

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS**



**PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN
PROGRAMA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA CON
ENFOQUE DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN UNA
EMPRESA FARMACÉUTICA**

PRESENTADO POR:

CARLOS ERNESTO DUARTE ESCOBAR

CARLOS ALBERTO GARCÍA MÉNDEZ

JESSÉ ISRAEL GUZMÁN HERNÁNDEZ

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :
MSc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL :
ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :
Ph.D. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO :
ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

DIRECTORA :
INGA. SARA ELIZABETH ORELLANA BERRÍOS

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA E INGENIERIA DE ALIMENTOS

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO QUÍMICO

Título :

**PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA
DE EFICIENCIA ENERGÉTICA CON ENFOQUE DE PRODUCCIÓN
MÁS LIMPIA EN UNA EMPRESA FARMACÉUTICA**

Presentado por :

CARLOS ERNESTO DUARTE ESCOBAR

CARLOS ALBERTO GARCÍA MÉNDEZ

JESSÉ ISRAEL GÚZMAN HERNÁNDEZ

Trabajo de Graduación Aprobado por :

Docente Asesora :

MI. ALBA MARISELA SARAVIA CORTEZ

San Salvador, octubre de 2021

Trabajo de Graduación Aprobado por :

Docente Asesora :

MI. ALBA MARISELA SARAVIA CORTEZ

AGRADECIMIENTOS

Quiero dar gracias a Dios y a la Virgen María, por cuidarme mientras estaba lejos de casa y por darme la inteligencia necesaria para culminar mi carrera.

Le agradezco a mi mamá Leticia Escobar Orantes, pues ella ha sido mi soporte durante toda mi carrera, quien siempre confió en mí y me motivo a seguir adelante. Este triunfo no solo es mío también lo comparto con ella. Gracias mamá por creer en mí. Te amo y siempre recordare todos los sacrificios que hiciste para sacarnos adelante.

A mi hermana Karla María Duarte Escobar, por ser esa amiga y consejera. Gracias por tu apoyo incondicional, por tus mensajes de ánimo, en los momentos más necesarios de mi vida.

A mi familia, especialmente a mis tíos: Irma Corleto y Mauricio Corleto, a mis primos: Maricela Corleto y Fernando Corleto, por su gran apoyo y cariño. A mis tíos: Tita Duarte y Gustavo Duarte Gracias a todo su amor y soporte incondicional en los momentos más difíciles de mi vida.

Agradezco infinitamente a Daniela Villegas, mi fiel compañera y amiga, por su apoyo y sus palabras de aliento, ya que puede encontrar siempre en ella alguien con quien compartir cada momento vivido en esta etapa final.

A nuestra asesora Ingeniera Saravia. Gracias por ayudarnos durante el desarrollo de nuestro trabajo de graduación. Estoy muy agradecido por su apoyo; en aportarnos parte de su tiempo y conocimiento.

A mis compañeros y amigos de trabajo de grado: Jesse Guzmán y Carlos Méndez, por el apoyo brindado y por todo el sacrificio echo por este trabajo.

Quiero dedicar este trabajo de graduación especialmente a mi papá Jorge Armando Duarte Valdés. Qué bonito haberte hecho sentir orgulloso de mi en el poco tiempo que estuviste con nosotros; ese es mi mayor logro. Siempre te querré, papá.

Carlos Duarte

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios por la fortaleza, sabiduría y bendiciones con las que llena mi vida cada día, y porque me ha permitido culminar de su mano esta etapa tan importante de mi vida profesional. A mi familia por todo el apoyo, el amor y preocupación por mi crecimiento y mi superación, por estar siempre apoyándome a cumplir mis sueños, pero sobre todo por siempre creer en mí. A mi abuela, mis tíos y mis hermanos por todo su apoyo emocional, porque con la más pequeña acción me impulsaron a terminar esta etapa. A mi tía Yolanda Carolina García, a quien más que nadie ha estado ahí, por todo el sacrificio y esfuerzo por darme el regalo más valioso: mi educación, y por ser la inspiración y el ejemplo de que los sacrificios valen la pena y que se obtiene su recompensa.

Gracias a todos los docentes de la escuela de Ingeniería Química por sus enseñanzas y a todos aquellos amigos que a lo largo de estos años fueron parte importante de mi formación, de cada uno de ellos me llevo un grato recuerdo y guardo en mi memoria cada una de las lecciones que me pudieron brindar.

A Daniela Vásquez por motivarme y apoyarme en los momentos difíciles, sé que puedo contar contigo hasta donde te sea posible e inclusive más de eso.

Agradezco a mis compañeros, Carlos Duarte y Jessé Guzmán, por el sacrificio y esfuerzo invertido en este trabajo, con quienes compartí muchas experiencias con el fin de lograr este ideal, les deseo éxitos y bendiciones siempre en su vida.

Gracias infinitas a nuestra asesora Ingeniera Saravia, por su paciencia y por ser esa orientación que necesitábamos junto a mis compañeros para poder culminar esta etapa de formación.

Finalmente, quiero dedicar este trabajo de graduación especialmente a mi mamá Ana Margarita Méndez Cristales. Que sé que me cuida y me ha guiado durante este largo camino desde el cielo, sé que estaría orgullosa de ver que me he convertido en una persona de bien y en un profesional que sale adelante.

Carlos Alberto García Méndez

AGRADECIMIENTOS

A Dios todopoderoso, por permitirme la vida, porque gracias a su misericordia me concedió tener una familia, amigos y compañeros que cada uno de alguna manera me ayudo en este camino largo para poder alcanzar este logro, y por qué también me regalo el entendimiento y las fuerzas necesarias para lograr llegar al final y alcanzar la meta trazada.

A mis padres William y Sonia, porque sin ellos no me hubiera sido posible la finalización de esta carrera, ya que dentro de sus limitaciones siempre buscaron y encontraron la manera que no me falte nada, les agradezco especialmente a ellos porque soy testigo de todos los sacrificios que hicieron para poder ayudarme siempre, me enseñaron todo sobre la vida, siempre me apoyaron en todo, me corrigieron cuando necesite que alguien me devolviera al camino y me dieron ánimos cuando estaba desanimado y cansado, les estaré agradecido por siempre, este y todos mis éxitos futuros son por y para ustedes.

A mis hermanos, Alejandra, Marcos, Mateo, Esteban, Elena, Ana Lucia y Sebastián, porque ustedes siempre han sido mi motivación para salir adelante y luchar por mis sueños y metas, y porque me han apoyado siempre.

A mis abuelos, Leticia, Blanca y Salvador, porque siempre me aconsejaron y me ayudaron en lo que estuvo a su alcance para que pudiera salir adelante, mil gracias.

A mis amigos de la infancia, que me han acompañado y apoyado en todas las etapas de mi vida, y que han sido mi segunda familia, mil gracias.

A mis compañeros y amigos de trabajo de graduación Carlos Duarte y Carlos Méndez, por el apoyo brindado y por todo el sacrificio hecho por este trabajo, les deseo muchos éxitos en su vida.

A todos mis amigos y compañeros que hice en la universidad, ya que cada uno de alguna manera fue un apoyo a lo largo de este recorrido.

Jessé Guzmán

RESUMEN

En el presente trabajo se proponen medidas de eficiencia energética con enfoque en producción más limpia (PML) aplicadas a una empresa farmacéutica, con el objetivo de desarrollar un programa de eficiencia energética (EE), en las áreas de suministros de vapor y de energía eléctrica; usando la metodología establecida por el Consejo Nacional de Energía (CNE) para la industria en El Salvador. Para ello se procede a la elaboración de los balances de materia y energía de los sistemas en estudio para identificar y evaluar los potenciales de ahorro que estas áreas presentan.

En el programa de EE se evaluaron las diferentes viabilidades: técnica, económica y emisiones de CO₂ emitidas al medio ambiente, para establecer las posibles mejoras en las áreas generadoras de energía y determinar los ahorros y costos asociados a la implementación de las siguientes propuestas:

- i. Propuesta I: Guía de buenas prácticas de uso y mantenimiento preventivo para la caldera en estudio.
- ii. Propuesta II: Instalación de un conductímetro en el área de la caldera, para controlar las purgas.
- iii. Propuesta III: Instalación de un economizador de gases de chimenea.
- iv. Propuesta IV: Instalación de un tanque de condensado de mayor capacidad.
- v. Propuesta V: Instalación de paneles solares para disminuir el consumo de energía eléctrica generado por las iluminarias instaladas en los edificios administrativos.

Finalmente se realizó una proyección económica con el fin de determinar la rentabilidad del proyecto mediante el cálculo de indicadores económicos, como VAN y TIR que fueron evaluados con los criterios establecidos por el “Plan maestro para el desarrollo de la energía renovable en El Salvador”. Los indicadores económicos VAN y TIR del proyecto fueron \$75,881.26 y 17% respectivamente, los cuales de acuerdo a los criterios antes mencionados indica que el proyecto es rentable económicamente.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
ACRÓNIMOS	2

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA CON ENFOQUE DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA, APLICADO EN LA INDUSTRIA.....	3
1.1. DEFINICIONES Y PRINCIPIOS.	4
1.1.1. EFICIENCIA ENERGÉTICA (EE).	4
1.1.2. DEFINICIÓN DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA (PML).	5
1.2. BENEFICIOS Y VENTAJAS DE EE Y PML EN LA INDUSTRIA.	5
1.3. ANTECEDENTES RELACIONADOS A LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL SALVADOR.....	7
1.4. ANTECEDENTES DE LA PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN EL SALVADOR.....	8
1.4.1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA.....	9
1.4.2. PROYECTOS DE EFICIENCIA EN EL SECTOR PRIVADO.....	10
1.5. LA EE EN LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA DE EL SALVADOR.....	11
1.5.1. DESARROLLO Y APLICACION DE LA EE EN LA INDUSTRIA FARMACEUTICA.....	13
1.6. AUDITORÍA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN EL SALVADOR.	17

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA PARA REALIZAR UN PROGRAMA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA APLICADA EN LABORATORIOS SALVAMED	19
2.1. FASE I: PLANEACIÓN PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DEL SISTEMA TÉRMICO.	21
2.1.1. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DEL SISTEMA TÉRMICO.....	21
2.1.2. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO.....	23
2.2. FASE II: EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS.....	24
2.2.1. ELABORACIÓN DE BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA.	25
2.2.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA LA SELECCIÓN DE PROPUESTA DE EE.....	32

2.2.3. SELECCIÓN DE PROPUESTAS DE EE.....	33
2.3. FASE III: EVALUACIÓN Y DESARROLLO DE LAS PROPUESTAS.	34
2.3.1. METODOLOGÍA GENERAL PARA EL ANÁLISIS DE LA PROPUESTA PARA LA INSTALACIÓN DE PANELES SOLARES.	35
2.3.2. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN ECONÓMICA-FINANCIERA DE LAS PROPUESTAS DE EE.	38
2.3.3. METODOLOGÍA PARA PROYECCIÓN SIN FINANCIAMIENTO BANCARIO. 40	
2.3.4. METODOLOGÍA PARA ANÁLISIS DE RESULTADOS: MATRIZ DE RIESGOS.	40

CAPÍTULO III

ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA ENFOCADO EN PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA APLICADO A LABORATORIOS SALVAMED..... 43

3.1. FASE II EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS.	44
3.1.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA TÉRMICO Y EVALUACIÓN DE LOS COSTOS Y CONSUMO DE DIESEL EN LA CALDERA INSTALADA.	44
3.1.2. COSTOS DE REFERENCIA DEL DIESEL EN EL SALVADOR RESPECTO AL AÑO 2019.....	47
3.1.3. EVALUACIÓN AL PROGRAMA DE PRODUCCION EN LABORATORIOS SALVAMED EN 2019.....	47
3.1.4. REQUERIMIENTOS DE VAPOR PARA LAS DIFERENTES ÁREAS DE PRODUCCIÓN.	49
3.1.5. CÁLCULO DE EMISIONES DE CO ₂ POR CONSUMO DE DIÉSEL.....	51
3.1.6. SISTEMA ELÉCTRICO.	52
3.1.7. COSTOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA FACTURADOS DE ENERO A DICIEMBRE 2019.	54
3.1.8. LUMINARIAS INSTALADAS EN LAS ÁREAS ADMINISTRATIVAS.	55
3.1.9. DATOS PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	56
3.1.10. ELABORACIÓN DE BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA.....	59
3.1.11. BALANCE TÉRMICO EN LOS EQUIPOS CONSUMIDORES DE VAPOR INSTALADOS EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN.....	77

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ESTUDIO DE EE ENFOCADA EN PML

PARA LABORATORIOS SALVAMED..... 80

- 4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS EN EL ÁREA TÉRMICA..... 81
- 4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS EN EL ÁREA ELÉCTRICA. 83
- 4.3. DISCUSIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO VIGENTE VS PROPUESTO..... 84
 - 4.3.1. SITUACIÓN ACTUAL: PLAN DE MANTENIMIENTO VIGENTE..... 84
 - 4.3.2. SITUACIÓN PROPUESTA: PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO..... 86

CAPÍTULO V

EVALUACIÓN Y DESARROLLO DE PROPUESTAS DE EE ENFOCADA EN

PML PARA LABORATORIOS SALVAMED..... 89

- 5.1. EVALUACIÓN DE LAS PROPUESTAS PARA EL ÁREA DE GENERACIÓN DE VAPOR..... 91
 - 5.1.1. OPTIMIZACIÓN DE PURGAS EN LA CALDERA. 91
 - 5.1.1.2. EVALUACIÓN DE VIABILIDAD ECONÓMICA. 92
 - 5.1.2. EVALUACIÓN PARA LA INSTALACIÓN UN ECONOMIZADOR PARA GASES DE CHIMENEA EN LA CALDERA. 94
 - 5.1.3. EVALUACIÓN PARA DIMENSIONAR UN TANQUE DE RETORNO DE CONDENSADOS DE MAYOR CAPACIDAD..... 99
- 5.2. EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA PARA EL SISTEMA ELÉCTRICO. 107
 - 5.2.1. EVALUACIÓN DE VIABILIDAD TÉCNICA..... 108
 - 5.2.2. EVALUACIÓN DE VIABILIDAD ECONÓMICA. 108
 - 5.2.3. EVALUACIÓN DE REDUCCIÓN DDE EMISIONES DE CO2 110
- 5.3. EVALUACIÓN ECONÓMICO DEL PROYECTO PROYECCIÓN DE EE ENFOCADAS EN PML..... 111
 - 5.3.1. PROYECCIÓN SIN FINANCIAMIENTO BANCARIO..... 117
- 5.4. GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS DE USO Y MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA DE VAPOR. 121
 - 5.4.1. GENERALIDADES..... 121
 - 5.4.2. OPERACIÓN EFICIENTE DE LA CALDERA..... 125
 - 5.4.3. MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA DE VAPOR..... 127

CONCLUSIONES.....	134
RECOMENDACIONES	136
BIBLIOGRAFÍA	138
ANEXOS	143

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.	Medias de ahorro energético en los proyectos de EE.	11
Tabla 1.2.	Ranking de exportadores en el rubro farmacéuticos de América.	13
Tabla 1.3.	Consolidado de medidas de EE identificadas en las 54 empresas.....	14
Tabla 1.4.	Porcentaje de ahorros energéticos en el sector industrial de El Salvador.....	16
Tabla 2.1.	Lista de verificación 1 Inspección visual – Sistema térmico.	22
Tabla 2.2.	Costo de energía eléctrica periodo entre enero a diciembre.	23
Tabla 2.3.	Consumo de energía eléctrica por horario según: valle, resto y punta en el periodo de enero a diciembre.	23
Tabla 2.4.	Costos mensuales según horario de: valle, resto y punta de enero a diciembre.	23
Tabla 2.5.	Potencia instalada y horas de operación de las luminarias.	24
Tabla 2.6.	Consolidado de equipos consumidores de vapor.....	26
Tabla 2.7.	Consolidado de Ton CO ₂ por consumo de combustible diésel.	27
Tabla 2.8.	Valores de flujos de entrada y salida obtenidos en el balance de energía.	31
Tabla 2.9.	Calor consumido por equipo que consume vapor.	32
Tabla 2.10.	Datos de ubicación y recursos.	35
Tabla 2.11.	Eficiencias para diferentes tecnologías de módulos.	37
Tabla 2.12.	Datos de entrada para la simulación realizada en SAM.	38
Tabla 2.13.	Criterios de evaluación de proyectos de EE.	39
Tabla 2.14.	Identificación de probabilidad e impacto plan de mantenimiento	42

Tabla 2.15.	Identificación de riesgos plan de mantenimiento	42
Tabla 3.1.	Especificaciones del sistema de generación de vapor instalado en Laboratorios SalvaMed.	44
Tabla 3.2.	Consumo de diésel para la caldera Cleaver Brooks (Año 2019).	46
Tabla 3.3.	Precios de referencia del Diesel en El Salvador respecto al año 2019.	47
Tabla 3.4.	Total de lotes producidos en el periodo de enero a diciembre de 2019.	48
Tabla 3.5.	Equipos consumidores de vapor por áreas de fabricación.	49
Tabla 3.6.	Consolidado de equipos consumidores de vapor.	50
Tabla 3.7.	Toneladas de CO ₂ emitido por mes correspondiente al año 2019.	51
Tabla 3.8.	Consumo de energía eléctrica por horario según: valle, resto y punta en el periodo de enero 2019 a diciembre 2019.	52
Tabla 3.9.	Costo de energía eléctrica periodo entre enero 2019 a diciembre 2019.	53
Tabla 3.9.	Costo de energía eléctrica periodo entre enero 2019 a diciembre 2019.	54
Tabla 3.10.	Costos mensuales según horario de: valle, resto y punta.	54
Tabla 3.11.	Potencia instalada y horas de operación de las luminarias en laboratorios SalvaMed.	55
Tabla 3.12.	Cantidad de Luminarias instaladas en Laboratorios SalvaMed.	56
Tabla 3.13.	Variables y datos del diseño para un sistema fotovoltaico.	56
Tabla 3.13.	Variables y datos del diseño para un sistema fotovoltaico.	57
Tabla 3.14.	Consumo total en kilo watts de las iluminarias instaladas.	57

Tabla 3.15.	Datos de los módulos fotovoltaicos a evaluar.	58
Tabla 3.16.	Datos obtenidos de la simulación al utilizar el módulo Canadian Solar Inc. CS3K - 320P	58
Tabla 3.17.	Análisis de TSD temperaturas de las diferentes corrientes.	59
Tabla 3.18.	Análisis de Gases de Chimenea de caldera de Laboratorios SalvaMed.	65
Tabla 3.19.	Límites máximos permisibles en El Salvador de gases de chimenea en calderas tipo Piro tubular.	66
Tabla 3.20.	Composición de diésel.	66
Tabla 3.21.	Composición mol de los gases de chimenea.	71
Tabla 3.22.	Constantes de las capacidades caloríficas de gases en estado de gas ideal.	71
Tabla 3.23.	Capacidades Caloríficas de la corriente de gases.	73
Tabla 3.24.	Valores de flujos de entrada y salida en el balance térmico.	75
Tabla 3.25.	Cuadro resumen del calor perdido por equipo consumidor de vapor instalado en producción.	79
Tabla 4.1.	Identificación de probabilidad e impacto plan vigente de mantenimiento en Laboratorios SalvaMed.	84
Tabla 4.2.	Identificación de riesgos plan vigente de mantenimiento en Laboratorios SalvaMed.	85
Tabla 4.3.	Identificación de probabilidad e impacto de riesgo plan propuesto de mantenimiento en Laboratorios SalvaMed.	876
Tabla 4.4.	Identificación de riesgos plan propuesto de mantenimiento en Laboratorios SalvaMed.	87
Tabla 5.1.	Resumen de evaluaciones para la optimización de purgas.	94

Tabla 5.2.	Resumen de evaluaciones para la instalación de un economizador de gases de chimenea.	99
Tabla 5.3.	Ahorros monetarios generados por la instalación de un tanque de condensados de mayor capacidad.	105
Tabla 5.4.	Resumen de evaluaciones para la implementación un tanque de condensados de mayor capacidad.	107
Tabla 5.6.	Criterios de evaluación de proyectos de EE.	111
Tabla 5.7.	Parámetros para el flujo de caja.	111
Tabla 5.8.	Resumen de ahorros por medida propuesta.	112
Tabla 5.9.	Proyección de ahorros por medida propuesta.	114
Tabla 5.10.	Proyección de costos por medida propuesta.	115
Tabla 5.11.	Depreciación y valor en libros por el método de line recta.	116
Tabla 5.12.	Flujo de caja de Efectivo para Proyecto sin financiamiento bancario.	118
Tabla 5.13.	Beneficios totales por implementación de propuestas de mejora para el sistema de generación de vapor de Laboratorios SalvaMed.	119
Tabla 5.14.	Beneficios totales por implementación de propuestas de mejora para el sistema eléctrico de Laboratorios SalvaMed.	120
Tabla 5.15.	Rutina de mantenimiento diaria.	129
Tabla 5.16.	Rutina de mantenimiento semanal.	130
Tabla 5.17.	Rutina de mantenimiento mensual. Pruebas de funcionamiento de equipos y accesorios del quemador.	131
Tabla 5.18.	Rutina de mantenimiento mensual. Prueba de funcionamiento del paro con el interruptor de emergencia.	131
Tabla 5.19.	Rutina de mantenimiento semestral.	132
Tabla 5.20.	Rutina de mantenimiento anual.	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.	Tasa de crecimiento anual de la Industria Farmacéutica de El Salvador.	12
Figura 1.2.	Medidas de ahorro implementadas en el sector industrial de El Salvador en el 2020.	15
Figura 2.1.	Esquema de Fases de la metodología.	20
Figura 2.2.	Esquema de Fase II	24
Figura 2.3.	Esquema de caja negra ilustrativo aplicado en BMyE.	25
Figura 2.4.	Entradas y salidas para uso del software SAM	36
Figura 2.5.	Caja negra de entradas y salidas para uso del software SAM.	36
Figura 2.6.	Matriz de análisis de riesgo.	42
Figura 3.1.	Costo del combustible Diesel en laboratorios SalvaMed 2019.	46
Figura 3.2.	Consumo en kW/h de los horarios.	53
Figura 3.3.	Diagrama de generación de vapor.	60
Figura 3.5.	Distribución de vapor de la caldera hacia los equipos de producción	77
Figura 3.6.	Esquema del flujo de vapor para el Autoclave Medical.	78
Figura 4.1.	Porcentajes de salidas en el balance térmico aplicado a la caldera.	81
Figura 4.2.	Pérdidas de calor por equipo instalado en Laboratorios SalvaMed.	82
Figura 4.3.	Matriz de riesgo de plan de mantenimiento vigente.	85
Figura 4.4.	Matriz de riesgo de plan de mantenimiento propuesto.	88

Figura 5.1.	Componentes principales de una caldera.	122
Figura 5.2.	Puerta del hogar de una caldera.	123
Figura 5.3.	Cuerpo de una caldera.	123

INTRODUCCIÓN

En El Salvador se han desarrollado programas que permiten a los sectores productivos y de servicio, operar eficientemente en materia de consumo energético. Además, se identificó que uno de los principales rubros productivos del país es la industria farmacéutica por su alto consumo energético, como eléctrico y térmico. Por tanto, es necesario la aplicación de un estudio de eficiencia energética, para determinar potenciales de mejora en la industria los cuales pueden traer diferentes beneficios como, por ejemplo:

- i. Reducción de la demanda energética.
- ii. Diversidad energética.
- iii. Máximo aprovechamiento del uso de energías renovables.
- iv. Innovación tecnológica.
- v. Autoconsumo a través de microrredes.
- vi. Modificación de los hábitos de consumo.

Es importante, conocer los procesos de fabricación de los productos farmacéuticos para el conocimiento de los equipos (condiciones de operación) y sus demandas energéticas, para posteriormente estudiar posibles propuestas de mejora para obtener un servicio óptimo. Caso contrario esto puede ser traducido en un alto costo de operación e impactos negativos al medio ambiente a través de las emisiones de CO₂ a la atmosfera.

Por esta razón se plantea una propuesta para la implementación de un programa de EE con enfoque a PML en una empresa farmacéutica ubicada en el área metropolitana de San Salvador, El Salvador. Tomando como base la metodología establecida por el Consejo Nacional de Energía (CNE 2011), adaptada a Laboratorios SalvaMed, nombre tomado para el presente caso de estudio.

Asimismo, el presente trabajo tiene como objetivo realizar una evaluación técnica en EE con enfoque de PML a Laboratorios SalvaMed, donde se identifique aquellas áreas que presentan un potencial energético de mejora, al aplicar la metodología de investigación propuesta.

ACRÓNIMOS

- a) Laboratorios SalvaMed: Nombre de referencia para la empresa farmacéutica en estudio.
- b) EE: Eficiencia energética.
- c) PML: Producción más limpia.
- d) AE: Auditoria Energética
- e) CNE: Consejo Nacional de Energía
- f) ONUDI: Organización de las Naciones Unidas para desarrollo industrial
- g) CNPML: Centro Nacional de Producción más limpia
- h) LGE: Ley General de Electricidad
- i) SIGET: Superintendencia General de Electricidad y telecomunicación
- j) DEE: dirección Energía Eléctrica
- k) MINEC: Ministerio de Economía
- l) MARN: Ministerio de medio ambiente y recursos naturales
- m) PESAE: Programa el salvador ahorra energía
- n) COOES: Comités de eficiencia energética
- o) ASI: Asociación salvadoreña de industriales
- p) ONG: Organizaciones no gubernamentales
- q) CII: Corporaciones interamericana de inversiones
- r) BMP: Buenas prácticas de manufactura
- s) DNM: dirección nacional de medicamentos
- t) INQUIFAR: Asociación de industriales químico-farmacéuticos de El Salvador.
- u) BCR: Banco central de Reserva.

CAPÍTULO I

*ANTECEDENTES DE LA EFICIENCIA
ENERGÉTICA CON ENFOQUE DE
PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA, APLICADO
EN LA INDUSTRIA*

En el presente capítulo se presentan los conceptos y principios básicos de la eficiencia energética (EE) y la producción más limpia (PML) y como estos conceptos son aplicados a la industria. Para ello es importante describir: sus antecedentes históricos, sus ventajas y beneficios de su aplicación y a su vez como surgieron las instituciones encargadas en regular y promover la política energética en El Salvador, así también se presenta como surgió la institución encargada en promover e implementar la PML en el país, de modo que al analizar estos conceptos se ha ido evaluando la importancia de implementar en los diferentes sectores industriales a nivel público y privado.

Dentro de este marco, también se presentan los conceptos de la Auditoría Energética (AE) aplicada a la industria, para poder conocer la información objetiva sobre la energía consumida. Para caso de estudio se selecciona una empresa farmacéutica en El Salvador, la cual nombraremos “Laboratorios SalvaMed”.

1.1. DEFINICIONES Y PRINCIPIOS.

1.1.1. EFICIENCIA ENERGÉTICA (EE).

La eficiencia energética enfocada a la gestión del uso de la energía en el sector industrial, tiene como objetivo establecer un juicio detallado sobre el desempeño energético de partida de la empresa, para *“detectar el potencial de mejora que presenta y trazar un plan de acciones que permita destinar racionalmente los recursos y esfuerzos en función del trabajo en temas de eficiencia energética en las organizaciones”*. Para ellos es importante contabilizar el consumo de energía a equipos, sistemas, operaciones, o cualquier otra parte de la empresa que se considere efectiva a fin de conseguir los objetivos de mejora previamente establecidos. (García, 2016)

Desde el punto de vista ambiental la eficiencia energética contribuye a la reducción de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y atenúa los efectos del cambio climático. Además, el ahorro de energía permite diferir inversiones energéticas y reduce la dependencia de los combustibles fósiles, así mismo se logra una mejor planificación de los recursos energéticos (OptimaGrid, 2013).

La cultura de eficiencia energética es la adopción de mejores prácticas, actitudes, hábitos y tecnologías más eficientes involucra cambios estructurales basados en la modificación de las conductas individuales mediante programas que contemplen una estrategia cultural, educacional y de difusión, cuyo fin último sea el cambio hacia una cultura de uso eficiente y racional de la energía (CNE, 2020).

1.1.2. DEFINICIÓN DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA (PML).

La Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial define la PML como: *“La aplicación continua de una estrategia integrada de prevención ambiental en los procesos, los productos y los servicios, con el objetivo de reducir riesgos para los seres humanos y para el medio ambiente, incrementar la competitividad de la empresa y garantizar la viabilidad económica”* (ONUDI, 2008).

1.2. BENEFICIOS Y VENTAJAS DE EE Y PML EN LA INDUSTRIA.

El uso eficiente de las fuentes de energía resulta esencial para el futuro de todos los habitantes. Pero también, el ahorro energético en una empresa proporciona mejoras o beneficios tanto económicas y ambientales. Entre ellas se pueden mencionar los siguientes:

I. Beneficios de la EE (OptimaGrid, 2013):

- a) Reducción de la demanda energética.
- b) Diversidad energética.
- c) Máximo aprovechamiento del uso de energías renovables.
- d) Innovación tecnológica.
- e) Autoconsumo a través de microrredes.
- f) Modificación de los hábitos de consumo

II. Ventajas de la EE (CNE, 2015):

- a) Se reduce el valor en la facturación eléctrica de la empresa.
- b) Menores costos de producción al consumir menos energía por cada unidad producida.

- c) Reducción en los costos de Operación y mantenimiento
- d) Mayor capacidad de generación disponible.
- e) Reducción de la contaminación evitando pérdidas energéticas.
- f) Reducción de los gases de efecto invernadero.

Por su parte la PML tiene como propósito integrar los objetivos ambientales en el proceso de producción para reducir desechos y emisiones en lo que se refiere a la cantidad y toxicidad y así reducir los costos.

III. Ventajas de PML:

- a) La PML presenta un potencial de soluciones para mejorar la eficiencia económica de la empresa pues contribuye a reducir la cantidad de materiales y energía usados.
- b) Debido a una exploración intensiva del proceso de producción, la minimización de desechos y emisiones generalmente induce un proceso de innovación dentro de la compañía.
- c) Puede asumirse la responsabilidad por el proceso de producción como un todo; los riesgos en el campo de responsabilidad ambiental y de eliminación de desechos pueden minimizarse.
- d) La minimización de desechos y emisiones es un paso hacia un desarrollo económico más sostenido.
- e) Reducir el costo de eliminación de residuos (ONUDI, 2008).

IV. Beneficios de la PML:

- a) Reducir el costo de la materia prima.
- b) Reducir el costo de daños en el entorno de seguridad de la salud.
- c) Mejorar las relaciones públicas / imagen.
- d) Posicionarse competitivamente en el mercado nacional e internacional de cara a los tratados de libre comercio.
- e) Mejorar el rendimiento de las empresas.
- f) Mejorar la competitividad del mercado local e internacional.
- g) Responder a las tendencias internacionales que emergen en cuanto a normas y estándares ambientales.

- h) Ayuda a cumplir con las normativas de protección ambiental.
- i) Contribuir al cumplimiento de la legislación ambiental vigente.
- j) Responsabilidad ambiental empresarial.
- k) Generar el consumo y la demanda de productos elaborados con enfoque de Producción más Limpia (CNPML, 2019).

1.3. ANTECEDENTES RELACIONADOS A LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL SALVADOR.

La Asamblea Legislativa de El Salvador aprueba la Ley de Creación del Consejo Nacional de Energía (CNE) en el año 2017 y puesto en funcionamiento en el 2009 como una institución autónoma y como la entidad superior, rectora y normativa en materia de política energética en El Salvador, el cual tiene como objetivo proponer, gestionar y contribuir a los organismo correspondientes, la aprobación de estrategias energéticas que contribuyan al desarrollo socio económico del país, en armonía con el medio ambiente, tomando en cuenta que es deber del Estado promover el desarrollo económico y social mediante el incremento de la producción, la productividad y la utilización de los recursos energéticos; así como la necesidad de crear una institución que sea rectora y normativa de la política energética nacional (CNE, 2010).

En política energética nacional, El CNE establece como primer objetivo corresponder a la elaboración de la planificación de corto, mediano y largo plazo en materia energética que den solución a los desafíos del país que se han integrado en seis grandes grupos:

- a) Diversificación de la matriz energética y fomento a las fuentes renovables de energía, por ejemplo: Promoviendo e incentivando el uso de fuentes de energía renovables y la incorporación de combustibles alternos.
- b) Promoción de una cultura de eficiencia y ahorro energético.
- c) Ampliación de cobertura y tarifas sociales preferentes. (diferentes formas de energía a toda la población, priorizando en las zonas rurales de difícil acceso).
- d) Innovación y desarrollo tecnológico.

Integración energética regional. Con el fin de disponer de fuentes energéticas diversificadas y a menor costo (CNE, 2010)

La eficiencia energética juega un papel importante para la economía y el bienestar social de todos los sectores del país, ya que uno de los beneficios directos es la implementación de medidas orientadas al uso eficiente de la energía para la reducción de costos, volver más competitivo y rentable a la industria, al comercio y a su vez reducir gastos al sector público.

Desde el punto de vista ambiental, el ahorro de energía contribuye a la reducción de emisiones de dióxido de carbono y atenúa los efectos del cambio climático y también reduce la dependencia de los combustibles fósiles, generando así una mejor planificación y diversificación de la matriz energética.

1.4. ANTECEDENTES DE LA PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN EL SALVADOR.

La Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) en 1994 inicio el establecimiento de los Centros Nacionales de Producción más Limpia para promover la aplicación del concepto de PML en los países en vías de desarrollo y economías en transición.

