodos de puesta a tierra (varillas a tierra), en la entrada del servicio eléctrico de la infraestructura servida. De esta conexión de varillas saldrá un conductor el cual se deberá conectar con el neutro de la acometida del servicio eléctrico, para luego conectarse con la barra de puesta a tierra del centro de carga principal.

La puesta a tierra deberá garantizar una resistencia no mayor a 25ohmios, si la resistencia a tierra no es menos o igual a 25ohmios, se deben colocar otras varillas adicionales conectadas entre sí, hasta alcanzar el valor solicitado por la normativa existente (ICE, s.f.).

#### ***Instalación eléctrica.***

Es la integración del interruptor principal, conductores, tablero de distribución, canalizaciones, tomacorrientes, accesorios de iluminación y todos aquellos elementos que activan artefactos y equipos eléctricos en un hogar, empresa o inmueble (ICE, s.f.).

### **Demanda de una instalación.**

Para diseñar una instalación se debe evaluar la demanda máxima de potencia que se puede solicitar al sistema. Un diseño que simplemente se base en la suma aritmética de todas las cargas existentes en la instalación sería extremadamente caro y poco práctico desde el punto de vista de la ingeniería.

#### ***Potencia instalada (kW).***

La potencia instalada es la suma de las potencias nominales de todos los dispositivos eléctricos de la instalación. Esta no es en la práctica la potencia absorbida realmente. La demanda de potencia (kW) es necesaria para seleccionar la potencia nominal de un grupo electrógeno o batería. Para una alimentación de una red de alimentación pública de baja tensión o a través de un transformador de alta/baja tensión, la cantidad significativa es la potencia aparente en kVA. (Schneider Electric España, S.A., 2008).

#### ***Potencia aparente instalada (kVA).***

Normalmente se asume que la potencia aparente instalada es la suma aritmética de los kVA de las cargas individuales. Los kVA máximos estimados que se van a proporcionar sin embargo no son iguales a los kVA totales instalados.

Se tiene que tener en cuenta que, hablando de un modo estricto, los kVA totales de potencia aparente no son la suma aritmética de los kVA calculados de las cargas individuales (a no ser que todas las cargas tengan el mismo factor de potencia) (Schneider Electric España, S.A., 2008).

#### **Demanda máxima real de kVA.**

Todas las cargas individuales no operan necesariamente a su potencia nominal máxima ni funcionan necesariamente al mismo tiempo. Los factores utilización máxima y de simultaneidad permiten la determinación de las demandas de potencia máxima y de potencia aparente realmente necesarias para dimensionar la instalación.

#### **Métodos y dispositivos de cableado.**

Dentro de este aspecto se incluyen: la canalización o tubería y los aislamientos de los conductores, y en general, los dispositivos utilizados para realizar una conexión desde una fuente hasta una o más salidas. Existe una amplia gama de materiales y dimensiones para abarcar las necesidades específicas de cada proyecto eléctrico.

### ***Cable eléctrico.***

Un cable eléctrico es un elemento fabricado y pensado para conducir electricidad. El material principal con el que están fabricados es con cobre no obstante también se utiliza el aluminio, aunque su grado de conductividad es menor. Estos hilos de cobre o aluminio se encuentran cubiertos por un material aislante, y su calibre va a depender de la energía que se requiera transportar. En Costa Rica se utiliza la referencia estadounidense de clasificación de diámetros, por lo que el calibre de los cables se indica con las siglas AWG (American Wire Gauge).

Se puede identificar el tipo de aislamiento que tiene un cable en las inscripciones que aparecen sobre él, son abreviaciones del inglés, y sus abreviaciones comúnmente son THN, THHN, THW, THHW, THWN, y XHHW, el significado de estas abreviaturas es el siguiente:

- T (Thermoplastic): Aislamiento termoplástico (este lo tienen todos los cables).
- H (Heat resistant): Resistente al calor hasta 75° centígrados (167° F).
- HH (Heat resistant): Resistente al calor hasta 90° centígrados (194° F).
- W (Water resistant): Resistente al agua y a la humedad.
- LS (Low smoke): Baja emisión de humos y bajo contenido de gases contaminantes.
- SPT (Service parallel thermoplastic): Esta nomenclatura se usa para identificar un cordón que se compone de dos cables flexibles y paralelos con aislamiento de plástico y que están unidos entre sí. También se denomina cordón dúplex.
- X :Polietileno de Cadena Cruzada
- W: Resistente a la Humedad a 75°C

### ***Tubería o canalización.***

La tubería, también denominada canalización, tiene como función principal proteger los cables y pasarlos a través de las paredes y cielos rasos de un inmueble. Los diámetros de la canalización varían de acuerdo con el tipo de material y el número de cables que viajan a través de ella (Monge, A. 2015)

Por lo general se utiliza el conduit PVC cedula 40 y el conduit PVC tipo A, de igual manera se utiliza la tubería eléctrica metálica (EMT) sin embargo esta se utiliza usualmente para los conductores de la acometida y para los alimentadores cuando éstos son aéreos.

**Cuadro 3.** Área porcentual de conductos en tuberías

<b>Cantidad de cables</b>	<b>Porcentaje de área a ocupar por los conductores</b>
1	53%
2	31%
Mas de 2	40%

**Fuente:** Código Eléctrico Nacional, 2014.

### **Electroductos.**

Los electroductos, conductos de barras o powerbus para baja y media tensión son un producto que ofrece una amplia gama de soluciones para la distribución de la energía eléctrica en media y baja tensión en instalaciones comerciales e industriales.

Utiliza una construcción tipo sándwich para proporcionar un voltaje superior y características de una baja caída, incluso con factores bajos de potencia. Utilizan dos o tres barras de distribución por fase, las cuales tienen una función de paralelismo en el ensamblaje de unión de cada longitud recta, esto ayuda a igualar la carga. Los lados de la carcasa de acero y las partes superior e inferior de aluminio son diseñados cuidadosamente para reducir el peso los componentes.

En baja tensión cubren capacidades de 200 a 5000 amperes con conductores de aluminio o cobre, la tecnología de barras en capas tipo emparedado, cuenta con accesorios listos para derivar y conectar, para sistemas de tres y cuatro hilos.

Al seleccionar conductores de barras para un proyecto, se recibe, entre otros beneficios: flexibilidad y facilidad de instalación, ahorro de tiempo-costo al instalar, eficiencia en la distribución de energía y beneficio de reutilización.

Según la empresa Schneider Electric, el electroducto de Schneider Electric tiene total aplicación en los diferentes ámbitos de instalaciones:

- Plantas de generación
- Infraestructura
- Industria

- Edificios
- Comercio
- Data centers

**Figura 5. Powerbus**



**Fuente:** Schneider Electric, 2012

### **Tableros de distribución Switchgear.**

Los tableros switchgear de media tensión son tableros robustos aptos para un trabajo arduo y de uso pesado que poseen en su interior un equipo de maniobra desconectador bajo carga o un equipo de protección desconectador fusible, estos se pueden utilizar en el lado secundario del transformador, trabajaban con tensiones desde 12 kV hasta 38.5kV y corrientes de hasta 1250 amperios.

Consta de un desconectador, una bobina de disparo y contactos auxiliares, fusibles de desconexión, estos diseños están pensados para proveer distribución, protección y manejo de la energía con altos estándares de calidad y confiabilidad. Algunas aplicaciones de estos son:

- Industria petroquímica.
- Manufactura.
- Manufactura de semiconductores.

## **Medición de la huella de carbono**

En la actualidad, hablar de ambiente y de los impactos positivos o negativos que puede generar el ser humano sobre este es relativamente común. La mayoría de los países, organizaciones, empresas y otros tipos de instituciones tienen medidas para mitigar los impactos perjudiciales causados por la contaminación en general.

Una de las principales fuentes de contaminación es la producida por los gases de efecto invernadero (GEI), los cuales, al liberarse a la atmósfera, crean una capa que impide la liberación de calor, lo que aumenta la temperatura del planeta. A este efecto se le conoce comúnmente como calentamiento global.

Según la ISO 14067 (2013), la Huella de Carbono es un parámetro utilizado para describir la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas a una empresa, evento, actividad o al ciclo de vida de un producto/servicio para determinar su contribución al cambio climático. Se expresa en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (p. 14).

Las emisiones de GEI asociadas a una actividad se pueden clasificar según se trate de emisiones directas o emisiones indirectas.

- **Emisiones directas**

Incluye las emisiones directas que proceden de fuentes que posee o controla el sujeto que genera la actividad. Por ejemplo, este grupo incluye las emisiones de la combustión de calderas y de vehículos, etc. que el propio sujeto posee o controla (Comisión Interdepartamental del Cambio Climático, 2011).

- **Emisiones indirectas de la generación de electricidad y de calor**

Comprende las emisiones derivadas del consumo de electricidad y de calor, vapor o frío. Las emisiones de la electricidad y el calor, vapor o frío adquiridos se producen físicamente en la instalación donde la electricidad o el calor son generados. Estas instalaciones productoras son diferentes de la organización de la cual se estiman las emisiones (Comisión Interdepartamental del Cambio Climático, 2011).

- **Otras emisiones indirectas**

Incluye el resto de emisiones indirectas, son consecuencia de las actividades del sujeto, pero provienen de fuentes que no son poseídas o controladas por el sujeto. Algunos ejemplos de actividades son la extracción y producción de materiales adquiridos, los viajes de trabajo, el transporte de materias primas, de combustibles y de productos (por ejemplo, actividades

logísticas) o la utilización de productos o servicios ofrecidos por otros (Comisión Interdepartamental del Cambio Climático, 2011).

**Emisiones equivalentes por consumo de energía eléctrica.**

Con los datos de consumo eléctrico en kilovatios hora (kWh) por un periodo de tiempo, el cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> mediante el consumo de energía eléctrica se puede realizar mediante siguiente fórmula:

$$Ton CO_2e = (kWh * F_{kWh}) / 1000 Kg/ton$$

(Ecuación 3)

Donde:

- Ton CO<sub>2</sub>e: Emisión de dióxido de carbono equivalente.
- kWh: Kilowatts hora de energía eléctrica consumida.
- F<sub>kWh</sub>: Factor de emisión oficial del IMN, kilogramos de CO<sub>2</sub> emitido por cada kilowatt hora consumido.
- 1000 kg/ton: Factor de kilogramos a toneladas.

**Cuadro 4.** Factor de emisión en el sector electricidad

Año	Factor de emisión kg CO <sub>2</sub> / kWh
2019	0,0365
2018	0,0395
2017	0,0754
2016	0,0557
2015	0,0381
2014	0,1170

**Fuente:** Instituto Meteorológico Nacional, 2020.

## Emisiones equivalentes procedentes del consumo de búnker

La estimación de gases mediante el consumo de búnker se puede realizar con la siguiente fórmula:

$$CO_2e = \left[ (L * FCO_2) + \left( L * \frac{FCH_4}{1000g/Kg} * 21 \right) + \left( L * \frac{FN_2O}{1000g/Kg} * 310 \right) \right]$$

(Ecuación 4)

Dónde:

- $CO_2e$ : Emisión de dióxido de carbono equivalente.
- L: Litros de búnker.
- $FCO_2$ : Factor de emisión oficial del IMN, kilogramos de  $CO_2$  emitido por cada litro de búnker.
- $FCH_4$ : Factor de emisión oficial del IMN, gramos de  $CH_4$  emitido por cada litro de búnker.
- $FN_2O$ : Factor de emisión oficial del IMN, gramos de  $N_2O$  emitido por cada litro de búnker.
- 21: Potencial de calentamiento global del  $CH_4$  para conversión a  $CO_2$ .
- 310: Potencial de calentamiento global del  $N_2O$  para conversión a  $CO_2$ .
- 1000 kg/ton: Factor de kilogramos a toneladas.

**Cuadro 5.** Factores de emisión por la utilización de búnker

Combustible	Factor de emisión		
	$CO_2$ (kg $CO_2$ / L combustible)	$CH_4$ (g $CH_4$ / L Combustible)	$N_2O$ (g $N_2O$ / L Combustible)
<b>Búnker</b>	3,101	0,138	0,02769

**Fuente:** Instituto Meteorológico Nacional, 2020.

**Cuadro 6.** Potenciales de calentamiento global

<b>Gas</b>	<b>Potencial de calentamiento Horizonte: 100 años</b>
CO <sub>2</sub>	1
CH <sub>4</sub>	21
N <sub>2</sub> O	310

**Fuente:** Instituto Meteorológico Nacional, 2020.

### **Análisis financiero**

Antes de tomar la decisión de la ejecución de un proyecto, el mismo debe ser evaluado con el fin de conocer si el proyecto será rentable y beneficioso para quien realice la inversión. Actualmente se cuenta con técnicas generalmente aceptadas para evaluar los flujos financieros de proyectos de inversión, estas técnicas de evaluación claramente interpretarlas permite al evaluador financiero la toma de una decisión acertada para la ejecución o la desestimación del proyecto. Para el presente proyecto se abordarán las principales técnicas utilizadas para la valoración de proyecto las cuales serán: el costo anual uniforme equivalente y el valor actual neto.