En la región centroamericana al igual que en otras regiones del mundo, posterior a la cumbre de Río en 1992, se han venido desarrollando acciones inclinadas a promover cambios tecnológicos y de procesos. Es a partir de la firma en 1994 de la Alianza Centroamericana para el Desarrollo Sostenible (ALIDES) con el apoyo de La Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), se parte de la necesidad de enfocar la cooperación regional en las áreas económica, social y ambiental en forma conjunta, con visión de largo plazo, partiendo de una visión integral. Con el objeto de definir prioridades de acción y principios de política orientados a fortalecer la integración regional, en el 2000 se formuló y aprobó el Plan Ambiental Centroamericano (PARCA). En este se definen escenarios y áreas estratégicas entre otros en producción más limpia y gestión integral del ambiente (De la Cruz, Porta, y Buser, 2018)

En el país, la aplicación del concepto producción más limpia, se puede visualizar de manera parcial y con poca divulgación a través de los compromisos adquiridos por diversas empresas como parte del cumplimiento de las disposiciones legales vigentes. Sin embargo, la presentación de programas de adecuación ambiental evidencia la necesidad de iniciar un proceso de descontaminación y fomento de una estrategia preventiva a través de la integración de acciones voluntarias concertadas entre el sector público y privado.

Es así que; dentro del tema Gestión Ambiental contenido en la Política Nacional del Medio Ambiente se tiene previsto entre otros objetivos estratégicos, lo referente a la prevención y control de la contaminación, a fin de “promover cambios de conducta hacia los procesos productivos o de importación de productos a través de mecanismos que garanticen un crecimiento económico compatible y equilibrado con el medio ambiente y los recursos naturales” (MARN, 2004).

1.4.1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA.

El sector industria nacional presenta serios problemas actualmente; no solo en temas de contaminación ambiental sino en la existencia de obstáculos que dificultan una asimilación rápida por parte de los sectores productivos en temas referentes a buenas prácticas ambientales y competitivas. A lo largo del tiempo este sector a desarrollado diferentes soluciones con parte de los programas de educación ambiental, pero sin generar herramientas claves para combatir la contaminación ambiental en el país y conseguir un enfoque de producción más limpia.

De acuerdo a la situación actual de la PML en el país, existen debilidades que justifican la necesidad de una política de PML tales como:

- a) Desconocimiento sobre el potencial que representa la dificultad de acceder a información sobre diversas alternativas tecnológicas existentes.
- b) Poca oferta y demanda en consultoría y/o auditorías especializadas en el tema de PML.
- c) El sistema regulatorio carece de mecanismos de promoción de la prevención de la contaminación y falta de coordinación interinstitucional en la divulgación de actividades en proceso de ejecución con criterios de PML.

1.4.2. PROYECTOS DE EFICIENCIA EN EL SECTOR PRIVADO.

Según indicadores energéticos y económicos del sector Industrial en el 2019, El Salvador representa, aproximadamente un 40% del consumo energético eléctrico a nivel nacional, y para dicho sector la energía eléctrica representa uno de los principales recursos usados en sus procesos de producción, por lo que la variación en los precios de la energía eléctrica tiene un impacto sensible en sus costos de operación.

Debido a los altos costos de producción y a la falta de orientación ambiental en la industria salvadoreña, surgen programas que llevan a cabo proyectos orientados al desarrollo de la eficiencia energética, impulsados por el gobierno en conjunto con organizaciones representantes de la empresa privada, tales como la Asociación Salvadoreña de Industriales (ASI).

Como parte de la promoción para el desarrollo de la Eficiencia Energética en El Salvador, el Ministerio de Economía (MINEC) y el Consejo Nacional de Energía (CNE) motivaron a las empresas a participar en el “Premio Nacional a la Eficiencia Energética”, dicha premiación es realizada en conjunto por instituciones públicas, privadas, universidades y ONG'S que han coordinado esfuerzos para la promoción y generación de soluciones tecnológicas que conlleven al ahorro energético y su pongan mejoras en el uso eficiente de la energía.

Además, El Centro Nacional de Producción Más Limpia de El Salvador (CNPML) desarrolló entre 2014 y 2018 el Programa de Auditorías Energéticas para las pequeñas y medianas empresas (PYMES) en El Salvador.

Para evaluar el impacto del proyecto, el CNPML diseña un mecanismo de seguimiento de medidas implementadas en las que se incluyó la realización de informes de monitoreo que permitan cuantificar las inversiones realizadas, ahorros económicos y beneficios ambientales en todas las empresas que participaron en las auditorías.

En términos económicos en ente el periodo de 2014 a 2018, la implementación de medidas de eficiencia energética y de energía renovable en las empresas auditadas

reportaron una inversión total realizada de US\$ 2.7 Millones. Dichas inversiones generaron ahorros económicos de US\$ 0.78 MM por año. Obteniendo así un período simple de recuperación promedio de la inversión de 3.5 años para el programa.

Los principales ahorros logrados por la ejecución del programa, se presentan en la *tabla 1.1*.

Tabla 1.1. Medias de ahorro energético en los proyectos de EE.

Medidas implementadas	Ahorro logrado (\$/año)
Tecnologías Eficientes de Iluminación	209,897
Aires Acondicionados	145,434
Hornos Térmicos	124,056
Energía Renovable con sistemas Fotovoltaicos	86,244

Fuente: CNE, 2018.

Dentro de estos proyectos que se llevaron a cabo se encuentra el premio nacional de eficiencia energética, en el cual su primera edición fue en el año 2014 y fue diseñado en el marco del programa “*El Salvador ahorra energía*”; donde participaron más 20 instituciones públicas y privadas (CNE, 2018).

1.5. LA EE EN LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA DE EL SALVADOR.

En El Salvador se cuenta con un industria químico - farmacéutica que tuvo sus inicios en la década de 1940 al interior de farmacias en las que se preparaban y comercializaban formulaciones no tan complejas, hasta que la popularidad y el consumo de esas recetas fueron en aumento, por lo que las farmacias comenzaron a prepararlas y comercializarlas en mayor escala. Por tanto, al interior de las farmacias comenzaron a operar pequeños laboratorios que producían en serie y de forma artesanal. Posteriormente, se dio la necesidad de instalar laboratorios por separado, así como de invertir en compra de equipos nuevos y maquinaria moderna. Con ello, los laboratorios que se crearon se dedicaron a la formulación y preparación de medicamentos en serie, surgiendo así las primeras empresas de tipo familiar y capital nacional (Osorio Rivas y Sibrián Sánchez, 2019).

En septiembre del año 1868, se creó oficialmente la Cátedra de Farmacia en la Universidad Nacional de El Salvador. Aproximadamente entre 1910 y 1920 aparecen las primeras farmacias del país y se fundan los primeros laboratorios químicos farmacéuticos. (Acevedo García y Meléndez González, 2011).

En 1929 ingresaron a El Salvador laboratorios transnacionales, como por ejemplo Merk, Schering, Bayer, Roche, etc. por lo cual el gobierno de El Salvador puso ciertas limitaciones a estas compañías, una de estas limitaciones era que el 50% del capital debía ser salvadoreño, motivo por el cual muchas compañías decidieron establecerse en Guatemala (Córdova, Hernández, y Henríquez, 2016).

En el 2020 se contabilizan un total de 35 laboratorios farmacéuticos certificados en las buenas prácticas de manufactura (BPM 32) según el listado oficial emitido por la Dirección Nacional de Medicamentos (DNM, 2020). La industria Farmacéutica Salvadoreña registro un crecimiento promedio de 4%. En 2014 el crecimiento que alcanzo fue de 5.4% y según estimaciones propias de INQUIFAR, en 2018 registraría un crecimiento de 3.6% un desempeño que vino de más a menos (como se muestra en la *figura 1.1*), sin embargo, este crecimiento es resultado de las inversiones en infraestructura, capacitación de personal y la adquisición de nuevas tecnologías que permiten estar a la vanguardia, con un monto de exportación de \$316 millones (INQUIFAR, 2019), ver *tabla 1.2*.

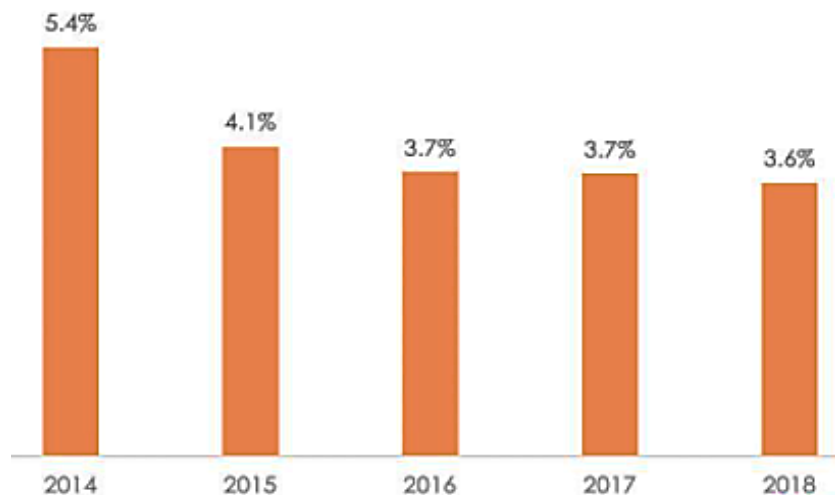


Figura 1.1. Tasa de crecimiento anual de la Industria Farmacéutica de El Salvador.

Fuente: INQUIFAR, 2019.

Tabla 1.2. Ranking de exportadores en el rubro farmacéuticos de América.

Ranking	Exportadores	Valor exportado en 2018
1	Estados Unidos de América	\$48,391
2	Canadá	\$7,868
3	México	\$1,540
4	Brasil	\$1,187
5	Argentina	\$690
6	República Dominicana	\$375
7	Colombia	\$351
8	Costa Rica	\$316
9	Panamá	\$214
10	Chile	\$169
11	El Salvador	\$142

Fuente: INQUIFAR, 2019.

1.5.1. DESARROLLO Y APLICACION DE LA EE EN LA INDUSTRIA FARMACEUTICA.

La asociación salvadoreña de industriales (ASI) estima que para el 2020 el sector industrial representa aproximadamente el 40% del consumo eléctrico a nivel nacional, y para dicho sector la energía eléctrica representa uno de los principales recursos en los procesos de producción en las diferentes industrias (lácteos, textiles, farmacéuticas, alimentos, ingenios azucareros, etc.), por lo que los incrementos del precio en la energética tiene un impacto importante en los costos (ASI, 2011).

Para ello en el 2018 la ASI crea programas de EE, aplicados a las industrias que respondan a las expectativas del sector y del país, aportando nuevas metodologías técnico/práctico, concebida para estimular la participación activa de los participantes, para que sus resultados se traduzcan en beneficios de quienes reciban y estén con la capacidad para promover el conocimiento y el desarrollo de la EE en las empresas y centros de trabajo. Entre las metodologías vista en estos programas resaltan cuatro temáticas de interés para la industria farmacéutica, las cuales son:

- a) Diagnósticos energéticos e iluminación eficiente.
- b) Bombeo, aire comprimido y motores.

- c) Aire acondicionado, refrigeración y calderas.
- d) Calidad de la energía y planes de inversión.

Las metodologías anteriores se aplicaron a 54 empresas participantes, entre las cuales resalta la industria farmacéutica que participó en el programa de eficiencia energética durante el periodo comprendido del 2008 al 2010. Estas empresas presentan un consolidado de medidas identificadas que ayudaron a la investigación del diseño, desarrollo e implementación de propuestas para determinar el impacto del programa de EE a implementar (ASI, 2011).

A continuación se presenta el consolidado de las diferentes mediciones identificadas en las 54 empresas, que se sometieron al proceso de implementación de un programa de EE. Ver tabla siguiente:

Tabla 1.3. Consolidado de medidas de EE identificadas en las 54 empresas.

Medida	Ahorro en Demanda (kW)	Ahorro en Consumo Anual Total (kWh)	Inversión USD	Ahorro Anual (\$)	Recuperación de Inversión (años)	TCO2 no Emitidas
ADMINISTRACION - OTROS	715.69	179,823.26	\$33,552.99	\$70,575.52	0.48	125.88
AIRE ACONDICIONADO	413.17	1,608,217.31	\$231,969.78	\$1,000,923.91	0.23	1,125.75
REFRIGERACIÓN	182.73	1,271,040.00	\$385,676.88	\$148,252.00	2.60	889.73
VARIABLES DE VELOCIDAD	1,531.25	1,702,595.34	\$302,277.34	\$252,065.12	1.20	1,191.82
BOMBEO	71.93	279,247.68	\$52,445.37	\$53,323.54	0.98	195.47
AIRE COMPRIMIDO	940.92	3,822,606.26	\$284,476.36	\$625,269.10	0.45	2,675.82
CALIDAD DE ENERGÍA	5.00	31,587.52	\$1,313.90	\$4,003.84	0.33	22.11
GENERACIÓN DE CALOR	14,891.00	2,536,943.73	\$275,003.73	\$265,667.18	1.04	1,775.86
ILUMINACIÓN	13,089.24	5,894,601.70	\$654,593.26	\$707,008.39	0.93	4,126.22
MOTORES ELÉCTRICOS	325.30	734,392.03	\$310,057.26	\$240,635.05	1.29	514.07
TOTAL	32,166.23	18,061,054.83	\$2,531,366.87	\$3,367,723.65	0.75	12,642.74

Fuente: ASI, 2011

Para el sector farmacéutico al realizar las diferentes operaciones unitarias para la obtención de medicamentos se ven en la necesidad de utilizar energía tanto eléctrica como térmica para poder desarrollar sus procesos de fabricación. Dichos procesos generan un costo y también emisiones de CO₂ al medio ambiente. Para ello la ASI buscó mediante la aplicación de medidas de EE que ayuden a las empresas a disminuir dichos costos de operación, entre las principales medidas de ahorro implementadas en el sector industrial, se muestran en la *figura 1.2*.

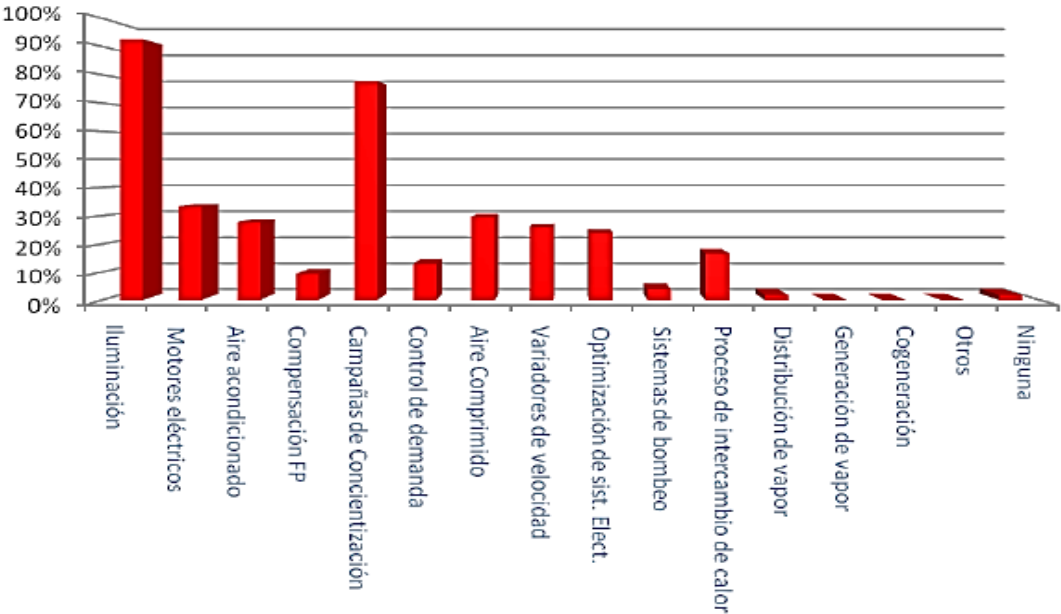


Figura 1.2. Medidas de ahorro implementadas en el sector industrial de El Salvador en el 2020.

Fuente: ASI, 2011

La meta de toda empresa de cualquier sector, en el tema de energía es lograr realizar las operaciones primarias de su actividad productiva con el mínimo de consumo energético, utilizando para ello las estrategias y herramientas tecnológicas disponibles, lo cual redundará evidentemente en reducir los gastos financieros en este rubro, que representa un porcentaje elevado en los costos fijos de cualquier empresa. Al implementar dichas medidas de ahorro en el sector industrial incluyendo el sector farmacéutico nacional, se observó un mayor porcentaje de ahorro energético entre un 5 y 15%, al aplicar dichas medidas de ahorro, tal como se muestra a continuación:

Tabla 1.4. Porcentaje de ahorros energéticos en el sector industrial de El Salvador.

% Ahorros	KWH Ahorrados	\$ Ahorrados
Menos de 5% de Ahorro	1875,982	\$ 281,397.25
5 y 15 % de Ahorro	3669,252	\$ 550,387.76
15 y 25% de Ahorro	1925,620	\$ 288,842.94
Mas de 25% de Ahorro	303,000	\$ 45,450.00
Totales	7773,853	\$ 1166,077.95

Fuente: ASI, 2011

Para la implementación de un programa de eficiencia energética, en la industria farmacéutica, el Ministerio de Economía de El Salvador (MINEC) afirma que estos cambios implican una inversión inicial significativa en tecnología y asesoría técnica, sin embargo, esto viene acompañado de un plan de recuperación a mediano plazo, que repercutirá directamente dos factores importantes, como: La disminución de la factura de energía y en la conservación del medio ambiente.

Estos dos factores mencionados anteriormente son importantes porque deben impulsar a los empresarios del sector farmacéutico a invertir en este tema, especialmente en las áreas de control de motores, optimización de sistema de aire acondicionado, iluminación y en la medición de parámetros eléctricos y térmicos.

Como caso de éxito, se tiene al Laboratorio GSK (GlaxoSmithKline) donde aplico este tipo de programas de ahorro energético en su planta de fabricación; que tras realizar exhaustivas auditorías energéticas específicas para analizar las instalaciones de mayor consumo (sistema de frío, sistema de vapor, iluminación, sistema eléctrico, etc.), el laboratorio implemento medidas como:

- a) La sustitución de motores de más de 15 kW por motores de alta eficiencia.
- b) La revisión anual de válvulas de frío y calor.
- c) Uso de filtros con menor pérdida de carga, para mejorar el aislamiento de conductos o control del aire de alimentación de compresores para que trabajen a mayor rendimiento.

- d) Instalo paneles de control en áreas productivas que permiten determinar horarios automáticos de apagado, encendido y arranque de servicios de uso puntual.

Además, como objetivo final la empresa GSK tiene planeado reducir un 25% la huella de carbono en 2020 y llegar a ser neutral en emisiones de CO₂ en 2050.

1.6. AUDITORÍA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN EL SALVADOR.

El CNE presenta una metodología para la EE aplicada a la industria, donde se describe paso a paso para las actividades a ejecutar, también se menciona que la herramienta imprescindible para aplicar un estudio de EE es la Auditoria Energética (AE); ya que esta herramienta es útil para el *“proceso de gestión de la eficiencia energética, mediante la cual es posible la evaluación del desempeño de los equipos y sistemas consumidores de energía”* (BID, 2011).

Para cumplir con los objetivos de la AE es importante conocer el desempeño de los recursos y el alcance de estos objetivos propuestos. Para ello es necesario la medición del consumo de energía en las áreas de consumo y la cuantificación de manera objetiva de los indicadores que se persiguen de los recursos que se emplean para los procesos. También es importante definir cuatro principios que ayudaran a dar un mejor seguimiento a los objetivos propuestos para lograr medir el desempeño (Balcells, 2016).

Los principios enfocados a garantizar el control de estas medidas energéticas, de forma consistente dentro de las estrategias generales de una empresa u organización, para obtener la máxima rentabilidad y optimación del uso de la energía, son:

- a) Revisión de aspectos energéticos. (Consumo histórico y actual, consumo previsto estimado e identificación de interesados).
- b) Conocimiento, formación, competencias. (formación para todos los niveles de dirección y las personas implicadas en áreas de uso significativo de la energía).

- c) Monitorización y medición. (Plan de medición de energía, indicadores clave de desempeño de la energía y su consumo)
- d) Control operativo. (Consideraciones energéticas en los procesos de compra, diseño, cambio y restauración) (Balcells, 2016).

También se puede describir a la AE como una “*actividad multidisciplinaria, que además de involucrar diversos campos de la ingeniería tales como la electricidad, mecánica, hidráulica, neumática, informática, etc., involucra también aspectos ambientales y administrativos, así como la evaluación económica de proyectos*” (Balcells, 2016).

Mediante la ejecución de una AE, se puede obtener información necesaria y valiosa para el administrador de la energía, la cual le permitirá a este tomar las decisiones y medidas respectivas para incrementar la EE en los procesos, ya que por medio de esta se puede evaluar el desempeño de los equipos y sistemas consumidores de energía, mediante el análisis correspondiente de sus parámetros de operación (BID, 2011).

Los pasos a seguir durante una AE parten de la obtención y revisión de los patrones históricos de consumo de energía tales como facturas eléctricas o de combustibles; así como las visitas exploratorias de las instalaciones para obtener mayor conocimiento e información de la organización. Entre dicha información se encuentran planos (arquitectónicos, eléctricos, mecánicos, etc.), especificaciones técnicas de equipos (datos de placa), condiciones de operación (horas de uso, presiones, temperaturas, etc.), entre otras.

A partir de esta información se procede a analizar el uso de la energía en Laboratorios SalvaMed y planificar las actividades a realizar, en las áreas de estudio de nuestro tema de investigación.

CAPÍTULO II

*METODOLOGÍA PARA REALIZAR UN
PROGRAMA DE EFICIENCIA
ENERGÉTICA APLICADA EN
LABORATORIOS SALVAMED*

A continuación, se describe la metodología implementada en el desarrollo de este trabajo, la cual proporciona los elementos necesarios para llevar a cabo la AE, tomando como base la metodología de eficiencia energética en la industria propuesta por el CNE, esta metodología será aplicada a las áreas seleccionadas para este estudio, las cuales son:

- A. Área térmica.
- B. Áreas de consumo eléctrico.

Para la implementación de esta metodología en Laboratorios SalvaMed, se siguieron una serie de pasos comprendidos en tres fases fundamentales que se resumen en, Planeación para la recolección de la información (Fase 1), Evaluación y análisis de datos (Fase 2), y Evaluación y análisis de las propuestas (Fase 3), las cuales se describen detalladamente de la sección 2.1 a la sección 2.4, así como en la figura 2.1.

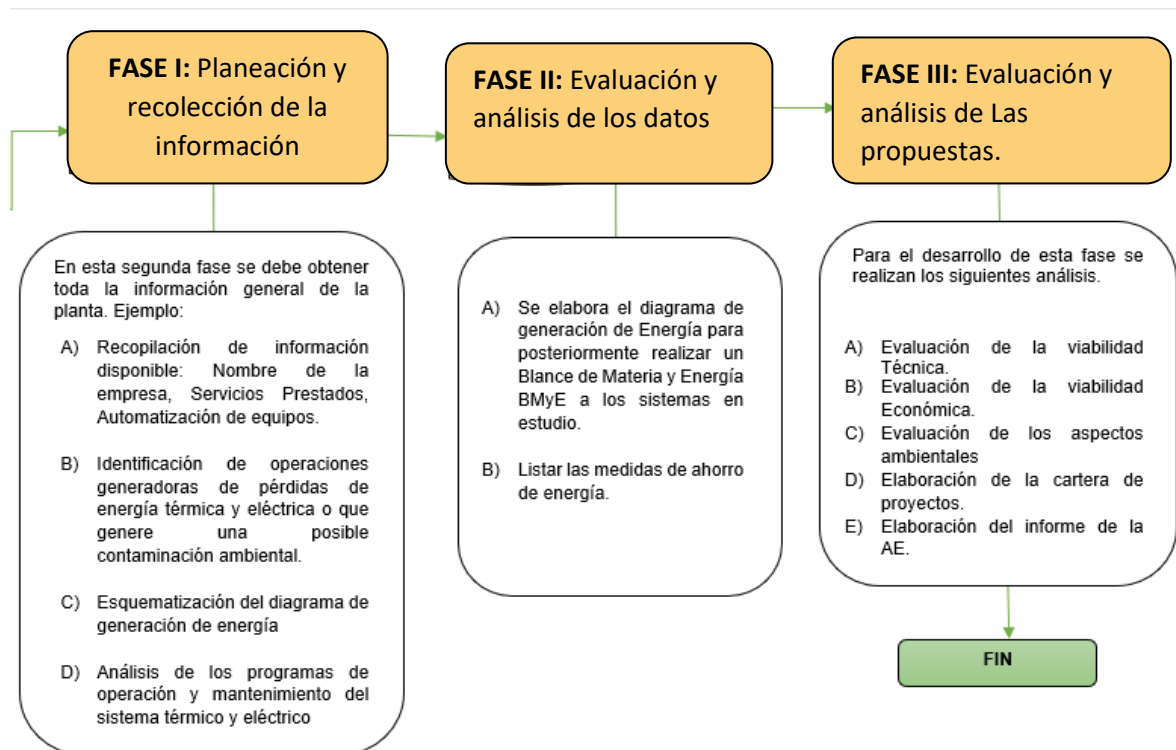


Figura 2.1: Esquema de Fases de la metodología.

2.1. FASE I: PLANEACIÓN PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DEL SISTEMA TÉRMICO.

En esta primera fase se establece el compromiso de la empresa, el cual es indispensable para la implementación de la AE. De esta manera se inicia la recolección de información mediante un recorrido en las instalaciones de Laboratorios SalvaMed.

Con el objetivo de identificar posibles oportunidades de mejora en las áreas seleccionadas (áreas de consumo de energía térmica y eléctrica). También se buscó conocer el funcionamiento del sistema de vapor y el consumo eléctrico, con los que cuenta Laboratorios SalvaMed, para la realización de sus operaciones.

Para esta fase, se reunieron datos relacionados con el uso y consumo de la energía térmica y eléctrica tales como:

- a. Funcionamiento y especificaciones técnicas de equipos e instalaciones.
- b. Historial de producción y consumo energéticos.
- c. Información recopilada de la AE a las áreas en estudio.
- d. Programas de mantenimiento.
- e. Diagrama de flujo de la distribución de vapor.
- f. Distribución de los equipos consumidores de vapor instalados.

2.1.1. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DEL SISTEMA TÉRMICO.

Registro de caldera: En esta actividad se realizó un levantamiento de la información general y técnica de la caldera. Los datos a recopilar durante la identificación de la caldera, se presentan en las tablas 2.1, las cuales contienen las características técnicas de la caldera, los datos de la ficha técnica según el proveedor y la ficha técnica del combustible utilizado, respectivamente.

Tabla 2.1. Lista de verificación 1 Inspección visual – Sistema térmico.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	ESPECIFICACIÓN
Calderas instaladas	
Identificación	
Tipo de combustible	
Presión de alimentación del combustible	
Capacidad	
Economizador	
Pre calentador de agua	
Consumo de combustible/h	
Fecha de última prueba de eficiencia	
Marca	
Fecha de fabricación	
Tipo	
Modelo	
Serie	
Potencia	
Presión máxima de trabajo	
Presión de trabajo	

Fuente: Adaptado de BID, 2011.

I. ESQUEMATIZACIÓN DEL SISTEMA TÉRMICO.

Este diagrama se realiza a partir de la información recopilada en la fase 1 respecto al proceso de generación de energía térmica, donde se identifican:

- a. Flujos de entrada.
- b. Flujos de salida.
- c. Consumo de vapor de equipos.
- d. Retorno del condensado.
- e. Temperaturas de operación.
- f. Presión de trabajo de los equipos.
- g. Concentraciones de SDT para agua de alimentación (caldera).

2.1.2. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO.

El objetivo de este paso es reunir los datos relacionados con el uso de la energía eléctrica en el inmueble, tales como: historial de consumo de eléctrico, información recopilada sobre resultados de una inspección visual a todas las instalaciones, programas de mantenimiento y levantamiento de datos de las luminarias instaladas en las áreas administrativas (como se muestran en las tablas 2.2, 2.3, 2.4 y 2.5).

Tabla 2.2. Costo de energía eléctrica periodo entre enero a diciembre.

MES	CONSUMO TOTAL (kW/h)	COSTO TOTAL (\$)

Fuente: Adaptado de BID, 2011.

Tabla 2.3. Consumo de energía eléctrica por horario según: valle, resto y punta en el periodo de enero a diciembre.

MES	CONSUMO kWh			CONSUMO TOTAL (kW/h)
	VALLE (11:PM-5:AM)	RESTO (5:AM-6:PM)	PUNTA (6:PM-11:PM)	

Fuente: Adaptado de BID, 2011.

Tabla 2.4. Costos mensuales según horario de: valle, resto y punta de enero a diciembre.

MES	COSTO MENSUAL - HORA VALLE	COSTO MENSUAL - HORA RESTO	COSTO MENSUAL - HORA PUNTA

Fuente: Adaptado de BID, 2011.

Para el levantamiento de datos eléctricos, en esta investigación solo se tomarán las luminarias instaladas en los edificios administrativos, debido a que se debe garantizar la exclusión microbiana para prevenir la contaminación de materiales estériles, componentes y superficies en operaciones asépticas, para minimizar la introducción de contaminantes en la zona de producción, donde también es necesario utilizar el equipo de protección personal idónea para no perjudicar la calidad del producto y la salud de las personas.

A continuación, se describe la clasificación utilizada para el tipo de luminaria, donde se toma del manual de EE propuesto por el Consejo Nacional de Energía el cual menciona las siguientes categorías:

- A. Focos:** Son todos aquellos que su principio de funcionamiento son los filamentos de tungsteno.
- B. Luminarias empotradas:** Todas aquellas que datan desde la construcción del laboratorio.
- C. Luminarias superficiales:** Todas aquellas que han sido adicionadas a lo largo de los años debido a la finalización de la vida útil, de las luminarias empotradas o por la inventiva de mejora en áreas donde originalmente existían otras tecnologías (BID, 2011).

Tabla 2.5. Potencia instalada y horas de operación de las luminarias.

Tipo de iluminación	Potencia	Cantidad	Horas de uso

Fuente: Adaptado de BID, 2011.

2.2. FASE II: EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS.

En esta sección se presentan las herramientas metodológicas utilizadas para la evaluación y el análisis de los datos tal como lo describe el título de la fase 2, para ello en los siguientes apartados se describe más detalladamente el contenido de cada uno de los pasos seguidos para poder llevar a cabo el análisis de los datos recolectados en la fase anterior y así posteriormente poder obtener resultados producto de dicho análisis. En el siguiente esquema se presenta de forma resumida el contenido de esta fase.

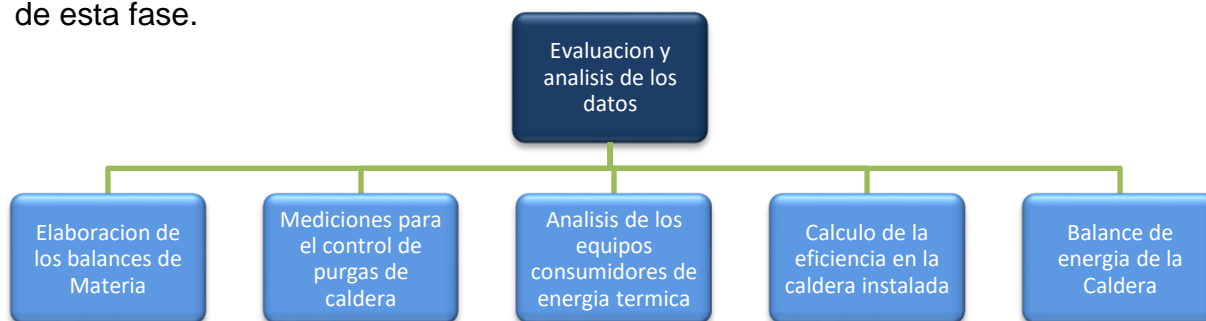


Figura 2.2: Esquema de Fase II

2.2.1. ELABORACIÓN DE BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA.

Los balances de materia y energía (BMyE) son una de las herramientas más importantes con las que cuenta la ingeniería de procesos y se utilizan para contabilizar los flujos de materia y energía entre un determinado proceso industrial y los alrededores o entre las distintas operaciones que lo integran. Por tanto, nos permitirán conocer los caudales máxicos de todas las corrientes que intervienen en el proceso, así como las necesidades energéticas del mismo, que en último término se traducirán en los requerimientos de servicios auxiliares, tales como vapor o refrigeración (Himmelblau, 1997).

Los BMyE pueden ser presentados en forma tabular, o gráficamente. Como se muestra en la *figura 2.3*.



Figura 2.3. Esquema de caja negra ilustrativo aplicado en BMyE.

El enfoque que debe tener el BMyE estará orientado a (Avilés, López, & Soto, 2012):

- a) Mostrar de una manera global los insumos utilizados en la empresa.
- b) Identificar el punto de origen, los volúmenes, las pérdidas y emisiones que se dan en el proceso.
- c) Definir estrategias para mejorar la situación global inspeccionada.
- d) Para comenzar con el proceso de elaboración del análisis de BMyE, se comienza analizando cada etapa del proceso identificado en el diagrama de flujo; como lo son: las entradas y salidas de insumos como energía, agua, combustible, etc.
- e) El análisis detallado de las entradas y salidas permite obtener un conocimiento de los procesos y así, identificar con facilidad las posibilidades de optimización, uso más eficiente de los insumos y medidas de reducción del impacto ambiental.

f) Es importante presentar gráficamente la información obtenida a través del análisis de los flujos de insumos, de tal manera que se puedan interpretar rápida y fácilmente. Para realizar este balance es necesario consultar los criterios que se poseen para la selección de los insumos dentro de la empresa, el número de productos usados para cada actividad, además de las prácticas de manejo del inventario.

2.2.1.1. BALANCE DE MASA.

El balance de masa incluye la cantidad de agua consumida por el sistema para la generación de vapor, es decir el flujo de entrada y salida de agua de la caldera. Una forma de determinar los flujos máxicos en cada corriente es en base a la cantidad reportada de solidos totales disueltos (SDT).