#### **Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE)**

El costo anual equivalente o costo anual uniforme equivalente (CAUE) es una herramienta para evaluar proyectos que involucra los costos e ingresos, presentes y futuros, medidos en términos del costo anual al cual equivalen. Este indicador se utiliza en evaluación de proyectos que normalmente son fuentes de gastos o que no son generadores de ingresos directos. (Álvarez, 2001).

$$CAUE = VAN * \frac{(1 + i)^n * i}{(1 + i)^n - 1}$$

(Ecuación 6)

Donde

VAN = Valor actual neto

i= Tasa de interés

n= Numero de periodos a evaluar

### **Criterio de decisión**

- CAUE > 0, el proyecto puede realizarse
- CAUE < 0, el proyecto debe ser rechazado

### **Valor Actual Neto (VAN)**

El método del valor actual consiste en determinar la equivalencia en el tiempo cero de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto y comparar esta equivalencia con el desembolso inicial. Muestra los beneficios netos generados por el proyecto durante su vida útil después de cubrir la inversión inicial y obtenida la ganancia requerida de la inversión (Canales, 2015).

Esta técnica empezó a utilizarse avanzado el Siglo XX, como ampliación del concepto del valor del dinero en el tiempo (Valor Presente / Valor Futuro). Se define como la sumatoria de los flujos de efectivo netos descontados (“actualizados”) a valor presente al costo de capital de la empresa o del proyecto (contemplando sus todos sus riesgos: del negocio, financiero y del entorno). Esta es conocida igualmente como tasa de descuento (d), la cual es la rentabilidad mínima aceptable por la empresa, por debajo de la cual los proyectos no deben aceptarse (Solé, 2011).

La fórmula utilizada para evaluar el valor actual de los flujos generados por un proyecto de inversión es:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FC}{(1+i)^t}$$

(Ecuación 5)

Donde:

$I_0$ = Inversión Inicial.

FC = Flujo de caja anual.

i = Tasa de corte/ rendimiento requerido/ costo de capital.

t = 1,2... n: número de periodos de vida útil del proyecto.

### **Tasa de interés.**

En 1948, al decretarse la nacionalización de la banca privada y dada la necesidad de dotar al nuevo Sistema Bancario Nacional de una integración orgánica adecuada y una orientación

eficiente por parte del Estado, se hizo más urgente la necesidad de establecer el Banco Central como órgano independiente y rector de la política económica, monetaria y crediticia del país. Con este propósito se promulgó la Ley 1130, del 28 de enero de 1950, que estableció el Banco Central de Costa Rica con características definidas y propias, que le permitieron, en lo sucesivo, actuar como Órgano Central de la economía del país.

El Banco Central de Costa Rica tendrá como principales objetivos, mantener la estabilidad interna y externa de la moneda nacional y asegurar su conversión a otras monedas y, como objetivos subsidiarios, los siguientes:

- Promover el ordenado desarrollo de la economía costarricense, a fin de lograr la ocupación plena de los recursos productivos de la Nación, procurando evitar o moderar las tendencias inflacionistas o deflacionistas que puedan surgir en el mercado monetario y crediticio.
- Velar por el buen uso de las reservas monetarias internacionales de la Nación para el logro de la estabilidad económica general.
- Promover la eficiencia del sistema de pagos internos y externos y mantener su normal funcionamiento.
- Promover un sistema de intermediación financiera estable, eficiente y competitivo.

## **CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO**

En este capítulo se detalla el proceso metodológico seguido para el desarrollo de la presente investigación.

### **Método de la investigación**

El método de diseño empleado en este trabajo de investigación parte de un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo.

Seguidamente se detalla la metodología empleada:

### **Enfoque de la investigación**

Con base en los objetivos planteados, el presente proyecto se desarrolla desde un enfoque de investigación cuantitativo. Según Hernández, Fernández y Baptista (2010), el enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio, cada etapa precede a la siguiente y no se pueden “saltar o eludir” pasos, el orden es riguroso, aunque, desde luego, se puede redefinir alguna fase.

Parte de una idea, que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se desarrolla un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas (con frecuencia utilizando métodos estadísticos), y se establece una serie de conclusiones respecto de la(s) hipótesis. (, p. 4).

### **Tipo de investigación**

El presente trabajo desarrollado corresponde a una investigación cuantitativa de tipo descriptivo, los estudios descriptivos “únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas”. (Hernández, Fernández, Baptista, 2010, p. 80), las variables analizadas en la investigación permitirán un dimensionamiento independiente de las calderas y no de manera conjunta.

### **Tipo de Muestra**

En esta investigación de tipo cuantitativa, la muestra utilizada corresponde a los datos de interés recolectados en el laboratorio de soluciones parenterales, esta es una muestra no probabilística, “En las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o de quien hace

la muestra”. (Hernández, 2010, p. 80), los datos recolectados serán datos a conveniencia para poder desarrollar la investigación.

### **Fuentes de Información**

Para la obtención de los datos se cuenta con distintas fuentes de información tanto primarias, como secundarias.

Dentro de las fuentes primarias, las cuales corresponden a información de primera mano, se cuenta con los datos obtenidos de la entrevista aplicada al Ingeniero German Mathurin quien fue parte fundamental, además de entrevistas al personal de planta.

Como fuentes secundarias, es decir de información procesada y analizada, se tomó apoyo de bibliotecas digitales, libros de textos de termodinámica y transferencia de calor, The National Electrical Code (NEC), el uso de internet; acceso a información de la página de ARESEP, CNFL, RECOPE las cuales ayudaron a una estimación de los costos de energía de la caldera.

Se utilizó el reglamento de calderas decreto N26789 del año 2001, Reglamento sobre Emisión de Contaminantes Atmosféricos Provenientes de Calderas y Hornos de Tipo Indirecto N° 36551-S-MINAET-MTSS y manuales de mantenimiento utilizados en el lugar.

## Unidades de análisis

Para cada uno de los objetivos se establecen variables de análisis, las cuales se categorizan de la siguiente manera:

**Cuadro 7.** Operacionalización de variables objetivo 1

<b>Objetivo específico 1:</b> Determinar las características de operación de la caldera de combustión, y los diferentes equipos de la planta por medio del consumo de vapor de cada uno para conocer la demanda requerida.				
<b>Variable</b>	<b>Indicador</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Definición Instrumental</b>
Vapor	Consumo de Vapor (lb/h)	El vapor se produce mediante la acción del calor a una temperatura superior a la de ambiente y presión mayor que la atmosférica, para usarse en procesos industriales de todo tipo.	Tabulando todos los consumos según las placas ubicados en todos los equipos para conocer la sumatoria y obtener un consumo total.	Utilización del software de Microsoft Excel para tabular datos.

**Fuente:** Elaboración propia

**Cuadro 8.** Operacionalización de variables objetivo 2

<b>Objetivo específico 2:</b> Dimensionar y seleccionar la caldera eléctrica que mejor se adecue a los requerimientos de la planta de acuerdo con el consumo de vapor para realizar el cambio.				
<b>Variable</b>	<b>Indicador</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Definición Instrumental</b>
Energía	Julios (J)	Los cuerpos tienen cierta capacidad de realizar un trabajo, que puede tener origen en su constitución, en la posición que ocupan en un campo gravitatorio o eléctrico o en su estado de movimiento. A esta capacidad de realizar trabajo que poseen los cuerpos se le denomina trabajo. (Gonzales, 2009, p. 6)	Con las fórmulas correspondientes, los datos tabulados y la utilización de la herramienta de cálculo se encontrará el valor de energía utilizada.	Utilización del software de Microsoft Excel para tabular los datos.
Potencia	Vatios (W)	La potencia es la cantidad de trabajo realizado en un intervalo de tiempo, según el S.I la unidad de medida es un Julio por segundo, que se denomina vatio (W). (Kane y Sternheim, 2007, p.p. 142 – 143)	Se aplicarán las fórmulas correspondientes con los datos tabulados para llegar a conocer la potencia entregada por la caldera.	Utilización del software de Microsoft Excel para tabular los datos.

**Fuente:** Elaboración propia

**Cuadro 9.** Operacionalización de variables objetivo 3

<b>Objetivo específico 3:</b> Describir los requerimientos técnicos de instalación de la caldera eléctrica por medio del cálculo de calibres de conductores eléctricos y la evaluación de las dimensiones del cuarto de calderas para una correcta instalación.				
<b>Variable</b>	<b>Indicador</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Definición Instrumental</b>
Distancia	Metros (m)	Distancia que la luz recorre en el vacío durante un intervalo de tiempo de $1/299792453$ segundos. (Raymond, 2001, pp 3 – 4.)	Se tomarán las diferentes medidas de la caldera en la planta donde opera.	Se tomarán las medidas con una cinta métrica marca Stanley de 8 metros, modelo (95IB) 30-088S (Apéndice 1).
Voltaje	Voltio (V)	El voltaje es la magnitud física que, en un circuito eléctrico, impulsa a los electrones a lo largo de un conductor.	Se aplicarán las fórmulas correspondientes con los datos tabulados para llegar a conocer la tensión eléctrica.	Utilización del software de Microsoft Excel para tabular los datos.
Corriente	Amperio (A)	Siempre que se desplazan cargas del mismo signo, se dice que es una corriente. La corriente es la razón a la que la carga fluye a través de esta superficie. (Raymond, 2001, p. 5557)	Se aplicarán las fórmulas correspondientes con los datos tabulados para llegar a conocer la corriente.	Utilización del software de Microsoft Excel para tabular los datos.
Masa	Kilogramo (Kg)	La masa gravitatoria (m) de un objeto, se divide como el peso dividido por la aceleración de la	Se obtendrán los datos del fabricante.	Utilización del software de Microsoft Excel para tabular los datos.

		gravedad en el lugar donde se encuentre el objeto. (Kane y Sternheim, 2007, p. 45)		
--	--	--	--	--

**Fuente:** Elaboración propia.

**Cuadro 10.** Operacionalización de variables objetivo 4

<b>Objetivo específico 4:</b> Desarrollar un estudio financiero de las implicaciones del cambio de la caldera de combustión a la caldera eléctrica por medio de cotizaciones, estimación de costos de mantenimiento y costos de operación para conocer la rentabilidad de inversión del proyecto.				
<b>Variable</b>	<b>Indicador</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Definición Instrumental</b>
Rentabilidad	Costos Gastos VAN TIR PR	La rentabilidad de inversión busca medir la rentabilidad de los recursos propios de quien realizara la inversión, en la eventualidad de que se lleve a cabo el proyecto. (Sapag, 2007, p.20)	Una vez obtenidas todos los datos valores de cotizaciones y gastos se tabularán los datos y se harán los análisis utilizando Microsoft Excel.	Utilización del software Microsoft Excel.

**Fuente:** Elaboración propia.

**Cuadro 11.** Operacionalización de variables objetivo 5

<b>Objetivo específico 5:</b> Determinar la cantidad de gases de CO <sub>2</sub> que se dejarán de emitir al ambiente con el cambio de la caldera según el análisis de los reportes operacionales para conocer la disminución de la huella de carbono.				
<b>Variable</b>	<b>Indicador</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Definición Instrumental</b>
Gases de CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> /kg de búnker	Las emisiones de dióxido de carbono proceden de la oxidación del carbono de los combustibles durante la combustión. En condiciones de combustión óptimas, el contenido total de carbono de los combustibles debería convertirse en CO <sub>2</sub> .  (Manual del sector de la energía quema de combustibles. p.4)	Se solicitarán los reportes de emisiones que se generan en el laboratorio de soluciones parenterales.	Utilización del software de Microsoft Excel para tabular los datos.

**Fuente:** Elaboración propia.

## **Instrumentos**

La recolección de datos cuantitativos se realizará mediante la aplicación del instrumento del cuestionario, a través de la técnica de entrevista personal, aplicada a funcionarios claves del Laboratorio de Soluciones Parenterales en las diferentes visitas realizadas. “Un cuestionario consiste en un conjunto de preguntas respecto de una o más variables a medir. Debe ser congruente con el planteamiento del problema e hipótesis”. (Hernández, 2010, p.217).

Con base en lo anterior, se incluyeron dentro del cuestionario las siguientes variables: vapor, energía, potencia, distancias, voltaje, corriente y masa.

## **CAPÍTULO IV: DESARROLLO**

En el presente apartado se muestran los resultados obtenidos en esta investigación, los cuales se plantean para cada uno de los objetivos planteados, de acuerdo con las variables de análisis propuestas.

### **Cálculo consumos de vapor**

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

En el presente apartado se busca determinar la factibilidad de la sustitución de la fuente de energía primaria, en este caso el búnker, por una fuente de energía como la es la electricidad, que cuenta con una serie de ventajas sobre la opción utilizada actualmente en el sitio.

En la actualidad en el Laboratorio de Soluciones Parenterales cuenta con un sistema de vapor el cual, de vital importancia para la manufactura de los productos realizados en el mismo, el sistema se encarga de proveer vapor de agua a los diferentes equipos instalados en el lugar como marmitas, autoclaves y destilador.

El actual sistema de vapor está constituido por dos calderas una principal y la segunda como respaldo, la caldera principal es de 300 BHP mientras que la segunda es de 156 BHP, de aquí se alimentan 7 equipos para el funcionamiento del laboratorio, el circuito de vapor trata de un circuito abierto, en los equipos, por su aplicación, no se puede recuperar el condensado.

Para el cálculo de consumo de vapor de los equipos utilizados en el laboratorio existen instrumentos de medición como flujómetros de vapor, que cuantifican el flujo de vapor utilizado en un equipo o en la tubería, sin embargo, estos equipos tienen un alto costo económico y actualmente en el sitio no se cuentan con estas herramientas.