Los SDT de cada corriente pueden ser conocidos a través de los reportes físico-químicos del sistema de vapor proporcionados por el departamento técnico de la empresa; igualmente es necesario conocer el flujo masico de CO₂ emitido a la atmosfera en relación al flujo de combustible diésel consumido por la caldera según los datos obtenidos de los registros del departamento técnico de la empresa.

Para esta sección también es necesario conocer el vapor consumido por equipo cuyos datos se recopilarán en la tabla 2.6, el valor total de vapor consumido será útil para conocer el flujo total de vapor que sale de la caldera.

Tabla 2.6. Consolidado de equipos consumidores de vapor.

EQUIPOS INSTALADOS EN EL ÁREA DE FABRICACIÓN.	CONSUMO DE VAPOR

Fuente: Adaptado de Laboratorios SalvaMed, 2019-2020.

I. Generación de CO₂ por consumo de combustible diésel.

Dentro del balance de masa es necesario calcular la cantidad de CO₂ emitido a la atmosfera por consumo de diésel, ya que la caldera transforma el agua en vapor por medio de la combustión de diésel, por ello, en esta sección se detalla la forma

para calcular el nivel total de consumo de combustible por mes y la energía térmica producida en Giga Joules (GJ), teniendo en cuenta datos como el factor de emisión, el poder calorífico y el valor de consumo mensual de Diesel recolectado de los registros de la empresa, para luego ser presentados de forma resumida en el formato de la tabla 2.7. Para el cálculo de Emisiones de CO₂ por consumo de Diésel en el sistema térmico, se calculará primero el consumo diario de diésel con la ec.2.1:

II. Consumo de Combustible promedio por día:

Para obtener el consumo en kg se multiplica el consumo de combustible promedio en m³ por la densidad del diésel:

$$\text{consumo diario de combustible} \times \rho_{\text{diesel}} = \text{kg diesel} / \text{dia} \quad \text{Ec. 2.1}$$

III. Cálculo Toneladas de CO₂ emitidas:

$$\text{TonCO}_2 = C_{\text{comb}} * D_{\text{comb}} * PC_{\text{comb}} * FEC_{\text{comb}} \quad \text{Ec. 2.2}$$

Dónde: C_{comb}: Consumo de combustible.

PC_{comb}: Poder Calorífico inferior del combustible.

FEC_{comb}: Factor de emisión de CO₂ para combustible.

Tabla 2.7. Consolidado de Ton CO₂ por consumo de combustible diésel.

Consumo de Combustible por periodo de tiempo	TON de CO ₂ producidas.

Fuente: Adaptado de BID, 2011.

IV. Mediciones para el control de purgas de caldera.

Con la realización de purgas en una caldera es clave para su buen funcionamiento, ya que al hacerlo se eliminan elementos corrosivos como solidos disueltos y sedimentos, que se introducen en el agua de alimentación para evitar que el sistema sufra la formación de incrustaciones, corrosión, arrastre de sólidos y formación de espuma (BID, 2011).

Para los cálculos respectivos se utilizarán las ecuaciones propuestas por la metodología seleccionada:

Razón de purga actual

$$I. \quad P = \frac{SDTa}{SDTp - SDTa} * Wv \quad \text{Ec. 2.3.}$$

Razón de purga esperada

$$II. \quad P' = \frac{SDTa}{SDTp' - SDTa} * Wv \quad \text{Ec 2.4.}$$

Donde:

- A. SDTp: Sólidos Disueltos en el Agua de la Purga (ppm).
- B. SDTa: Sólidos Disueltos en el Agua de Alimentación (ppm).
- C. Wv: Flujo de Vapor (Ton/hr).

2.2.1.2. BALANCE DE ENERGÍA EN LA CALDERA.

En este paso se realiza un análisis de los flujos de entrada y salida de la caldera, que se consideran en dos sistemas. El primero sistema: Se define en la entrada y salida de la caldera y el segundo sistema: Se define en los equipos que consumen vapor, de los cuales proviene el retorno del condensado.

A fin de obtener el valor de los flujos de entrada y salida de energía producida en forma de calor por el sistema de generación de vapor (Smith, Van Ness, y Abbott, 2007). Para obtener el valor de las entalpías de entrada y salida de la caldera se hará uso de la aplicación *Steam Property versión 5.1.3*, el cual es la versión digital de las tablas de vapor de agua de la IAPWS.

I. SISTEMA 1

A. FLUJOS DE ENTRADA EN LA CALDERA.

a) Cálculo del calor absorbido por el agua (Q_a):

$$Q_a = m_a * \Delta H \quad o \quad Q_a = m_a C p_a \Delta T \quad \text{Ec. 2.5}$$

b) Energía del combustible (Q_{comb}):

$$Q_{comb} = PC * m_c \quad \text{Ec. 2.6}$$

B. FLUJOS DE SALIDA

c) Energía del vapor producido (Q_v):

$$Q_v = m_v * (H_2 - H_1) \quad \text{Ec. 2.7}$$

d) Energía perdida en las purgas (Q_{purga}):

$$Q_{purga} = \frac{X_A}{X_P - X_A} * Q_v \quad \text{Ec. 2.8}$$

e) Energía perdida en los gases de chimenea (Q_{ch}):

En esta etapa se utilizará el análisis de gases de combustión realizado por la empresa subcontratada por laboratorios SalvaMed.

Para el balance de masa de los gases de combustión se parte de la composición de combustible diésel para poder conocer el valor del Cp de los gases y posteriormente la cantidad de gases de chimenea emitidos por combustible alimentado, para efectos del mismo se tomarán como base de cálculo 100 kg de gases de combustión y se partirá de los valores reportados de CO, CO₂ y O₂.

Para realizar este cálculo inicialmente se realiza el balance de masa de los gases y el cálculo de capacidad calorífica (Cp) de los gases (Smith, Van Ness, y Abbott, 2007). Conociendo la capacidad calorífica media (Cp_m) y la masa de gases de chimenea se puede conocer la energía perdida en forma de calor, que se calcula con la *ecuación 2.9*:

$$Q_{ch} = m_{gases} * Cp_{gases} * \Delta T \quad \text{Ec. 2.9}$$

Dónde:

- a) m_{gases} : Masa de gases de chimenea
- b) Cp_{gases} : Capacidad calorífica de los gases (kJ/kg*K)
- c) ΔT : Cambio de temperatura entre el ambiente y la de salida de los gases (K).

La masa de los gases es determinada a través de balances de masa estequiométrico partiendo de los análisis de los gases. Para el cálculo del Cp/R de cada compuesto sustituyen sus respectivos valores de y_i , junto con sus constantes; luego se

multiplican por la constante universal de los gases tal como se expresa en la *ecuación 2.10*.

$$\frac{C_p}{R} = A + BT + CT^2 + DT^{-2} \quad \text{Ec. 2.10}$$

Donde A, B, C y D son constantes características de las sustancias en particular, R la constante universal de los gases; para este caso $R = 8.31445 \text{kJ/kmol}\cdot\text{K}$; y_i es la composición mol de los gases.

El cálculo de la capacidad calorífica de la mezcla de gases se realiza para una temperatura promedio de salida de los mismos y utilizando la ecuación 2.11:

$$C_{p^\circ m} = \sum_{i=1}^n y_i C_{p^\circ i} \quad \text{Ec. 2.11}$$

f) Energía perdida por radiación, convección.

Se realiza una vez conociendo todos los valores anteriores por diferencia de la energía no aprovechada por el sistema:

$$Q_{Rad, Conv} = Q_{entrada} - Q_{Vap} - Q_{Purga} - Q_{Ch} \quad \text{Ec. 2.12}$$

Una vez obtenidos todos los flujos de salida de calor se procede al cálculo de la eficiencia de la caldera que no es más que la relación entre el calor consumido para la generación de vapor y el calor que genera la caldera.

C. Cálculo de la eficiencia en la caldera.

Una vez recopilada la información y los datos requeridos en los pasos anteriores de la metodología, y haber realizado los balances de materia y energía, para poder contabilizar el consumo de combustible, vapor y de electricidad, por lo menos de doce meses antes del inicio de la investigación, y así poder obtener todos los flujos de entrada y salida de la caldera, se procede a calcular la eficiencia de la caldera, la cual es la relación entre el calor utilizado en la generación de vapor y el calor total de entrada a la caldera, que es el porcentaje que aparecerá en la tercera y sexta columna de la tercera fila de la tabla 2.8.

Al mismo tiempo se procede a presentar de forma resumida la información obtenida en la tabla 2.8, en donde se presentan los resultados del balance térmico para el sistema de generación de vapor.

Tabla 2.8. Valores de flujos de entrada y salida obtenidos en el balance de energía.

Entrada			Salida		
Flujo	kJ/h	%	Flujo	kJ/h	%
Agua de alimentación			Vapor a la salida		
Combustible			Radiación, Convección y otros		
			Purga		
			Gases de Chimenea		
Total			Total		

Fuente: Adaptado de BID, 2011.

II. SISTEMA 2

A. ENERGÍA CONSUMIDA POR EQUIPO

En esta etapa se procederá al cálculo por la ecuación 2.13 de la energía consumida por cada equipo para esto se necesitará el flujo másico de vapor que consume cada equipo el cual se presentará en el siguiente capítulo como parte de la información que será recolectada.

$$Q_{equipos} = m_{equipos} * (H_i - H_{caldera}) \quad Ec. 2.13$$

Donde H_i : será la entalpia de cada equipo en condiciones de operación.

En la tabla 2.9 se presenta el calor consumido por equipo consumidor de vapor, los cuales comprenden el Sistema 2.

Tabla 2.9. Calor consumido por equipo que consume vapor.

Equipos consumidores de vapor	CONDICIONES				Resultado
	Presion (PSI)	Temperatura (°C)	Flujo masico (Kg/h)	Entalpia (KJ/Kg)	Calor (KJ/h)
Autoclave Medical					
Autoclave Consolited					
Destilador N°1					
Destilador N°2					
Autoclave N°1					
Autoclave N°2					
Suspenciones					
Marmita Groem					

Fuente: Adaptado de BID, 2011.

2.2.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA LA SELECCIÓN DE PROPUESTA DE EE.

A continuación, se presenta la metodología para para el análisis de resultados obtenidos del balance de materia y energía aplicado a la caldera en estudio y también el análisis de los datos recolectados para el sistema eléctrico. Posteriormente en base al desarrollo del análisis se procede a la selección de propuestas de mejora de EE enfocadas en PML.

I. Análisis de resultados en el área térmica:

En esta sección se evaluarán los resultados del balance de materia y energía enfocando el análisis a identificar oportunidades para aprovechar el calor perdido en las diferentes salidas de la caldera y aprovechar el flujo de gases de chimenea para poder reducir la emisión de gases de efecto invernadero. También es importante evaluar el plan de mantenimiento de la caldera actual para identificar puntos en los que se pueda mejorar dicho mantenimiento, dándole un enfoque de EE.

II. Análisis de resultados en el sistema eléctrico:

Para el análisis en el sistema eléctrico es importante evaluar los datos recolectados para determinar si es posible, según las condiciones del laboratorio la instalación de un sistema fotovoltaico.

2.2.3. SELECCIÓN DE PROPUESTAS DE EE.

Después de la evaluación técnica, económica y la evaluación de emisiones de CO₂, se procede al desarrollo de la elaboración de la cartera de proyectos de la metodología seleccionada para la realización de la AE, en donde para cada una de las medidas propuestas se presente la siguiente información:

- a. Descripción de la medida propuesta.
- b. Resumen que contiene:
 - I. Ahorro de Energía (kWh/año).
 - II. Emisiones evitadas de gases de efecto invernadero (tCO₂/año).
 - III. Ahorro económico (USD/año).
 - IV. Inversiones necesarias (USD).
 - V. Periodo de Recuperación de la Inversión (años).
- c. Descripción de la situación actual: Breve descripción de la situación actual que dé pie a la medida propuesta.
- d. Descripción de las acciones concretas a realizar para la implementación de la medida. Describir brevemente las acciones para implantar la medida.
- e. Cálculo de los ahorros. Describir los ahorros que se pretenden obtener al implantar esta medida.
- f. Desglose de las inversiones (cotización). El desglosar las inversiones necesarias para implementar la medida de ahorro de energía.
- g. Evaluación económica. Dicha evaluación deberá contener al menos el cálculo del período de retorno de la inversión.

2.3. FASE III: EVALUACIÓN Y DESARROLLO DE LAS PROPUESTAS.

Para el desarrollo de esta fase se realiza el análisis económico, técnico y de reducción de emisiones de CO₂ para las oportunidades de mejora encontradas en la aplicación y desarrollo de la metodología, para poder evaluar posteriormente la viabilidad del proyecto.

A continuación, se presenta una breve descripción de cada tipo de evaluación.

I. Evaluación de la Viabilidad Técnica.

La evaluación técnica se hace en base a las mediciones tomadas en los pasos anteriores, se realizan cálculos con el fin de obtener información detallada y analizar la factibilidad técnica de las medidas de Eficiencia Energética (EE) enfocadas a Producción Más Limpia (PML), para determinar qué tan convenientes y viables, son estas propuestas desde el punto de vista técnico, partiendo del análisis de entradas y salidas planteado en el BMyE.

II. Evaluación de la Viabilidad Económica.

En esta etapa se procede a la evaluación del impacto económico de las recomendaciones de EE enfocadas a PML planteadas, tanto desde el punto de vista de la inversión, como de los costos y los posibles beneficios. Es necesario entonces, realizar una serie de cálculos de ahorros obtenidos y del período de retorno simple de la inversión necesaria para implementar las alternativas propuestas.

III. Evaluación de emisiones de CO₂.

Se evalúa por medio de un balance de materia y energía las cantidades emitidas de gases de efecto invernadero tales como el CO₂ que se esperarían reducir, pérdidas energéticas como purgas o fugas de agua que también se plantean reducir con las opciones de producción más limpia propuestas.

2.3.1. METODOLOGÍA GENERAL PARA EL ANÁLISIS DE LA PROPUESTA PARA LA INSTALACIÓN DE PANELES SOLARES.

Se utilizó el Software System Advisor Model (SAM 2020.2.29) con el objetivo de crear un panorama más amplio de las características que son necesarias para la evaluación de los proyectos fotovoltaicos. La creación de un archivo en SAM involucra la elección de un modelo de rendimiento y un modelo financiero que simule el proyecto.

El SAM rellena automáticamente las variables de entrada con un conjunto de valores predeterminados en función de sus opciones (Blair, Dobos, Freeman, Neises, y Wagner, 2014). Después de crear el archivo, el usuario puede modificar las entradas para proporcionar información sobre la ubicación del proyecto, el tipo de tecnología en el sistema, el costo de instalación y operación del sistema, así como las suposiciones financieras e incentivos propios del proyecto, ver *figura 2.4*.

A partir del ingreso correspondiente de cada una de las variables, el SAM modela la producción eléctrica del sistema, a su vez, tiene en cuenta las posibles pérdidas derivadas de los diferentes componentes del sistema, cómo se puede apreciar en la *figura 2.5*.

2.3.1.1. UBICACIÓN Y RECURSOS DE LABORATORIOS SALVAMED.

Para el primer dato de entrada se necesita la información geográfica del lugar al que se le desea aplicar el análisis, la cual se obtiene ingresando las coordenadas geográficas del inmueble a evaluar, como se muestra en la tabla 2.10. El SAM dispone de varias herramientas que permiten obtener el recurso de una ubicación en particular.

Tabla 2.10. Datos de ubicación y recursos.

Coordenadas geográficas	
Dirección exacta del inmueble	

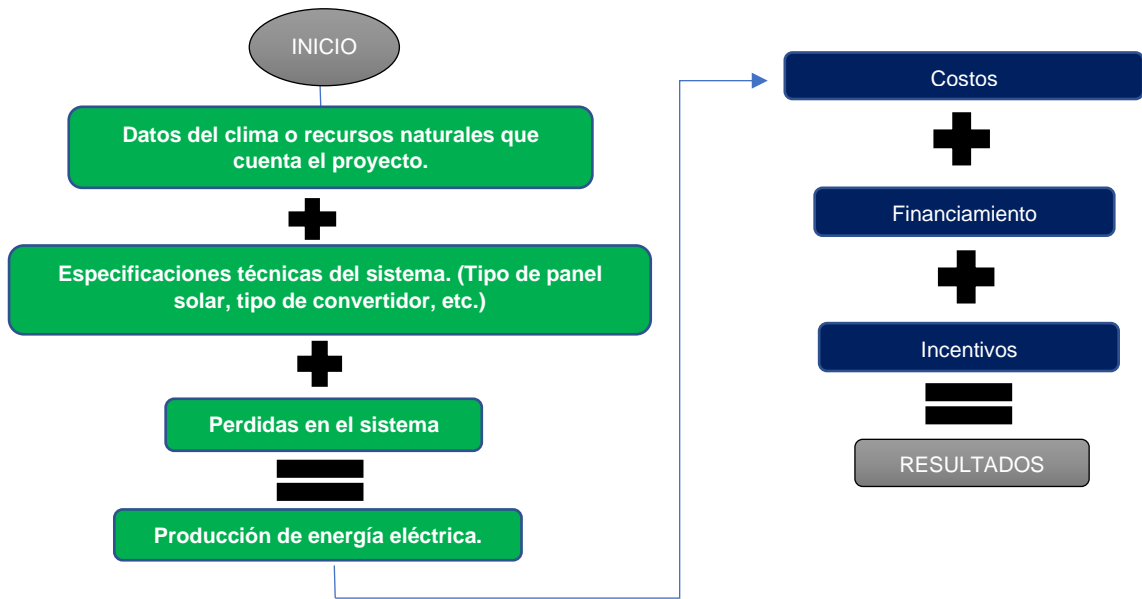


Figura 2.4. Entradas y salidas para uso del software SAM
Fuente: SAM, 2020.



Figura 2.5. Caja negra de entradas y salidas para uso del software SAM.
Fuente: SAM, 2020.

2.3.1.2. IDENTIFICACIÓN DEL MÓDULO E INVERSOR PARA LA INSTALACIÓN.

El software SAM dispone de varias opciones para la elección de las características técnicas del módulo¹ e inversor². Los modelos de desempeño, tanto para el módulo como el inversor, pueden ser elegidos de la base de datos incluida en el software, la cual contiene una gran variedad en modelos de desempeño.

Los modelos fueron diseñados con base en datos tomados en condiciones reales de operación al aire libre (IFC, 2015). Del mismo modo, el usuario también tiene la opción de ingresar manualmente las características técnicas principales del módulo e inversor, según se adapte a las condiciones de funcionamiento y el costo de adquisición de los paneles. A continuación, se presenta las eficiencias para las diferentes tecnologías de paneles solares (tabla 2.11) los cuales se toman como criterio de elección para la selección del panel solar a utilizar, en la propuesta.

Tabla 2.11. Eficiencias para diferentes tecnologías de módulos.

Tecnología	Silicio Cristalino	Heterounión con película delgada intrínseca	Silicio Amorfo	Cadmio Telluride	Di-Seleniuro de Cobre Indio Galio
Categoría	c-Si	HIT	a-Si	CdTe	CIGS or CIS
Eficiencia comercial (aprox)	13%-21%	18%-20%	6%-9%	8%-16%	8%-14%
Coefficiente de temperatura (típicos)	-0.45%/°C	0.29%/°C	-0.21%/°C	-0.25%/°C	-0.35%/°C

Fuente: IFC, 2015.

2.3.1.3. DISEÑO DE LA PROPUESTA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO.

En esta sección del software es necesario especificar las características claves de la instalación solar a simular, como la capacidad del sistema o el número de módulos e inversores que se requiere, como se muestra en la tabla 2.12 que servirá para ingresar los datos a utilizar. El usuario deberá ingresar las características claves

¹ Se le denomina modulo como sinónimo de panel solar.

² Inversor: equipo capaz de transformar la energía eléctrica generada de CC (corriente continua) a AC (corriente alterna).

que se mencionaron anteriormente, de tal manera que el software calcule la configuración óptima para el sistema. La configuración del sistema hace referencia a la disposición de módulos e inversores.

SAM calcula el número de módulos dispuestos en cada una de las filas en paralelo, el número de filas en paralelo, el ángulo de inclinación óptimo para los módulos y parámetros eléctricos como voltaje y corriente generados por el sistema. Posteriormente, se debe especificar si el sistema será fijo o contará con seguidor. Si la instalación simulada es fija, es importante incluir las coordenadas de la ubicación de la planta, dado que en este caso la latitud del sitio es el ángulo de inclinación de los módulos.

Tabla 2.12. Datos de entrada para la simulación realizada en SAM.

Tecnología	Capacidad Instalada	Número de módulos	Número de inversores	Energía Anual (kWh)	Factor de capacidad (%)	Rendimiento energético (kWh/kW)

Fuente: Adaptado de SAM 2020.

2.3.2. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN ECONÓMICA-FINANCIERA DE LAS PROPUESTAS DE EE.

A continuación, se presenta la metodología para el cálculo de la proyección económica, donde se determinan los ahorros e inversión que se obtendrían con la implementación de las recomendaciones de EE ya que “*el cálculo de la rentabilidad económica de las inversiones en un proyecto es vital para realizar o rechazar la inversión*”. Para la evaluación económica es importante recolectar y analizar los datos obtenidos al realizar las evaluados de viabilidades técnicas, económicas y la reducción de emisiones de CO₂ al medio ambiente. Para ello es necesario realizar un flujo de caja, para un periodo de 15 años basado en la vida útil de los equipos recomendados (Baca Urbina, 2007).

Se hizo uso de los datos de inflación anual acumulada promedio que presento El Salvador para el 2020 según datos del Banco Central de Reserva (BCR), así como la tasa incremental de costo de energía eléctrica anual para El Salvador según la

SIGET, y la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR), para la cual se utiliza el criterio para la evaluación de proyectos de energía renovable descrito en el documento del CNE llamado “Plan Maestro para el desarrollo de la energía renovable en El Salvador” definido en la tabla 2.13 la cual muestra los criterios de evaluación de los proyectos de EE los cuales permitirán determinar la rentabilidad financiera de cada proyecto.

Tabla 2.13. Criterios de evaluación de proyectos de EE.

Indicador de rentabilidad	Criterio de evaluación
Valor Actual Neto (VAN) con 10% de la tasa de descuento	Mayor a 0
Tasa interna de Retorno (TIR)	Mayor que 12%

Fuente: Adaptado de CNE, 2012.

También es necesario calcular el valor de la depreciación anual para los equipos, para ello se utilizará el método de la línea recta y un valor de salvamento igual al 10% del costo del equipo (Baca Urbina, 2007):

$$Depreciacion\ anual = \frac{Costo_{Equipo} - Valor\ de\ Salvamento}{Vida\ Util} \quad Ec. 2.14$$

Es necesario también efectuar el cálculo para la depreciación acumulada con la siguiente ecuación:

$$Depeccion\ acumulada_{año\ n} = Depreciacion\ anual + Depreciacion\ acumulada_{n-1} \quad Ec. 2.15$$

El valor en libros se calcula de la siguiente manera:

$$Valor\ en\ libros_{año1} = Costo_{Equipo} - Depreciacion\ Acumulada \quad Ec. 2.16$$

2.3.3. METODOLOGÍA PARA PROYECCIÓN SIN FINANCIAMIENTO BANCARIO.

Una vez calculados los valores de la depreciación anual y acumulada, así como el valor en libros de cada propuesta se procede a realizar el flujo de caja de efectivo para el proyecto sin financiamiento bancario.

Para facilitar el cálculo se hizo uso de las funciones VAN (Valor Actual Neto) y TIR (Tasa Interna de Retorno) de Microsoft Excel, lo cual se entiende para la VAN como la acción de trasladar al presente el flujo de caja anual, esto permite posteriormente conocer el valor de la TIR la cual indica la rentabilidad del proyecto.

El flujo de caja de efectivo da a conocer las variaciones económicas en el periodo de 15 años establecidos para el proyecto.

2.3.4. METODOLOGÍA PARA ANÁLISIS DE RESULTADOS: MATRIZ DE RIESGOS.

Esta metodología se define como el proceso de identificar, analizar y responder a los factores de riesgo a lo largo de la vida de un proyecto y en el mejor interés de sus objetivos. La gestión adecuada de estos implica un mejor control de posibles riesgos futuros y a su vez reducirá no solo la probabilidad de que ocurra algún riesgo, sino también la magnitud del impacto que este pueda generar (Stanleigh, 2011).

El propósito de la gestión de riesgos es (Stanleigh, 2011):

- a) Identificar los posibles riesgos.
- b) Reducir o asignar riesgos.
- c) Proporcionar una base racional para una mejor toma de decisiones con respecto a todos los riesgos.
- d) Plan de acción.

A continuación, se presenta los pasos a seguir para realizar el proceso de análisis de riesgos:

- I. Identificar el riesgo.** Este paso es una lluvia de ideas. Al revisar las listas de posibles fuentes de riesgo, así como las experiencias y el conocimiento del equipo, se identifican todos los riesgos potenciales. Mediante un instrumento de evaluación, los riesgos se categorizan y priorizan. El número de riesgos identificados generalmente excede la capacidad de tiempo del equipo del proyecto para analizar y desarrollar contingencias. El proceso de priorización les ayuda a gestionar aquellos riesgos que tienen tanto un alto impacto como una alta probabilidad de ocurrencia.
- II. Evaluar el riesgo.** La resolución de problemas tradicional a menudo pasa de la identificación de problemas a la solución de problemas. Sin embargo, antes de intentar determinar la mejor forma de gestionar los riesgos, se debe identificar las causas fundamentales de los riesgos identificados.
- III. Desarrollar respuestas al riesgo.** En este punto se está listo para comenzar el proceso de evaluación de posibles soluciones para gestionar el riesgo o, posiblemente, evitar que se produzca.
- IV. Desarrollar un plan de contingencia o medidas preventivas para el riesgo.** En este punto se convertirá en tareas aquellas ideas que fueron identificadas para reducir o eliminar la probabilidad de riesgo.

Se presentan las tablas resúmenes utilizadas para priorizar e identificar en el plan de mantenimiento vigente (ver tabla 2.14), así como en el plan de mantenimiento propuesto, los riesgos y evaluar las diferentes acciones a tomar con respecto a cada plan (ver tabla 2.15 y figura 2.6).

Tabla 2.14. Identificación de probabilidad e impacto plan de mantenimiento

Probabilidad
Probabilidad de que ocurra un riesgo
Impacto
Impacto que genera a la empresa o terceros.

Fuente: Adaptado de GAIA Finanzas y Marketing, 2020.

Tabla 2.15. Identificación de riesgos plan de mantenimiento

IDENTIFICACIÓN DEL RIESGO						ANÁLISIS	
N.º	Proceso, Actividad o Tarea	Descripción	Evento Adverso	Causas	Consecuencias	Probabilidad	Impacto
1							
2							

Fuente: Adaptado de GAIA Finanzas y Marketing, 2020.

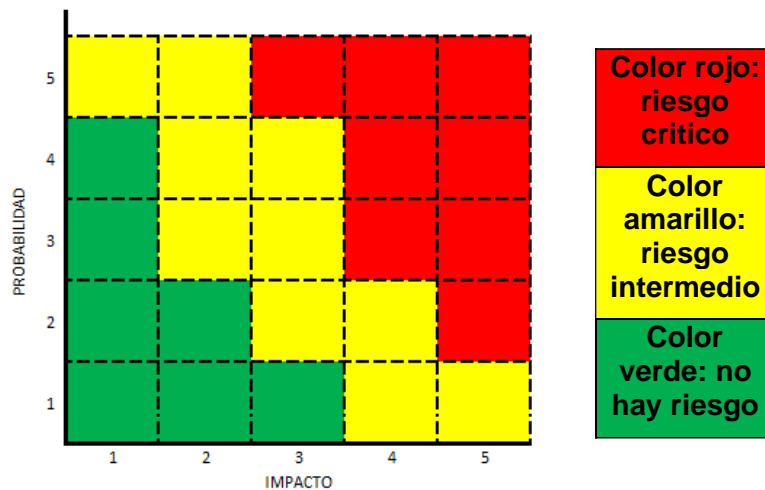


Figura 2.6. Matriz de análisis de riesgo.

Fuente: Adaptado de GAIA Finanzas y Marketing, 2020.

CAPÍTULO III

*ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA
ENFOCADO EN PRODUCCIÓN MÁS
LIMPIA APLICADO A LABORATORIOS
SALVAMED*

3.1. FASE II EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS.

Para el presente capítulo se describen las áreas en estudio a las cuales se les aplicó la auditoria de eficiencia energética, recolectadas en los pasos descritos en el capítulo anterior. Así también dentro de la información recolectada y requerida según la metodología, se presenta el estado de funcionamiento del sistema de generación de vapor, el gasto de combustible para el año de estudio, así como la energía producida y las emisiones de CO₂ producido. De igual forma se muestran los balances de masa y de energía planteados y aplicados en las áreas de estudio para que en base a los resultados proponer posteriormente medidas de EE enfocadas en PML que se ajusten a las necesidades del Laboratorio SalvaMed.

3.1.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA TÉRMICO Y EVALUACIÓN DE LOS COSTOS Y CONSUMO DE DIESEL EN LA CALDERA INSTALADA.

En Laboratorios SalvaMed se cuenta con un sistema de generación de vapor integrado por una caldera de 50 B.H.P.³ la cual produce vapor saturado a una presión de trabajo (CNE, 2014). A continuación, en la tabla 3.1, se presentan las características técnicas de este equipo, así como la especificación de las condiciones de funcionamiento, esta información permite conocer el consumo por hora de combustible, así como la capacidad instalada de la caldera.

Tabla 3.1. Especificaciones del sistema de generación de vapor instalado en Laboratorios SalvaMed.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	ESPECIFICACIÓN
Calderas instaladas	1
Identificación	Cleaver Brooks
Tipo de combustible	Diesel
Presión de alimentación del combustible	85 PSI
Capacidad	50 BHP
Economizador	No cuenta
Pre calentador de agua	No cuenta

Continúa

³ BHP: Se refiere a la capacidad o potencia de Caldera (Boiler Horse Power) por sus siglas en ingles B.H.P.; BTU/Hr; KW o Kcal. Por regla podemos estimar el consumo de calor que requiere una caldera, multiplicando 33,472 BTU/Hr por cada B.H.P.

Tabla 3.1. Especificaciones del sistema de generación de vapor instalado en Laboratorios SalvaMed. (Continuación)

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	ESPECIFICACIÓN
Consumo de combustible/h	15 gal/h
Fecha de última prueba de eficiencia	09-03-2020
Marca	Cleaver Brooks
Fecha de fabricación	1997
Tipo	Pirotubular 4 pasos
Modelo	CBH100-50
Serie	L-63630
Potencia	50 HP
Presión máxima de trabajo	150 psi
Presión de trabajo	110 psi

Fuente: Adaptado de Laboratorios SalvaMed, 2019-2020.

La caldera Cleaver Brooks trabaja utilizando combustible Diesel, con una densidad de 863.4 kg/m³ y con un consumo promedio del mismo igual a 76.28 gal/día, según información recolectada de los registros del departamento técnico de la empresa en estudio.

En la figura 3.1 se presenta el costo mensual del combustible consumido en el año 2019, también en la *tabla 3.2*, se presenta el costo por volumen de diésel consumido por la caldera instalada en el año 2019, lo cual permite tener una idea de la tendencia y el comportamiento del costo mensual que se tuvo ese en ese año, añadiendo que el precio del combustible fósil varía según los precios fijados mes a mes por la Dirección Nacional de Hidrocarburos y Minas del Ministerio de Economía, cual es importante a tener en cuenta también para el análisis de resultados y la selección de propuestas de EE.

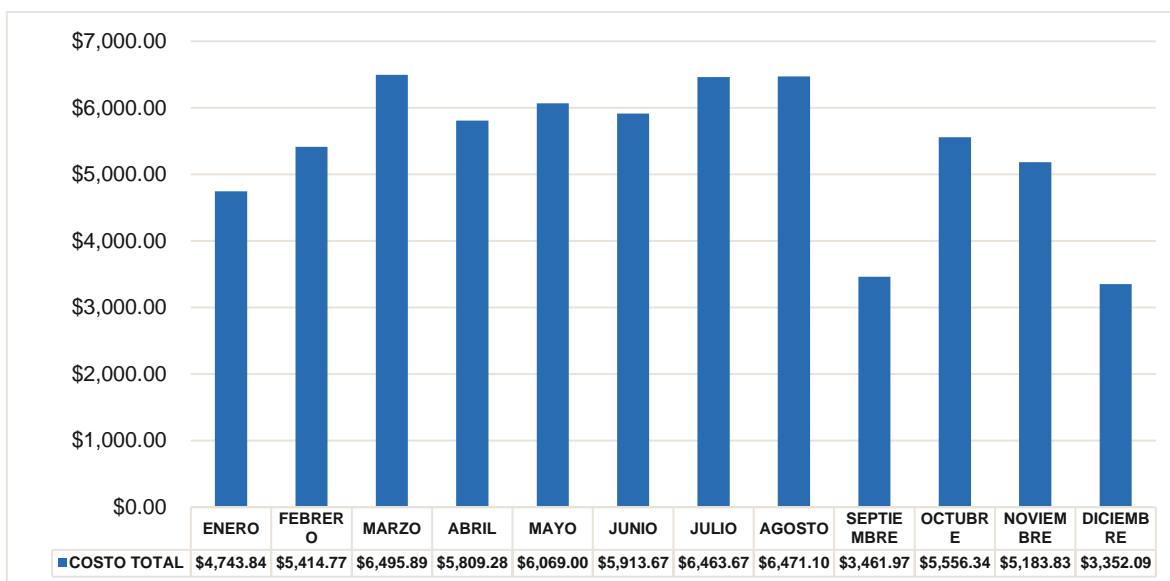


Figura 3.1. Costo del combustible Diesel en laboratorios SalvaMed 2019.
Fuente: Laboratorios SalvaMed, 2019-2020.

Tabla 3.2. Costo por Consumo de diésel para caldera Cleaver Brooks (Año 2019).