El método para determinar los consumos de vapor de los equipos fue la consulta directa en las placas características de cada uno de los equipos, de esta se tomó el dato de la presión de trabajo junto con el consumo de vapor.

El siguiente cuadro resume los datos obtenidos:

**Cuadro 12.** Consumos de vapor de los equipos.

<b>Equipo</b>	<b>Presión de trabajo kPa (PSI)</b>	<b>kg/h (lb/h)</b>
Destilador	206,84 (30)	272,72 (600)
Autoclave 1	296,46 (43)	1272,72 (2800)
Autoclave 2	296,46 (43)	1272,72 (2800)
Autoclave 3	296,46 (43)	1272,72 (2800)
Autoclave 4	296,46 (43)	1272,72 (2800)
Autoclave pequeña (AMSCO 1, esterilizador)	241,32 (35)	40,90 (90)
Autoclave pequeña (Matachana 2, esterilizador)	241,32 (35)	40,90 (90)
Marmita	172,37 (25)	27,27 (60)
Total		5472,72 (12065.28)

**Fuente:** Elaboración propia

## Dimensionamiento de la caldera

La caldera, como la parte más importante del sistema de vapor, requiere un análisis riguroso de todos los factores que influyen en esta, para poder realizar un correcto y eficiente dimensionamiento de la misma.

Inicialmente lo que se debe tomar en cuenta para la selección de la caldera es su capacidad, es decir, la cantidad de vapor que los equipos van a requerir en el sitio, ya que al tener una caldera mal dimensionada se puede cometer el error de que la misma no cumpla con la demanda de vapor en el lugar y se estaría sobrecargando, o por contrario, se puede llegar a tener una caldera sobredimensionada, lo cual representaría una pérdida económica.

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

En el Laboratorio de Soluciones Parenterales existen 7 equipos los cuales requieren el consumo de vapor para poder operar, así también hay que contemplar el tanque de condensados en este apartado, según el análisis hecho anteriormente y conociendo los datos de temperaturas y presiones de trabajo se logra obtener la entalpia ya que esta expresa una medida de la cantidad de energía absorbida por un sistema, es decir, en este caso la energía de vapor absorbida por los equipos en el laboratorio de soluciones parenterales.

Mientras que para obtener el consumo de vapor por el tanque de condensados se recurrió a realizar el cálculo mediante el consumo de agua y el respectivo delta de temperaturas a su entrada y salida, mediante la siguiente ecuación:

$$E = \text{Densidad del agua} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * \text{Volumen Consumido} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right) * \text{Calor Específico del agua} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}} \right) * \Delta T_{\text{ABS}} (\text{K})$$

(Ecuación 7)

**Cuadro 13.** Energía consumida por el tanque de condensados

Consumo	Volumen de consumo (m <sup>3</sup> /día)	Densidad del agua (kg/ m <sup>3</sup> )	Poder calórico (kJ/K*Kg)	Diferencia de temperaturas (K)	Total (kW)
<b>Promedio</b>	6	998,29	4,182	343,15	99,58

**Fuente:** Elaboración propia

En la siguiente tabla se muestran datos de los valores de las entalpías de entra y salidas de los equipos para poder realizar el cálculo de su respectivo delta, estos valores de entalpías fueron tomados de las tablas termodinámicas de la página de Spirax Sarco, con los cuales se obtendrá el cálculo de la energía requerida por el sistema, estos datos serán preliminares ya que si se utilizan estos resultados se podría estar sobredimensionado la caldera.

Los resultados se obtienen mediante la siguiente ecuación:

$$E \text{ (kW)} = \Delta h_{fg} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) * \text{Consumo de vapor} \left( \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right)$$

(Ecuación 8)

**Cuadro 14.** Energía absorbida por sistema

Equipo	Presión de trabajo (PSI)	$h_f$ (kJ/Kg)	$h_g$ (kJ/kg)	$\Delta h_{fg}$ (kJ/kg)	Consumo de Vapor (kg/h)	kW
Destilador	30	564,841	2725,61	980,11	272,73	163,69
Autoclave 1	43	603,289	2737,29	967,97	1272,73	754,44
Autoclave 2	43	603,289	2737,29	967,97	1272,73	754,44
Autoclave 3	43	603,289	2737,29	967,97	1272,73	754,44
Autoclave 4	43	603,289	2737,29	967,97	1272,73	754,44
Autoclave pequeña (AMSCO 1, esterilizador)	35	580,558	2730,47	975,18	40,91	24,43
Autoclave pequeña (Matachana 2, esterilizador)	35	580,558	2730,47	975,18	40,91	24,43
Marmita	25	547,665	2720,15	985,42	27,27	16,46
Tanque Condensados						99,49
Total					5472,73	3346,28

**Fuente:** Elaboración propia

Obteniendo los resultados preliminares de la energía requerida por el sistema se procede a aplicar a éstos los factores de uso, los cuales se consiguieron realizando un promedio con base en las horas de trabajo de cada equipo, esto con el fin de no sobredimensionar esta máquina para cubrir la demanda de todos los equipos trabajando al mismo tiempo, pues según mediciones en el sitio esta situación tiene muy pocas probabilidades de que ocurra.

**Cuadro 15.** Consumos finales aplicando factor de uso

<b>Equipo</b>	<b>Consumo de Vapor (kg/h)</b>	<b>kW</b>	<b>Coefficiente de uso</b>	<b>Consumo de vapor total (kg/h)</b>	<b>Total kW</b>
Destilador	272,73	163,69	0,67	181,82	109,13
Autoclave 1	1272,73	754,44	0,67	848,48	502,96
Autoclave 2	1272,73	754,44	0,67	848,48	502,96
Autoclave 3	1272,73	754,44	0,67	848,48	502,96
Autoclave 4	1272,73	754,44	0,67	848,48	502,96
Autoclave pequeña (AMSCO 1, esterilizador)	40,91	24,43	0,21	8,52	5,09
Autoclave pequeña (Matachana 2, esterilizador)	40,91	24,43	0,21	8,52	5,09
Marmita	27,27	16,46	0,04	1,14	0,69
Tanque de Condensado		99,49	1		99,49
<b>Total</b>	<b>5472,73</b>	<b>3346,28</b>		<b>3593,94</b>	<b>2231,33</b>

**Fuente:** Elaboración propia

**Cuadro 16.** Dimensión de la caldera

<b>Variable</b>	<b>Valor</b>
Energía total consumida por el sistema (kW)	2231,33
Factor de conversión de kW a BHP	9,81
Potencia en BHP	227,46
Considerando 96% de Eficiencia	
Energía total (kW)	2324.4
Potencia en BHP	236.94

**Fuente:** Elaboración propia

Con base en los diferentes proveedores de calderas eléctricas algunos aseguran que son 100% eficientes, mientras otros la estiman entre el 96% y el 100% por lo que siendo el peor de los casos se asumirá una eficiencia del 96% para la realización de los diferentes cálculos.

### **Selección de la caldera**

La caldera o generador de vapor eléctrico requerido por el sistema de vapor será un generador eléctrico de vapor capaz de abastecer 2324,30 kW o lo que es lo mismo 236,93 BHP, debe ser una caldera de vapor eléctrica para trabajar a una presión de 100 psi y una temperatura de 165°C, capaz de producir como mínimo 3593,94 kg / h de vapor.

El generador eléctrico de vapor recomendado es un generador de alta eficiencia NGP-2580 Eco de la marca ETE, es diseñado bajo altos estándares de calidad, para garantizar un servicio óptimo durante su vida útil (más de 25 años). El equipo NGP-2580 Eco es una caldera de vapor eléctrica para trabajar con agua de red a una presión de 6 bar y una temperatura de 165°C, que produce 4000 kg / h de vapor.

### **Análisis de gases efecto invernadero (GEI)**

La huella de carbono es un certificado en el que miden las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que se realizan en la cadena de producción de bienes, desde la obtención de materias primas

hasta el tratamiento de desperdicios, pasando por la manufacturación y el transporte. Por lo que la huella de CO<sub>2</sub> es la medida del impacto que provocan las actividades del ser humano en el medio ambiente y se determina según la cantidad de gases GEI producidos, medidos en unidades de dióxido de carbono.

Con la huella de CO<sub>2</sub>, se pretende que las empresas puedan reducir los niveles de contaminación mediante un cálculo estandarizado de las emisiones que tienen lugar durante los procesos productivos.

“La Huella de Carbono, representa una medida para la contribución de las organizaciones ser entidades socialmente responsables y un elemento más de concientización para la asunción entre los ciudadanos de prácticas más sostenibles”. (Huella de Carbono, 2009, párr. 2).

Para la medición de gases GEI se toman los datos del consumo de búnker y se hace una estimación de del consumo de electricidad que produciría el uso de la caldera eléctrica, una vez que se cuenta con las cantidades totales para cado uno de estos aspectos, se multiplican por su factor correspondiente de emisión y se obtiene la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido.

Para la estimación de emisión de gases GEI se solicita se utilizaron factores de emisión publicados por IMN en su reporte anual del año 2019 para nuestro país, se cuantificaron los gases: metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) los cuales están presentes en la combustión de la caldera de búnker.

### **Emisiones procedentes de la caldera de búnker.**

El laboratorio de soluciones parenterales cuenta con una cadera la cual opera 24 horas por 6 días a la semana, ya que, esta debe suministrar vapor a los diferentes equipos del lugar para el proceso de manufactura.

El sistema de vapor tiene la característica de ser un sistema de vapor abierto esto debido a que los procesos para los que se requiere el vapor no permiten el retorno de los condensados del mismo, debido a esto el consumo de búnker es un poco más elevado en comparación a tener un sistema de vapor cerrado.

Para el cálculo de emisiones de las toneladas de dióxido de carbono equivalente producto del búnker utilizado por la caldera en realizo utilizando el promedio de consumo mensual, y estimando el consumo anual de búnker.

Las emisiones generadas se muestran a continuación:

**Cuadro 17.** Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por uso de búnker

Litros Búnker (por mes)	CO <sub>2</sub> (kg / l combustible)	CH <sub>4</sub> (g CH <sub>4</sub> / L Combustible)	N <sub>2</sub> O(g C CO <sub>2</sub> / l Combustible)	Total, C CO <sub>2</sub> e Ton CO <sub>2</sub> mensual	Total CO <sub>2</sub> e Ton CO <sub>2</sub> anual
29700	3,101	0,138	0,02769	92,44	1.109,29

**Fuente:** Elaboración propia

**Emisiones procedentes de la caldera eléctrica.**

La generación de electricidad en Costa Rica la realizan siete empresas de servicio público y 37 generadores privados, la generación eléctrica del país de los últimos años ha sido renovable en casi un 100%; sin embargo, la capacidad térmica instalada es un elemento imprescindible para asegurar la capacidad de respaldo del sistema en períodos hidrológicos críticos.

La generación termoeléctrica, a pesar de ser solo una pequeña fracción de la generación total, tiene un papel muy importante como complemento, cuando la disponibilidad de las fuentes renovables disminuye por causas naturales.

**Cuadro 18.** Balance eléctrico por fuente en el año 2019

Tipo de fuente	Año	
	2019	
	MWh	%
Renovable	11.217.218	99,15%
No renovable	95.636	0,85%
Producción bruta	11.312.854	

**Fuente:** Instituto Costarricense de Electricidad

El cuadro catorce muestra el porcentaje correspondiente a la generación de energía renovable y no renovable termoeléctrica del año anterior en el país, es debido a esto es que al

consumirse energía eléctrica siempre se está generando un porcentaje pequeño de emisión de gases de CO<sub>2</sub>.

Para determinar la emisión de gases se necesita conocer el consumo eléctrico de la caldera, en el dimensionamiento de la caldera se vio que el consumo necesario de energía por el sistema será de 2324,4 kW; sin embargo, tomando en cuenta esto, el porcentaje correspondiente a energía no renovable y considerando el factor de emisión por el consumo de electricidad tomado del IMN para el año 2019, la caldera eléctrica tendrá un total de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por uso de electricidad que se da en el siguiente cuadro:

**Cuadro 19.** Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por uso de electricidad

kW consumidos (kW)	Horas al día (h)	kWh de energía consumida (kWh por mes)	Porcentaje de energía no renovable	kWh de energía no renovable (kWh por mes)	Factor de emisión por cada kilowatts hora consumido (kg CO <sub>2</sub> / kWh)	Total CO <sub>2</sub> e mensual (Ton)	Total CO <sub>2</sub> e anual (Ton)
2324,40	24	1.506.211,20	0,85	12.802,80	0,0395	0,47	5,61

**Fuente:** Elaboración propia.

### Requerimientos de la instalación eléctrica

Para cumplir con este apartado es necesario conocer los requerimientos de energía eléctrica en el Laboratorio de Soluciones Parenterales, en este caso por la caldera eléctrica, también se debe conocer la situación actual del lugar.

Para esto el ingeniero a cargo brindó los planos eléctricos y lo datos necesarios, una vez identificado el diseño actual se encontró que se cuenta con una acometida de media tensión trifásica de 220 voltios, se encuentra instalado un transformador de 300 kVA para una carga instalada de 574 kVA y una carga de demanda de 226.5 kVA.

El diseño cuenta con dos sistemas de puesta a tierra uno en la acometida y un segundo sistema de puesta a tierra para la punta de para rayos, ambos sistemas están conectados entre sí, los

sistemas de puesta a tierra tienen dos objetivos, el más importante es salvaguardar la salud de los usuarios, pero también se utilizan para brindar protección al equipo en caso de una descarga eléctrica.