MES	(gal) /mes	COSTO TOTAL	(m ³) /mes	(kg diesel) / mes	(Kg diesel) /día
ENERO	1880.00	\$ 4,743.84	7.12	6144.45	198.21
FEBRERO	2180.00	\$ 5,414.77	8.25	7124.94	254.46
MARZO	2525.00	\$ 6,495.89	9.56	8252.52	266.21
ABRIL	2241.00	\$ 5,809.28	8.48	7324.31	244.14
MAYO	2293.00	\$ 6,069.00	8.68	7494.26	241.75
JUNIO	2290.00	\$ 5,913.67	8.67	7484.46	249.48
JULIO	2531.00	\$ 6,463.67	9.58	8272.13	266.84
AGOSTO	2573.00	\$ 6,471.10	9.74	8409.40	271.27
SEPTIEMBRE	1389.00	\$ 3,461.97	5.26	4539.70	151.32
OCTUBRE	2180.00	\$ 5,556.34	8.25	7124.94	229.84
NOVIEMBRE	2029.00	\$ 5,183.83	7.68	6631.43	221.05
DICIEMBRE	1290.00	\$ 3,352.09	4.88	4216.14	136.00
TOTAL	25401	\$ 64,935.45	96.15	83018.67	

Fuente: Adaptado de Laboratorios SalvaMed, 2019-2020.

Laboratorios SalvaMed presentó un costo promedio para el consumo de combustible de \$ 2.56 / gal, consumiendo un aproximado de 25,401 gal/ año de diésel que al año se traduce a un costo total de **\$ 64,935.45**.

3.1.2. COSTOS DE REFERENCIA DEL DIESEL EN EL SALVADOR RESPECTO AL AÑO 2019.

A continuación, se presentan los precios de referencia del Diesel, para conocer la variación de estos durante el año 2019. Y también para poder hacer una comparativa entre la variación en los precios del Diesel y los costos del consumo de combustible de laboratorios SalvaMed.

Tabla 3.3. Precios de referencia del Diesel en El Salvador respecto al año 2019.

MES	ZONA CENTRAL - COSTO DE COMBUSTIBLE (\$/GAL)
Enero	\$ 2.775
Febrero	\$ 2.875
Marzo	\$ 3.010
Abril	\$ 3.050
Mayo a Diciembre	\$ 3.080

Fuente: DHM, 2019

Como se puede observar en la *tabla 3.3* el precio del Diesel se mantienen constante en el periodo de mayo a diciembre del 2019, esto es importante tomarlo en cuenta, ya que los costos en consumo de combustible que reporta la empresa son directamente afectados mes a mes por la variación en el precio de referencia de los combustibles, y es necesario tomarlo en cuenta a la hora seleccionar las propuestas de mejora que permitan optimizar el consumo de combustible y que por consecuencia generen un ahorro económico para la empresa.

3.1.3. EVALUACIÓN AL PROGRAMA DE PRODUCCION EN LABORATORIOS SALVAMED EN 2019.

En este apartado, se presentan el total de lotes de medicamento producidos en laboratorios SalvaMed, para ello se muestra según la clasificación del tipo de medicamento que se fabrica, cabe mencionar que esta información está ligada directa-

mente al consumo de vapor producido por la caldera, y por ende también al consumo de combustible, los diferentes tipos de medicamento según sus características físicas son:

- a) Productos sólidos.
- b) Productos líquidos.
- c) Productos inyectables.
- d) Productos semisólidos.

En la tabla 3.4 se puede observar la tendencia de la fabricación del año 2019, esto permite observar si existe una relación entre los lotes producidos y el consumo de Diesel en la caldera de 50 B.H.P instalada en el laboratorio.

Tabla 3.4. Total de lotes producidos en el periodo de enero a diciembre de 2019.

MES	LOTES PRODUCIDOS
Enero	96
Febrero	138
Marzo	191
Abril	124
Mayo	148
Junio	114
Julio	151
Agosto	83
Septiembre	108
Octubre	98
Noviembre	89
Diciembre	59

Fuente: Laboratorios SalvaMed, 2019-2020.

Por consiguiente, al evaluar los aspectos económicos (costos de combustible diésel) y el volumen de producción (lotes fabricados) en laboratorios SalvaMed, es necesario evaluar el sistema de generación de vapor para verificar posibles medidas

que puedan ayudar a mejorar la eficiencia del sistema, para ellos es importante conocer los flujos energéticos de entrada y salida en relación al sistema de generación de vapor instalado.

3.1.4. REQUERIMIENTOS DE VAPOR PARA LAS DIFERENTES ÁREAS DE PRODUCCIÓN.

Como se mencionó anteriormente, la empresa farmacéutica cuenta con una caldera de capacidad de 50 BHP, la cual suministra vapor a las diferentes áreas de producción las cuales son:

- a) Área de fabricación de sólidos. (polvos y tabletas).
- b) Área de fabricación de líquidos. (suspensiones, jarabes y elixir).
- c) Área de fabricación de semisólidos (cremas, ungüentos y productos cosméticos).
- d) Área de fabricación de inyectables.

De acuerdo a la forma de operar en la empresa, las áreas de trabajo que demandan mayor consumo de vapor se describen en la *tabla 3.5*.

Tabla 3.5. Equipos consumidores de vapor por áreas de fabricación.

AREA	EQUIPO
Departamento de Suero Oral	Autoclaves SUO-004 y SUO-005
Departamento de Inyectables	Autoclaves Medical Industrial y Autoclave Consolidated
Departamento de Líquidos	Serpentín
Departamento de Semisólidos	Mezcladora Trevi, Marmita Groen y Mezcladora Veterinaria
Destiladores	Destiladores No.1 y 2
Sistema de Generación de API	Tanque LOOP API

Fuente: Adaptado de Laboratorios SalvaMed, 2019-2020.

Las mediciones del consumo de vapor se realizaron, por medio de la presión de trabajo de los diferentes equipos, la cantidad y tipo de productos o materiales correspondientes al proceso en que se utiliza vapor. En la *tabla 3.6* se presentan los equipos instalados en el área de producción y su consumo de vapor respectivo en libras por hora.

Tabla 3.6. Consolidado de equipos consumidores de vapor.

	Lb de vapor/ h
Área de Inyectables	
Autoclave medical	11.69
Autoclave Cosolidated inyectables	111.43
Área de generación de Agua para inyectables	
Destilador 1	51.24
Destilador 2	42.99
Tanque de almacenamiento API	11.75
Área de Líquidos No Estériles	
Auto Clave No.1	978.09
Auto Clave No. 2	978.09
Preparación de jarabes	135.00
Lavado de Equipos Líquidos	
Preparación de Suspensiones	
Área de semisólidos	
Marmita Groem	60.18
Preparación de cremas	58.47
Tanque Recolector de Agua para Inyectables	11.75
Total: 2450.68	

Fuente: Adaptado de Laboratorios SalvaMed, 2019-2020.

3.1.5. CÁLCULO DE EMISIONES DE CO₂ POR CONSUMO DE DIÉSEL

El cálculo para la contaminación por emisiones de CO₂ producto de la utilización de diésel como combustible para el sistema de generación de vapor⁴ se presenta a continuación:

Consumo de Combustible promedio por día: 76.28 gal/ día= 0.28875 m³ / día

Para obtener el consumo en kg se utiliza la ecuación 2.1:

$$0.28875 \frac{m^3}{dia} \times 863.4 \frac{kg}{m^3} = 249.30675 \frac{kg}{dia}$$

Posteriormente con el poder calorífico neto para el diésel (P.C. Neto) que es de 0.04318 GJ/kg, y el Factor de Emisión de CO₂ para el diésel que es de 0.07285 TON CO₂/GJ se obtiene el valor de CO₂ producido por la utilización de combustible diésel para la generación de vapor con la Ecuación 2.2:

$$TON CO_2 \text{ Producido} = 0.86151 TON CO_2 / dia$$

Lo que es equivalente a emisiones anuales de **286.88 TON de CO₂** (considerando 333 días de operación al anuales de la caldera) por consumo de combustible diésel. El consolidado de los resultados para los meses restantes se presentan *en la tabla 3.7*, así como el total de CO₂ producido al año.

Tabla 3.7. Toneladas de CO₂ emitido por mes correspondiente al año 2019.

MES	TON CO ₂ / mes
Enero	21.233
Febrero	24.621
Marzo	28.517
Abril	25.310
Mayo	25.897
Junio	25.863
Julio	28.585
Agosto	29.060

Continúa

⁴ Los valores de los datos técnicos PC, densidad y FECO₂ del Diesel se tomaron de la *tabla 3.3*.

Tabla 3.7. Toneladas de CO₂ emitido por mes correspondiente al año 2019.
(Continuación)

MES	TON CO ₂ / mes
Septiembre	15.687
Octubre	24.621
Noviembre	22.916
Diciembre	14.569
Total	286.880

Fuente: Laboratorios SalvaMed, 2019-2020.

3.1.6. SISTEMA ELÉCTRICO.

El consumo de energía eléctrica facturado por la empresa se presenta en la tabla 3.8, el cual puede apreciarse que el horario con mayor consumo es el denominado como resto, con un consumo promedio de 111,790.00 KW/h para el periodo comprendido de enero 2019 a diciembre 2019.

Tabla 3.8. Consumo de energía eléctrica por horario según: valle, resto y punta en el periodo de enero 2019 a diciembre 2019.

MES	CONSUMO kWh			
	VALLE (11:PM-5:AM)	RESTO (5:AM- 6:PM)	PUNTA (6:PM-11:PM)	CONSUMO TOTAL (kW/h)
ENERO	13560	52440	12900	78900
FEBRERO	37860	115440	33960	187260
MARZO	37260	114600	34920	186780
ABRIL	35400	109980	32820	178200
MAYO	37860	112440	34800	185100
JUNIO	44220	128760	40200	213180
JULIO	40380	125700	37560	203640
AGOSTO	29700	93600	26880	150180
SEPTIEMBRE	43560	129780	39540	212880
OCTUBRE	38700	115980	34500	189180
NOVIEMBRE	39480	121560	35700	196740
DICIEMBRE	38640	121200	36240	196080
PROMEDIO	36,385	111,790	33,335	181,510

Fuente: Adaptado de Laboratorios SalvaMed, 2019-2020.

En la figura 3.2 se presenta la diferencia del consumo en kW/h del horario resto con respecto a los otros dos horarios; punta y valle, esto se debe en gran medida al horario de operación.

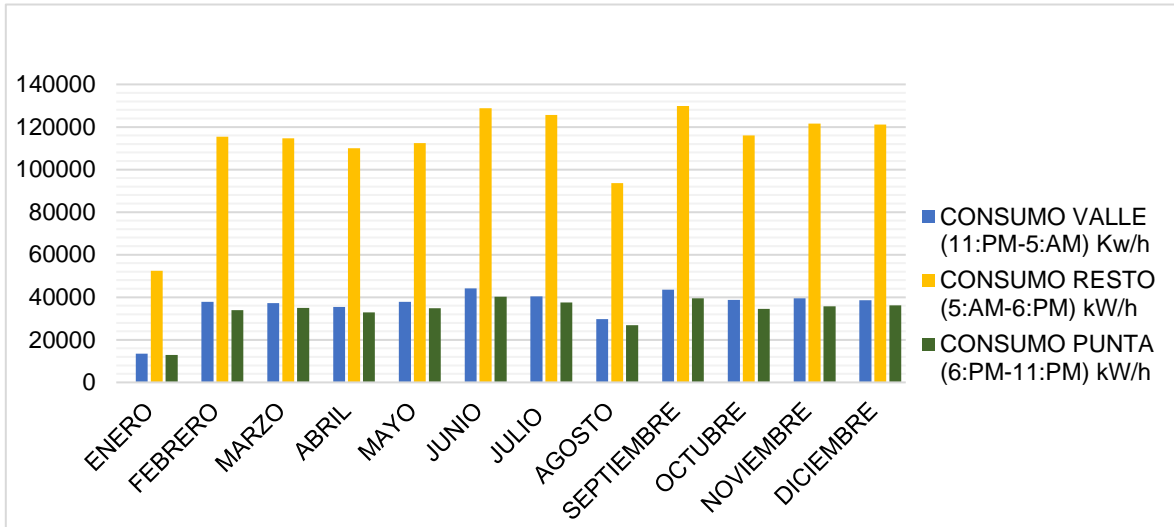


Figura 3.2. Consumo en kW/h de los horarios.

Fuente: Adaptado de Laboratorios SalvaMed, 2019.

El costo de este servicio básico de operación se presenta en la tabla 3.9 con un consumo promedio mensual de 181,510.00 kW/h y un costo promedio mensual de (US) \$33812.21 correspondiente para el año 2019.

Tabla 3.9. Costo de energía eléctrica periodo entre enero 2019 a diciembre 2019.

MES	CONSUMO TOTAL (kW/h)	COSTO TOTAL (\$)
ENERO	78900	\$ 17,247.21
FEBRERO	187260	\$ 36,127.96
MARZO	186780	\$ 36,269.67
ABRIL	178200	\$ 34,672.86
MAYO	185100	\$ 34,133.50
JUNIO	213180	\$ 38,786.54
JULIO	203640	\$ 37,207.04
AGOSTO	150180	\$ 28,492.34
SEPTIEMBRE	212880	\$ 38,841.94

Continúa

Tabla 3.9. Costo de energía eléctrica periodo entre enero 2019 a diciembre 2019.
(Continuación)

MES	CONSUMO TOTAL (kW/h)	COSTO TOTAL (\$)
OCTUBRE	189180	\$ 34,825.85
NOVIEMBRE	196740	\$ 34,661.39
DICIEMBRE	196080	\$ 34,480.21
TOTAL	2178120	\$ 405,746.51
PROMEDIO	181510	\$ 33,812.21

Fuente: Adaptado de Laboratorios SalvaMed, 2019-2020.

3.1.7. COSTOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA FACTURADOS DE ENERO A DICIEMBRE 2019.

En la *tabla 3.10* se presenta a detalle el costo total agrupado por horas de valle, resto y punta con el objetivo de apreciar de mejor manera en que mes y horario se incrementa el consumo de energía eléctrica.

Tabla 3.10. Costos mensuales según horario de: valle, resto y punta.

MES	COSTO MENSUAL - HORA VALLE	COSTO MENSUAL - HORA RESTO	COSTO MENSUAL - HORA PUNTA
ENERO	\$2,145.48	\$8,018.19	\$2,098.35
FEBRERO	\$6,033.82	\$17,546.76	\$5,429.22
MARZO	\$5,938.20	\$17,419.09	\$5,582.70
ABRIL	\$5,623.99	\$16,637.94	\$5,230.55
MAYO	\$5,758.01	\$15,921.05	\$5,311.07
JUNIO	\$6,725.29	\$18,231.90	\$6,135.20
JULIO	\$6,147.63	\$17,813.22	\$5,741.93
AGOSTO	\$4,563.73	\$13,362.06	\$4,171.29
SEPTIEMBRE	\$6,693.47	\$18,527.00	\$6,135.90
OCTUBRE	\$5,928.03	\$16,501.15	\$5,338.26
NOVIEMBRE	\$5,781.10	\$16,476.12	\$5,299.20
DICIEMBRE	\$5,658.09	\$16,427.33	\$5,379.36
PROMEDIO	\$5,583.07	\$16,073.48	\$5,154.42

Fuente: Adaptado de Laboratorios SalvaMed, 2019.

La evaluación de los costos por horarios de operación indica que el mayor gasto para laboratorios SalvaMed se da en la franja del resto, la cual comprende desde las cinco de la mañana hasta las seis de la tarde, con un costo promedio anual de US \$16,073.48. Dicha cantidad se debe al plan de producción ya establecido por laboratorios SalvaMed.

3.1.8. LUMINARIAS INSTALADAS EN LAS ÁREAS ADMINISTRATIVAS.

Para efecto del estudio de eficiencia energética se realizó un consolidado de las luminarias instaladas en las áreas administrativas del laboratorio, donde se presenta la potencia instalada y el consumo energético.

La potencia instalada y horas de operación de las luminarias instaladas en Laboratorios SalvaMed se muestran en las tablas 3.11 y 3.12 en donde se puede observar que tipo y cantidad de luminaria se usa más dentro de las instalaciones del laboratorio.

Tabla 3.11. Potencia instalada y horas de operación de las luminarias en laboratorios SalvaMed.

Tipo de iluminación	Potencia	Cantidad	Horas de uso
Foco	1*32W	5	40
	1*18W	28	224
Luminaria empotrada	2*18W	6	48
	3*18W	21	168
	4*18W	86	688
	2*32W	20	160
	4*32W	28	224

Fuente: Adaptado de Laboratorios SalvaMed, 2019-2020.

Tabla 3.12. Cantidad de Luminarias instaladas en Laboratorios SalvaMed.

TIPO DE CONFIGURACION ELECTRICA	CANTIDAD
Foco de 32 Watts	5
Foco de 18 Watts	28
Luminaria empotrada de 32 Watts	164
Luminaria empotrada de 18 Watts	385

Fuente: Adaptado de Laboratorios SalvaMed, 2019-2020.

3.1.9. DATOS PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO.

En esta sección se describe el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para ser instalado en Laboratorio SalvaMed. Antes de comenzar a describir cual serán las especificaciones técnicas de este sistema es importante detallar la capacidad instalada con la que cuenta el laboratorio.

A continuación, se detallan los datos de entrada utilizados en el software de simulación descritos en el capítulo anterior, los cuales se adaptan y presentan una eficiencia optima según el diseño que se desea obtener. Dichas especificaciones se detallan en la tabla 3.13.

Tabla 3.13. Variables y datos del diseño para un sistema fotovoltaico.

VARIABLES DE ENTRADA	DATOS Y CONSIDERACIONES TÉCNICAS
Ubicación del laboratorio.	Pasaje El Buen Pastor, San Salvador, Calle modelo #512 frente al Zoológico nacional, San Salvador, El Salvador.
Área del techo del inmueble.	667.47 m ²

Continúa

Tabla 3.13. Variables y datos del diseño para un sistema fotovoltaico.
(Continuación)

Variables de entrada	Datos y consideraciones técnicas
Radiación horizontal global (kW/m ² /día).	5.98
Radiación directa (kW/m ² /día)	5.90
Temperatura media (°C)	24.0
Velocidad promedio del aire (m/s)	2.9
Perdidas consideradas.	sombras en techos

Fuente: SAM, 2020.

El objetivo principal del diseño de la planta es conocer si se puede minimizar el costo de la energía eléctrica en el área administrativa de la empresa. Para este fin se deberá tener en cuenta las condiciones específicas del sitio y a su vez tratar de reducir al máximo posibles las pérdidas, como sombreado entre módulos y pérdidas eléctricas, así como, la configuración del módulo, lo cual incluye el ángulo de inclinación de forma que se logre una orientación de producción máxima de energía.

Teniendo en cuenta las características del sistema a instalar, se procede a determinar el consumo total de kilo watts de las iluminarias instaladas, donde se obtiene un total de 103.3 KW, el cual se presenta en la tabla 3.14, tomando como base 8 horas de operación al día.

Tabla 3.14. Consumo total en kilo watts de las iluminarias instaladas

Tipo de iluminarias instalada	Consumo total en Wh
Consumo de tubos	97,424.00
Consumo de focos	5,888.00
TOTAL	103,312.00

Siguiendo con la metodología es necesario conocer cuáles son las características importantes para el diseño de la planta fotovoltaica, por como ejemplo: Conocer las especificaciones técnicas del panel solar, el convertidor de potencia y la potencia eléctrica en corriente alterna (AC) y corriente directa (DC) que se obtendría para el funcionamiento de los paneles solares con la demanda de energía anteriormente determinada, dichas especificaciones se presentan en la tabla 3.15 y 3.16.

Tabla 3.15. Datos de los módulos fotovoltaicos a evaluar.

Nombre del modulo	Fabricante	Observaciones
Canadian Solar Inc. CS3K - 320P	Canadian Solar Inc.	Tipo de tecnología: Multi-c-Si
Invertor Chint power systems Americas de 600v	CPS AMERICA	Eficiencia del convertidor: 98.615%

Fuente: SAM, 2020.

Tabla 3.16. Datos obetenidos de la simulación al utilizar el módulo Canadian Solar Inc. CS3K - 320P

Variables	Valores del modulo seleccionado
Eficiencia nominal	20.0163%
Area del modulo	1.58 m ² / panel
Maxima energia	320.26 Wdc
Voltage de potencia máximo	33.5 Vdc
Corriente de potencia máxima	9.6 Adc

Fuente: SAM, 2020.

3.1.10. ELABORACIÓN DE BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA.

A continuación, se presenta el balance de materia aplicado a la caldera descrita anteriormente, con la finalidad de conocer, identificar y proponer diferentes oportunidades de mejora que se puedan implementar para el sistema de generación de vapor. En esta etapa de la investigación se procede a realizar los balances de materia planteados en el capítulo dos, en función de los sólidos disueltos (TSD⁵) los cuales se presentan en la *tabla 3.17*.

Tabla 3.17. Análisis de TSD temperaturas de las diferentes corrientes.

Entradas y salidas en caldera	TSD ppm	Temperaturas °C
Agua fresca suavizada de alimentación	379.5	30
Agua de alimentación a la caldera	165	71
Retorno de condensado	42	80
Purga de caldera	2505	-
% de retorno	25%	-

Fuente: Adaptado de Laboratorios SalvaMed, 2019-2020.

A continuación, se detalla en un diagrama de flujo la representación del sistema de generación y distribución de vapor con la que cuenta Laboratorios SalvaMed, sobre el cual se realiza el balance de materia y energía. En la *figura 3.3*, se detallan las corrientes del sistema (alimentación, purga, vapor, condensado y agua suavizada).

⁵ TDS: Es el Índice TDS o Sólidos totales disueltos (siglas en ingles de Total Dissolved Solids) el cual es una medida de la concentración total de iones en solución.

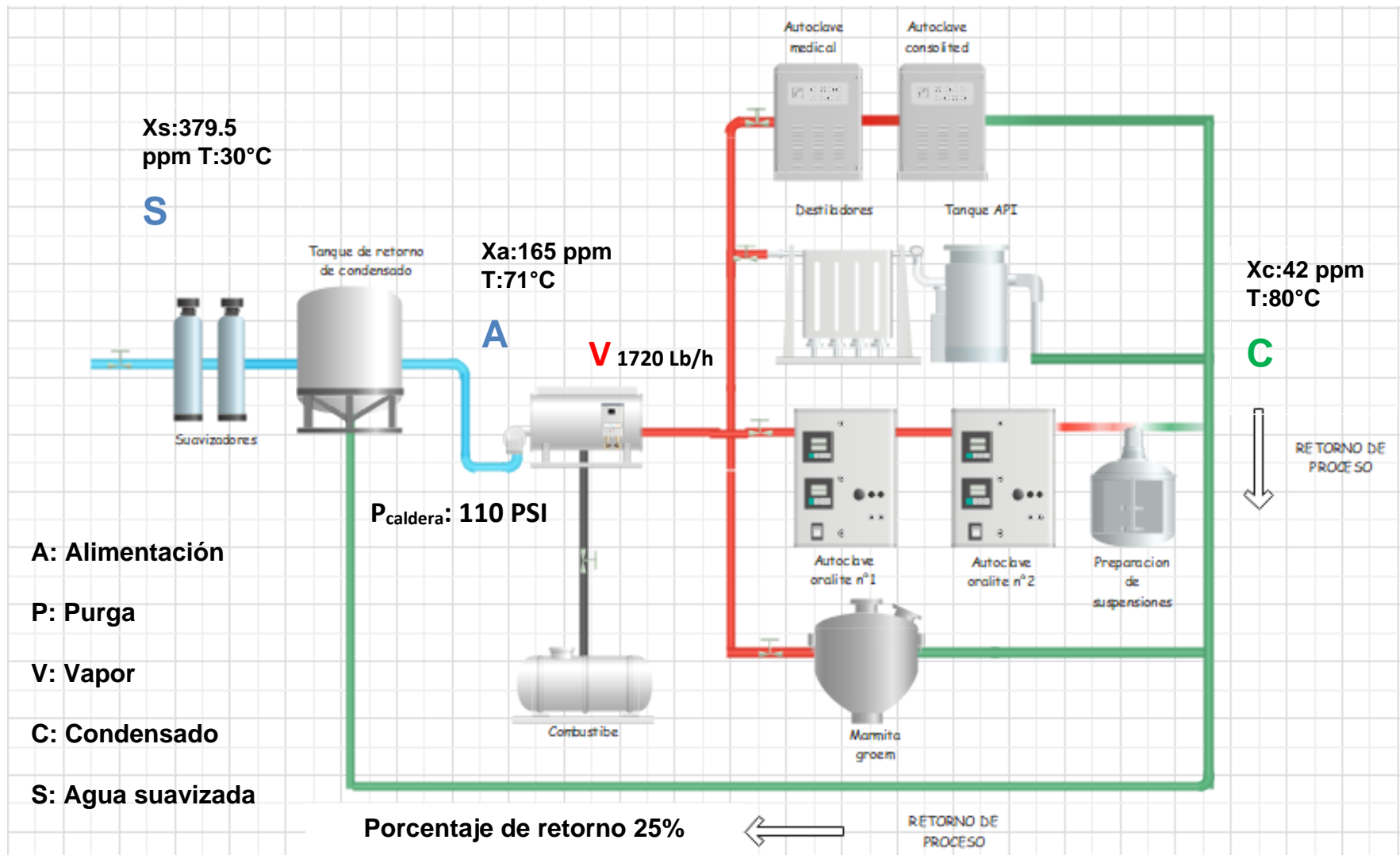


Figura 3.3. Diagrama de generación de vapor.

3.1.10.1. BALANCE DE MASA.

Para realizar el balance de masa al sistema térmico, se tomaron dos sistemas, el primero será la entrada - salida de la caldera y el segundo las corrientes de entrada a la caldera de 50 BHP.

I. Cálculo de tasa mínima de purga actual.

Sustituyendo los valores correspondientes de la tabla 3.17 y tomando en cuenta que la purga no es continua, se calcula un valor promedio de lo purgado en un día, según la ecuación 2.3 se tiene:

$$purga = \frac{165 \text{ ppm}}{2505 \text{ ppm} - 165 \text{ ppm}} \times 100\%$$

$$purga = 7.05\% \text{ de purga respecto al agua alimentada.}$$

Tomando como referencia la figura 3.3 para plantear las ecuaciones de balance de materia, tenemos:

Como primer sistema tenemos:

Entradas y salidas de la caldera.

Balance Global:

$$A = P + 1720$$

Balance por Sólidos:

$$A(165 \times 10^{-6}) = (2505 \times 10^{-6})P$$

Resolviendo para A y P las ecuaciones 1 y 2, tenemos que:

$$A = 1841.298 \text{ Lb de agua de alimentacion}$$

$$P = 121.298 \text{ Lb de agua purgada}$$

Del segundo sistema tenemos:

Corrientes de entrada a la caldera.

Balance Global:

$$C + S = 1841.298$$

Balance por Sólidos:

$$C(42 \times 10^{-6}) + S(379.5 \times 10^{-6}) = (165 \times 10^{-6})1841.298$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones para C y S, se tiene:

$$C = 1170.247 \text{ Lb de condensado}$$

$$S = 671.051 \text{ Lb de Agua suavizada}$$

3.1.10.2. BALANCE DE ENERGÍA AL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR.

Para la elaboración de este balance de energía, se partió de la cantidad promedio de diésel por hora que consume la caldera de Laboratorios SalvaMed para la generación del vapor requerido el cual es de 15 gal/h que es equivalente a 49.024 kg/h de diésel, así como el poder calorífico (0.04318 GJ/kg) y la densidad del diésel (863.4 kg/m³).

Para poder conocer la cantidad de energía producida en forma de calor por el sistema de generación de vapor, es necesario conocer la cantidad total de energía generada y las pérdidas que se dan dentro del sistema ya sea por convección, radiación, fugas, falta de aislamiento, calor perdido en la purga y en los gases de chimenea, para ello se hace un análisis de los flujos de entrada y salida de la caldera, en dos sistemas: el primero se realiza en la caldera la cual es la sección generadora de vapor y el segundo en los equipos que consumen vapor, de los cuales proviene el retorno del condensado.

A. Flujos de entrada en la caldera.

Para iniciar el balance de energía se necesita conocer el valor de cada uno de los flujos de entrada de calor en la caldera los cuales son: El calor absorbido por el agua (Q_a) y el calor proporcionado por el combustible (Q_{comb}), tal como se describe a continuación.

i. Para el calor absorbido por el agua (Q_a):

Para conocer la energía suministrada por el agua de alimentación (Q_a) se utiliza el flujo másico (m_a) calculado en la sección anterior (1841.298 Lb /h que es igual a 835.1987 kg/h) y su entalpia de entrada (H1). También puede efectuarse este cálculo sabiendo que la capacidad calorífica del agua ($C_{p_{agua}}$) es 4.18 kJ/kg°C (Howell y Buckius, 1990), por tanto, al sustituir los valores en la Ec.2.5 se tiene:

$$Q_a = 835.1987 \frac{kg}{h} * 4.18 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 46^{\circ}C$$

$$Q_a = 160592.006 \text{ kJ/h}$$

ii. Energía del combustible (Q_{comb}):

La energía suministrada por el combustible (Q_{comb}) se conoce haciendo uso de su poder calorífico inferior (PC) y la masa de combustible según la ecuación 2.6, por lo que sustituyendo en la ecuación se tiene:

$$Q_{comb} = 43180 \frac{kJ}{kg} * 49.024 \frac{kg}{h}$$

$$Q_{comb} = 2116856.32 \frac{kJ}{h}$$

B. Flujos de salida.

Para los flujos de salida de energía en forma de calor que salen de la caldera se tiene: El calor del vapor producido, el calor perdido en los gases de combustión, en la purga, y el calor perdido a causa de la radiación y convección.

i. Energía del vapor producido (Q_v).

Conociendo el valor del flujo de vapor, las entalpias a las condiciones de entrada y salida de la caldera y tomando en cuenta la presión de trabajo de la caldera (110 psi) para las condiciones de salida, se utiliza la ecuación 2.7, los valores de entalpías a las temperaturas de entrada y salida de la caldera se conocen haciendo uso

de la aplicación *Steam Property versión 5.1.3* asumiendo condiciones de saturación; por lo que se tiene:

$$H1_{T=71^{\circ}\text{C}}^{P=P_{\text{sat}}} = 297.21 \text{ kJ/kg}$$

$$H2_{T=T_{\text{sat}}}^{P=110\text{psia}} = 2766.08 \text{ kJ/kg}$$

El flujo másico de vapor (mv) a la entrada de la caldera es de 1720 lb/h que es igual a 780.18 kg/h, por lo que:

$$Q_v = 780.18 \text{ kg/h} * (2766.08 - 297.21) \text{ kJ/kg}$$

$$Q_v = 1926162.9966 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

ii. Energía perdida en las purgas (Q_{purga}):

Sustituyendo en la ecuación 2.8 se tiene:

$$Q_{\text{purga}} = \frac{165}{2505 - 165} * 1926162.9966 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$Q_{\text{purga}} = 135819.1857 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

iii. Energía perdida en los gases de chimenea (Q_{ch}):

Para el análisis del calor perdido en los gases de chimenea se parte de los reportes presentados por la empresa subcontratada que realiza el monitoreo de las emisiones de los gases de combustión en los Laboratorios SalvaMed. Los análisis a los gases de combustión de las calderas de Laboratorios SalvaMed se presentan en la tabla 3.18, también en la misma se muestran los intervalos normales para el buen funcionamiento de un sistema de vapor tales como las Partículas Totales Suspendidas (PTS), SO₂ (Dióxido de azufre), CO (monóxido de carbono) y NO_x (óxidos de nitrógeno) que se reportaron referidos al 10% O₂ en base seca.

Asimismo, pueden observarse que los promedios de los parámetros de CO, NO_x y SO₂ se encuentran dentro de los intervalos permitidos de operación por el Ministerio de Medio Ambiente.

Tabla 3.18. Análisis de Gases de Chimenea de caldera de Laboratorios SalvaMed.

Descripción	Símbolo	Unidades	FUEGO BAJO	FUEGO ALTO	PROMEDIO	NSO 13, 11.02:11
			LECTURA 1	LECTURA 2		LIMITES SUGERIDOS
Gases de Combustión						
Oxígeno	O ₂	%	10.2	7.5	8.9	REPORTAR
Monóxido de carbono	CO	mg/Nm ³	39.1	49.5	44.3	N/A
Dióxido de Carbono	CO ₂	%	8.0	10.6	9.3	REPORTAR
Gases ambientales						
Óxido Nítrico	NO	mg/Nm ³	105.3	199.3	152.3	N/A
Dióxido Nítrico	NO ₂	mg/Nm ³	0.0	0.0	0.0	
Óxidos de Nitrógeno	NO _x	mg/Nm ³	105.3	199.3	152.3	
Dióxido de azufre	SO ₂	mg/Nm ³	31.4	49.8	40.6	
Gases Ambientales Corregidos al 10% de O₂						
Monóxido de Carbono	CO (10)	mg/Nm ³	39.8	40.2	40.0	152
Óxido Nítrico	NO (10)	mg/Nm ³	107.2	162.1	134.7	ver NO _x
Dióxido Nítrico	NO ₂ (10)	mg/Nm ³	0.0	0.0	0.0	ver NO _x
Óxidos de Nitrógeno	NO _x (10)	mg/Nm ³	107.2	162.1	134.7	201
Dióxido de azufre	SO ₂ (10)	mg/Nm ³	32.0	40.5	36.3	435
Mediciones Relacionadas						
Temperatura de gases		F	402.0	398.0	400.0	Temp. Vapor saturado +100 F
Temperatura ambiental		F	85.6	84.9	85.3	Ver promedio nacional
Cálculos Relacionados						
Exceso de aire		%	89.0	50.0	69.5	15% al 30%
Eficiencia de combustión		%	82.8	83.5	83.2	mayor a 80%

Fuente: Laboratorios SalvaMed, 2019-2020.

A continuación, en la tabla 3.19 se muestran los valores de los límites máximos permisibles que pueden ser emitidos en concepto de gases de chimenea para calderas piro-tubulares según la Norma Salvadoreña 13.11.02.

Tabla 3.19. Límites máximos permisibles en El Salvador de gases de chimenea en calderas tipo Piro tubular.

Contaminante	Símbolo	Unidad	Diésel (cantidad)
Dióxido de Azufre	SO ₂	mg/Nm ³	435
Dióxido de Carbono	CO ₂	%	Reportar
Monóxido de Carbono	CO	mg/Nm ³	152
Óxidos de Nitrógeno	NO _x	mg/Nm ³	201
Partículas Totales Suspendidas	PTS	mg/Nm ³	213
Opacidad	-	%	30

Fuente: NSO 13.11.02, 2007.

En la tabla 3.20 se muestran los valores en porcentaje peso de la composición del diésel, así como sus respectivos pesos moleculares.

Tabla 3.20. Composición de diésel.

Componente	Símbolo	%peso	Peso Molecular g/mol
Carbono	C	85.90	12
Hidrogeno	H ₂	12	2
Azufre	S	0.5	32
Oxigeno	O ₂	0.7	32
Nitrógeno	N ₂	0.5	28
Agua	H ₂ O	0.4	18

Fuente: Adaptado de AChEE, 2015.

C. Balance de materia para el monóxido de carbono (CO)

Para obtener el porcentaje de CO, se usa el valor promedio reportado por el departamento técnico de la empresa que es de 40.0 mg/Nm³, el cual es igual a 34.916 ppm, por lo cual se tiene:

$$34.916 \text{ ppm} * \frac{0.001 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1 \text{ ppm}} = 0.03492 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Tomando como referencia la densidad del Monóxido de Carbono⁶ como 1.184 Kg/m³

$$\frac{0.03492 \frac{kg}{m^3}}{1.184 \frac{kg}{m^3}} * 100\% = 2.95\%$$

D. Balance de materia para Dióxido de Azufre (SO₂) y el Óxido de nitrógeno (NO)

El contenido de SO₂ y NO es calculado a continuación en base a la composición de diésel, utilizando la relación estequiométrica: $S + O_2 \rightarrow SO_2$

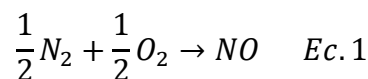
i. Calculando la cantidad de Dióxido de Azufre (SO₂):

Para el cálculo se utilizan los valores porcentuales (%p) de la composición del Diésel presentados en la tabla 3.16, y la masa utilizada de combustible diésel por hora:

$$0.005 * 49.024 \text{ kg de diesel} = 0.2451 \text{ kg de S}$$

$$0.2451 \text{ kg de S} * \frac{64 \frac{kg}{kmol} \text{ de } SO_2}{32 \frac{kg}{kmol} \text{ de S}} = 0.49 \text{ kg de } SO_2$$

Utilizando la relación estequiométrica para el nitrógeno:



ii. Calculando la cantidad de Nitrógeno molecular (N₂)

$$0.005 * 49.024 \text{ kg de diesel} = 0.2451 \text{ kg de } N_2$$

$$0.2451 \text{ kg de } N_2 * \frac{30 \frac{kg}{kmol} \text{ de } NO}{(\frac{1}{2})28 \frac{kg}{kmol} \text{ de } N_2} = 0.5252 \text{ kg de } NO$$

⁶ Hoja de datos de seguridad del Monóxido de Carbono, INFRASAL S.A. DE C.V

E. Balance de materia para calcular la masa de Dióxido de Carbono (CO₂)

Para conocer la cantidad de CO₂ se utiliza su porcentaje obtenido en el análisis de chimenea, con esto se obtendrá la masa total de mezcla de gases (m_{Tmg}), lo cual se obtiene de la siguiente manera:

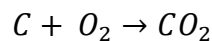
$$CO_2 = \% \frac{p}{p} = \frac{m CO_2}{m_{Tmg}} * 100\% \quad Ec. 2$$

$$CO_2 = 9.30 \% = \frac{m CO_2}{m_{Tmg}} * 100\%$$

Por ende, multiplicando el porcentaje peso mostrado en la tabla 3.16 para la composición del diésel por la masa consumida de diésel, se obtiene la cantidad de carbono entrando:

$$0.859 * 49.024 \text{ kg de diesel} = \mathbf{42.1112 \text{ kg de C entrando}}$$

Así estequiométricamente en base a la ecuación de formación de CO₂ se tiene:



$$42.1112 \text{ kg de C} * \frac{44 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \text{ de } CO_2}{12 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \text{ de C}} = \mathbf{154.4093 \text{ kg de } CO_2}$$

Posteriormente despejando de la ecuación 2 se obtiene la masa total de mezcla de gases (m_{Tmg}) se obtiene lo siguiente:

$$m_{Tmg} = \frac{m \text{ de } CO_2}{9.30 \%} * 100\%$$

$$m_{Tmg} = \frac{154.4093 \text{ kg de } CO_2}{9.30 \%} * 100\% = \mathbf{1660.3146 \text{ kg de mezcla de gases}}$$

Luego teniendo la masa de dióxido de azufre (SO₂) y monóxido de nitrógeno (NO) producidos y la masa de mezcla se calcula el %p/p de SO₂ y NO así:

$$\% \frac{p}{p} SO_2 = \frac{0.49 \text{ kg de } SO_2}{1660.3146 \text{ kg de mezcla de gases}} * 100 \% = \mathbf{0.0295 \% \text{ de } SO_2}$$

$$\% \frac{p}{p} NO = \frac{0.5252 \text{ kg de } NO}{1660.3146 \text{ kg de mezcla de gases}} * 100 \% = \mathbf{0.03162 \% \text{ de } NO}$$

Después analizando para el CO₂ y monóxido de carbono (CO) se tiene:

$$CO_2 = 9.3 \text{ g de } CO_2 * \frac{1 \text{ mol de } CO_2}{44 \text{ g de } CO_2} = \mathbf{0.2114 \text{ moles de } CO_2}$$

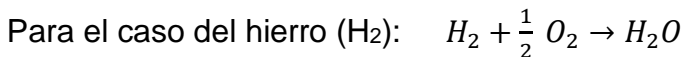
$$CO = 44.3 \text{ g de } CO_2 * \frac{1 \text{ mol de } CO}{28 \text{ g de } CO} = \mathbf{1.5821 \text{ moles de } CO}$$

El nitrógeno presente en los gases se determina a partir de la cantidad de oxígeno alimentado; por lo que se procede a calcular de manera estequiométrica el necesario para producir el CO₂ y CO reportado, y el agua (H₂O) formado a partir del H₂ presente en el diésel, luego se calculó el oxígeno real en base al porcentaje de exceso de aire.

$$O_{2estq} = gmol_{O_2 \rightarrow CO_2} + gmol_{O_2 \rightarrow CO} + gmol_{O_2 \rightarrow H_2O}$$

Por tanto: $gmol_{O_2 \rightarrow CO_2} = 0.21 \text{ mol de } CO_2 * \frac{1 \text{ mol de } O_2}{1 \text{ mol de } CO_2} = 0.21 \text{ moles}$

$$gmol_{O_2 \rightarrow CO} = 1.58 \text{ mol de } CO * \frac{1 \text{ mol de } O_2}{1 \text{ mol de } CO} = 1.58 \text{ moles}$$



La masa del H₂ se obtiene de su composición en el diésel:

$$0.12 * 49.024 \text{ kg de diesel} = \mathbf{5.8829 \text{ kg de } H_2 \text{ entrando}}$$

$$5.8829 \text{ kg de } H_2 * \frac{18 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \text{ de } H_2O}{2 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \text{ de } H_2} = \mathbf{52.9459 \text{ kg de } H_2O}$$

$$\% \frac{p}{p} H_2O = \frac{52.9459 \text{ kg de } H_2O}{1660.3146 \text{ kg de mezcla de gases}} * 100 \% = \mathbf{3.1889 \% \text{ de } H_2O}$$

$$H_2O = 3.19 \text{ g de } H_2O * \frac{1 \text{ mol de } H_2O}{18 \text{ g de } H_2O} = \mathbf{0.177 \text{ moles de } H_2O}$$

$$gmol_{O_2 \rightarrow H_2O} = 0.177 \text{ mol de } H_2O * \frac{\frac{1}{2} \text{ mol de } O_2}{1 \text{ mol de } H_2O} = \mathbf{0.089 \text{ moles}}$$

Calculando el oxígeno (O₂) estequiométrico:

$$O_{2estq} = (0.21 + 1.58 + 0.089) \text{ gmol} = \mathbf{1.88 \text{ gmol de } O_2}$$

Para el cálculo el O₂ Real se hará en base al % de exceso de Aire reportado.

$$O_{2Real} = O_{2Esteq} * \left(\frac{100 + \% \text{ exceso de aire}}{100} \right) \quad \text{Ec. 3}$$

$$O_{2Real} = 1.88 \text{ gmol } O_{2Esteq} * \left(\frac{100 + 69.5}{100} \right) = \mathbf{3.187 \text{ gmol de } O_2}$$

Ahora se procede a calcular el Nitrógeno que está presente en los gases sabiendo que se encuentra en una relación molar de 79/21 de N₂ respecto al O₂ en el aire.

$$N_2 = 3.187 \text{ gmol de } O_2 * \frac{79 \text{ gmol de } N_2}{21 \text{ gmol de } O_2} = \mathbf{11.99 \text{ gmol de } N_2}$$

Los moles de NO y SO₂ se conocen a partir de:

$$NO = 0.03162 \text{ g de } NO * \frac{1 \text{ mol de } NO}{30 \text{ g de } NO} = \mathbf{0.0011 \text{ moles de } NO}$$

$$SO_2 = 0.0295 \text{ g de } SO_2 * \frac{1 \text{ mol de } SO_2}{64 \text{ g de } SO_2} = \mathbf{0.00047 \text{ moles de } SO_2}$$

En la tabla 3.21 se presenta la composición molar de los gases de salida.

Tabla 3.21. Composición mol de los gases de chimenea.

Compuesto	moles	% mol
CO ₂	0.2114	1.2320
CO	1.5821	9.2203
N ₂	11.99	69.8760
O ₂	3.187	18.5734
H ₂ O	0.177	1.0315
NO	0.011	0.0641
SO ₂	0.00047	0.0027
Total	17.1589	100

F. Capacidad calorífica de la mezcla de gases de chimenea

El cálculo de la capacidad calorífica de la mezcla de gases se realizó para una temperatura de 477.59 K utilizando la ecuación 2.9.

A continuación, en la tabla 3.22 se muestran las constantes características de los compuestos en particular (A, B, C, y D) así como la constante universal de los gases (R); para este caso $R = 8.31445 \text{ kJ/kmol}\cdot\text{K}$ (Smith, Van Ness, y Abbott, 2007).

Tabla 3.22. Constantes de las capacidades caloríficas de gases en estado de gas ideal.

Compuesto	A	10 ³ B	10 ⁶ C	10 ⁻⁵ D
Monóxido de carbono	3.376	0.557	0	-0.031
Dióxido de carbono	5.457	1.045	0	-1.157
Nitrógeno	3.28	0.593	0	0.04
Monóxido de nitrógeno	3.387	0.629	0	0.014
Oxígeno	3.639	0.506	0	0.227
Dióxido de azufre	5.699	0.801	0	-1.015
Agua	3.47	1.450	0	0.121

Fuente: Adaptado de Smith, Van Ness, y Abbott, 2007.

G. Cálculo para el cociente de la Capacidad calorífica a presión constante y la Constante universal de los gases (Cp/R).

Para el cálculo del Cp/R de cada compuesto sustituyen sus respectivos valores de yi, junto con sus constantes; luego se multiplican por la constante universal de los gases tal como se expresa en la ecuación 2.10.

A continuación, se presenta un ejemplo de cálculo para el CO:

$$\frac{C_p}{R} = 3.376 + (0.557 * 10^{-3})(477.59) + (0 * 10^{-6})(477.59^2) + \left(\frac{-0.031 * 10^5}{477.59^2}\right)$$

$$\frac{C_p}{R} = 3.6284$$

$$\frac{C_p}{8.314 \frac{J}{mol * K}} = 3.6284$$

Despejando para Cp:

$$C_p = 30.1665 \frac{J}{mol \text{ de } CO * K}$$

$$C_p = 30.1665 \frac{J}{mol \text{ de } CO * K} * \frac{1 \text{ mol de } CO}{28 \text{ g de } CO}$$

$$C_p = 1.0774 \frac{J}{g * K}$$

Para obtener el Cp de mezcla se usó la ecuación 2.11:

$$\begin{aligned} C_p^{\circ}{}_m &= (1.0774 * 0.0123) + (1.0296 * 0.0922) + (1.0632 * 0.6988) \\ &+ (1.0236 * 0.1857) + (1.0341 * 0.0103) + (0.7322 * 0.000641) \\ &+ (1.9471 * 0.00003) \end{aligned}$$

$$C_p^{\circ}{}_m = 1.0525 \frac{J}{g * K} \approx \frac{kJ}{kg * K}$$

La tabla 3.23 muestra los valores calculados para el valor de Cp/R de cada compuesto, así como su peso molecular, el valor de Cp y su fracción mol.

Tabla 3.23. Capacidades Caloríficas de la corriente de gases.

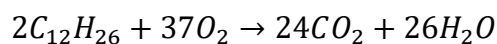
Compuesto	Cp/R	Peso Molecular g/mol	Cp (J/g*K)	% mol
Monóxido de carbono	3.6284	28	1.0774	1.2320
Dióxido de carbono	5.4488	44	1.0296	9.2203
Nitrógeno	3.5807	28	1.0632	69.8760
Monóxido de nitrógeno	3.6935	30	1.0236	18.5734
Oxígeno	3.9802	32	1.0341	1.0315
Dióxido de azufre	5.6366	64	0.7322	0.0641
Agua	4.2156	18	1.9471	0.0027
Gases de Combustión	-		1.0525	100

Para conocer el flujo másico de chimenea es necesario partir de la cantidad de combustible alimentado y la composición molar de diésel ($C_{16.142}H_{25.193}S_{0.036}$), tomando en cuenta que su peso molecular ponderado es 226,55 g/mol (Castillo, Mendoza, y Caballero, 2012).

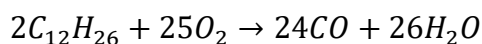
En las ecuaciones de las reacciones de la combustión del diésel ($C_{12}H_{26}$) se tiene que las únicas especies que tienen carbón son el diésel, CO y CO_2 , por tanto, para poder conocer la cantidad de gases que se emiten por unidad de combustible utilizado se realiza el siguiente balance de carbono en base a la alimentación de combustible por hora.

$$m_{Diesel} = Diesel_{rxn1} + Diesel_{rxn2}$$

I. Reacción uno (combustión completa):



II. Reacción dos (combustión incompleta):



En la reacción 1 se da la formación de CO₂, por tanto:

$$0.2114 \text{ gmol de CO}_2 * \frac{1 \text{ mol de C}_{16.142}\text{H}_{25.193}\text{S}_{0.036}}{16.142 \text{ gmol de CO}_2} * \frac{226.55 \text{ g de C}_{16.142}\text{H}_{25.193}\text{S}_{0.036}}{1 \text{ mol de C}_{16.142}\text{H}_{25.193}\text{S}_{0.036}}$$

$$= \mathbf{2.967 \text{ g de Diesel}}$$

En la reacción 2 que corresponde a la formación de CO se tiene:

$$1.5821 \text{ gmol de CO} * \frac{1 \text{ mol de C}_{16.142}\text{H}_{25.193}\text{S}_{0.036}}{16.142 \text{ gmol de CO}_2} * \frac{226.55 \text{ g de C}_{16.142}\text{H}_{25.193}\text{S}_{0.036}}{1 \text{ mol de C}_{16.142}\text{H}_{25.193}\text{S}_{0.036}}$$

$$= \mathbf{22.2045 \text{ g de Diesel}}$$

Por tanto, el diésel total es igual a:

$$m_{\text{Diesel}} = (2.967 + 22.2045) \text{ g de Diesel}$$

$$\mathbf{m_{\text{Diesel}} = 25.715 \text{ g de Diesel}}$$

Por lo tanto, al sumarlas se tiene que 25.715 g de diésel generan 100g de gases (base). Debido a esto sabiendo que la cantidad de diésel utilizado es de 10.39 kg por hora se tiene que:

$$49.024 \frac{\text{kg de Diesel}}{\text{h}} * \frac{100 \text{ kg de gases}}{25.715 \text{ kg de Diesel}} = \mathbf{190.6436 \frac{\text{kg de gases}}{\text{h}}}$$

En consecuencia, por cada kg de diésel por hora, se generan 190.6436 kg de gases de combustión.

Conociendo el C_pm y la masa de gases de chimenea se puede conocer la energía perdida en forma de calor usando la ecuación 2.12

$$Q_{ch} = 190.6336 \frac{\text{kg de gases}}{\text{h}} * 1.0525 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}} * (477.59 - 302.76) \text{K}$$

$$\mathbf{Q_{ch} = 35080.0559 \text{ kJ/h}}$$

El resto del calor perdido se da por factores de radiación, convección y otros, por tanto según la ecuación 2.13:

$$Q_{Rad,Conv,Otros} = (2277448.326 - 1926162.977 - 135819.1857 - 35080.0559) \text{ kJ/h}$$

$$Q_{Rad, Conv, Otros} = 180386.238 \text{ kJ/h}$$

Después, conociendo la cantidad de energía generada y consumida en cada uno de los flujos de entrada y salida, se procede a presentar de forma resumida la información en la *tabla 3.24*, en donde presentan los resultados del balance térmico para el sistema de generación de vapor.

Tabla 3.24. Valores de flujos de entrada y salida en el balance térmico.

Entrada			Salida		
Flujo	kJ/h	%	Flujo	kJ/h	%
Agua de alimentación	160592.006	10.4956	Vapor	1926162.997	81.4447
Combustible	2116856.32	89.5044	Radiación, Convección y otros	180386.238	11.3291
			Purga	135819.1857	5.7429
			Gases de Chimenea	35080.0559	1.4833
Total	2277448.326	100	Total	2277448.326	100

En la figura 3.4 se representan los flujos masicos de entrada y salida de la caldera en estudio. Para los flujos de entrada se tienen el agua de alimentacion, el combustible diésel y aire. Para los flujos de salida se representan los gases de chimenea, las purgas y el vapor enviado a procesos de produccion. Tambien en la figura se presentan los flujos de entrada y salida de calor.

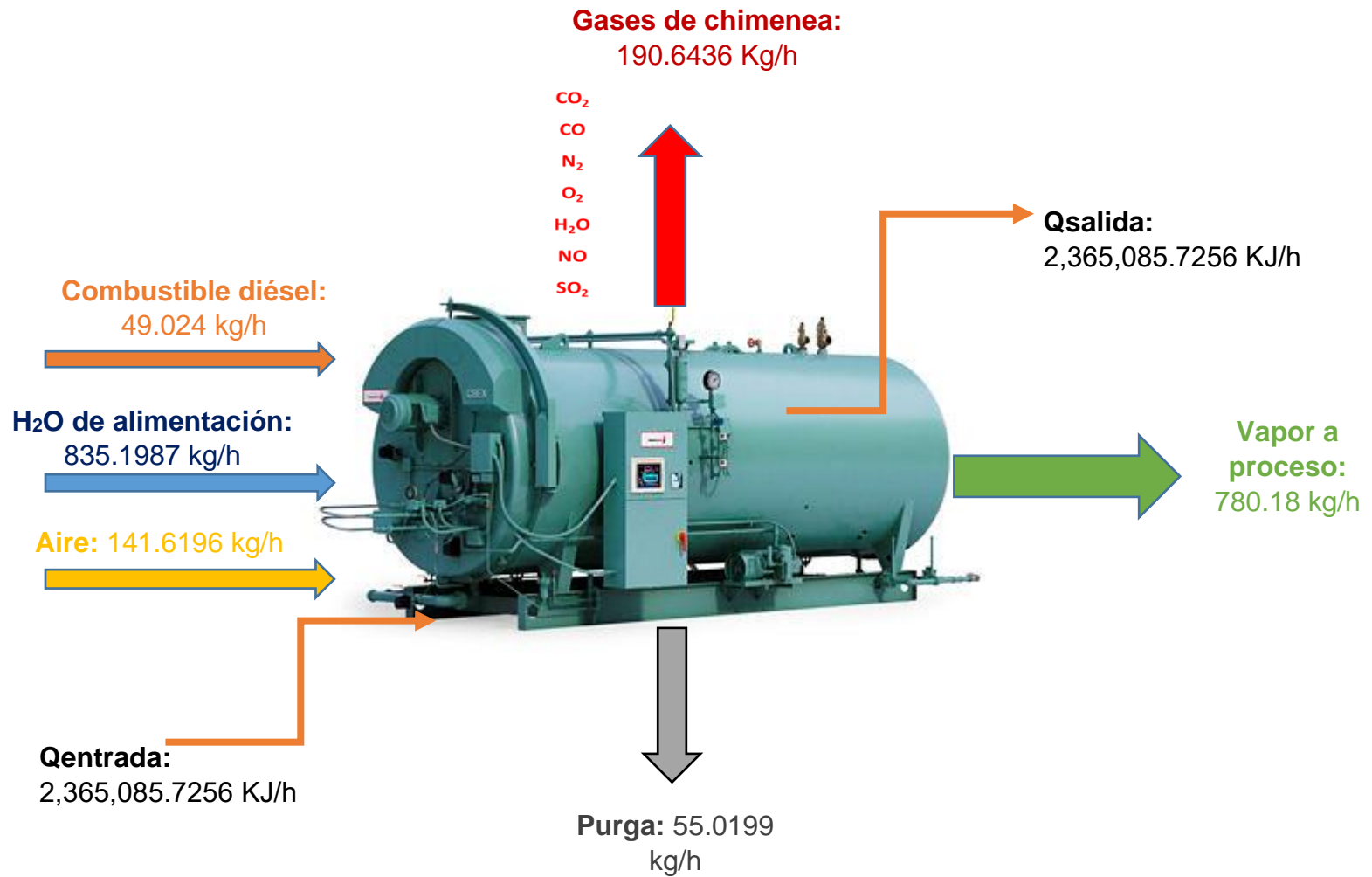


Figura 3.4. Representación de los flujos de entradas y salidas de la caldera de 50 BHP instalada.

Fuente: Adaptado de Direct Industry, 2020.

3.1.11. BALANCE TÉRMICO EN LOS EQUIPOS CONSUMIDORES DE VAPOR INSTALADOS EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN.

El vapor generado por la caldera es distribuido por la red de tuberías hacia área de producción donde es utilizado en los diferentes equipos con los que cuenta la planta (Autoclave Medical, Autoclave Consolited, Destiladores, Autoclave n°1 y n°2, así como la maquina Marmita Groem).

Tomado la ecuación 2.14 para el cálculo de la energía que se consume en cada equipo (Q_e) se utiliza el flujo másico de vapor conocidos de la tabla 3.24, de esta información se conoce el valor de la entalpía uno (H_1) que es igual a 2766.08 KJ/Kg a la temperatura de saturación y con una presión de vapor igual a 110 PSI. Para este sistema se asume vapor saturado a la entrada de la red de distribución de vapor, tal como se muestran en la figura 3.5 se presenta la distribución de vapor de la caldera hacia los equipos instalados en el area de producción.

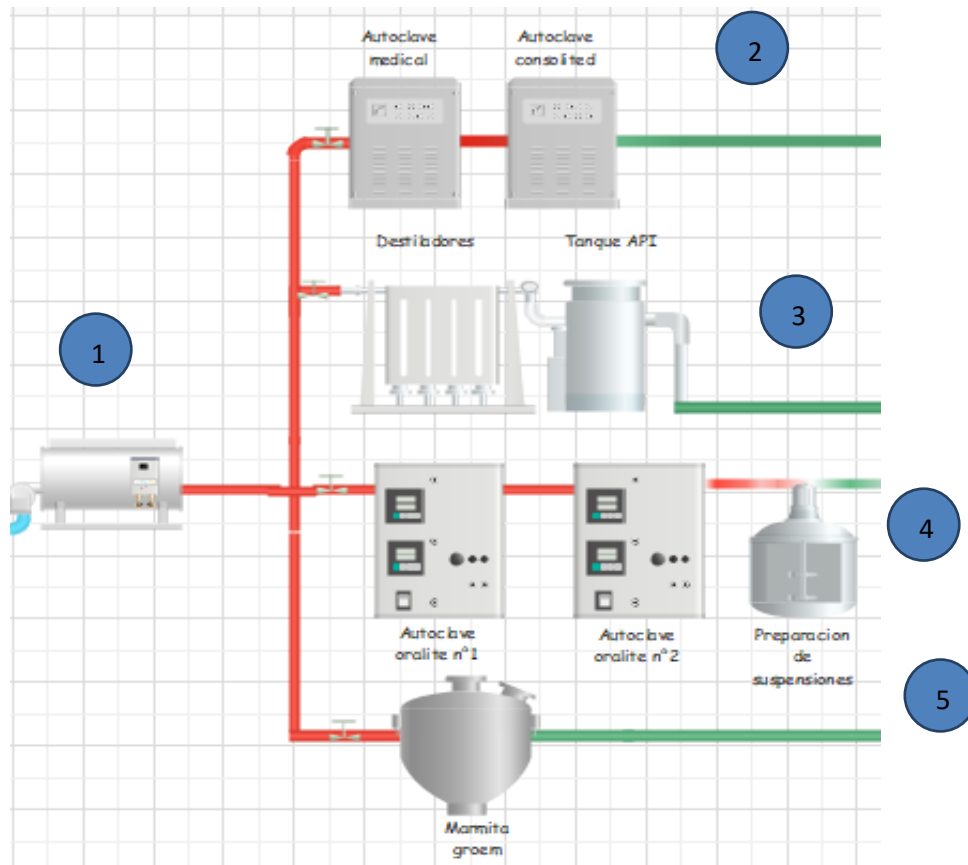


Figura 3.5. Distribución de vapor de la caldera hacia los equipos de producción.

Como ejemplo de cálculo se calcula la energía consumida en el equipo Autoclave Medical, el cual se representa en la figura 3.6:

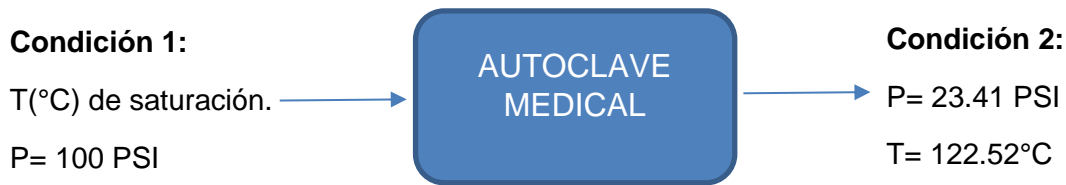


Figura 3.6. Esquema del flujo de vapor para el Autoclave Medical.

I. Condiciones 1: Entrada al equipo.

En este sistema se tiene las siguientes condiciones: temperatura (°C) en estado de saturación y una presión de trabajo igual a 110 PSI. Entonces para calcular la entalpía en el punto 1 se tiene:

$$H_{100\text{ PSI}}^{T_{sat}}$$

$$H_1: 2766.08 \text{ KJ/Kg}$$

II. Condiciones 2: Salida del equipo.

Para el sistema de salida del equipo se toman las condiciones de operación del de este, como temperatura de trabajo igual a 122.52°C, una presión de 23.41 PSI y un flujo masico de vapor igual a 5.30 kg/h. Para el cálculo del calor perdido a la salida del equipo se utiliza la ecuación 2.14:

$$Q_{2.1} = 5.30 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} * (2,715.38 - 2766.08) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$Q_{2.1} = 268.71 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}$$

A continuación, en la tabla 3.25 se presenta el consolidado del calor perdido según condiciones de operación por equipo conectado a la red de distribución de vapor de la caldera.

Tabla 3.25. Cuadro resumen del calor perdido por equipo consumidor de vapor instalado en producción.

Equipo consumidores de vapor	Condiciones de operacion				Resultado
	Presion (PSI)	Temperatura (°C)	Flujo masico (Kg/h)	Entalpia (KJ/Kg)	Calor (KJ/h)
Autoclave Medical	23.41	122.52	5.30	2,715.38	268.71
Autoclave Consolited	23.6	122.46	50.54	2,715.13	2,575.013
Destilador N°1	40	100	23.24	419.23	54,540.80
Destilador N°2	10	100	14.49	2679.93	1,248.31
Autoclave Oralite N°1	52.14	115	443.65	482.68	1,013,349.83
Autoclave Oralite N°2	37.82	115	443.65	482.61	1,013,380.81
Suspenciones	17.33	80.67	61.23	337.81	148,682.97
Marmita Groem	21.72	79.83	53.81	334.16	130,861.61

CAPÍTULO IV

ANALISIS DE RESULTADOS DEL
ESTUDIO DE EE ENFOCADA EN PML
PARA LABORATORIOS SALVAMED

Con base a los resultados obtenidos se procede a realizar un análisis de cada una de las áreas en estudio (área térmica y eléctrica). En donde se identifican oportunidades de ahorro y mejora con el principal objetivo de proponer medidas enfocadas en la eficiencia energética que ayuden a mejorar la situación actual de Laboratorios SalvaMed. En este sentido es importante resaltar que tales medidas podrían disminuir los consumos energéticos actuales que reportan la empresa y también conocer una posible disminución en las emisiones actuales de CO₂.

Es importante mencionar en el desarrollo de este trabajo de investigación, se observó que no existían estudios previos enfocados a estudiar potenciales de mejora para el sistema de generación de vapor y la implementación de paneles solares dentro de las instalaciones de Laboratorios SalvaMed. Por tanto, se procede a analizar los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología en cada área de estudio para identificar y seleccionar posibles oportunidades de mejora enfocadas a la eficiencia energética.

4.1. ANALISIS DE RESULTADOS EN EL ÁREA TÉRMICA.

En el área térmica se identificó que existen perdidas de calor en el sistema de generación de vapor específicamente en el área de caldera de 50 HP, donde se evaluó el calor perdido en las purgas y calor perdido en los gases de chimenea. En la *figura 4.1* se muestran los diferentes porcentajes de los flujos de salida de la caldera en cuestión.

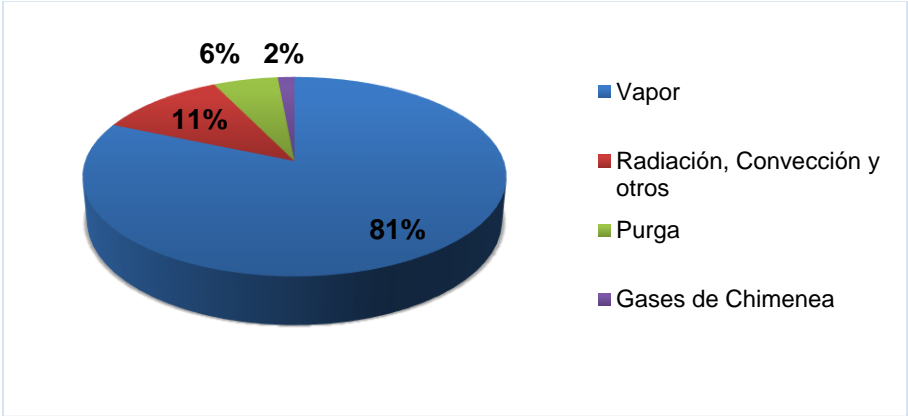


Figura 4.1. Porcentajes de salidas en el balance térmico aplicado a la caldera.

Del gráfico que se muestra en la *figura 4.1* podemos observar que hay un 19% de calor perdido en la caldera, del cual un 11% es perdido por radiación y convección, un 6% en las purgas y un 2% en los gases de chimenea. Según la inspección visual realizada al área de caldera las pérdidas en los gases de chimenea y en las purgas presentan mayor facilidad para recuperar calor y así aumentar un 8% la eficiencia de la caldera.

En la *figura 4.2* se puede observar que los equipos que tienen un mayor consumo de calor son las autoclaves 1 y 2 y los equipos instalados en el área de jarabes y líquidos haciendo un total de 2.3063 GJ/h. Es importante mencionar que, según reportes técnicos del área de mantenimiento, la caldera no puede abastecer de vapor a todos los equipos al mismo tiempo debido a la capacidad de esta y sus condiciones actuales.