Una vez evaluado el diseño eléctrico existente en el lugar se sabe que transformador actual no daría abasto con la caldera y los demás equipos del laboratorio, como este no cuenta con la capacidad para soportar la carga de la caldera se toma de decisión de crear un circuito el cual sea exclusivo para la misma, se seleccionará un transformador independiente para alimentar a la caldera.

Dentro del diseño eléctrico entre los aspectos a considerar se debe revisar ciertos parámetros como la selección del transformador, capacidad, cantidad de fases y tensión de trabajo. Dadas estas condiciones se procede a realizar el cálculo del transformador.

### **Factor de potencia.**

El factor de potencia es una relación entre la potencia aparente (kVA) y la potencia real (kW) consumida por una determinada carga. Esta relación viene dada por el coseno del ángulo formado entre los kW y los kVA ( $FP = \cos \theta = kW/kVA$ ), (Ramírez, 1985)

El valor ideal para el factor de potencia es 1.0, pero esto no se da nunca en la realidad, de no ser que se realicen las correcciones del sistema por medio de la instalación de cargas capacitivas, principalmente por las cargas inductivas. Esto con el fin de anular el desfase producido por la corriente reactiva con el uso de capacitores de potencia, lo que hace que el funcionamiento del sistema sea más eficaz y, por lo tanto, requiera menos corriente en la línea.

Las cargas puramente resistivas, tales como calefactores, lámparas incandescentes y otros, no requieren potencia reactiva para su funcionamiento, entonces la potencia real y la potencia total son iguales, estas son las condiciones de la caldera eléctrica, está conformada en su totalidad por resistencias óhmicas por lo tanto el del sistema cuenta con un factor de potencia igual a uno ( $F.P = 1$ ).

### **Transformador.**

La indicación de la potencia nominal de un transformador siempre se refiere a la potencia aparente (S). Por definición, potencia nominal (kVA o MVA) de un transformador es el producto de su tensión nominal primaria por la corriente nominal correspondiente.

La relación entre potencia real y potencia aparente es el factor de potencia, el factor de potencia es la medida que permite calcular o dimensionar la potencia aparente en kVA a la cual será requerido el transformador.

$$S (kVA) = \frac{P_{real}(kW)}{F_p}$$

(Ecuación 9)

Como se vio en los apartados anteriores la potencia real de la caldera será de 2500 KW y el factor de potencia es igual a uno por ser una carga óhmica en su totalidad, con estos datos y sustituyendo en la ecuación 9 se puede llegar al dimensionamiento del transformador requerido.

$$S (kVA) = \frac{2500 kW}{1}$$

$$S (kVA) = 2500 kVA$$

Sin embargo, en estas condiciones se tendría un transformador con una misma potencia nominal que la carga. Esto haría que cuando la carga llegue a su pico máximo de potencia el transformador trabaje a un cien por ciento; a pesar de que los transformadores eléctricos son equipos con un alto nivel de eficiencia, hay que tener claro algunos criterios para poder aprovechar esa alta eficiencia y así conseguir minimizar los riesgos por sobrecargas que pueden causar el envejecimiento prematuro del equipo o incluso llevarlo a una condición de falla.

La aplicación de cargas que exceden el nivel de las especificaciones de placa involucra cierto grado de riesgo. A continuación se indican algunos riesgos que hay que tomar en consideración cuando se sobrecarga un transformador:

- La densidad del flujo de dispersión fuera del circuito magnético aumenta y con ello provoca un incremento del calentamiento por corrientes de Foucault en las partes metálicas atravesadas por el flujo.
- La combinación del flujo principal y el de dispersión limitan la posibilidad de sobreexcitar el circuito magnético.
- Las variaciones de temperatura implican modificaciones en el contenido de humedad y gases tanto en los aislamientos como en el aceite.
- La humedad y el contenido en gases en el aislamiento y en el aceite cambiarán, ya que la solubilidad del agua en aceite (y la de los diferentes gases en el aceite) se incrementará al aumentar la temperatura.
- La operación a una alta temperatura causará una disminución en la resistencia mecánica tanto del aislamiento del conductor como de la estructura. Este efecto se puede agravar en el caso de una sobre corriente de falla en el cual los esfuerzos mecánicos alcanzan sus niveles más altos.

- La disminución de las propiedades mecánicas de las partes metálicas a altas temperaturas puede reducir la capacidad de soportar cortocircuitos
- El ciclo de vida de un transformador está basado prácticamente en la vida esperada del aislamiento cuando esta se ve afectada por la temperatura, el envejecimiento del aislamiento se ve afectado por el contenido de agua y humedad.

En seguimiento de las recomendaciones dadas por ingenieros de la CCSS, las buenas prácticas de ingeniería y tomando en cuenta los riesgos que se corren al utilizar el transformador con una sobrecarga, se tomó la decisión que el transformador debe ser diseñado con un veinte por ciento más de su carga, para que el mismo trabaje a un ochenta por ciento de su capacidad total. Por lo tanto, el transformador requerido por el sistema será un transformador de 3000 kVA.

Según como se indica en el artículo 124 de la norma “Supervisión de la comercialización del suministro eléctrico en baja y media tensión” AR-NT-SUCOM. (2016) para la instalación y costos de los transformadores: “Para el caso de los servicios a media tensión, el interesado deberá suministrar los transformadores, siendo además responsable de su mantenimiento. La empresa eléctrica es responsable únicamente de proveer los conductores de acometida y equipo conexo” (pp. 82-83).

Con esto y con los cálculos anteriormente realizados para conocer la potencia aparente a requerir el sistema se procede a realizar la selección del transformador para el diseño, el cual es un transformador trifásico, de tipo pedestal, ya que el transformador de pedestal es un equipo dentro de un gabinete, colocado a la intemperie, equipado de puertas con cerraduras. Son transformadores utilizados como parte de sistemas de distribución subterráneos, idóneos para aplicaciones residenciales, sitios turísticos, hoteles o edificios, por sus compartimientos sellados de seguridad tanto para alta como baja tensión lo cual hace que su funcionamiento sea seguro previniendo posibles accidentes.

#### ***Circuito de la acometida al transformador.***

El transformador será alimentado en media tensión por medio de cables conductores, se establecen las características técnicas y requisitos de calidad que deben cumplir los conductores de potencia para media tensión, los cuales serán del tipo unipolar con el conductor de cobre, bloqueado contra penetración de humedad, material del aislamiento EPR para un nivel de tensión clase 35 kV.

Las especificaciones particulares según el Manual para Redes de Distribución Eléctrica Subterránea 19.9/34.5 kV que se presentarán seguidamente:

- Sección transversal del conductor: 240 mm<sup>2</sup> (500 MCM), 120 mm<sup>2</sup> (250 MCM), 50mm<sup>2</sup> (1/0 AWG).
- Material del conductor: Cableado de cobre recocido sin estañar, redondo comprimido.
- Pantalla metálica (neutro): Hilos de cobre.
- Aislamiento: Goma Etilpropilénica (EPR) al 100% para el calibre de 50mm<sup>2</sup> (1/0 AWG) y 133 % para los calibres de 120 mm<sup>2</sup> (250 MCM) y 240 mm<sup>2</sup> (500 MCM).
- Pantallas de bloqueo humedad: Longitudinal y transversal.
- Cubierta protectora exterior: Polietileno de color negro alta densidad.
- Tipo de conductor: Monopolar.
- Temperaturas máximas: 90°C operación, 130°C sobrecarga 250°C corto

***Canalización de acometida al transformador.***

Para la canalización de la acometida hasta el transformador se necesario consultar el Manual para Redes de Distribución Eléctrica Subterránea 19.9/34.5 kV del CIEMI-ICE-CNFL, este será el utilizado en este caso formando parte de estas especificaciones que se serán tomadas.

Se necesita realizar zanjas para la canalización subterránea, la apertura de zanjas consiste en la excavación para poder colocar los ductos, la remoción y eliminación del material sobrante. De acuerdo a las dimensiones necesarias, se deberá marcar sobre el terreno las líneas de zanja y la ubicación antes de realizar la excavación (Apéndice 2).

Para la colocación de tubos deben mantenerse distancias preferiblemente mayores a las mínimas, en cauces o rutas paralelas con tubería de otros servicios. Estas distancias mínimas son de 30 centímetros para las cloacas, pluviales y de 60 centímetros para cañerías. Para instalaciones de distribución eléctrica subterráneas de media tensión deben respetarse las distancias mínimas dadas por el Manual para Redes de Distribución Eléctrica Subterránea 19.9/34.5 kV del CIEMI-ICE-CNFL y se deben considerar los siguientes puntos:

- Se instalarán como mínimo dos conductos con características mecánicas equivalentes y no menores a la tubería de PVC, cédula SDR – 41.
- Todas las canalizaciones llevarán una cinta preventiva de polietileno de color amarillo de 100 milímetros de ancho, espesor 0.10 mm, con una nota "PELIGRO – ALTO VOLTAJE " con letras en color negro impresa a intervalos como máximo cada 200

milímetros a lo largo de ésta. La cinta se colocará a una profundidad de 250 milímetros de la superficie.

- Como material de relleno granular se podrá utilizar arena de río o de tajo a un 90 % del proctor modificado o material del sitio compactado.
- Las canalizaciones para uso exclusivo de acometidas residenciales deben tener las siguientes dimensiones mínimas: 500 mm de profundidad y 300 mm de ancho. El ancho de la zanja puede variar de acuerdo con el número de acometidas, respetando una separación de 50 mm entre ducto y ducto.

#### ***Requerimientos técnicos para instalación del transformador.***

El objetivo de este apartado es definir y describir los aspectos técnicos generales que se deben satisfacer o los que se deben cumplir para la conexión del transformador entre la red de la empresa distribuidora del servicio eléctrico y la instalación eléctrica del laboratorio.

Así también en el artículo 29 “Servicios a media tensión. Supervisión de la instalación y equipamiento de acometidas eléctricas (AR-NT-SUINAC) (2015) indican que:

Los servicios brindados a media tensión requerirán la utilización de transformadores secos, de pedestal o sumergibles. También se permite el uso de transformadores convencionales, para lo cual se requiere la construcción de una bóveda o recinto cerrado para albergar el o los transformadores de media a baja tensión. En cualquier caso, los transformadores deberán ubicarse dentro de la propiedad del abonado. El medio de desconexión en media tensión debe ubicarse lo más cercano posible al sistema de medición y ambos deben estar localizados en el límite de la propiedad (p.11).

Según como lo indican las normas SUCOM y SUINAC para el transformador seleccionado se permite el uso de un transformador tipo pedestal como alternativa a la bóveda o al recinto protegido dentro de la propiedad del abonado. Sin embargo, para realizar la instalación del transformador en el sitio y posterior realizar la conexión del servicio eléctrico se deben tomar en cuenta los siguientes puntos:

- Se coloque sobre una losa de concreto de 10 cm. de espesor mínimo y con un desnivel del 1% como mínimo, hacia los lados exteriores.
- Se ubique mínimo a 1,50 metros de ventanas y paredes de edificios y a 6,0 metros de las escaleras de emergencia.
- La alimentación sea subterránea y cumpla con los detalles constructivos especificados para la bóveda de transformadores. (Apéndice 3)
- Todas las partes metálicas de la estructura estén debidamente puestas a tierra.

### **Cálculo de la corriente.**

La transmisión de energía eléctrica en forma segura y eficiente depende de una correcta selección para la conducción de la corriente. Pero antes de esto se debe conocer la corriente total a transitar por el circuito, existen varios métodos para el cálculo de una instalación eléctrica: por corriente, por caída de tensión y por resistencia de los conductores. De los tres métodos se utilizará el método por corriente.

Para un circuito trifásico, el cálculo de la corriente nominal se utiliza la siguiente ecuación:

$$I = \frac{P}{V * \sqrt{3} * F_p}$$

(Ecuación 10)

Donde P es la potencia de la carga que corresponde a 2500 kW y V es el voltaje que alimenta el sistema y este es de 480 V trifásico, con estos datos la corriente nominal corresponde a:

$$I = \frac{2500 \text{ kW}}{480 \text{ V} * \sqrt{3} * 1}$$

$$I = 3000 \text{ A}$$

### **Tablero de distribución switchgear.**

En casos donde la ampacidad es tan elevada se recomienda el uso de electro ductos, este tipo de canalizaciones eléctricas prefabricadas proporciona soluciones flexibles para distribución de energía para una variedad de aplicaciones en las que el cambio y la adaptación resultan de importancia. Los electroductos permiten una distribución flexible de la energía eléctrica, con bajo costo de instalación. Es una alternativa práctica al cable en el suministro de bloques pequeños de energía para sistemas de potencia industriales y comerciales normales.

Los circuitos de electroductos están diseñados para el uso en circuitos de importancia donde se requiere mayor confiabilidad que la que proporcionan los cables de alimentación. Para la alimentación desde el transformador hasta switchgear se recomienda la utilización de electroductos en aluminio con una capacidad de 3000 amperes. (Apéndice 4). Este tipo de barras se utilizarán para la conexión del transformador hasta la celda de desconexión o switchgear en baja tensión.

Debido al alto amperaje que existirá en el circuito, es necesario la instalación de equipo que brinde seguridad y confianza, es por estos motivos que se selecciona como recomendación la

instalación de un tablero Blindado Power Zone 4 el cual es un tablero tipo Switchgear, (Apéndice 5). Estos cuentan con un el interruptor de potencia masterpact que cumple con altos estándares de calidad, lo cual garantiza la máxima continuidad de servicio, este tipo de tablero son de fácil mantenimiento al brindar protección de circuitos todo esto en un área de planta más pequeña disponible para tableros de su clase con interruptores removibles.

Algunos beneficios de la utilización de este tablero son:

- El área de planta necesaria es más pequeña que para otros tableros de su clase, donde se requieran de mayor espacio de maniobra interior.
- Acceso frontal a los cables de control y comunicación para fácil operación y mantenimiento.
- Bus principal hasta 5000 A para sistemas de distribución con altas corrientes de utilización.
- Previsiones para expansiones futuras.
- Sistema diseñado para tener la máxima continuidad de servicio con bajo mantenimiento.
- Diseño modular para fácil adición de accesorios de control.

### **Cálculo de calibres de cables.**

Ya desde el switchgear, se puede realizar la distribución eléctrica hacia la caldera, la caldera recomendada fue una caldera modelo NGP-Eco, la misma es eléctrica y pensando en la economía, cuenta con tecnología exclusiva que permite realizar la instalación en baja tensión, para trabajar a una tensión de 400 voltios. Los controles están fijados en un cuadro eléctrico, el cuadro eléctrico se compone de tres secciones:

- Un panel central para alimentación y distribución, con barras colectoras para el suministro de electricidad y dos interruptores automáticos generales de bloqueo de compuerta con liberación de corriente residual; la fuente de alimentación principal puede estar en la sección superior o inferior de la placa central.
- Un panel primario (a la derecha del panel central) controla el 50% de la capacidad total (1250kW) y la potencia de funcionamiento del sistema de control de 230V I+N.
- Un panel secundario (a la izquierda del panel central) controla el 50% de la capacidad total (1250kW).

Teniendo en cuenta estas condiciones se procede a realizar los cálculos para los calibres de los diferentes cables. Existen varios métodos para calcular el calibre de los conductores de una instalación eléctrica: por corriente, por caída de tensión y por resistencia de los conductores. De los tres métodos se utilizará el método por corriente. En estos casos donde la ampacidad es tan elevada se permite el uso de cables en paralelo siempre y cuando se respete el artículo 310.10 (H) (2) del NEC el cual dice: “Los conductores en paralelo de cada fase, polaridad, del neutro, el conductor del circuito puesto a tierra, el conductor de puesta a tierra de equipos o el puente de unión de equipos deben cumplir con todas las siguientes condiciones”. (p.156).

- Tener la misma longitud.
- Tener del mismo material conductor.
- Ser del mismo calibre en área kcmil.
- Tener el mismo tipo de aislamiento.
- Terminar de la misma manera.

Para obtener la cantidad de cables en paralelo a canalizar se consultó la tabla 310.15 (B) (16) “Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de hasta e incluyendo 2000 volts”. (Apéndice 6), para la cantidad de 3000 A, se establece utilizar 7 conductores eléctricos de aluminio en paralelo calibre 750 MCM XHHW pudiendo transportar como máximo 435 A; sin embargo 3000 A en 7 paralelos calibre 750 MCM XHHW por fase el máximo de corriente a trasportar es de 429.5 A. Se hace la elección de conductores en aluminio ya que estos representan un ahorro económico significativo en comparación con los conductores eléctricos de cobre.

La selección del conductor a tierra está dada por el artículo 250.66 “Calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra de corriente alterna”. El cual indica:

El calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra en la acometida, en cada edificio o estructura alimentada por alimentador(es) o circuito(s) ramal(es) o en un sistema derivado separadamente de un sistema de corriente alterna puesto a tierra o no, no debe ser inferior al dado en la Tabla 250.66 (p.123). (Apéndice 7).

Consultando la tabla antes indicada en el artículo 250.66, el conductor a tierra debe ser un conductor de aluminio número 4/0 AWG XHHW.

Para el cálculo del conductor neutro se consultan el artículo 220.61 del NEC, “Carga del neutro del alimentador o la acometida”. (p.76), de este apartado se extraen varios puntos:

- El neutro debe dimensionarse para que transporte la corriente máxima de desbalance.
- Se puede aplicar un factor de demanda al neutro bajo ciertas circunstancias.
- El neutro se dimensiona para que transporte la misma corriente que los conductores de fase hasta 200 A.
- Cuando la corriente excede 200 A y la carga es de tipo lineal, al neutro se le puede aplicar un factor de demanda del 70% sobre el exceso de 200 A.
- En el caso de que la carga sea de tipo no lineal, no se aplica ningún factor de reducción para calcular la corriente del neutro; por lo tanto, la corriente del neutro coincide con la corriente de fase.

El conductor neutro, el cual al contener una carga lineal se le puede realizar una reducción del 70% a partir de los 200 Amperios, teniendo esto en cuenta, se le aplica esta reducción a los 2800 Amperios restantes lo que nos dice que el valor de corriente que será transportado por el conductor es de 2160 Amperios, nuevamente tomado datos de la tabla 310.15 (B) (16) “Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de hasta e incluyendo 2000 volts” (Apéndice 6) y utilizando 7 cables en paralelo, se determina la utilización del conductor número 400 MCM XHHW para el neutro.

Basándose en lo anterior se realiza y con los calibres de cables antes seleccionados, los conductores se detallan en la siguiente tabla:

**Cuadro 20.** Calibres de conductores.

<b>Calibres de cables seleccionados</b>	
Fase 1	7 #750 MCM XHHW
Fase 2	7 #750 MCM XHHW
Fase 3	7 #750 MCM XHHW
Neutro	7 #400 MCM XHHW
Tierra	7 #4/0 AWG XHHW

**Fuente:** Elaboración propia.

Los cables anteriormente mencionados serán canalizados mediante bandejas para cables, sistema por bandejas porta cables diseñado e instalado apropiadamente proporciona una canalización con características de seguridad muy deseables que no son asequibles en instalaciones con los tradicionales sistemas mediante tuberías conduit.

Las canalizaciones por bandejas portan cables debido a que son abiertas no mantienen un camino que permita la transmisión de gases corrosivos, explosivos, o tóxicos de un sitio a otro. En contraposición a lo anterior las canalizaciones por tuberías conduit si lo permiten, por su forma de conducto cerrado.

Para alimentadores o circuitos ramales, dónde las instalaciones involucran conductores de fase conectados en paralelo, hay un ahorro del costo en sistemas de canalización mediante bandeja porta cables. Los factores de disminución de potencia no aplican a cables tripolares o monopolares en una bandeja porta cables como lo hacen para tuberías Conduit. Para una misma capacidad de circuito de conductores de fase conectados en paralelo, la instalación de bandeja porta cables usa menos libras de cobre que la instalación con tubería Conduit. (Rojas, 2007).

## **Análisis financiero**

Una parte primordial del estudio es para valorar las implicaciones económicas que se tendrían al realizar el cambio de la caldera de combustión a la caldera eléctrica esto por medio de cotizaciones, estimación de costos de mantenimiento, costos de operación y tomando en cuenta conocer la rentabilidad de inversión del proyecto.

### **Costos de operación de la caldera actual.**

Los costos de la caldera actual de búnker considerados son los gastos de combustible y gastos de mantenimiento, esto debido a que se asume que el gasto por consumo de agua y del tratamiento químico que se le da al agua se mantendrá en las mismas condiciones si se llegara efectuar un cambio de caldera.

En el laboratorio cuentan con un registro del consumo de combustible, y mantención de las calderas, este registro esta dado en un promedio mensual, para el combustible se consume un promedio de 27000 litros de búnker al año, para estimar el gasto por combustible se debe considerar tanto el costo del búnker como el de transporte, mientras que el costo de mantenimiento brindado por el ingeniero a cargo es de 1.200.000 colones por mes, tomando en cuenta todos los mantenimientos preventivos realizados a la caldera.

**Cuadro 21.** Costo por consumo de búnker, según tarifa que aplica a partir del 20 de junio del 2020

<b>Costo por combustible</b>					
	Litros	Costo (¢/L)	Transporte (¢/L)	Costo mensual	Costo anual
Plantel de Moín	29700	134,54	24,12	4.712.202,00	56.546.424,00
Plantel de Ochomogo	29700	134,54	23,17	4.683.987,00	56.207.844,00

**Fuente:** Elaboración propia.

La compra del búnker se realiza en los planteles de Moín y del Ochomogo, esto va depender de la demanda de búnker en RECOPE, por lo que se va a considerar el costo de transporte desde Moín siendo el precio más elevado. Los costos totales se muestran a continuación:

**Cuadro 22.** Costos totales

<b>Costo total anual</b>	
Combustible	56.546.424,00
Mantenimiento	14.400.000,00
Total	70.946.424,00

**Fuente:** Elaboración propia.

#### **Costos de operación de la caldera eléctrica.**

A continuación, se determinará el costo de operación en caso de efectuarse el cambio de la caldera; se contemplan los costos de la facturación de electricidad de la caldera eléctrica seleccionada, para realizar este estimado de costos se realizan para una caldera de 2500 kW, en el lugar el servicio eléctrico es en media tensión brindado por la empresa CNFL, se realizará la evaluación con dos tipos de tarifa eléctrica los cuales son Tarifa Media Tensión (TMT) y Tarifa Media Tensión b (T-MTb).

La TMT aplica para clientes servidos en media tensión con una vigencia mínima de un año, y es prorrogable por períodos anuales, mientras que, la tarifa T-MTb es una tarifa opcional para clientes servidos en media tensión comprometidos a consumir como mínimo 1 000 000 kWh/mes de energía y 2 000 kW/mes de potencia, al menos 10 de los últimos 12 meses del año calendario.

En ambas tarifas se debe contemplar un tributo a Bomberos de Costa Rica el cual es un tributo equivalente al uno coma setenta y cinco por ciento (1,75%) de la facturación mensual por consumo de electricidad que paga cada abonado o consumidor directo de energía eléctrica de CNFL, así como todas las empresas distribuidoras de servicio eléctrico del país. A continuación, se detalla el consumo por potencia:

**Cuadro 23.** Costo por consumo de potencia tarifa TMT, según tarifaria que aplica a partir del 1 de Julio del 2020

<b>Cargo por Potencia</b>			
Periodo	kW	Costo kW (₡)	Costo mensual (₡)
Energía pico	2500	11.484,28	28.710.700,00
Energía valle	2500	8.171,42	20.428.550,00
Energía Nocturno	2500	5.187,38	12.968.450,00

**Fuente:** Elaboración propia.

**Cuadro 24.** Costo por consumo de potencia tarifa T-MTb, según tarifaria que aplica a partir del 1 de Julio del 2020

<b>Cargo por Potencia</b>			
Periodo	kW	Costo kW (₡)	Costo mensual (₡)
Energía pico	2500	3.471,72	8.679.300,00
Energía valle	2500	2.423,59	6.058.975,00
Energía Nocturno	2500	1.553,08	3.882.700,00

**Fuente:** Elaboración propia.

Para estimar el consumo de potencia se realiza el cálculo con el pico de potencia, este será la máxima potencia a la que llegue a operar la caldera en determinado momento durante el mes, y este será cobrado una única vez, para realizar este el cálculo se toma el valor de la máxima potencia a la que puede trabajar la caldera por lo pico de potencia se estima en 2500 kW, este pico de potencia es más propenso a ocurrir en el momento de arranque en frío de la caldera, ya que esta necesitaría la máxima potencia para poder calentar toda la masa de agua de su tanque, una vez que esto ocurre la caldera se mantendrá caliente y por consecuencia el consumo descenderá.

El arranque en frío de la caldera se da una única vez a la semana los lunes por la mañana, y como se observa en los cuadros 19 y 20, la tarifa más baja por consumo de potencia se da en el bloque nocturno, debido a esto se recomienda realizar el arranque en este periodo de el cual abarca las horas de 10:00 pm a 06:00 am.

Seguido se muestran los cargos por concepto de energía eléctrica:

**Cuadro 25.** Costo total por consumo de energía tarifa TMT, según tarifaria que aplica a partir del 1 de Julio del 2020

<b>Tarifa TMT</b>						
	Horas	kW	kWh (día)	Costo kWh (₡)	Costo diario (₡)	Costo mensual (₡)
Energía pico	5	2324,31	11621,56	65,49	761.096,13	20.549.595,46
Energía valle	9	2324,31	20918,81	32,76	685.300,30	18.503.108,03
Energía Nocturno	10	2324,31	23243,13	23,58	548.072,89	14.797.967,96
Tributo a bomberos				1,75%	982,33	26.523,03
Alumbrado Público				3,48	194.126,58	5.241.417,66
Potencia						12.968.450,00
<b>Total</b>			<b>55783,50</b>		<b>2.189.578,23</b>	<b>72.087.062,14</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

**Cuadro 26.** Costo total por consumo de energía tarifa T-MTb, según tarifaria que aplica a partir del 1 de Julio del 2020

<b>Tarifa T-MTb</b>						
	Hora s	kW	kWh (día)	Costo kWh (₡)	Costo diario (₡)	Costo mensual (₡)
Horas pico	5	2324,31	11621,56	118,2	1.373.668,69	37.089.054,56
Horas valle	9	2324,31	20918,81	40,61	849.512,98	22.936.850,34
Horas Nocturno	10	2324,31	23243,13	26,06	605.715,84	16.354.327,61
Tributo a bomberos				1,75%	1.553,06	41.932,55
Alumbrado Público				3,48	194.126,58	5.241.417,66
Potencia						3.882.700,00
<b>Total</b>			<b>55783,50</b>		<b>3.024.577,14</b>	<b>85.546.282,73</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

**Cuadro 27. Resumen costos de la electricidad**

<b>Costo de electricidad</b>		
	Mensual	Anual
TMT	72.087.062,14	865.044.745,68
T-MTb	85.546.282,73	1.026.555.392,77

**Fuente:** Elaboración propia.

Con base en los costos estimados anteriormente, se puede observar como al calcular el costo total por consumo de energía con la tarifa TMT en comparación con la tarifa T-MTb, resulta más rentable trabajar bajo la aplicación de la tarifa TMT, ya que, en ambos casos al estimar los costos en las mismas condiciones de consumo, la tarifa TMT presentaría un ahorro significativo de

13.459.220,59 colones mensuales y de 161.510.647,09 colones anuales , por lo que se recomienda trabajar bajo la aplicación de la tarifa TMT.