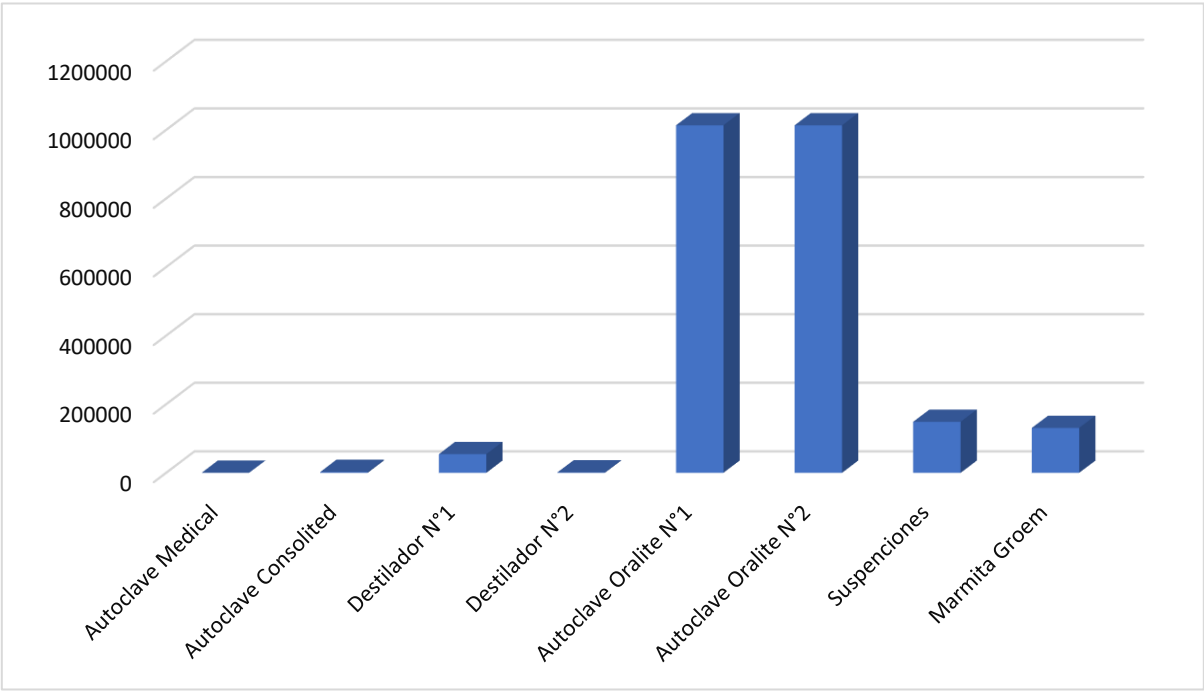


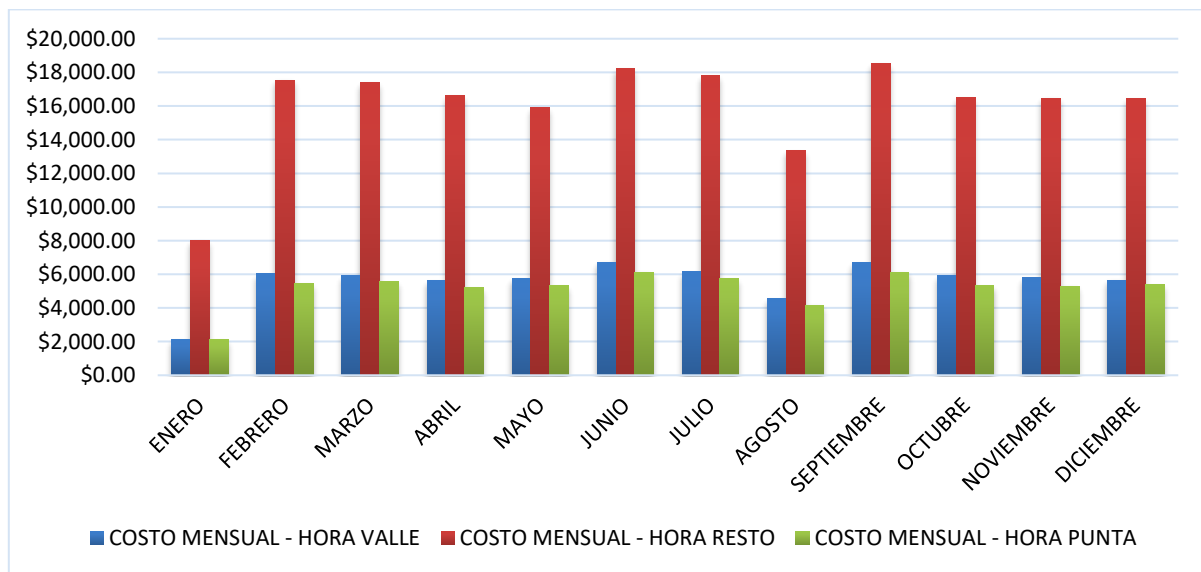
Figura 4.2. Pérdidas de calor por equipo instalado en Laboratorios SalvaMed.

Según los resultados obtenidos para las emisiones anuales de CO₂ por consumo de Diesel, se tiene que para el año en estudio (2019) se ha emitido un total de **286.88 TON de CO₂**, las cuales generan un impacto negativo en el medio ambiente. Para ello debe buscar una forma de minimizar la cantidad de CO₂ emitido por consumo de combustible.

4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS EN EL ÁREA ELÉCTRICA.

A continuación, se presenta el análisis de resultados obtenidos en el sistema eléctrico, donde se realizó una inspección visual a las áreas administrativas con la finalidad de, determinar la cantidad y el consumo de energía de todas las luminarias instaladas en las áreas administrativas de la empresa donde se obtuvo un consumo de energía igual a 103.3 KWh, tomando ocho horas de operación diaria, lo que se traduce en un costo significativo para la empresa.

Al evaluar también el comportamiento de los costos facturados en 2019 de la energía eléctrica en el horario del resto (5 a.m. – 6 p.m.) se observa una tendencia no uniforme durante todos los meses tal como se observa en el gráfico de la *figura 4.3*, donde En el periodo de enero a diciembre del 2019 el costo de la energía eléctrica se obtuvo un total de US \$33,813.21.



. Figura 4.3. Costos mensuales por horario: valle, resto y punta

También es importante mencionar que según los datos recolectados en la tabla 3.13 Laboratorios SalvaMed cuenta con una capacidad instalada de 667.47 m² en el área del techo de la empresa, el cual podría ser utilizado para la instalación de paneles solares, con la finalidad de aprovechar la energía de radiación emitida por el sol, donde utilizando el Modelador SAM se obtiene que para dicha ubicación se obtiene una radiación horizontal equivalente a 5.98 KW/dia°m².

4.3. DISCUSIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO VIGENTE VS PROPUESTO.

Con base a las recomendaciones sobre buenas prácticas de mantenimiento en calderas, es importante mencionar que Laboratorios SalvaMed cuenta con un plan de mantenimiento que no ha sido renovado desde la instalación de la caldera hasta la fecha que se realizó la AE en el área de generación de vapor. Por consiguiente, como resultado de la auditoria se observó que existen potenciales de mejora para el sistema en cuestión. Por tanto, a lo expuesto anteriormente se propone una mejora en el plan de mantenimiento actual de la empresa, que busca la obtención de condiciones de uso óptimas de operación en la caldera de 50 BHP.

4.3.1. SITUACIÓN ACTUAL: PLAN DE MANTENIMIENTO VIGENTE.

Tabla 4.1. Identificación de probabilidad e impacto plan vigente de mantenimiento en Laboratorios SalvaMed.

PROBABILIDAD		
3	frecuente	Una vez por mes
2	ocasional	Una vez cada 3 meses
1	remoto	Una vez por año
IMPACTO		
3	Critico	Compromete los resultados de la organización ocasionando serios retrasos o insatisfacción de los clientes
2	Moderado	Perdida momentánea de operatividad que puede ser corregida, pero que puede tener impacto en el medio o largo plazo
1	Menor	Impacto casi imperceptible en los objetivos de la empresa, que pueden ser corregidos con facilidad

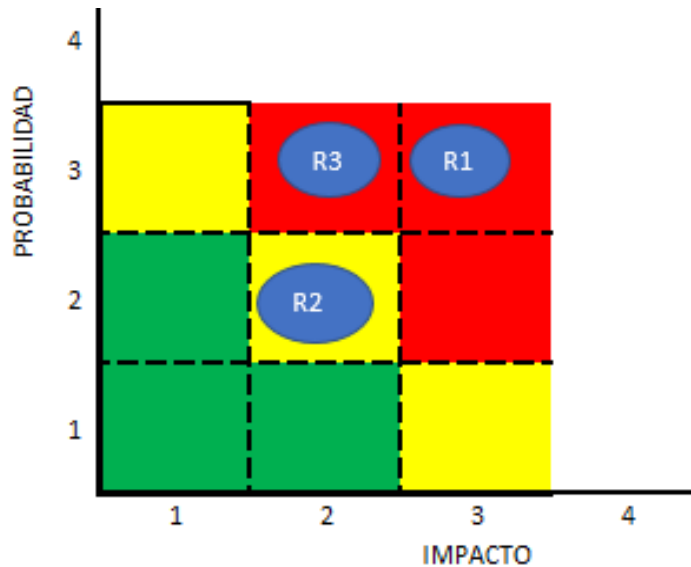
Fuente: Adaptado de GAIA Finanzas y Marketing, 2020.

Tabla 4.2. Identificación de riesgos plan vigente de mantenimiento en Laboratorios SalvaMed.

IDENTIFICACIÓN DEL RIESGO						ANÁLISIS	
Nº	Proceso, Actividad o Tarea	Descripción	Evento Adverso	Causas	Consecuencias	Probabilidad	Impacto
1	PLAN DE MANTENIMIENTO VIGENTE	Verificación De Funcionamiento De Equipos Y Accesorios	Falla De Equipos Y Mala Verificación	Fugas, Monitoreo No Continuo	Proceso Ineficiente	3	3
2		Revisión Sistema De Alimentación	Falla a La Entrada de alimentación	Mala Calidad De Combustible O Falla De Equipos	Aumento De Costos Operativo	2	2
3		Verificación De Limpieza	Suciedad En Equipos	Limpieza Ineficiente	Equipos Dañados	3	2

Fuente: Adaptado de GAIA Finanzas y Marketing, 2020.

Figura 4.4. Matriz de riesgo de plan de mantenimiento vigente.



Fuente: Adaptado de GAIA Finanzas y Marketing, 2020.

Se puede observar en la matriz de riesgo (figura 4.4) que el plan de mantenimiento vigente, tiene como prioridad atender los riesgos de fallas en los equipos y una mala verificación, así como la suciedad en ellos ya que nos traen consecuencias críticas que comprometen los resultados de laboratorios SalvaMed y un riesgo moderado

con las fallas a la entrada de alimentación. Por consiguiente, la implementación de un plan de mantenimiento preventivo, disminuirá los riesgos que conllevan a un mal funcionamiento o una ausencia de servicio (paro por manteamiento) de la caldera, lo que podría generar posibles costos operativos o incumplimiento en el plan de producción, por la falta de suministro de vapor.

Por esta razón es necesario la implementación de un monitoreo más continuo y riguroso. En relación a la problemática expuesta se propone una nueva rutina de mantenimiento para la caldera en estudio.

4.3.2. SITUACIÓN PROPUESTA: PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO.

Tabla 4.3. Identificación de probabilidad e impacto de riesgos plan propuesto de mantenimiento en Laboratorios SalvaMed.

PROBABILIDAD		
5	Frecuente	Una vez por semana
4	Moderado	Una vez por mes
3	Ocasional	Una vez por semestre
2	Remoto	Una vez por año
1	Improbable	Una vez cada dos años
IMPACTO		
5	Critico	Compromete los resultados de la organización ocasionando serios retrasos o insatisfacción de los clientes
4	Mayor	De suceder tendría altas consecuencias sobre la entidad.
3	Moderado	Perdida momentánea de operatividad que puede ser corregida, pero que puede tener impacto en el medio o largo plazo
2	Menor	impacto casi imperceptible en los objetivos de la empresa, que pueden ser corregidos con facilidad
1	Insignificante	Si llegara a presentarse su impacto sería mínimo.

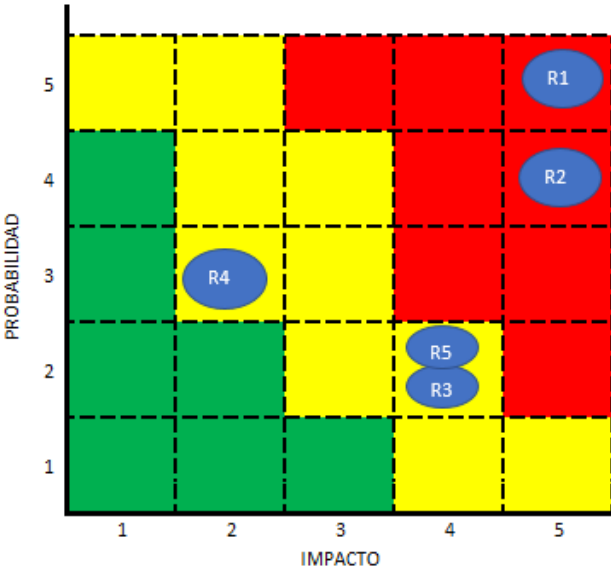
Fuente: Adaptado de GAIA Finanzas y Marketing, 2020

Tabla 4.4. Identificación de riesgos plan propuesto de mantenimiento en Laboratorios SalvaMed.

IDENTIFICACIÓN DEL RIESGO						ANALISIS	
Nº	Proceso, Actividad o Tarea	Descripción	Evento Adverso	Causas	Consecuencias	Probabilidad	Impacto
1	Plan De Mantenimiento Propuesto	Monitoreo de parámetros	Parámetros fuera de especificación	Mal control	Inoperatividad	5	5
2		Análisis y comprobaciones de equipos	Mal funcionamiento	Falta de realización de pruebas	Incumplimientos con el plan de producción	4	5
3		Prueba de funcionalidad	Falla en dispositivos	Mala ejecución de pruebas	Posibles riesgos a la seguridad ocupacional del trabajador	2	4
4		Verificación de limpieza	Suciedad en equipos	Limpieza ineficiente	Presencia de hollín en tuberías, equipo dañado	3	2
5		Inspección y comprobación estado de caldera	Mal funcionamiento de caldera	Inspecciones superficiales, mal mantenimiento	Equipo dañado	2	4

Fuente: Adaptado de GAIA Finanzas y Marketing, 2020.

Figura 4.5. Matriz de riesgo de plan de mantenimiento propuesto.



Fuente: Adaptado de GAIA Finanzas y Marketing, 2020.

CAPÍTULO V

EVALUACIÓN Y DESARROLLO DE
PROPUESTAS DE EE ENFOCADA EN PML
PARA LABORATORIOS SALVAMED

A continuación, se presentan las propuestas en materia de EE enfocadas en PML resultantes de la aplicación de la metodología descrita en el capítulo 2 y de los resultados obtenidos en el capítulo 3. Se listan las diferentes propuestas a ser evaluados por cada sistema en estudio.

I. Propuestas para el área de generación de vapor:

- a) Instalación de un medidor de conductividad en el área de caldera.
- b) Instalación un economizador de gases de chimenea.
- c) Instalación de un tanque de retorno de condensados de mayor capacidad.
- d) Guía de buenas prácticas de uso y mantenimiento para el sistema generador y distribuidor de vapor.

II. Propuestas para el área eléctrica:

- a) Instalación e implementación de un sistema Solar Fotovoltaico para generar energía eléctrica.

Para cada propuesta se presenta un análisis técnico, económico y reducciones de emisiones de CO₂. También se presenta una guía con el objetivo brindar a los usuarios del área térmica herramientas que les permitan obtener mejoras en los procesos que involucran el funcionamiento del sistema generador de vapor.

Estos análisis se realizan para evaluar su viabilidad en cuanto a los costos y beneficios que trae consigo al considerar su implementación. De igual manera, se realiza la comparación de la situación actual en la que se encuentran las áreas identificadas y la situación esperada luego de implementar las propuestas de mejora bajo el enfoque de PML, para posteriormente proceder realización de un análisis económico-financiero, para evaluar si las propuestas planteadas son rentables para la empresa.

5.1. EVALUACIÓN DE LAS PROPUESTAS PARA EL ÁREA DE GENERACIÓN DE VAPOR.

Para el análisis de las propuestas se tomarán los valores de la densidad, factor de emisión y poder calorífico del diésel de la tabla 3.3.

5.1.1. OPTIMIZACIÓN DE PURGAS EN LA CALDERA.

A continuación, se evalúa la viabilidad de instalar un medidor de conductividad para las purgas en la caldera.

A. Situación actual.

El sistema de vapor no cuenta con un equipo de medición para los sólidos disueltos automatizado para el control de purgas; ya que esta actividad se realiza de forma manual por el personal de mantenimiento.

B. Situación recomendada.

Se recomienda la instalación de un equipo de medición de conductividad (conductímetro) para el monitoreo de la concentración de sólidos disueltos en la caldera, que permita la realización de las purgas a una concentración óptima de forma que el proceso sea más eficiente.

5.1.1.1. EVALUACIÓN DE VIABILIDAD TÉCNICA.

Para evaluar la factibilidad técnica se parte del balance de energético térmico realizado en el capítulo anterior en donde se calculó que al purgar la caldera a 2505 ppm TDS se pierden 13,5819.1857 kJ/h. En base a esto, se determinará la energía que se pierde al purgar la caldera con 3000 ppm TDS⁷ retomando la ecuación 2.7, para verificar cual será el cambio al realizar la purga con el valor propuesto, se tiene:

$$Q_{purga} = \frac{165}{3000 - 165} * 1926162.9966 \frac{kJ}{h}$$

⁷ Concentración óptima para el agua de caldera recomendada según el manual del fabricante para calderas de baja presión de trabajo, respaldado por la Norma Británica BS – 2486 American Boiler Manufacturing Association (ABMA).

$$Q'_{purga} = 112104.7247 \frac{kJ}{h}$$

Al purgar el agua de caldera a 3000 ppm, se obtiene un ahorro energético de 23714.461 kJ/h (94.7623 GJ/año); a partir de este ahorro se determinará su equivalente en combustible, retomando la ecuación 2.6 se procede a evaluar el ahorro de combustible:

$$m_{comb} = \frac{23714.461 \text{ kJ/h}}{43180 \text{ kJ/kg}} = 0.5492 \text{ kg/h}$$

$$0.5492 \frac{kg}{h} * 5.75 \frac{h}{dia} = 3.1579 \frac{kg}{dia}$$

Una vez obtenido el valor de la masa del combustible ahorrado al día, se calcula su equivalente en volumen:

$$V_{comb.} = \frac{m_{comb}}{\rho_{combustle}} = \frac{3.1579 \frac{kg}{dia}}{863.4 \frac{kg}{m^3}} = 0.0037 \frac{m^3}{dia}$$

Transformando a galones:

$$\frac{0.0037 m^3}{dia} * 264.172 \frac{gal}{m^3} = 0.966 \frac{gal}{dia} * 30 \frac{dias}{mes} = 28.9864 \frac{gal}{mes} * 12 \frac{meses}{año} =$$

$$V_{comb} = 347.8369 \frac{gal}{año}$$

Por tanto, se tiene que el volumen de combustible diésel ahorrado es de aproximadamente de 348 galones al año.

5.1.1.2. EVALUACIÓN DE VIABILIDAD ECONÓMICA.

Una vez conociendo el volumen de combustible que se ahorraría al purgar el agua de la caldera a 3000 ppm y el precio actual de referencia del diésel según la Dirección Nacional de Hidrocarburos y Minas, se obtiene el ahorro monetario al año:

$$US\$ = V_{comb} * \$_{comb}$$

$$US\$ = 347.8369 \frac{gal}{año} * \frac{US\$2.68}{gal} = 921.77 \frac{US\$}{año}$$

La inversión requerida para esta medida es aproximadamente de 3000US\$/unidad, agregando además un 10% adicional de costo por mano de obra. Bajo estas condiciones se obtiene un periodo de recuperación de la inversión (PRI) igual a:

$$Inversion = US\$_{Unidad} * \#Unidades * 1.10$$

$$Inversion = US\$3000.00 * 1 Unidad * 1.10$$

$$**Inversion = US\$3300.00**$$

Calculando el PRI se tiene:

$$PRI = \frac{Inversion}{US\$}$$

$$PRI = \frac{US\$3300.00}{\frac{US\$921.77}{año}}$$

$$**PRI = 3.58 años**$$

Por tanto, la inversión se recuperaría en un periodo igual a 3.58 años.

5.1.1.3. EVALUACIÓN DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO₂.

Para conocer el beneficio ambiental en términos de reducción de emisiones de CO₂, se realiza su evaluación en base al factor de emisión de CO₂ para el diésel (INECC, 2014), por lo que se tiene:

$$Beneficio Ambiental = \frac{Energia Ahorrada}{año} * FECO_{2Diesel}$$

$$Beneficio Ambiental = 94.763 \frac{GJ}{año} * 0.07285 \frac{TonCO_2}{GJ}$$

$$**Beneficio Ambiental = 6.904 \frac{TonCO_2}{año}**$$

Por lo tanto, al implementar esta medida se dejarían de emitir 6.904 Toneladas de CO₂ al año, como se muestra en la tabla 4.1.

Tabla 5.1. Resumen de evaluaciones para la optimización de purgas.

Viabilidad Técnica	Viabilidad Económica	Reducción de emisiones
Ahorro anual de Energía de 94.763 GJ	Ahorro monetario anual de US\$921.77	Cantidad anual de CO ₂ que se dejaría de emitir al medio ambiente de 6.904 Ton de CO ₂
Ahorro anual de Diesel de 347.84 galones, que equivale al 1.37% del consumo actual		

5.1.2. EVALUACIÓN PARA LA INSTALACIÓN UN ECONOMIZADOR PARA GASES DE CHIMENEA EN LA CALDERA.

Este tipo de economizador recupera la energía de los gases producidos por la combustión, antes de ser evacuados a la atmósfera. Dicho sistema ayudara a calentar el agua suavizada para ser alimentación a la caldera para poder obtener una mejor eficiencia en la caldera.

Los gases producto de la combustión del diésel salen de la caldera lo suficientemente calientes a una temperatura de 204.44°C (400°F), esto indica que tienen energía que puede ser utilizada para precalentar el agua suavizada de alimentación a la caldera y disminuir con esto la demanda de combustible que presenta la caldera.

También se debe tomar en cuenta que, en una caldera, parte del SO₂ producido se convierte en SO₃ y éste se combina con la humedad para formar vapor de H₂SO₄; este vapor condensa en las superficies que tengan temperaturas inferiores a la del punto de rocío, entre 250°F y 300°F (120°C y 150°C); además considerando una

temperatura menor del metal, en el lado frío del calentador, se genera riesgo de corrosión.

A. Situación Actual.

En base a los datos y los resultados del balance térmico en la caldera obtenidos en el capítulo anterior, se observa que la energía emitida a la atmosfera por los gases de combustión, se está desaprovechando y puede ser utilizada para mejorar la eficiencia de la caldera. Estos gases se emiten a una temperatura promedio de 400 °F (204.44°C).

B. Situación Recomendada.

Se recomienda la instalación de un economizador para gases de chimenea, con el propósito de aprovechar el calor perdido en los gases de combustión emitidos por la chimenea para mejorar la eficiencia del sistema de vapor, y así también poder generar un ahorro de costos en combustible al calentar el agua de alimentación a la caldera.

Los gases de chimenea con una temperatura de salida de 400°F (204.44°C), que es el dato promedio presentado en el cuadro 3.20, luego del intercambio de calor, se llevarán a 320°F (160°C) para evitar la condensación del ácido sulfúrico que pueda producir corrosión en el sistema (Fernández Díez, 2008).

Por tanto, se procede a la evaluación de los beneficios a obtener al aplicar esta opción.

5.1.2.1. EVALUACIÓN DE VIABILIDAD TÉCNICA.

Para conocer si el calor perdido en los gases de chimenea es suficiente para precalentar el agua de alimentación, primeramente, se asume un 10% en pérdidas, y se toma el Cp de mezcla calculado en el balance energético del capítulo 3, se procede a calcular el calor perdido por los gases de chimenea:

$$Q_{GasesChim} = Cp^{\circ}_m(T_1 - T_2) \left(\frac{100 - \%perdidas}{100} \right)$$

$$Q_{GasesChim} = 1.0525 \frac{kJ}{kgK} * (477.59 - 433.15)K * \left(\frac{100 - 10}{100}\right) = 42.096 \frac{kJ}{kg gases}$$

Se sabe que el Cp para el agua líquida tiene un valor aproximado de 4.18 KJ/Kg*K, (Howell y Buckius, 1990), y se plantea calentar agua de 30°C (303.15 K) a 71 °C (344.15 K) entonces el calor que necesita absorber es:

$$Q_{H_2O} = Cp_{H_2O}(T_2 - T_1)$$

$$Q_{H_2O} = 4.18 \frac{kJ}{kgK} (344.15 - 303.15)K = 171.667 \frac{kJ}{kg H_2O}$$

Buscado la relación de la cantidad de agua necesaria para calentar un mol de gases, se asume un sistema en el que el calor que gana el agua es el mismo que pierden los gases:

$$m_{H_2O} Q_{H_2O} = m_{gaseschim} Q_{gaseschim}$$

$$\frac{\dot{m}_{H_2O}}{\dot{m}_{gases}} = \frac{Q_{gases}}{Q_{H_2O}} = \frac{42.096}{171.667}$$

$$\frac{\dot{m}_{H_2O}}{\dot{m}_{gases}} = 0.2452 \frac{kg H_2O}{kg gases de chim.}$$

Se tiene entonces que, un kilogramo de gases de combustión puede calentar 0.2452 Kg de agua. Entonces para un flujo de gases igual a 190.6436 Kg de gases por hora se tiene:

$$H_2O_{a calentar} = 190.6436 \frac{kg de gases}{h} * 0.2452 \frac{kg de agua}{kg de gases}$$

$$H_2O_{a calentar} = 46.7458 \frac{kg de H_2O}{h}$$

5.1.2.2. EVALUACIÓN DE VIABILIDAD ECONÓMICA.

Calculando la energía que se recupera anualmente se tiene:

$$E_{recup} = Q_{chim} * \dot{m}_{gases} * t$$

$$E_{recup} = 42.096 \frac{kJ}{kg \text{ gases}} * \frac{1 GJ}{1 * 10^6 kJ} * 190.6436 \frac{kg \text{ gases}}{h} * 24 \frac{h}{dia} * 333 \frac{dias}{año}$$

$$E_{recup} = \mathbf{64.1385 GJ/año}$$

Para calcular el volumen de combustible ahorrado se considera primeramente la eficiencia calculada en el capítulo anterior para la caldera, que es de 81.45%, entonces:

$$V_{Diesel \text{ Ahorr.}} = \frac{E_{recup}}{PC_{Diesel} * Eficiencia}$$

$$V_{Diesel \text{ Ahorr.}} = \frac{64.1385 \frac{GJ}{año}}{0.04318 \frac{GJ}{kg} * 863.4 \frac{kg}{m^3} * \frac{0.0037854 m^3}{1 gal} * 0.8145}$$

$$V_{Diesel \text{ Ahorr.}} = \mathbf{557.98 \frac{gal \text{ de Diesel}}{año}}$$

Ahora conociendo el volumen de combustible ahorrado y conociendo el precio actual de referencia del diésel que indica la Dirección Nacional de Hidrocarburos y Minas se procede a calcular el ahorro económico al año:

$$US\$_{Ahorrado} = V_{Diesel \text{ ahorr.}} * US\$_{Diesel}$$

$$US\$_{Ahorrado} = 557.98 \frac{gal \text{ de diesel}}{año} * \frac{\$2.68}{gal \text{ de diesel}}$$

$$US\$_{Ahorrado} = \mathbf{\frac{\$1495.39}{año}}$$

Se tiene, que el costo de un Economizador para una caldera es aproximadamente de US\$10,000.00. El precio incluye instalación y puesta en marcha. (El monto total de la puesta en marcha del economizador puede variar, esto si se toma en cuenta los costos de diseño, costos de los materiales en el mercado y otros factores que

pueden surgir durante la implementación de esta medida). Bajo estas condiciones se obtiene un periodo de recuperación de la inversión (PRI) igual a:

$$PRI = \frac{US\$_{Inverison}}{US\$_{Ahorrado}}$$

$$PRI = \frac{US\$10000}{US\$1495.39/año}$$

$$PRI = 6.69 \text{ años}$$

El período de retorno es mayor a 6 años.

5.1.2.3. EVALUACIÓN DE REDUCCIÓN DE EMISIONES CO₂.

Para esta evaluación se calculan las toneladas CO₂ que se dejarían de emitir al año:

$$TONCO_{2Emitido} = E_{Recup} * FE_{CO_2}$$

$$TONCO_{2Emitido} = 64.1385 \frac{GJ}{año} * 0.07285 \frac{TONCO_2}{GJ}$$

$$TONCO_{2Emitido} = 4.6725 \frac{TONCO_2}{año}$$

Posteriormente se calcula el % de diésel que se ahorraría, al implementar esta opción:

$$V_{diesel\ ahorr/h} = 557.98 \frac{gal\ de\ diesel}{año} * \frac{1\ año}{12\ meses} * \frac{1\ mes}{30\ dias} * \frac{1\ dia}{24\ h\ funmto.\ cald.}$$

$$V_{diesel\ ahorr/h} = 0.0646 \frac{gal}{h}$$

Sabiendo que el consumo de diesel de la caldera por hora es de 15 galones, se tiene:

$$\%Diesel_{ahorrado} = \frac{V_{diesel\ ahorr/h}}{V_{diesel\ consumido/h}} * 100\%$$

$$\%Diesel_{ahorrado} = \frac{0.0646 \frac{gal}{h}}{15 \frac{gal}{h}} * 100\%$$

$$\%Diesel_{ahorrado} = 0.43 \% \text{ de diesel ahorrado/h}$$

Tabla 5.2. Resumen de evaluaciones para la instalación de un economizador de gases de chimenea.

Viabilidad Técnica	Viabilidad Económica	Reducción de emisiones
Calor recuperado para ser aprovechado: 42.096 kJ/kg de gases	Ahorro monetario anualmente en consumo de combustible: US\$1495.39	Toneladas de CO ₂ que se dejarían de emitir al año: 4.67 Toneladas de CO₂
Cantidad de agua que puede ser calentada: 45.75 kg de agua por hora		
Cantidad de combustible ahorrado anualmente: 557.98 galones de Diesel		

5.1.3. EVALUACIÓN PARA DIMENSIONAR UN TANQUE DE RETORNO DE CONDENSADOS DE MAYOR CAPACIDAD.

En un caldera el retorno de condensado al tanque de alimentación es una alternativa para mejorar la eficiencia de la caldera, es importante destacar que el condensado contiene alrededor de un cuarto de la energía que tiene el vapor del que procede; así también de la recuperación de condensado se obtienen beneficios como ahorro de energía, se reducen los costos del combustible, costos de agua y de su tratamiento químico por lo que se vuelve un recurso, en el aspecto económico y ambiental (Spirax-Sarco, 2018).

El tanque de condensado es utilizado para almacenar la reserva de agua, que ha de ser suministrada a la caldera para recibir los retornos de condensados, esto debido a que el agua de alimentación de las calderas debe estar a la temperatura más alta disponible para evitar problemas de dilatación, contracciones y choques térmicos dentro de la caldera.

En el tanque de alimentación de agua hacia la caldera se mezclan el agua fresca suavizada, y el retorno del condensado del sistema de vapor para que sea químicamente apta para usar en la caldera. Se recomienda la instalación de un tanque de alimentación con la capacidad necesaria para el retorno de condensado y el agua suavizada de acuerdo a los requerimientos de producción de vapor diario.

Por tal razón si el tanque de mezcla tiene el diseño adecuado, en relación a la cantidad de retorno de condensado y al agua suavizada que utiliza la caldera, dicho sistema aprovechará al máximo el uso del calor y con esto los costos por el tratamiento químico al agua fresca se reducirán.

Un tanque de mayor capacidad de almacenamiento de condensado ayudará a:

- a) Ahorro en combustible debido a su calor sensible.
- b) Ahorro en productos químicos de tratamiento del agua que entra en la caldera.
- c) Ahorro en combustible debido a la reducción de la purga necesaria para mantener un nivel adecuado de sólidos disueltos en la caldera.

A. Situación actual.

En Laboratorios SalvaMed, el agua fresca ingresa al suavizador a una temperatura de 30°C como máximo, que contiene una resina la cual contiene esferas de gel sintéticas, en donde el objetivo principal es ablandar el agua y eliminar el contenido mineral. Posteriormente, el agua sube por la tubería de salida de agua tratada y fuera del suavizador se adiciona desincrustante y secuestrante de oxígeno, para

mezclarse con el retorno de condensado en el tanque de almacenamiento para ingresar posteriormente a la caldera.

Laboratorios SalvaMed cuenta con un sistema de retorno de condensado, sin embargo, su tanque de almacenamiento es de menor capacidad en comparación a la cantidad real de condensados, por lo que existen pérdidas considerables de este recurso, reflejándose en un bajo porcentaje de condensados, que según los reportes del departamento técnico de laboratorios SalvaMed son de un 25%.

B. Situación recomendada.

Se recomienda la instalación de un nuevo tanque de almacenamiento de condensados, aumentando de esta manera el porcentaje de condensados en un 25% mas, respecto al agua de alimentación.

5.1.3.1. EVALUACIÓN DE VIABILIDAD TÉCNICA.

El valor exacto del flujo de vapor actual ha sido determinado según la capacidad máxima de generación del sistema térmico de Laboratorios SalvaMed, por lo que se utilizara el porcentaje estimado de recuperación del condensado actual en base al balance de materia.

Estableciendo como objetivo un aumento en la recuperación de condensados hasta en un 25% respecto al valor total del agua de alimentación actual se tiene:

$$m_{rec.cond.actual} = 530.815 \text{ kg/h}$$

$$m_{rec.prop.} = 1.25 * m_{rec.cond.actual}$$

$$m_{rec.prop.} = 1.25 * 530.815 \text{ kg/h}$$

$$\mathbf{m_{rec.prop.} = 663.5188 \text{ kg/h}}$$

El objetivo de la implementación de esta medida, es reducir el consumo de agua fresca suavizada aumentando así la masa que aporta el retorno de condensado. Estableciendo el ahorro de agua fresca tenemos:

$$m_{H_2O \text{ ahorr.}} = m_s - m_{rec.inc.}$$

$$m_{rec.inc.} = 304.3836 \frac{kg}{h} - \left(0.25 * 530.815 \frac{kg}{h} \right) = 171.6799 \frac{kg}{h}$$

$$m_{H_2O \text{ ahorr.}} = 304.3836 \frac{kg}{h} - 171.6799 \frac{kg}{h}$$

$$m_{H_2O \text{ ahorr.}} = 132.7037 \text{ kg/h}$$

Calculando el % de ahorro de agua fresca suavizada:

$$\%ahorro = \left(1 - \frac{m_{rec.inc.}}{m_{s.actual}} \right) * 100\%$$

$$\%ahorro = \left(1 - \frac{171.6799 \frac{kg}{h}}{304.3836 \frac{kg}{h}} \right) * 100\%$$

$$\%ahorro = 43.5975\%$$

Estimando el volumen del nuevo tanque de condensado, asumiendo una densidad de agua suave de 1000 kg/m³:

$$V_{tanque} = m_{rec.prop.} * \rho_{H_2O}$$

$$V_{tanque} = 663.5188 \text{ kg} * \frac{1m^3}{1000 \text{ kg}} =$$

$$V_{tanque.} = 0.6635 \text{ m}^3 \cong 175.28 \text{ gal}$$

El nuevo tanque tendría un volumen de 175.28 galones.

5.1.3.2. EVALUACIÓN DE VIABILIDAD ECONÓMICA.

El sistema de tratamiento de agua para caldera gasta 50 kg de sal al mes, siendo el costo del quintal de sal de US\$9 (MAG, 2020). Se establecen a continuación los ahorros en consumo de sal de regeneración, de la siguiente manera:

$$\text{Costo mensual} = \frac{110.23 \text{ lb}}{\text{mes}} \times \frac{\text{US\$9}}{100 \text{ lb}} = \frac{\text{US\$9.92}}{\text{mes}}$$

$$\text{Costo anual} = \frac{\text{US\$9.92}}{\text{mes}} \times \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}}$$

$$\text{Costo anual}_{\text{sal}} = \frac{\text{US\$119.04}}{\text{año}}$$

Sabiendo que la reducción de agua suave a implementar es de 43.59%, se puede establecer la siguiente relación para determinar los ahorros:

$$\text{Ahorro mensual} = \text{Costo mensual} \times (\% \text{Ahorro agua suavizada})$$

$$\text{Ahorro mensual} = \frac{\text{US\$9.92}}{\text{mes}} \times (0.4359) = \frac{\text{US\$4.32}}{\text{mes}}$$

$$\text{Ahorro anual} = \frac{\text{US\$4.32}}{\text{mes}} \times \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}}$$

$$\text{Ahorro anual}_{\text{agua suaviz.}} = \frac{\text{US\$51.84}}{\text{año}}$$

También es necesario calcular el volumen ahorrado de agua fresca así:

$$V_{\text{ahorrado diario}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O ahorr.}} \times \text{tiempo de trabajo}}{\rho_{\text{agua}}}$$

$$V_{\text{ahorrado diario}} = \frac{132.70 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times \frac{24 \text{ h}}{\text{día}}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = \frac{3.18 \text{ m}^3}{\text{día}}$$

$$V_{\text{ahorrado mensual}} = \frac{3.18 \text{ m}^3}{\text{día}} \times \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}}$$

$$V_{\text{ahorrado mensual}} = \frac{95 \text{ m}^3}{\text{mes}}$$

Con el volumen de agua ahorrado se puede estimar el ahorro monetario, tomando los valores del pliego tarifario de ANDA 2019, para el sector no residencial vigentes, el cual es de US\$2.93/m³ para tarifa de acueducto para consumo de 91 a 100 m³, más la tarifa de alcantarillado US\$7.50.

Obteniendo los ahorros económicos, se tiene:

$$Ahorro\ mensual = \frac{95m^3}{mes} \times \frac{\$2.93}{m^3} = \frac{\$278.35}{mes}$$

$$Ahorro\ anual_{costo\ agua} = \frac{\$278.35}{mes} \times \frac{12\ meses}{1\ año} =$$

$$Ahorro\ anual_{costo\ agua} = \frac{\$3,340.2}{año}$$

Determinando el ahorro en combustibles, sabiendo que el condensado debe de llegar al tanque a la temperatura descrita en el capítulo 3, se estima la energía necesaria para llevar el agua desde 30°C hasta 71°C.

$$T1 = 30^\circ C \therefore h1 = 125.8337 \frac{kJ}{kg}$$

$$T2 = 71^\circ C \therefore h2 = 297.2637 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_{ganado} = Q_{perdido}$$

$$m_{condensando\ a\ 70^\circ C} \times (h2 - h1) = 0.8144 \times m_{diesel} \times PC_{diesel}$$

Resolviendo para la m_{diesel}

$$m_{diesel} = \frac{m_{condensando\ a\ 70^\circ C} \times (h2 - h1)}{0.8144 \times PC_{diesel}}$$

$$m_{diesel} = \frac{132.7037 \frac{kg}{h} \times (297.2637 - 125.8337) \frac{kJ}{kg}}{0.8144 \times 43180 \frac{kJ}{kg}}$$

$$m_{diesel} = 0.64 \frac{kg}{h}$$

Obteniendo la representación del ahorro propuesto de diésel con respecto al consumo total:

$$\%Ahorro = \frac{Ahorro\ diesel}{consumo\ actual} \times 100\% = \frac{0.64 \frac{kg}{h}}{49.024 \frac{kg}{h}} \times 100\% = 1.30\%$$

$$V_{diesel\ mensual} = 0.64 \frac{kg}{h} \times \frac{24\ h}{dia} \times \frac{30\ dias}{mes} \times \frac{m^3}{863.4\ kg} = 0.53 \frac{m^3}{mes}$$

$$V_{diesel\ mensual} = 0.53 \frac{m^3}{mes}$$

$$V_{diesel\ mensual} = 140.01 \frac{gal}{mes} = 1680.12 \frac{gal}{año}$$

$$Ahorro\ mensual = 140.01 \frac{gal}{mes} \times \frac{US\$2.56}{gal} = 358.42 \frac{US\$}{mes}$$

$$Ahorro\ anual = \frac{12\ meses}{1\ año} \times \frac{\$358.42}{mes} =$$

$$Ahorro\ anual = 4,301.10 \frac{US\$}{año}$$

El costo estimado de construcción (o adquisición) del nuevo tanque de condensado ronda los US\$8,200.00, tomando en cuenta que esta cantidad puede variar de acuerdo a las variantes que se presenten durante su diseño, construcción e instalación, además de los costos de los materiales en el mercado.

Conociendo los ahorros y los costos asociados a esta recomendación se procede a determinar el PRI. En la *tabla 5.3* se presenta el resumen de los ahorros calculados.

Tabla 5.3. Ahorros monetarios generados por la instalación de un tanque de condensados de mayor capacidad.

Ahorro en Sales para resina	US\$51.84/año
Ahorro en agua fresca	US\$3340.2/año
Ahorro en combustible	US\$4301.10/año

Con los ahorros anterior, se procede a realizar el cálculo del PRI:

$$PRI = \frac{COSTOS\ US\$}{US\$\ Ahorrados}$$

$$PRI = \frac{US\$8200}{US\$7693.14/año}$$

$$PRI = 1.06\ años$$

La inversión tendría un periodo de retorno aproximado de un año.

5.1.3.3. EVALUACIÓN DE REDUCCIONES DE EMISIONES DE CO₂.

En base al cálculo del volumen ahorrado de combustible se estima la reducción de emisiones en Toneladas de CO₂ anuales por la implementación de la medida:

$$V_{diesel\ mensual} = 140.01 \frac{gal}{mes} \times \frac{12\ meses}{1\ año} = 1,680.12 \frac{gal}{año}$$

$$V_{diesel\ anual} = 1,680.12 \frac{gal}{año} = 6.36 \frac{m^3}{año}$$

$$TON\ CO_2 = V_{diesel} \times PC_{Diesel} \times 0.043183 \frac{GJ}{kg} \times 0.07285 \frac{TON\ CO_2}{GJ}$$

$$TON\ CO_2 = 6.36 \frac{m^3}{año} \times \frac{863.4\ kg}{m^3} \times 0.043183 \frac{GJ}{kg} \times 0.07285 \frac{TON\ CO_2}{GJ}$$

$$TON\ CO_2 = 18.97 \frac{TON\ CO_2}{año}$$

Con la implementación de la medida se dejarían de emitir aproximadamente 19 Toneladas de CO₂ al año.

Tabla 5.4. Resumen de evaluaciones para la implementación un tanque de condensados de mayor capacidad.

Viabilidad Técnica	Viabilidad Económica	Reducción de emisiones
<p>Ahorro anual de consumo de Diesel de: 1680.12 galones Que es equivalente al 6.03% del consumo anual.</p>	<p>Ahorro anual en Sales para resina: US\$51.84</p>	<p>Reducción de la emisión anual de CO₂ de 19.97 Toneladas de CO₂</p>
	<p>Ahorro anual en agua fresca de alimentación: US\$3340.2</p>	
	<p>Ahorro anual en combustible: US\$4301.10</p>	

5.2. EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA PARA EL SISTEMA ELÉCTRICO.

A continuación, se presenta en análisis para la implementación de un sistema fotovoltaico que permita un ahorro energético y económico, así como la producción de energía eléctrica a través de tecnologías menos contaminantes.

A. Situación actual

Laboratorios SalvaMed cuenta con una capacidad instalada de 667.47 m² de espacios libre en su techo donde no cuenta con un sistema fotovoltaico que le ayude a abastecer la necesidad energética que se tiene, específicamente para las iluminarias instaladas en las áreas administrativas el cual tiene un consumo equivalente a 103.3 KW por día presentando un costo en el consumo energético de la empresa.

B. Situación propuesta.

Se propone a la empresa instalar un sistema fotovoltaico en la infraestructura del techo que, al evaluar la incidencia del sol sobre este, se tiene una radiación horizontal global igual a 5.98 kW/m²/día calculado en el capítulo anterior. Dicho sistema le ayuda a la empresa a minimizar los costos de energía eléctrico y al mismo tiempo

optimizar los procesos de generación y consumo de energía en las áreas administrativas.

5.2.1. EVALUACIÓN DE VIABILIDAD TÉCNICA.

Para evaluar si es posible instalar un sistema de paneles solares en el área establecida, se hace el dimensionamiento para la instalación de 66 paneles solares con un área de 1.58 m² cada uno.

$$A_{requerida} = 1.58 \frac{m^2}{panel} \times 66 \text{ paneles}$$

$$A_{requerida} = 104.30 \text{ m}^2$$

El área requerida es técnicamente viable ya que el laboratorio SalvaMed cuenta con un área de techos orientada a 20° hacia el sur igual a 667.47 m². También es importante mencionar que el arreglo seleccionado de 66 paneles solares se obtendría una capacidad de corriente continua de 100.56 KWac, un voltaje directo máximo de 1,300.0 Vdc y la única pérdida que se considera es por sombras

5.2.2. EVALUACIÓN DE VIABILIDAD ECONÓMICA.

Para la evaluación económica se selecciona la tarifa en horario del resto, debido a que el mayor consumo de energía eléctrica se genera en dicho horario. Se toma el costo de la energía eléctrica al mes de febrero 2021 el cual es de US\$0.103699/kWh y un cargo de distribución igual a US\$6.791453/kW*mes, según la distribuidora de electricidad DELSUR para grandes demandas (> 50 KW).

- I. **Los costos por consumo de energía de luminarias de 32 Watts y 18 Watts, se tiene:**

$$C_{energia} = \frac{kWh}{mes} \times \text{tarifa consumo electrico} \frac{US\$}{kWh}$$

$$C_{energia} = 103.312 \frac{kWh}{dia} \times \frac{30 \text{ dias}}{1 \text{ mes}} * 0.103699 \frac{US\$}{kWh}$$

$$C_{energía} = \frac{US\$321.401}{mes}$$

$$C_{energía\ anual} = \frac{US\$321.401}{mes} \times \frac{12\ meses}{1\ año} = \frac{US\$3856.81}{año}$$

II. Costo por demanda de potencia:

$$C_{potencia} = ((169\ luminarias \times 32\ W) + (413\ luminarias \times 18W)) * \frac{1\ kW}{1000W} \\ * 6.791453 \frac{US\$}{kW - mes}$$

$$C_{potencia} = 87.2158 \frac{US\$}{mes}$$

$$C_{potencia} = 87.2158 \frac{US\$}{mes} * \frac{12\ meses}{1\ año} = 1,046.59 \frac{US\$}{año}$$

III. Costo total:

Costo total mensual = Costo por energía + Costo por potencia

$$Costo\ total\ mensual = \frac{US\$321.401}{mes} + 87.2158 \frac{US\$}{mes}$$

$$Costo\ total\ anual = 408.617 \frac{US\$}{mes} * \frac{12\ meses}{1\ año} = 4,903.40 \frac{US\$}{año}$$

IV. Costos de instalación de paneles solares:

$$Costo\ de\ instalacion\ de\ paneles\ solares = 4,801.95 \frac{US\ \$}{kW}$$

El beneficio anual por la implementación de esta recomendación viene dado por la disminución en el costo de energía por la utilización de luminarias de 32 W y 18 W:

$$Beneficio\ anual = 4,903.40 \frac{US\ \$}{año}$$

La inversión en un sistema fotovoltaico es de \$18,900.00/ kW, la potencia para este sistema diseñado será para abastecer 20 kWdc de tal forma que la inversión viene dada de la siguiente manera:

$$Inversion = Costo \text{ en } kW \text{ propuesta} * potencia \text{ electrica } DC$$

$$Inversion = \frac{US \$4,801.95}{kW} * 20 kW$$

$$Inversion = US \$ 96,039.00$$

El periodo de retorno de la inversión es:

$$Periodo \text{ de } retorno = \frac{Inversion \text{ inicial}}{Ahorro \text{ anual}}$$

$$Periodo \text{ de } retorno = \frac{US \$ 96,039.00}{4,903.40 \frac{US \$}{año}}$$

$$Periodo \text{ de } retorno = 19.60 \text{ años}$$

La inversión tendría un periodo de retorno aproximado de 19 años.

5.2.3. EVALUACIÓN DE REDUCCIÓN DDE EMISIONES DE CO₂

Para la reducción de emisiones de CO₂ se considera el factor de emisión de dióxido de carbono según la Comisión interdepartamental de Cambio Climático, 2011 el cual es 0.68 kg de CO₂/kWh, para calcular las toneladas emitidas utilizando la tecnología propuesta:

Emisiones de CO₂ con tecnología actual:

$$Emisiones \text{ actuales} = \frac{kWh}{mes} \times FECO_2$$

$$Emisiones \text{ actuales} = 25.30 \text{ Ton de } CO_2 \text{ no emitidas}$$

Tabla 5.5. Resumen de evaluaciones la implementación de un sistema fotovoltaico.

Viabilidad Técnica	Viabilidad económica	Viabilidad ambiental
Reducción de consumo de energía eléctrica igual a 103.312 kWh/día	Ahorro económico por la implementación del sistema fotovoltaico de: 4,903.40 $\frac{US\$}{año}$	Reducción de emisiones de CO ₂ igual a 25.30 Ton de CO₂ no emitidas al medio ambiente

5.3. EVALUACIÓN ECONÓMICO DEL PROYECTO PROYECCIÓN DE EE ENFOCADAS EN PML.

A continuación, se presenta el cálculo para la proyección económica en cuanto a ahorros e inversión que se obtendrían con la implementación de las recomendaciones de EE enfocadas en PML para los Laboratorios SalvaMed. Cabe destacar que el flujo de caja se realiza para un periodo de 15 años basado en la vida útil de la mayor parte de los equipos recomendados.

La inflación anual acumulada promedio que presento El Salvador para el 2020 según datos del Banco Central de Reserva (BCR) fue de 0.09%. En cuanto a la tasa incremental de costo de energía eléctrica anual para El Salvador según la SIGET es del 13.7%. Para el valor de la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR), se utiliza el criterio para la evaluación de proyectos de energía renovable descrito en el documento del CNE llamado “Plan Maestro para el desarrollo de la energía renovable en El Salvador” definido en la *tabla 5.6*.

Tabla 5.6. Criterios de evaluación de proyectos de EE.

Indicador de rentabilidad	Criterio de evaluación
Valor Actual Neto (VAN) con 10% de la tasa de descuento	Mayor a 0
Tasa interna de Retorno (TIR)	Mayor que 12%

Fuente: CNE, 2012.

Tabla 5.7. Parámetros para el flujo de caja.

Tasa de Inflación	0.09% ¹
Tasa incremental de costo de energía eléctrica anual	13.7% ²
Periodo de proyección	15 años

Fuentes: Adaptado de (1) BCR, 2009. (2) SIGET, 2021.

Por consiguiente, se presenta una tabla resumen (*tabla 5.8*) de los ahorros asociados por la implementación de cada medida propuesta.

Tabla 5.8. Resumen de ahorros por medida propuesta.

Recomendaciones Técnicas	Ahorros Anuales
Instalación de Equipo Medidor de Conductividad.	US\$921.77
Instalación un economizador de gases de chimenea para precalentar el agua suavizada de alimentación a la caldera.	US\$1495.39
Instalación de un tanque de condensados de mayor capacidad.	US\$7693.14
Instalación e implementación de un sistema Solar Fotovoltaico para generar Energía Eléctrica para luminarias de área administrativa.	US\$4903.40

Posteriormente, se presentan a continuación en la *tabla 5.9* los ahorros totales para los 15 años de proyección financiera, y luego en la *tabla 5.10* se muestran los costos totales para los 15 años de proyección financiera.

Para efectuar el cálculo la depreciación anual para los equipos se utilizará el método de la línea recta y un valor de salvamento igual al 10% del costo del equipo (Baca Urbina, 2007).

$$Depreciacion\ anual = \frac{Costo_{Equipo} - Valor\ de\ Salvamento}{Vida\ Util}$$

Es necesario también efectuar el cálculo para la depreciación acumulada con la siguiente ecuación:

$$\text{Depreciacion acumulada}_{\text{año } n} = \text{Depreciacion anual} + \text{Depreciacion acumulada}_{n-1}$$

Para el cálculo del valor en libros se procede de la manera siguiente (paneles solares):

$$\text{Depreciacion anual} = \frac{\$96039 - 9603.9}{20} = \text{US\$4321.76}$$

Por definición, la depreciación acumulada para el año 1, es igual que el valor de la depreciación anual, de tal forma para la depreciación acumulada del año 2 por tanto se tiene:

$$\text{Depreciacion acumulada}_{\text{año } 2} = \$4321.76 + \$4321.76 = \$8643.51$$

El valor en libros para el año 1 es el siguiente:

$$\text{Valor en libros}_{\text{año } 1} = \text{Costo}_{\text{Equipo}} - \text{Depreciacion Acumulada}$$

$$\text{Valor en libros}_{\text{año } 1} = \$96039 - \$4321.76 = \$91714.24$$

Tabla 5.9. Proyección de ahorros por medida propuesta.

AÑO/MEDIDA	Equipo Medidor de Conductividad	Economizador de gases de chimenea	Tanque de condensados de mayor capacidad	Sistema Solar Fotovoltaico	Ahorro Total
1	\$921.77	\$1,495.39	\$7,693.14	\$4,903.40	\$15,013.70
2	\$922.91	\$1,700.26	\$8,747.10	\$5,575.17	\$16,945.43
3	\$924.04	\$1,933.19	\$9,945.45	\$6,338.96	\$19,141.65
4	\$925.18	\$2,198.04	\$11,307.98	\$7,207.40	\$21,638.60
5	\$926.32	\$2,499.17	\$12,857.17	\$8,194.82	\$24,477.48
6	\$927.46	\$2,841.56	\$14,618.61	\$9,317.51	\$27,705.13
7	\$928.59	\$3,230.85	\$16,621.35	\$10,594.00	\$31,374.80
8	\$929.73	\$3,673.48	\$18,898.48	\$12,045.38	\$35,547.07
9	\$930.87	\$4,176.75	\$21,487.57	\$13,695.60	\$40,290.78
10	\$932.00	\$4,748.96	\$24,431.37	\$15,571.90	\$45,684.23
11	\$933.14	\$5,399.57	\$27,778.47	\$17,705.25	\$51,816.42
12	\$934.28	\$6,139.31	\$31,584.12	\$20,130.86	\$58,788.57
13	\$935.41	\$6,980.40	\$35,911.14	\$22,888.79	\$66,715.74
14	\$936.55	\$7,936.71	\$40,830.97	\$26,024.56	\$75,728.79
15	\$937.69	\$9,024.04	\$46,424.81	\$29,589.92	\$85,976.46

Tabla 5.10. Proyección de costos por medida propuesta.

AÑO/MEDIDA	Equipo Medidor de Conductividad	Economizador de gases de chimenea	Tanque de condensados de mayor capacidad	Sistema Solar Fotovoltaico	Costos totales
1	\$92.18	\$149.54	\$796.31	\$490.34	\$1,528.37
2	\$92.26	\$149.67	\$797.03	\$490.78	\$1,529.75
3	\$92.34	\$149.81	\$797.75	\$491.22	\$1,531.12
4	\$92.43	\$149.94	\$798.47	\$491.67	\$1,532.50
5	\$92.51	\$150.08	\$799.18	\$492.11	\$1,533.88
6	\$92.59	\$150.21	\$799.90	\$492.55	\$1,535.26
7	\$92.68	\$150.35	\$800.62	\$492.99	\$1,536.64
8	\$92.76	\$150.48	\$801.34	\$493.44	\$1,538.02
9	\$92.84	\$150.62	\$802.07	\$493.88	\$1,539.41
10	\$92.93	\$150.75	\$802.79	\$494.33	\$1,540.79
11	\$93.01	\$150.89	\$803.51	\$494.77	\$1,542.18
12	\$93.09	\$151.03	\$804.23	\$495.22	\$1,543.57
13	\$93.18	\$151.16	\$804.96	\$495.66	\$1,544.96
14	\$93.26	\$151.30	\$805.68	\$496.11	\$1,546.35
15	\$93.35	\$151.43	\$806.41	\$496.55	\$1,547.74

Hay que tomar en cuenta que, para los equipos como el economizador de gases de chimenea, el tanque de retorno de condensa y el equipo medidor de conductividad, no presentan valor de recuperación al año 15 porque su vida útil termina junto con el periodo de tiempo de la proyección en estudio.

En la *tabla 5.11* se presenta la hoja de cálculo de la depreciación por el método de línea recta, así como el resumen de cálculo del valor en libros.

Tabla 5.11. Depreciación y valor en libros por el método de línea recta.

Tabla de Depreciación: Método de Línea Recta			
Equipo: Paneles Fotovoltaicos			
Valor	\$96,039.00		
Vida Útil	20 años		
Valor de Salvamento	\$9,603.00		
Depreciación Anual	\$4,321.76		
Año	Depreciación	Depreciación Acumulada	Valor en Libros
1	\$4,321.76	\$4,321.76	\$91,717.24
2	\$4,321.76	\$8,643.52	\$87,395.48
3	\$4,321.76	\$12,965.28	\$83,073.72
Año	Depreciación	Depreciación Acumulada	Valor en Libros
4	\$4,321.76	\$17,287.04	\$78,751.96
5	\$4,321.76	\$21,608.80	\$74,430.20
6	\$4,321.76	\$25,930.56	\$70,108.44
7	\$4,321.76	\$30,252.32	\$65,786.68
8	\$4,321.76	\$34,574.08	\$61,464.92
9	\$4,321.76	\$38,895.84	\$57,143.16
10	\$4,321.76	\$43,217.60	\$52,821.40
11	\$4,321.76	\$47,539.36	\$48,499.64
12	\$4,321.76	\$51,861.12	\$44,177.88
13	\$4,321.76	\$56,182.88	\$39,856.12
14	\$4,321.76	\$60,504.64	\$35,534.36
15	\$4,321.76	\$64,826.40	\$31,212.60
16	\$4,321.76	\$69,148.16	\$26,890.84
17	\$4,321.76	\$73,469.92	\$22,569.08
18	\$4,321.76	\$77,791.68	\$18,247.32
19	\$4,321.76	\$82,113.44	\$13,925.56
20	\$4,321.76	\$86,435.20	\$9,603.80

5.3.1. PROYECCIÓN SIN FINANCIAMIENTO BANCARIO.

En este apartado se presenta el flujo de caja de efectivo para el proyecto sin financiamiento bancario.

Para facilitar el cálculo se hizo uso de las funciones VAN (Valor Actual Neto) y TIR (Tasa Interna de Retorno) de Microsoft Excel, lo cual se entiende para la VAN como la acción de trasladar al presente el flujo de caja anual, esto nos permite posteriormente conocer el valor de la TIR la cual indica la rentabilidad del proyecto.

El flujo de caja de efectivo da a conocer las variaciones económicas en el periodo de 15 años establecidos para el proyecto, como se presentan en la *tabla 4.12*.

Del flujo de caja se obtiene una VAN de \$75881.26 y una TIR del 17%, por lo cual tomando como punto de comparación los criterios para evaluar un proyecto de energía renovable del propuestos por el CNE en su documento “Plan Maestro para el desarrollo de la energía renovable en El Salvador” definidos en la *tabla 2.13* se puede concluir al comparar la TMAR la cual es del 12% según los criterios antes mencionados, se puede decir que el proyecto es factible económicamente.

Los beneficios totales por la implementación de las recomendaciones técnicas recomendadas para los Laboratorios SalvaMed se presentan en la *tabla 5.13* para el sistema de generación de vapor y *tabla 5.14* para el sistema eléctrico, en la cual se puede observar que el valor total del beneficio por la implementación de las medidas recomendadas es del 10.35% del costo anual actual por la compra de combustible, es decir US\$ 6718.26 en galones de combustible diésel anuales.

Tabla 5.12. Flujo de caja de Efectivo para Proyecto sin financiamiento bancario.

	Concepto/año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
(+)	Ahorros		\$15,013.70	\$16,945.43	\$19,141.65	\$21,638.60	\$24,477.48	\$27,705.13	\$31,374.80	\$35,547.07	\$40,290.78	\$45,684.23	\$51,816.42	\$58,788.57	\$66,715.74	\$75,728.79	\$85,976.46
(-)	Costos		\$1,528.37	\$1,529.75	\$1,531.12	\$1,532.50	\$1,533.88	\$1,535.26	\$1,536.64	\$1,538.02	\$1,539.41	\$1,540.79	\$1,542.18	\$1,543.57	\$1,544.96	\$1,546.35	\$1,547.74
(=)	Flujo de Caja Operativo antes de impuesto y depreciación		\$13,485.33	\$15,415.69	\$17,610.53	\$20,106.10	\$22,943.60	\$26,169.87	\$29,838.16	\$34,009.05	\$38,751.38	\$44,143.44	\$50,274.24	\$57,245.00	\$65,170.79	\$74,182.44	\$84,428.72
(-)	Depreciación		\$7,835.93	\$7,835.93	\$7,835.93	\$7,835.93	\$7,835.93	\$7,835.93	\$7,835.93	\$7,835.93	\$7,835.93	\$7,835.93	\$7,835.93	\$7,835.93	\$7,835.93	\$7,835.93	\$7,835.93
(=)	Utilidad Bruta		\$5,649.40	\$7,579.76	\$9,774.60	\$12,270.17	\$15,107.67	\$18,333.94	\$22,002.23	\$26,173.12	\$30,915.45	\$36,307.51	\$42,438.31	\$49,409.07	\$57,334.86	\$66,346.51	\$76,592.79
(-)	ISR (30%)		\$1,694.82	\$2,273.93	\$2,932.38	\$3,681.05	\$4,532.30	\$5,500.18	\$6,600.67	\$7,851.94	\$9,274.63	\$10,892.25	\$12,731.49	\$14,822.72	\$17,200.46	\$19,903.95	\$22,977.84
(=)	Utilidad Neta		\$3,954.58	\$5,305.83	\$6,842.22	\$8,589.12	\$10,575.37	\$12,833.76	\$15,401.56	\$18,321.18	\$21,640.81	\$25,415.25	\$29,706.82	\$34,586.35	\$40,134.40	\$46,442.56	\$53,614.95
(+)	Depreciación		\$7,835.93	\$7,835.93	\$7,835.93	\$7,835.93	\$7,835.93	\$7,835.93	\$7,835.93	\$7,835.93	\$7,835.93	\$7,835.93	\$7,835.93	\$7,835.93	\$7,835.93	\$7,835.93	\$7,835.93
(+)	Valor de Rescate																\$31,212.60
(=)	Flujo de Caja Neto		\$11,790.51	\$13,141.76	\$14,678.15	\$16,425.05	\$18,411.30	\$20,669.69	\$23,237.49	\$26,157.11	\$29,476.74	\$33,251.18	\$37,542.75	\$42,422.28	\$47,970.33	\$54,278.49	\$92,663.48
	Detalle de Inversiones																
(-)	Optimización de Purgas	\$3,300.00															
(-)	Economizador de gases	\$10,000.00															
(-)	Tanque de Condensados	\$8,200.00															
(-)	Sistema Fotovoltaico	\$96,039.00															
(=)	Flujo de Caja Neto Incremental	\$117,539.00	\$11,790.51	\$13,141.76	\$14,678.15	\$16,425.05	\$18,411.30	\$20,669.69	\$23,237.49	\$26,157.11	\$29,476.74	\$33,251.18	\$37,542.75	\$42,422.28	\$47,970.33	\$54,278.49	\$92,663.48
	Factor de descuento		0.909	0.826	0.751	0.683	0.621	0.564	0.513	0.467	0.424	0.386	0.350	0.319	0.290	0.263	0.239
	Flujos descontados		\$10,718.65	\$10,860.96	\$11,027.91	\$11,218.53	\$11,431.97	\$11,667.50	\$11,924.51	\$12,202.49	\$12,501.02	\$12,819.77	\$13,158.50	\$13,517.05	\$13,895.30	\$14,293.22	\$22,182.90
	Flujo acumulado		-\$106,820.35	-\$95,959.40	-\$84,931.48	-\$73,712.95	-\$62,280.98	-\$50,613.49	-\$38,688.98	-\$26,486.49	-\$13,985.48	-\$1,165.71	\$11,992.80	\$25,509.84	\$39,405.14	\$53,698.36	\$75,881.26

Tabla 5.13. Beneficios totales por implementación de propuestas de mejora para el sistema de generación de vapor de Laboratorios SalvaMed.

PROPUESTAS	BENEFICIO ECONÓMICO	REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO₂	% DE AHORRO EN COSTOS DE RECURSOS RESPECTO AL COSTO ACTUAL DE LOS RECURSOS	INDICADORES ECONÓMICOS PARA EL PROYECTO.
Instalación de Equipo medidor de conductividad	US\$921.77 anuales ahorrados en consumo de Diesel	6.904 toneladas de CO ₂ no emitidas	1.42%	VAN igual a \$75881.26 TIR igual al 17%
Instalación de un Economizador de gases para calentar agua suavizada.	US\$1495.39 anuales ahorrados en consumo de Diesel	4.67 Toneladas de CO ₂ no emitidas	2.30%	
Instalación de un tanque de condensado de mayor capacidad	US\$4301.10 anuales ahorrados en consumo de Diesel	19.97 Toneladas de CO ₂ no emitidas	6.62%	
		%Total de Ahorros	10.35%	

Tabla 5.14 Beneficios totales por implementación de propuestas de mejora para el sistema eléctrico de Laboratorios SalvaMed.

PROPUESTAS	BENEFICIO ECONÓMICO	REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO ₂	% DE AHORRO EN COSTOS DE RECURSOS RESPECTO AL COSTO ACTUAL DE LOS RECURSOS	INDICADORES ECONÓMICOS PARA EL PROYECTO.
Instalación de un sistema de paneles solares para suministrar energía eléctrica al sistema de luminarias	US\$4903.40 en costos de energía eléctrica	25.30 toneladas de CO ₂ no emitidas al año	1.21%	VAN igual a \$75881.26 TIR igual al 17%

5.4. GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS DE USO Y MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA DE VAPOR.

En este apartado se desarrollará una guía en base a los resultados obtenidos durante la presente investigación, la cual tiene como propósito brindar a los responsables encargados del área térmica herramientas que les permitan mejoras en los procesos que involucran el funcionamiento del sistema generador de vapor en Laboratorios SalvaMed, con el objetivo de disminuir el consumo energético, como puede ser la utilización de economizadores para gases de chimenea, optimización de los quemadores, optimización de purgas, el tratamiento de agua de alimentación hacia la caldera y las tareas de mantenimiento.

5.4.1. GENERALIDADES.

Técnicamente, puede definirse una caldera de vapor, de acuerdo con la terminología vigente, como todo aparato a presión en donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en utilizable, en forma de calorías, a través de un medio de transporte, en este caso, vapor de agua.

Las calderas se clasifican según diferentes criterios relacionados con la disposición de los fluidos y su circulación, el mecanismo de transmisión de calor dominante, el tipo de combustible empleado, la presión de trabajo, el tiro, entre otros.

La caldera en laboratorios SalvaMed es una caldera del tipo pirotubular. En este tipo de calderas, los gases de combustión circulan por el interior de los tubos y son sumergidos en agua dentro de un casco. Por su diseño tienen un gran volumen de agua, dicho volumen de agua les permite adaptarse mejor a las variaciones de la instalación.

Las principales ventajas de estas calderas son:

- a) Requieren bajo costo de inversión y son menos costosas que las peritubulares.
- b) Alcanzan elevadas eficiencias (>80%)
- c) Pueden absorber grandes y súbitas fluctuaciones de carga con ligeras variaciones de presión debido al gran volumen de agua contenido en el casco.

5.4.1.1. COMPONENTES FUNDAMENTALES DE CALDERAS PIROTUBULARES.

Debido a que cada caldera dispone dependiendo del tipo de partes características, es muy difícil atribuir a todas ellas un determinado componente. Por lo que se mencionaran las partes principales de una caldera en forma general. En la *figura 5.1* se aprecian los componentes generales de una caldera.



Figura 5.1. Componentes principales de una caldera.

Fuente: Estructplan Consultora S.A., 2011.

- I. Hogar:** Es una cámara donde se efectúa la combustión. Sus dimensiones y geometría se adaptan a la velocidad de liberación de calor, al tipo de combustible y al método de combustión, de tal manera que se haga lo posible por tener una combustión completa y se proporcione un medio apropiado para eliminar ceniza.
- II. Puerta del hogar:** Es una pieza metálica, abisagrada, revestida generalmente en su interior con ladrillo refractario o de doble pared, por donde se alimenta de combustible sólido al hogar y se hacen las operaciones de control de fuego (Becerra Castro y Maldonado Sepúlveda, 2016).



Figura 5.2. Puerta del hogar de una caldera.