**Costos del sistema.**

A continuación, se determinará el costo del sistema recomendado, las fuentes de los precios a utilizar fueron tanto cotizaciones de diferentes proveedores como consultas en diferentes páginas web del mercado nacional. Las diferentes cotizaciones se pueden observar a partir del Apéndice 8 hasta el Apéndice 12.

**Cuadro 28.** Cotización final de la inversión

Artículo	UD	Cantidad	Precio UD (\$)	Precio (\$)	Precio (€)
Caldera Eléctrica	UD	1	339.366,52	339.366,52	217.269.230
Transformador	UD	1	45.000	45.000	26.201.700
Fosa del transformador	UD	1	1.718	1.718	1.000.000
Switchgear Power-Zone 4	UD	1	143.166	143.166	8.335.635
Electroducto 3000A	UD	3	17.440	52.320	30.463.843,2
Canasta Cablofil	UD	3	72,09	216,27	125.928
Conductor eléctrico 750 MCM THHN, Aluminio	M	70	6,70	468,86	273.000
Conductor eléctrico 500 MCM THHN, Cobre		10	39,32	393,29	229.000
Conductor eléctrico 400 MCM THHN, Aluminio	M	70	3,35	240,44	140.000
Conductor eléctrico 250 MCM THHN, Cobre		10	20,26	202,65	118.000
Conductor eléctrico 4/0 AWG THHN, Aluminio	M	70	2,15	150,27	87.500
Conductor eléctrico 1/0 AWG THHN, Cobre		10	7,39	73,85	43.000
Canalización sub.	M	20	251,8	5036	2.932.261,4
Mano de obra	-	-	-	16.201,6	9.550.000
Total	-	-	-	604.553,75	296.769.097,60
Observaciones: Tipo cambio al 24 de junio, US=€ 582,26, EUR = €640,222					
UD: unidad, M: metro					

**Fuente:** Elaboración propia.

### **Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) y Valor Actual Neto (VAN).**

Como en todo proyecto de inversión, se necesita realizar un análisis económico de su rentabilidad, para saber la viabilidad económica que tendrá el proyecto, en este caso analizando factores como el costo anual uniforme equivalente (CAUE) y el valor actual neto (VAN), se puede demostrar si el proyecto es factible desde el punto de vista económico o su implementación por el provocará pérdidas.

El principal aspecto a considerar para este análisis es el precio entre los combustibles, en este caso el búnker y la energía eléctrica, ya que en la diferencia de esta comparación se determina si existe o no ahorro económico proyectado.

**Cuadro 29.** Comparación de costos búnker vs electricidad

<b>Costos de ambos sistemas (¢)</b>		
<b>Periodo</b>	<b>Caldera combustión</b>	<b>Caldera eléctrica</b>
Mensual	5.912.202,00	72.182.895,47
Anual	70.946.424,00	866.194.745,68

**Fuente:** Elaboración propia.

El porcentaje de gastos obtenido es un promedio estimado anual, el mismo está sujeto a diversos factores, el tipo de cambio del dólar, variaciones en el poder calorífico del combustible por factores externos, cambios en la eficiencia de las calderas, diferencias de consumo de combustible ya que no siempre se consumirá la misma cantidad, entre otros.

Datos importantes a contemplar son las alzas en los precios, importante aclarar que se estima un aumento del 5% en el búnker según el comportamiento histórico, mientras que para la energía eléctrica este costo aumenta a un 14,3% por años según así lo indica un estudio de energy economics:

Los precios de la electricidad en Costa Rica son muy elevados, en comparación con otras regiones; se encuentran entre las tarifas más altas del mundo. El debate en cuanto a la causa de esto no da una razón clara, el hecho es que siguen subiendo. El aumento promedio de los últimos 25 años es del 14,3% por año. Esto significa que las tasas se han duplicado 5 veces desde 1990.

Luego de la evaluación económica (Apéndice 14) para un escenario de 25 años para la vida útil de la caldera y utilizando la tasa activa dictada por el banco central de Costa Rica al 25 de Junio del 2020, la cual es de 16.13% los datos obtenidos son los siguientes:

**Cuadro 30. Evaluación Económica del proyecto**

<b>Evaluación económica</b>	
VAN	-15.241.216.553
CAUE	-2.467.878.174

**Fuente:** Elaboración propia.

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- Se analizó cuál es la viabilidad para el cambio de una caldera de combustión a una caldera eléctrica en el Laboratorio de Soluciones Parenterales de la Caja Costarricense de Seguro Social, mediante un estudio técnico, económico y ambiental; cuyos resultados indican que en términos técnicos y ambientales, es posible y beneficioso realizar el cambio de la caldera de combustión por una eléctrica. Sin embargo, el estudio económico indica que no es beneficioso realizar el cambio.
- Se determinó que la caldera opera durante seis días a la semana ininterrumpidamente, la misma abastece a ocho diferentes equipos de vapor, los diferentes consumos de cada equipo fueron detallados en el “Cuadro 31. Consumos de vapor de los equipos”. Luego de un análisis para determinar la energía total requerida por el sistema se demuestran los consumos reales de los equipos los cuales se mencionan en el “Cuadro 15. Consumos finales aplicando factor de uso”. finalizado este análisis se concluye que la caldera tiene una demanda requerida de energía de 2231,34 kW lo que equivale a una entrega de 3593,94 kg/h.
- Se dimensiona una caldera eléctrica con base en la demanda de vapor y energía requerida por el sistema, se seleccionó una caldera que cumpliera con estos dos factores para así poder suplir la demanda de vapor, se logró determinar que una caldera eléctrica de 2500kW es capaz de cubrir la necesidad de energía en el proceso de producción.
- Se logra determinar que la cantidad de gases producidos por el consumo de electricidad representan un 0,50% del total de gases emitidos anualmente por consumo de búnker, por lo que de efectuarse el cambio se estarían dejando de emitir un total de 1103,68 toneladas de gases de CO<sub>2</sub> equivalente al año, lo que representaría toda una acción climática de esperanza que fortalecería el compromiso con la meta del carbono neutralidad y el proceso de descarbonización que se tiene como meta país.

- Se diseñaron y se definieron los requerimientos técnicos para la instalación de la caldera eléctrica, el mismo será alimentado por un sistema trifásico en media tensión hasta el transformador luego de este, operara en baja tensión trifásica a un voltaje de 480 voltios, se detalla en el desarrollo las características de la instalación eléctrica, también por la gran cantidad de amperaje que se definió realizar la primera parte de la instalación con la utilización de electroductos lo que a su vez generó un ahorro económico, la segunda parte, del tablero hasta la caldera fue diseñada con conductores eléctricos en aluminio y canalizados en canastas para una mayor versatilidad de la instalación.
- Se desarrolló el estudio financiero de las implicaciones del cambio de la caldera, con base en el cual se determinó que en el caso de la inversión para el cambio hacia una caldera eléctrica se obtiene un valor negativo de 15.241.216.553 para el VAN y un valor negativo de 5.467.878.174 para el CAUE, según los criterios de decisión aplicables para el CAUE, nos indica que económicamente el proyecto no es viable.

### **Recomendaciones**

Tal y como se observa en las conclusiones generales del proyecto generar el cambio de una caldera de combustión a una caldera eléctrica es viable en términos técnicos y ambientales. Sin embargo, no en términos económicos por lo cual tomando esto en consideración se generan las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda la realización de un estudio que mida la carga real de consumo de vapor para los equipos del sistema, puesto que los datos del fabricante equivalen al consumo máximo de los equipos de vapor. Esto porque el consumo real de los equipos no es constante.
- Se recomienda efectuar un estudio de la red de vapor actual que permita conocer las distancias a la que se encuentran los equipos de vapor, presiones de trabajo, los accesorios que la componen y en qué condiciones se encuentran con el fin de optimizar la misma.

- Se recomienda al momento de realizar la licitación especificar que la caldera cuente con conexión a electroductos, esto reducirá los costos de inversión al sustituir los conductores eléctricos por electroductos.
- Se recomienda la realización de un estudio donde se valore la operación de la caldera eléctrica en las horas valle y de noche en manera conjunta con la caldera de bunker donde ésta entre a operar en las horas pico de la tarifa eléctrica, con el fin de reducir costos en el pago mensual del recibo eléctrico.
- Se recomienda realizar investigaciones a nivel de ARESEP donde valoren una tarifa diferenciada para que este tipo de proyectos puedan tener una rentabilidad económica y de esa manera poder acatar la directriz del MINAE en pro de la mejora del medio ambiente.
- Realizar reportes de mantenimiento de una manera más eficaz para tener un historial de las intervenciones que ha tenido el equipo, instrumentación reparada o sustituida, así como costo del mismo, esto permite tener un mejor control del mantenimiento de la caldera.
- Se recomienda la calibración de la caldera de bunker, lo que mejoraría la combustión de la misma y así tener una mejor eficiencia, realizar el trabajo de deshollar la chimenea de la caldera en un periodo de menos cada 6 meses, pues los subproductos emitidos durante la combustión de este combustible procedente del petróleo son muy volátiles y corrosivos.
- Realizar un análisis completo del equipo, implica revisión del quemador de la caldera, verificación del refractario y verificar el estado del material aislante del cuerpo de la caldera.

## CAPÍTULO VI: BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, C. (2001). Evaluación económica de alternativas de inversión con aplicación en el sector agropecuario. Colombia: Universidad Nacional de Colombia
- Banco Central de Costa Rica. (2020). Tasa de interés activa promedio del Sistema Financiero para préstamos en moneda nacional. Recuperado de: <https://gee.bccr.fi.cr/indicadoreseconomicos/Cuadros/frmVerCatCuadro.aspx?idioma=1&CodCuadro=%20614>
- Behn, A. (SF). *Análisis de eficiencia en calderas*. Recuperado de: [http://www.thermal.cl/docs/articulos\\_tecnicos/articulo\\_\\_\\_eficiencia\\_en\\_calderas.pdf](http://www.thermal.cl/docs/articulos_tecnicos/articulo___eficiencia_en_calderas.pdf)
- Borroto, A., Rubio, A. (2007). *Combustión y generación de vapor*. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/333903191>
- Canales, R. (2015). *Criterios para la toma de decisión de inversiones*. Revista Electrónica de Investigación en Ciencias Económicas 3 (5).
- Enric Ras i Oliva (1994). *Transformadores de potencia, de medida y de protección*. Barcelona, editorial Marcombo.
- Gonzalez, J. (2009). *Energías renovables*. Editorial reverté, Barcelona.
- Instituto Meteorológico Nacional, (2020). Factores de emisión de gases de efecto invernadero (Décimo edición). Costa Rica, Recuperado de: <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/factoresemision/factoresemision2020/index.html>
- Joseph W. Kane, Morton M. Sternheim (2007). *Física*. Editorial reverté. Barcelona España.
- Kohan, A. (2000). *Manual de Calderas*. España: McGraw-Hill.
- Osejo, D. (2017). *Diseño de una caldera de generación de vapor piro tubular de 10 bhp expandible a 25 bhp mediante módulos*. (Tesis de Ingeniería). Fundación Universidad de América. Colombia. Recuperado de: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6507/1/4062032-2017-2-IM.pdf>
- Ramirez, J. (1985). *El factor de Potencia*. Barcelona: Ediciones CEAC.
- RECOPE. (2020). Precios búnker: <https://www.recope.go.cr/productos/precios-nacionales/tabla-precios/>
- Rojas, G. (2007). *Manual de canalizaciones por sistemas de bandejas portacables*. Venezuela, Recuperado de:

[http://gedisa.com.ve/recientes\\_aun/catalogos/electricos/libreria\\_geditrays/libreria/manual%20GEDITRAYS%202007.pdf](http://gedisa.com.ve/recientes_aun/catalogos/electricos/libreria_geditrays/libreria/manual%20GEDITRAYS%202007.pdf)

Sapag, N. (2007). Proyectos de inversión: formulación y evaluación. Educación de México S.A. Servicios a media tensión. Supervisión de la instalación y equipamiento de acometidas eléctricas (AR-NT-SUINAC) (2015)

Solé, R. (2011). Técnicas de evaluación de flujos de inversión: Mitos y realidades. Ciencias Económicas 29 (1).

Supervisión de la comercialización del suministro eléctrico en baja y media tensión” AR-NT-SUCOM. (2016)

Tabla de propiedades físicas y químicas del búnker <https://www.recope.go.cr/wp-content/uploads/2019/06/Manual-de-Productos-2019.pdf>

Uceda, J. (2012). Calderas. Consejería de Economía y Hacienda. (Ed). Guía Básica de Calderas

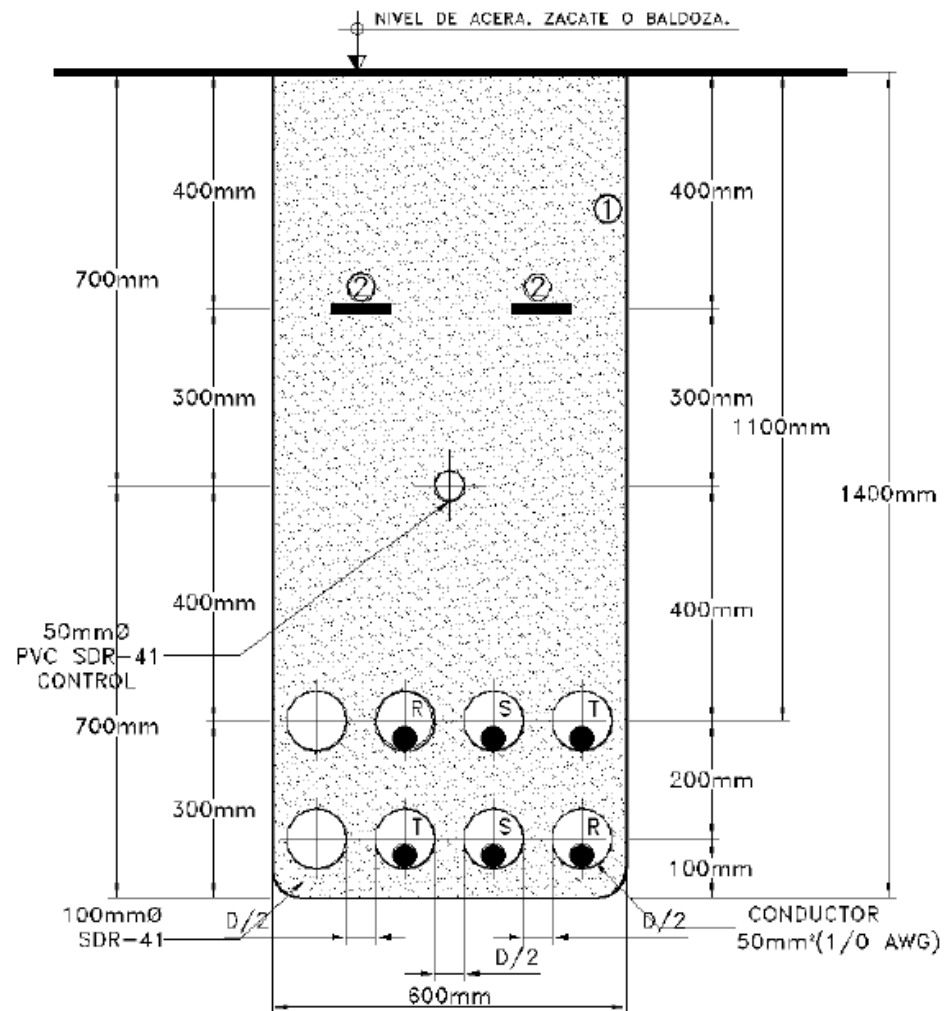
Vargas, A. (2006). Caracterización de aditivos para combustible tipo Búnker c utilizado en una caldera acuotubular con Relación a sus efectos contaminantes. (Tesis Licenciatura). Universidad de Costa Rica, Costa Rica.

## CAPÍTULO VII: APÉNDICE

### Apéndice 1. Cintra métrica marca Stanley



## Apéndice 2. Canalización media tensión trifásica



D: DIAMETRO DEL TUBO MAYOR

SI EL MATERIAL DEL RELLENO ES GRANULAR PUEDE SER ARENA DE RIO O DE TAJO COMPACTADO AL 90% PROCTOR MODIFICADO. SI EL MATERIAL DEL RELLENO ES MATERIAL DEL SITIO DEBE COMPACTARSE AL 90% DEL PROCTOR ESTANDARD.

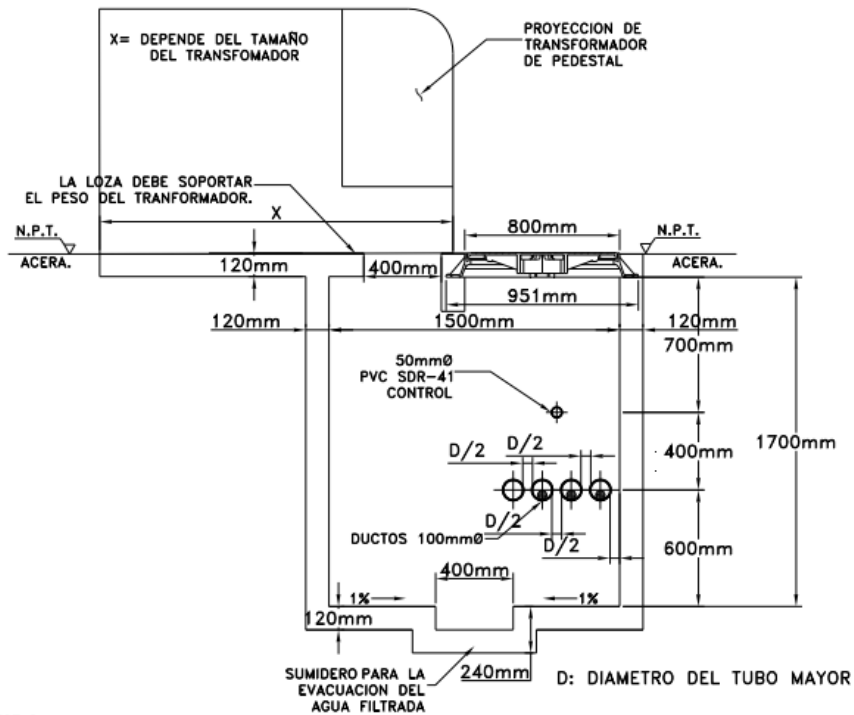
② CINTA DE AVISO  
(PELIGRO ALTO VOLTAJE)  
DEBE CUBRIR UN  $\frac{1}{3}$   
ANCHO DE ZANJA

### Apéndice 3. Dimensiones para la fosa del transformador

#### DIMENSIONES INTERNAS:

1. LARGO = 1.50m.
2. ANCHO = 1.50m.
3. PROFUNDIDAD = 1.70m.
4. ESPESOR DE LA PARED = 0.012m.

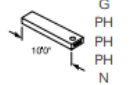
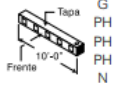

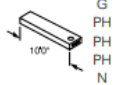
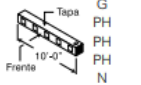
#### CORTE A-A



#### NOTAS:

- PAREDES DE CONCRETO COLADO DE 120mm DE ESPESOR F'C = 210KG/CM, CON ACERO #4 Ø150mm AMBOS LADOS.
- EL INTERIOR DE TODAS LAS CAJAS DEBE SER RECUBIERTO CON UN MORTERO IMPERMEABILIZANTE, ESTE SE DEBE APLICAR EN DOS CAPAS, GRIS LA PRIMERA Y BLANCA LA SEGUNDA. ANTES DE SU APLICACIÓN TODAS LAS GRIETAS O AGUJEROS DEBEN SER REPARADOS CON UN SELLADOR DE POLIURETANO MONOCOMPONENTE.
- LA CAJA DEBE CONTAR CON LA RESPECTIVA PREVISTA PARA MALLA A TIERRA.
- SE MUESTRA LA MÁXIMA COINCIDENCIA DE DUCTOS QUE DEBE LLEGAR A LA CAJA; REFERIRSE A LA LÁMINA DE PLANTA PARA DETERMINAR LA CANTIDAD EXACTA DE DUCTOS QUE SE CONECTARÁN.
- LA UBICACION DE LOS DUCTOS DEPENDE DEL RECORRIDO DEL DISEÑO.

## Apéndice 4. Electroductos marca Schneider

		Aluminio		Para usar en Aluminio o Cobre	Cobre	
						
Número de polos	Capacidad (A)	10'0" Length		Plug -In Tap Box (1)(2)	10'0" Longitud	
		Tipo Feeder (3)	Tipo Plug-in (4)		Tipo Feeder (3)	Tipo Plug-in (4)
		Catálogo No.	Catálogo No.	Catálogo No.	Catálogo No.	Catálogo No.
3Ø3W + Integral Ground Bus	800	AF2308G10ST	AP2308G10ST	PTB316G( )	CF2308G10ST	CP2308G10ST
	1000	AF2310G10ST	AP2310G10ST	PTB316G( )	CF2310G10ST	CP2310G10ST
	1200	AF2312G10ST	AP2312G10ST	PTB316G( )	CF2312G10ST	CP2312G10ST
	1350	AF2313G10ST	AP2313G10ST	PTB316G( )	CF2313G10ST	CP2313G10ST
	1600	AF2316G10ST	AP2316G10ST	PTB316G( )	CF2316G10ST	CP2316G10ST
	2000	AF2320G10ST	AP2320G10ST	—	CF2320G10ST	CP2320G10ST
	2500	AF2325G10ST	AP2325G10ST	—	CF2325G10ST	CP2325G10ST
	3000	AF2330G10ST	AP2330G10ST	—	CF2330G10ST	CP2330G10ST
	3200	—	—	—	CF2332G10ST	CF2332G10ST
	4000	AF2340G10ST	AP2340G10ST	—	CF2340G10ST	CP2340G10ST
5000	—	—	—	CF2350G10ST	CP2350G10ST	
3Ø4W +Integral Ground Bus	800	AF2508G10ST	AP2508G10ST	PTB516G( )	CF2508G10ST	CP2508G10ST
	1000	AF2510G10ST	AP2510G10ST	PTB516G( )	CF2510G10ST	CP2510G10ST
	1200	AF2512G10ST	AP2512G10ST	PTB516G( )	CF2512G10ST	CP2512G10ST
	1350	AF2513G10ST	AP2513G10ST	PTB516G( )	CF2513G10ST	CP2513G10ST
	1600	AF2516G10ST	AP2516G10ST	PTB516G( )	CF2516G10ST	CP2516G10ST
	2000	AF2520G10ST	AP2520G10ST	—	CF2520G10ST	CP2520G10ST
	2500	AF2525G10ST	AP2525G10ST	—	CF2525G10ST	CP2525G10ST
	3000	AF2530G10ST	AP2530G10ST	—	CF2530G10ST	CP2530G10ST
	3200	—	—	—	CF2532G10ST	CP2532G10ST
	4000	AF2540G10ST	AP2540G10ST	—	CF2540G10ST	CP2540G10ST
5000	—	—	—	CF2550G10ST	CP2550G10ST	

**Apéndice 5. Switchgear Power-Zone 4, bajo voltaje.**



## Apéndice 6. Ampacidades permisibles en conductores

### ARTÍCULO 310 — CONDUCTORES PARA CABLEADO EN GENERAL

310.60

Tabla 310.15(B)(16) (antes Tabla 310.16) Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de hasta e incluyendo 2000 volts y 60° C a 90° C (140° F a 194° F). No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (enterrados directamente), basadas en una temperatura ambiente de 30° C (86° F)\*.

Calibre AWG o kcmil	Temperatura nominal del conductor [Ver Tabla 310.104(A).]						Calibre AWG o kcmil
	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	
		Tipos RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW	Tipos TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	Tipos TW, UF	Tipos RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE	Tipos TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE				
18**	—	—	14	—	—	—	—
16**	—	—	18	—	—	—	—
14**	15	20	25	—	—	—	—
12**	20	25	30	15	20	25	12**
10**	30	35	40	25	30	35	10**
8	40	50	55	35	40	45	8
6	55	65	75	40	50	55	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	115	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	145	85	100	115	1
1/0	125	150	170	100	120	135	1/0
2/0	145	175	195	115	135	150	2/0
3/0	165	200	225	130	155	175	3/0
4/0	195	230	260	150	180	205	4/0
250	215	255	290	170	205	230	250
300	240	285	320	195	230	260	300
350	260	310	350	210	250	280	350
400	280	335	380	225	270	305	400
500	320	380	430	260	310	350	500
600	350	420	475	285	340	385	600
700	385	460	520	315	375	425	700
750	400	475	535	320	385	435	750
800	410	490	555	330	395	445	800
900	435	520	585	355	425	480	900
1000	455	545	615	375	445	500	1000
1250	495	590	665	405	485	545	1250
1500	525	625	705	435	520	585	1500
1750	545	650	735	455	545	615	1750
2000	555	665	750	470	560	630	2000

\*Ver sección 310.15(B)(2) para los factores de corrección de la ampacidad cuando la temperatura ambiente es distinta a 30°C (86°F)

\*\*Ver sección 240.4(D) para limitaciones de protección contra sobrecorriente del conductor.

## Apéndice 7. Conductor electro de puesta a tierra

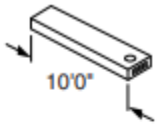
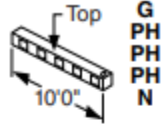
Tabla 250.66 Conductor del electrodo de puesta a tierra para sistemas de corriente alterna

Calibre del mayor conductor no puesto a tierra de entrada de la acometida o área equivalente para conductores en paralelo <sup>a</sup> (AWG/kcmil)		Calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra (AWG/kcmil)	
Cobre	Aluminio o aluminio revestido de cobre	Cobre	Aluminio o aluminio revestido de cobre <sup>b</sup>
2 o menor	1/0 o menor	8	6
1 o 1/0	2/0 o 3/0	6	4
2/0 o 3/0	4/0 o 250	4	2
Más de 3/0 hasta 350	Más de 250 hasta 500	2	1/0
Más de 350 hasta 600	Más de 500 hasta 900	1/0	3/0
Más de 600 hasta 1100	Más de 900 hasta 1750	2/0	4/0
Más de 1100	Más de 1750	3/0	250

## Apéndice 8. Cotización aproximada del tablero switchgear

Order:	Catalog No.	\$ Price
Switch with enclosure	HVMB305200	11844.00
Auxiliary switch	HVMX1	152.00
Key interlock adapter	HVMK1	340.00
Fuses (set of three, from page 11-14)	5GS065	1980.00
<b>Total Price</b>		<b>14316.00</b>

## Apéndice 8. Precios de electroductos

Number of Poles	Ampere Rating	Aluminum			
					
		10'0" Length			
		Feeder Style ▲		Plug-In Style ■	
		Catalog No.	\$ Price	Catalog No.	\$ Price
3Ø3W + Integral Ground Bus	800	AF2308G10ST	3940.00	AP2308G10ST	3940.00
	1000	AF2310G10ST	4400.00	AP2310G10ST	4400.00
	1200	AF2312G10ST	5920.00	AP2312G10ST	5920.00
	1350	AF2313G10ST	6820.00	AP2313G10ST	6820.00
	1600	AF2316G10ST	8380.00	AP2316G10ST	8380.00
	2000	AF2320G10ST	10040.00	AP2320G10ST	10040.00
	2500	AF2325G10ST	12220.00	AP2325G10ST	12220.00
	3000	AF2330G10ST	13980.00	AP2330G10ST	13980.00
	4000	AF2340G10ST	19120.00	AP2340G10ST	19120.00
	5000	—	—	—	—
3Ø4W + Integral Ground Bus	800	AF2508G10ST	4780.00	AP2508G10ST	4780.00
	1000	AF2510G10ST	5780.00	AP2510G10ST	5780.00
	1200	AF2512G10ST	7220.00	AP2512G10ST	7220.00
	1350	AF2513G10ST	8260.00	AP2513G10ST	8260.00
	1600	AF2516G10ST	10000.00	AP2516G10ST	10000.00
	2000	AF2520G10ST	12220.00	AP2520G10ST	12220.00
	2500	AF2525G10ST	15000.00	AP2525G10ST	15000.00
	3000	AF2530G10ST	17440.00	AP2530G10ST	17440.00
	4000	AF2540G10ST	23420.00	AP2540G10ST	23420.00
	5000	—	—	—	—

## Apéndice 9. Cotización caldera eléctrica

Thermé Electric Solutions S.L. Insc. Reg. Mercantil de Guadalajara, Tomo 628, Libro 0, Folio 165, Hoja GU-10695, inscripción

QUANTITY	ITEM	U. PRICE	TOTAL
1	<p>GENERADOR ELÉCTRICO DE VAPOR ALTA EFICIENCIA <b>ete</b>  <b>MODELO: NGP - 2150 ECO POTENCIA: 2500kW - 400V III</b>                      PRODUCCIÓN DE VAPOR: 4000KG/HORA                      PRESIÓN DE TRABAJO: 6 BAR (100PSI)                      FABRICADO EN ACERO INOXIDABLE AISI316-L</p> <p><b>PAYMENT TERMS: E-TRANSFER</b>  <b>IBAN: ES18 0049 3281 69 271 425 1135</b>  <b>SWIFT:BSCHESMMXXX</b></p>	300.000,00 €	300.000,00 €
<b>SUB TOTAL</b>		<b>%VAT</b>	<b>IMP.%IVA</b>
300.000,00			0,00
		<b>SUB TOTAL</b>	<b>300.000,00 €</b>
		<b>TOTAL INV</b>	<b>300.000,00 €</b>

## Apéndice 10. Precios conductores eléctricos



**Cable THHN 500 MCM negro metro**

€ 22,900 / metro



**Cable THHN 250 MCM negro metro**

€ 11,800 / metro



**Cable THHN #1/0 negro metro**

€ 4,300 / metro



**Cable de aluminio XHHW S-8000  
750 MCM negro metro**

€ 3,900 / metro



**Cable de aluminio XHHW S-8000  
400 MCM negro metro**

€ 2,000 / metro



**Cable de aluminio XHHW S-8000  
#4/0 negro metro**

€ 1,250 / metro

## Apéndice 11. Precio canasta



**CANASTA CABLOFIL - BT  
FT2X20X10 CF54/500EZ**

**€41,976 I.V.A Incluido**

## Apéndice 12. Cotización de transformador

JG Electric S.A.



jueves 9 de julio de 2020

COTIZACIÓN N° V - 6189 - 20

PROYECTO:

**ESTIMADO**  
Dilan Acuña Bermudez

**TELEFONO**

**EMAIL**  
dilan09-@hotmail.com

**ASUNTO:**  
Cotización de Transformadores

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Transformador Trifásico, de tipo Pedestal con certificación UL de 2500, kVA a 34500 // 19920 /480-277 Voltios, con devanados Aluminio - Aluminio, marca Rymel.	1	\$39.823,01	\$ 39.823,01
2			\$ -	\$ -
3			\$ -	\$ -
4			\$ -	\$ -
<b>SUBTOTAL</b>				\$39.823,01
<b>I.V. 13%</b>				\$5.176,99
<b>TOTAL</b>				\$45.000,00

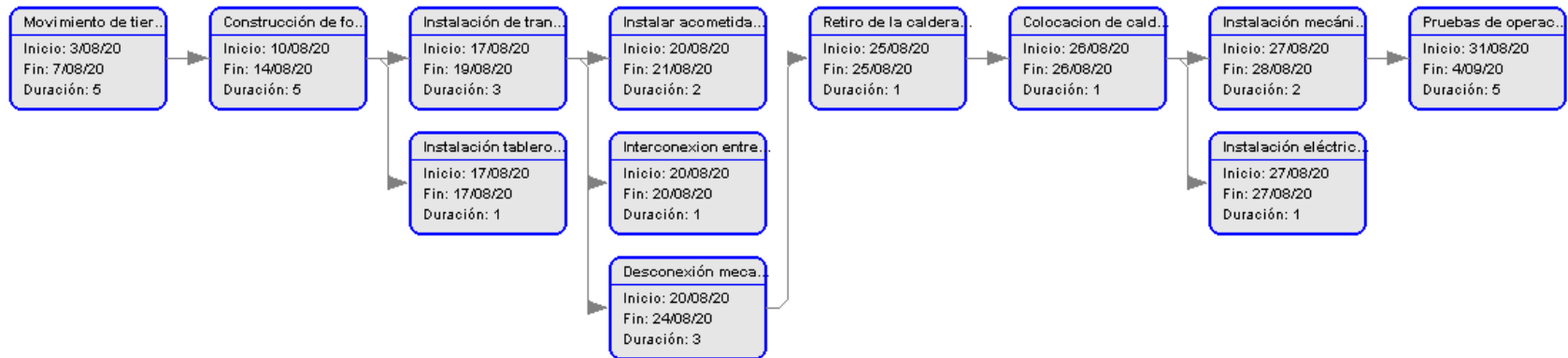
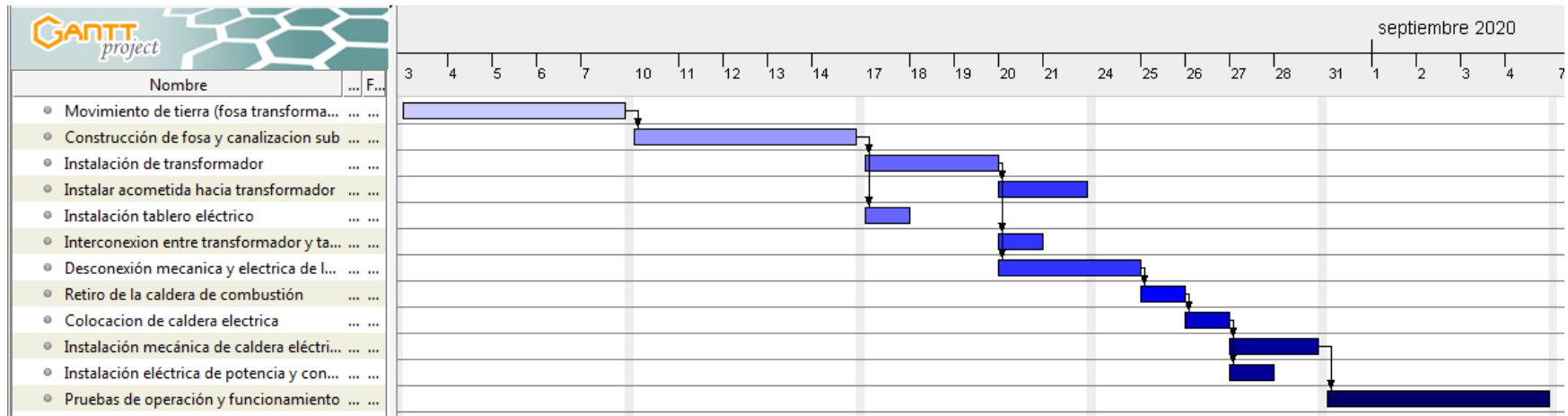
**VALOR TOTAL:** \$45.000, Dólares Americanos Impuestos Incluidos.

**GARANTÍA:** 24 meses de Garantía.

**OBSERVACIÓN:**

**INCLUYE:** Pedestal con Codo(s) Pararrayo(s) y Codo(s) Conector(es), .

### Apéndice 13. Diagrama de Gantt



## Apéndice 14. Evaluación económica del proyecto

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7		
Costo bunker por año		56.546.424	59.373.745	62.342.432	65.459.554	68.732.532	72.169.158	75.777.616		
Mant.		14.400.000	14.400.000	14.400.000	14.400.000	14.400.000	14.400.000	14.400.000		
Total		70.946.424	73.773.745	76.742.432	79.859.554	83.132.532	86.569.158	90.177.616		
Costo electricidad por año		865.044.746	988.746.144	1.130.136.843	1.291.746.411	1.476.466.148	1.687.600.808	1.928.927.723		
Mant.		1.150.000	1.150.000	1.150.000	1.150.000	1.150.000	1.150.000	1.150.000		
Total		866.194.746	989.896.144	1.131.286.843	1.292.896.411	1.477.616.148	1.688.750.808	1.930.077.723		
Flujo neto	-296.769.098	-795.248.322	-916.122.399	-1.054.544.410	-1.213.036.857	-1.394.483.617	-1.602.181.649	-1.839.900.107		
	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15		
	79.566.497	83.544.822	87.722.063	92.108.166	96.713.575	101.549.253	106.626.716	111.958.052		
	14.400.000	14.400.000	14.400.000	14.400.000	14.400.000	14.400.000	14.400.000	14.400.000		
	93.966.497	97.944.822	102.122.063	106.508.166	111.113.575	115.949.253	121.026.716	126.358.052		
	2.204.764.387	2.520.045.695	2.880.412.229	3.292.311.178	3.763.111.676	4.301.236.646	4.916.313.487	5.619.346.315		
	1.150.000	1.150.000	1.150.000	1.150.000	1.150.000	1.150.000	1.150.000	1.150.000		
	2.205.914.387	2.521.195.695	2.881.562.229	3.293.461.178	3.764.261.676	4.302.386.646	4.917.463.487	5.620.496.315		
	-2.111.947.890	-2.423.250.873	-2.779.440.166	-3.186.953.012	-3.653.148.102	-4.186.437.393	-4.796.436.771	-5.494.138.263		
	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25
	117.555.954	123.433.752	129.605.440	136.085.712	142.889.997	150.034.497	157.536.222	165.413.033	173.683.685	182.367.869
	14.400.000	14.400.000	14.400.000	14.400.000	14.400.000	14.400.000	14.400.000	14.400.000	14.400.000	14.400.000
	131.955.954	137.833.752	144.005.440	150.485.712	157.289.997	164.434.497	171.936.222	179.813.033	188.083.685	196.767.869
	6.422.912.838	7.341.389.374	8.391.208.054	9.591.150.806	10.962.685.372	12.530.349.380	14.322.189.341	16.370.262.417	18.711.209.942	21.386.912.964
	1.150.000	1.150.000	1.150.000	1.150.000	1.150.000	1.150.000	1.150.000	1.150.000	1.150.000	1.150.000
	6.424.062.838	7.342.539.374	8.392.358.054	9.592.300.806	10.963.835.372	12.531.499.380	14.323.339.341	16.371.412.417	18.712.359.942	21.388.062.964
	-6.292.106.884	-7.204.705.622	-8.248.352.615	-9.441.815.095	-10.806.545.374	-12.367.064.883	-14.151.403.119	-16.191.599.384	-18.524.276.258	-21.191.295.095

Evaluación económica	
VAN	<b>-15.241.216.553</b>
CAUE	<b>-2.467.878.174</b>