Fuente: Estructplan Consultora S.A., 2011.

- III. Cuerpo:** Compuesto de un cilindro de acero herméticamente cerrado expuesto a la acción de los gases y cuyos elementos principales son: cámara de agua, cámara de vapor, superficie de calefacción y superficie de vaporización.

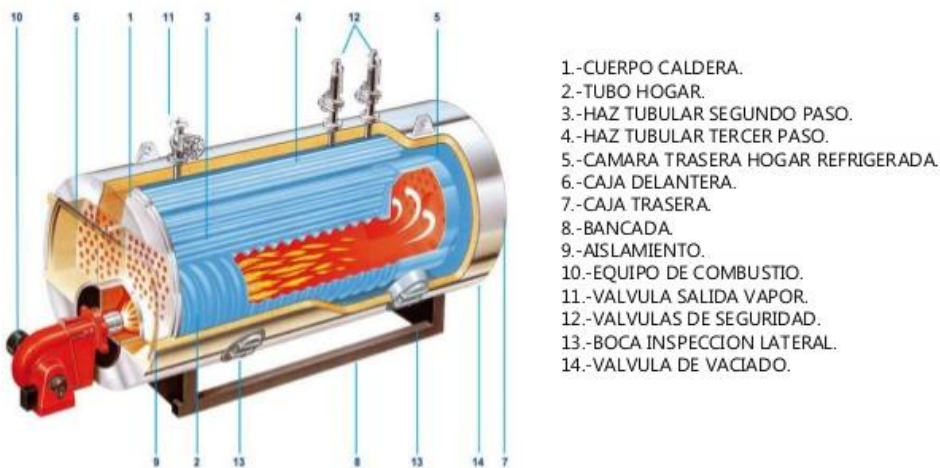


Figura 5.3. Cuerpo de una caldera.

Fuente: SOGECAL, 2019.

- IV. Cámara de agua:** Espacio ocupado por el agua hasta el nivel de trabajo, teniendo un volumen 'n' de alimentación dado por los niveles máximo y mínimo de operación.

- V. Cámara de vapor:** Espacio ocupado por el vapor. Se aumenta este en ocasiones por medio de un domo o cúpula llamado también colector de vapor.
- VI. Conducto de Humos:** Todos aquellos elementos que conducen los productos de la combustión desde el hogar hasta la base de la chimenea.
- VII. Tiro:** Depresión que contribuye al paso de los gases a través de la caldera, puede ser natural, producido por la chimenea y el artificial producido por medios mecánicos, que a su vez se subdivide en tiro forzado (con sopladores) y tiro inducido (con aspiradores).
- VIII. Chimenea:** Conductor destinado a evacuar los productos de la combustión a la atmosfera a una altura suficiente.
- IX. Quemador:** Los quemadores son los equipos donde se realiza la combustión, razón por la cual deben contener los tres lados del triángulo de combustión, es decir que tienen que lograr la mezcla intima del combustible con el aire y además proporcionar la energía de activación.
- X. Ventilador:** Unidad que provee aire en el volumen y la presión adecuada para la combustión.
- XI. Sistema de ignición:** Por medio de un transformador de alto voltaje produce la chispa en los electrodos para iniciar la combustión.
- XII. Control de Llama:** Una célula fotoeléctrica detecta la existencia de la llama y en su defecto corta el combustible y apaga la Caldera.
- XIII. Bomba de Combustible:** Provee la presión necesaria para llevar el combustible hasta las boquillas del quemador.
- XIV. Purga de fondo:** Evacuación de lodos y concentrado en el fondo de la caldera, por ejemplo: residuos sólidos provenientes de agua “dura”.
- XV. Purga de superficie:** Evacuación de solidos disueltos desde el nivel de agua de la caldera.

5.4.2. OPERACIÓN EFICIENTE DE LA CALDERA

Existen diferentes medidas para incrementar y mantener la eficiencia energética de una caldera en niveles óptimos, que permiten lograr ahorros, reducir costos operativos y las emisiones de gases al ambiente.

Existen medidas que son parte del mantenimiento preventivo y la operación normal de las calderas (lo que se denomina “buenas prácticas de gestión”), y el costo de su implementación es parte del costo operativo de las calderas; asimismo, si no se implementan o se hacen deficientemente ocurre que las calderas trabajan con eficiencias bajas o simplemente no pueden trabajar ya sea por mal funcionamiento de algún componente o por cuestiones de seguridad (riesgos).

Existen otras medidas que constituyen opciones de mejora de eficiencia de las calderas que normalmente no vienen incorporadas en las unidades cuando se adquieren, dado que requieren una mayor inversión, que resulta muchas veces justificable, aunque ello no se analiza por lo común al momento de adquirirse una caldera.

5.4.2.1. MEDIDAS DE BUENAS PRÁCTICAS DE GESTIÓN

A continuación, se hace una breve descripción de las medidas que son parte del mantenimiento y operación normal en las calderas, algunas de las cuales no implican ninguna inversión.

- a) **Ajustar el exceso de aire.** Consiste en ajustar el flujo de aire en el quemador hasta conseguir un nivel de oxígeno de 3,5 a 4% en el gas de chimenea, sin que se produzcan demasiado inquemados (monóxido de carbono, hollín) en los productos de combustión. El ajuste se realiza en todo el rango de modulación del quemador posicionando el mecanismo de regulación aire-combustible del quemador (varillas y leva) que lleva toda caldera, observando la apariencia de los humos, es decir la presencia de hollín (ajuste grueso) o mediante análisis de gases de chimenea (ajuste fino) que da mejores resultados.
- b) **Ajustar temperatura y presión de inyección del combustible al quemador.** Consiste en trabajar con los parámetros de operación óptimos indicados

por el manual de la caldera, ajustados en campo según la calidad del combustible. Ello ayuda a una combustión eficiente.

- c) Ajustar el tiro (presión dentro del hogar).** Se consigue posicionando el damper de la chimenea hasta conseguir una presión que permita una buena combustión y llama de forma adecuada.
- d) Reducir la presión de vapor al mínimo posible.** Consiste en ajustar el límite máximo de presión de trabajo en el presóstato de la caldera, que permita tener un vapor a la temperatura y presión conveniente en los usuarios, sin necesidad de generarlo a demasiada presión consumiendo mayor energía.
- e) Mantener en buen estado componentes del sistema de combustión.** Consiste en realizar un mantenimiento preventivo adecuado a la bomba, calentador de combustible (caso de residuales), válvula moduladora, leva, quemador (especialmente la boquilla de atomización), cono refractario, difusor, etc. El buen funcionamiento de estos componentes asegura una buena combustión con bajos niveles de exceso de aire y una alta eficiencia de la caldera.
- f) Mantener en buen estado la instrumentación y controles.** Consiste en tener operativos los manómetros, termómetros, reguladores de presión y flujo de combustible para garantizar una buena combustión en el quemador.
- g) Mantener en buen estado los refractarios y aislamiento,** para evitar las pérdidas de calor por paredes.
- h) Limpiar tubos en el lado de los gases y agua.** Consiste en deshollinar los tubos en el lado de los gases o eliminar depósitos de sales en el lado del agua. Ello permite mejorar la transmisión de calor gases-agua e incrementar la eficiencia de las calderas.
- i) Cambiar tubos cuando sea necesario.** Consiste en cambiar los tubos deteriorados que usualmente se les cierra para que no pase el agua, reduciendo el área de transmisión de calor y la eficiencia de la caldera.

Se estima que estas medidas son muy importantes, en tal sentido deben ser realizadas de forma adecuada por todos los usuarios de calderas, ya que el mal uso de estas provocaría eficiencias bajas, aun siendo nuevas o medianamente nuevas.

Se considera de manera general que la deficiencia más común en las calderas es la falta de mantenimiento adecuado de los componentes del sistema de combustión (especialmente el quemador y controles), lo que obliga a los operadores a usar más exceso de aire del normal para evitar tener demasiado hollín en chimenea, reduciendo así la eficiencia de la caldera.

5.4.3. MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA DE VAPOR.

La implementación de un mantenimiento preventivo y las operaciones asociadas a él serán las principales acciones para evitar riesgos que conlleven a un mal funcionamiento o una falta de prestación de servicio de las calderas.

El mantenimiento preventivo es de carácter y actuación continua, y debe estar destinado a:

- a) Optimizar los procesos productivos y la producción.
- b) Reducir los costes directos e indirectos ocasionados por fallas o paradas.
- c) Conseguir la máxima vida útil de la caldera y los equipos asociados a ella.

5.4.3.1. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE COMBUSTIÓN.

A continuación, se dan algunas recomendaciones sobre buenas prácticas de mantenimiento de calderas, orientados a la obtención de condiciones óptimas de combustión y eficiencia.

I. BOMBAS.

- a) Sellos: evitar fugas, verificar temperatura de trabajo.
- b) Engranajes: chequear tolerancias, desgaste.
- c) Fajas: revisar tensión, desgaste.

II. FILTROS.

- a) Verificar limpieza.
- b) Verificar buen estado.

III. VÁLVULA MODULADORA DE COMBUSTIBLE.

- a) Eliminar fugas.
- b) Chequear fuelles, diafragmas, etc.
- c) Chequear leva moduladora: alineación, pines, etc.

IV. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL. REVISAR:

- a) Manómetros.
- b) Válvulas de control de presión y caudal.
- c) Programador.
- d) Modutrol.
- e) Presuretroles.

V. VENTILADOR DE AIRE.

- a) Limpiar la malla de entrada de aire y el rotor del ventilador.
- b) Inspeccionar si los prisioneros están apretados.
- c) Verificar si las fajas están flojas y cambiarlas si se notan gastadas.
- d) Engrasar rodamientos del ventilador y del motor.

VI. QUEMADOR.

- a) Retirar el conjunto del quemador: difusores y cañón, desármelo y límpielo perfectamente.
- b) Limpiar regularmente las toberas con solventes. Cambiarlas cada tres años como máximo.
- c) Inspeccione las puntas de los electrodos y ajústelas cuando sea necesario.
- d) Mantener limpia la fotocelda.
- e) Mantener limpio y en buen estado el difusor de aire, esto garantiza una buena mezcla aire-combustible.
- f) Mantener en buen estado el cono refractario.

VII. COMPRESOR DE AIRE.

- a) Limpiar el filtro de aire cuando menos mensualmente con un solvente y llenar el depósito con aceite a su nivel adecuado,
- b) Lubricar permanentemente paletas y rotor.

VIII. TUBOS.

- a) La limpieza de tubos es fundamental para lograr una buena transmisión de calor y alta eficiencia de la caldera.

A la hora de realizar la conducción de la caldera, el operador u operadores deberán tener en cuenta las recomendaciones propuestas en base al estado actual del sistema de vapor, así como del resto de equipos que acompañan y están asociados a su funcionamiento; en este último sentido y en particular, del mantenimiento y vigilancia del tratamiento del agua de aporte a la caldera y del agua en el interior de la caldera.

Tabla 5.15. Rutina de mantenimiento diaria.

ACTIVIDAD	CUMPLE	NO CUMPLE	OBSERVACIÓN
Monitoreo del equipo de tratamiento del agua de aporte y dosificación de aditivos, reponiendo los reactivos en cantidad suficiente para disponer de una autonomía adecuada.			
Monitoreo de la temperatura de gases en chimenea (200-200°C)			
Monitoreo de temperatura de ida y retorno en calderas de agua caliente (71-80°C)			
Si hay retorno de condensados, comprobar que estos últimos llegan a la sala de calderas libres de contaminación.			
Comprobar el correcto funcionamiento de los indicadores de niveles ópticos.			
Efectuar purgas de los indicadores ópticos de nivel, lodos, botellines de nivel.			
Monitoreo de la temperatura de aportación de agua. (30°C)			

Fuente: Adaptado de Consejería de Economía y Hacienda, 2013.

Tabla 5.16. Rutina de mantenimiento semanal.

ACTIVIDAD	CUMPLE	NO CUMPLE	OBSERVACIÓN
Tomar y analizar muestras del agua contenida en el interior de la caldera (Salinidad, Dureza, PH, Contenido O ₂ ., Aspecto)			
Comprobar el correcto funcionamiento de automatismos involucrados en la cadena de seguridades del conjunto caldera-quemador.			
Limpiar filtros, fotocélula y electrodos de encendido del quemador en caso de utilizar combustibles líquidos.			
Proceder al cierre y apertura de todas las válvulas manuales que están asociadas a la caldera, comprobando que funcionen correctamente.			
Comprobar el correcto funcionamiento de termómetros, termostatos, manómetros.			
Pruebas de funcionamiento de equipos y accesorios del quemador.			
Prueba de funcionamiento del paro con el interruptor de emergencia.			
Prueba de buen funcionamiento de bombas de circulación o alimentación de agua.			

Fuente: Adaptado de Consejería de Economía y Hacienda, 2013.

Tabla 5.17. Rutina de mantenimiento mensual. Pruebas de funcionamiento de equipos y accesorios del quemador.

ACTIVIDAD	CUMPLE	NO CUMPLE	OBSERVACIÓN
Elementos de mando combinación aire-combustible.			
Dispositivos de cierre de combustible.			
Indicador de presión de combustible.			
Dispositivo de cierre de seguridad del combustible.			
Equipo de control de estanqueidad en caso de utilizar gas.			
Sistema de control de llama.			

Fuente: Adaptado de Consejería de Economía y Hacienda, 2013.

Tabla 5.18. Rutina de mantenimiento mensual. Prueba de funcionamiento del paro con el interruptor de emergencia.

ACTIVIDAD	CUMPLE	NO CUMPLE	OBSERVACIÓN
Prueba de buen funcionamiento de bombas de circulación o alimentación de agua			
Verificar el buen funcionamiento de elementos del cuadro eléctrico de maniobra y control: automatismos y seguridad.			
Análisis de gases y ajuste de la combustión, si es necesario.			

Fuente: Adaptado de Consejería de Economía y Hacienda, 2013.

Tabla 5.19. Rutina de mantenimiento semestral.

ACTIVIDAD	CUMPLE	NO CUMPLE	OBSERVACIÓN
En caso de utilizar combustibles líquidos, proceder a la limpieza de tubos de humos, eliminando hollines			
Comprobar el estado de las partes que tienen refractario, como la boca de acoplamiento del quemador, tapón de registro y acceso al hogar.			

Fuente: Adaptado de Consejería de Economía y Hacienda, 2013.

Tabla 5.20. Rutina de mantenimiento anual.

ACTIVIDAD	CUMPLE	NO CUMPLE	OBSERVACIÓN
Inspección en frío, caldera parada, procediendo a la apertura de todos los registros en el lado agua y gases.			
Proceder a la limpieza del lado agua eliminando incrustaciones y sedimentos. Prestar especial atención a los lugares donde se ubican la detección de nivel en calderas de vapor.			
Inspeccionar el estado de la caldera respecto a la aparición de corrosiones y evaluar si el tratamiento de agua que se ha aplicado es correcto o mejorable.			
Realizar una limpieza exhaustiva, eliminando hollines.			

Continúa

Tabla 5.20. Rutina de mantenimiento anual. (Continuación)

ACTIVIDAD	CUMPLE	NO CUMPLE	OBSERVACIÓN
Comprobar el estado de los elementos de seguridad que actúan sobre la presión, temperatura y nivel.			
Comprobar el estado de las uniones soldadas entre tubos de humo y hogar con las placas delantera y trasera.			
Realizar una medición de espesores por ultrasonidos en las partes que conforman el cuerpo a presión de la caldera.			
Proceder a la sustitución de juntas de los registros o elementos desmontados, limpiando o rectificando los asientos en caso de ser necesario.			
Una vez realizadas las operaciones anteriores, proceder a una prueba de presión en frío.			
Posteriormente, realizar una prueba de funcionamiento con quemador en marcha, forzando el disparo y actuación de los equipos de seguridad.			
Complementar el libro de Registro de Usuario, anotando todas las actuaciones realizadas, las anomalías o buen funcionamiento observados y las medidas correctoras que se han aplicado, si han sido necesarias.			

Fuente: Adaptado de Consejería de Economía y Hacienda, 2013.

CONCLUSIONES

1. De acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación de la viabilidad técnica y económica, se concluye que, al realizar las propuestas de mejora en el sistema térmico se obtiene un ahorro económico asociado al consumo de combustible diésel, igual a US \$6,718.26 al año. De esta forma se lograrían disminuir los costos operativos de Laboratorios SalvaMed para disponer de estos ahorros en nuevos proyectos de eficiencia energética.
2. Con base al análisis de viabilidad ambiental, al implementar las medidas propuestas para el área térmica, se dejarían de emitir al medio ambiente un total de 31.544 Ton de CO₂ al año, de manera que al compararlo con las emisiones del año 2019 las cuales fueron de 286.880 Ton de CO₂ emitido al medio ambiente, se obtendría una disminución de CO₂ del 11% respecto año en estudio.
3. De acuerdo al análisis de viabilidad técnica y económica para la instalación de un sistema fotovoltaico en laboratorios SalvaMed, se concluye que, al implementarse esta propuesta, presenta ahorros económicos de US \$4,903.40 al año y genera una potencia eléctrica de 103.31 KW/h capaz de abastecer las áreas en estudio de Laboratorios SalvaMed proveniente de tecnologías menos contaminantes para el medio ambiente.
4. Los resultados para el estudio de viabilidad en Laboratorios SalvaMed, indican que la instalación de paneles solares es capaz de generar una potencia máxima de 20 kW, obteniendo así un ahorro de US \$4,903.40 al año en la factura eléctrica, donde el costo promedio para el año 2019 fue de US \$ 33,812.21, obteniendo un ahorro económico aproximado del 14.50% por consumo de energía eléctrica, es importante mencionar que se debe tener en cuenta que este porcentaje puede variar en función de los precios anuales para la facturación de energía eléctrica en el país.

5. Tomando como base los resultados obtenidos en el estudio de viabilidad técnica, para la instalación de un tanque de condensado de mayor capacidad se estima un aumento de retorno de condensado del 25% a un 31.25%, el cual generaría una disminución en el consumo de agua de alimentación a la caldera de 1,058.94 m³/año equivalente a US \$3,340.20 al año. De esta forma se lograrían disminuir los costos operativos de Laboratorios SalvaMed y reducir el consumo de agua en sus procesos para la generación de energía, siendo este un recurso esencial para la vida del ser humano.

6. Los resultados obtenidos al evaluar la factibilidad económica del proyecto, indican que al implementar las medidas de eficiencia energética recomendadas se obtendría un valor positivo para el valor actual neto (VAN) igual a US \$ 75,881.26, el cual se interpreta como un ahorro estimado que se obtendría al implementar las propuestas y también este valor indica que el proyecto es viable económicamente con una tasa interna de retorno (TIR) equivalente a un 17% para el año 2019.

RECOMENDACIONES

1. De acuerdo con los resultados obtenidos en el desarrollo de este trabajo se recomienda la implementación y puesta en marcha de las siguientes propuestas técnicas presentadas a continuación:
 - a) Guía de buenas prácticas y mantenimiento para la caldera con la finalidad de disminuir los mantenimientos correctivos y consumo energético, así como mejorar la eficiencia de los quemadores y purgas.
 - b) Instalación de un conductímetro en el área de la caldera para el monitoreo de la concentración de sólidos disueltos en la caldera, que permita un mejor control para la realización de las purgas.
 - c) Instalación de un economizador de gases de chimenea, con el propósito de aprovechar el calor perdido en los gases de combustión para calentar el agua de alimentación a la caldera y así mejorar la eficiencia del sistema de vapor.
 - d) Instalación de un tanque de condensado de mayor capacidad, con la finalidad de ahorrar productos químicos para el tratamiento del agua de alimentación y así disminuir el consumo de combustible debido a la reducción de las purgas necesaria para mantener un nivel adecuado de sólidos disueltos en la caldera.

Con el objeto, de obtener beneficios: Técnicos, económicos y disminuciones en las emisiones de CO₂ al medio ambiente en Laboratorios SalvaMed.

2. Es importante dar seguimiento y continuidad al estudio presentado de EE enfocado en PML para las áreas seleccionadas, específicamente para el área de caldera, así también ampliar y/o aplicar este tipo de investigación al resto de áreas de la empresa haciendo uso de la metodología establecida en este trabajo para poder identificar qué áreas generan un consumo energético elevado dentro de las instalaciones de Laboratorios SalvaMed. Por ejemplo, una oportunidad de mejora sería aplicar una auditoría energética (AE) al área de producción, donde se puede identificar nuevos potenciales de ahorro energético.
3. Para una mayor eficacia en los resultados de ahorros energéticos se recomienda realizar capacitaciones en materia de EE y PML para una revisión continua de los procesos dirigido al personal de Laboratorios SalvaMed. Con la finalidad de buscar un impacto positivo que permita el crecimiento profesional de las personas involucradas y para mejorar la toma de decisiones en temas de EE para los diferentes procesos que se llevan a cabo dentro de la empresa. Generando así conocimientos técnicos que faciliten mejorar los procesos de producción para que estos sean menos contaminantes con el medio ambiente, y que se tengan mejores resultados en los productos y servicios de la empresa.
4. Se recomienda a Laboratorios SalvaMed, hacer una buena gestión, protección y conservación del sistema hídrico, debido a que durante el desarrollo de esta investigación, en el mes de junio de 2021, el gobierno presentó al órgano legislativo, un anteproyecto de ley general de recursos hídricos, siendo este un factor a tomar en cuenta para priorizar la puesta en marcha de las propuestas establecidas en este trabajo de investigación, principalmente para la implementación de un tanque de retorno de condensado de mayor capacidad, que tiene como finalidad obtener ahorros en el consumo de agua fresca de alimentación a la caldera, siendo este recurso un bien común, finito y esencial para la vida del ser humano.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo García, J. I., y Meléndez González, J. A. (Septiembre de 2011). Importancia de la tecnología para el desarrollo de las pequeñas y medianas empresas del sector industrial área farmacéutica de San Salvador. (Trabajo de Grado). Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Económicas. San Salvador, El Salvador. Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/1021/>
- AChEE. (Marzo de 2015). *Agencia Chilena de Eficiencia Energética. Guía para Calificación de Consultores en Eficiencia Energética. Santiago de Chile*. Obtenido de http://old.acee.cl/577/articles-62222_recurso_2.pdf
- Avilés, S. B., López, N. V., y Soto, J. G. (2012). “*Desarrollo de propuestas técnicas de producción más limpia, enfocadas en los requerimientos energéticos del hospital nacional de maternidad*”. San Salvador: Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura.
- Asociación Salvadoreña de Industriales (ASI). (Noviembre de 2011). *Gerencia de energía*. Obtenido de <https://cutt.ly/yWqW0Oq>
- Baca Urbina, G. (2007). *Fundamentos de Ingeniería Económica. Cuarta Edición*. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana de México.
- Balcells, J. (2016). *Eficiencia en el uso de la energía eléctrica*. México: Alfaomega, Marcombo.
- BCR. (Diciembre de 2009). *Banco Central de Reserva de El Salvador. Índice de Precios al consumidor (IPC) e Índice de inflación*. Obtenido de <https://www.bcr.gob.sv/bcrsite/?cdr=123>
- Becerra Castro, F. F., y Maldonado Sepúlveda, E. E. (2016). *Plan de mantenimiento y certificación de calderas según nuevo decreto 10. (Trabajo de Grado)*. Universidad Técnica Federico Santa María. Sede Viña del Mar José Miguel Carrera. España. Obtenido de <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/40757>
- BID. (2011). *Banco Interamericano de Desarrollo. Proyecto de Eficiencia Energética. Metodología de Eficiencia Energética en la Industria. Ministerio de Economía de la República de El Salvador*. Obtenido de <http://estadisticas.cne.gob.sv/>
- Blair, N., Dobos, A. P., Freeman, J., Neises, T., & Wagner, M. (Febrero de 2014). *System Advisor Model, SAM 2014.1.14: General Description. National Renewable Energy Laboratory, NREL*. Obtenido de <https://www.nrel.gov/docs/fy14osti/61019.pdf>
- Cansino, J. M. (29 de Septiembre de 2020). *El reto de la eficiencia energética en Europa y el riesgo del efecto rebote*. Obtenido de Revista Iberoamericana de Filosofía, Política, Humanidades y Relaciones Intercionales: <https://revistascientificas.us.es/>

- Castillo Hernández, P., Mendoza Domínguez, A., y Caballero Mata, P. (Julio de 2012). Análisis de las propiedades fisicoquímicas de gasolina y diesel mexicanos reformulados con Etanol. *Ingeniería Investigación y Tecnología. Tecnológico de Monterrey. Ciudad de México, Volumen XIII* (Número 3). Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/235924556>
- CNE. (2010). *Consejo Nacional de Energía de El Salvador. Política Energética Nacional de El Salvador 2010-2024*. Obtenido de <https://www.transparencia.gob.sv/institutions/cne/documents/6273/download>
- CNE. (2012). *Consejo Nacional de Energía de El Salvador. Resumen de Documento Plan Maestro para el Desarrollo de la Energía Renovable de El Salvador*. (D. d. CNE, Ed.) Obtenido de http://estadisticas.cne.gob.sv/wp-content/uploads/2017/02/Resumen_Plan_Maestro.pdf
- CNE. (Diciembre de 2014). *Consejo Nacional de Energía de El Salvador. Dirección de Combustibles. Inventario y caracterización de calderas en El Salvador*. Obtenido de <http://estadisticas.cne.gob.sv/wp-content/uploads/2017/08/inventario-de-calderas-el-salvador-.pdf>
- CNE. (Abril de 2015). *Consejo Nacional de Energía de El Salvador. Revista El Salvador Ahorra Energía*. Obtenido de <http://estadisticas.cne.gob.sv/wp-content/uploads/2017/09/revista-el-salvador-ahorra-energa-primera-edicin.pdf>
- CNE. (Agosto de 2017). *Consejo Nacional de Energía de El Salvador. Revista El Salvador Ahorra Energía. Eficiencia Térmica en la Industria*. Obtenido de <http://estadisticas.cne.gob.sv/wp-content/uploads/2017/09/revista-el-salvador-ahorra-energa-septima-edicin.pdf>
- CNE. (2018). *Consejo Nacional de Energía de El Salvador. Rendición de Cuentas Junio 2017- Mayo 2018*. Obtenido de <https://www.transparencia.gob.sv/institutions/cne/documents/261707/download>
- CNE. (2020). *Consejo Nacional de Energía de El Salvador. Eficiencia Energética*. Obtenido de <https://www.cne.gob.sv/tema/eficiencia-energetica/>
- CNPML. (24 de Febrero de 2019). *Centro Nacional de Producción Más Limpia de El Salvador. Conceptos básicos de P+L*. Obtenido de <http://cnpml.org.sv/2019/02/24/conceptos-basicos-de-pl/>
- Comisión Interdepartamental del Cambio Climático. (Marzo de 2011). *Guía Práctica para el Cálculo de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Generalitat de Catalunya. Oficina Catalana del Canvi Climàtic. Catalunya. España*. Obtenido de <http://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=MCRST234ZI97531&id=97531>
- 1
- Consejería de Economía y Hacienda. (2013). *Guía Básica de calderas industriales Eficientes. Dirección General de Industria, Energía y Minas. Comunidad de Madrid, Madrid, España*. Obtenido de <https://www.fenercom.com/publicacion/guia-basica-de-calderas-industriales-eficientes-2013/>

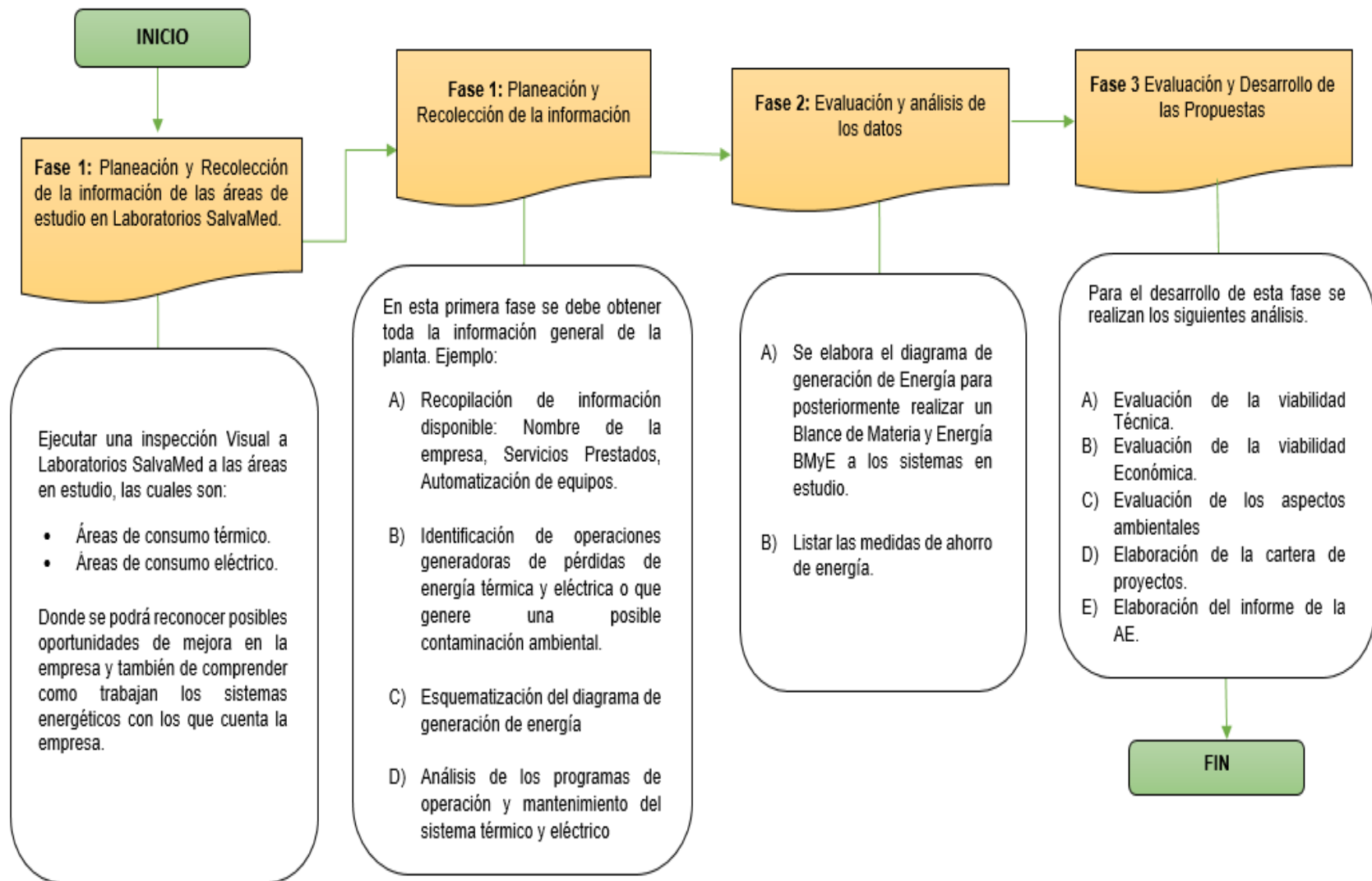
- DHM. (Diciembre de 2019). *Dirección de Hidrocarburos y Minas. Precios de referencia al público de diésel y gasolinas por zona en estación de servicio (U.S. \$ / Galón). Ministerio de Economía. República de El Salvador.* Obtenido de <https://www.edrhym.gob.sv/drhm/estadisticas.aspx?uid=3>
- De la Cruz, J., Porta, M., y Buser, C. (2018). *Producción más limpia en el sector de productos.* San Salvador: MARN.
- Direct Industry. (2020). *Caldera de vapor Cleaver-Brooks.* Obtenido de <https://www.directindustry.es/prod/cleaver-brooks/product-22050-1045373.html>
- DNM. (7 de Octubre de 2020). *Dirección Nacional de Medicamentos. Listado de Laboratorios Farmacéuticos Certificados BPM OMS 32.* Obtenido de <https://www.medicamentos.gob.sv/index.php/es/servicios-m/listados/>
- Estrucplan Consultora S.A. (24 de Noviembre de 2011). *Partes principales que componen una caldera.* Obtenido de <https://estrucplan.com.ar/partes-principales-que-componen-una-caldera/>
- Fernández Díez, P. (2008). *Biblioteca sobre Ingeniería Energética. Centrales Térmicas. Capítulo 20: Economizadores y calentadores de aire.* Obtenido de <https://pfernandezdiez.es/es/libro?id=15>
- GAIA Finanzas y Marketing. (4 de Marzo de 2020). *Matriz de Riesgos [EJEMPLO].* Obtenido de <https://www.gaiaservicios.com/gestion-de-riesgos/matriz-de-riesgos-ejemplo/>
- García Córdova, G. E., García de Hernández, D. A., y Valladares Henríquez, S. C. (Julio de 2016). Plan de auditoría interna basada en riesgos que conlleve a verificar el cumplimiento del sistema de gestión de calidad para la industria farmacéutica que han adoptado la Norma ISO 9001. (Trabajo de Grado). Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Económicas. San Salvador, El Salvador. Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/11982/>
- Hernández Parada, E. E. (2016). *Decisiones de inversión en proyectos de energía. (Trabajo para Título de Maestría).* Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Económicas. San Salvador, El Salvador. Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/12888/>
- Himmelblau, D. M. (1997). *Principios básicos y cálculos en ingeniería química. Sexta Edición.* México: PEARSON Prentice-Hall Hispanoamericana S.A.
- Howell, J. R., y Buckius, R. O. (1990). *Principios de termodinámica para ingenieros. Primera Edición.* México: McGraw-Hill Interamericana de México S.A. de C.V.
- IFC. (2015). *International Finance Corporation, World Bank Group. Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants. A Project Developer's Guide.* Obtenido de <https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/>

- INECC. (Diciembre de 2014). *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México. Coordinación General de Cambio Climático y Desarrollo Bajo en Carbono, México, D.F.* Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110131/CGCCDBC_2014_FE_tipos_combustibles_fosiles.pdf
- INQUIFAR. (2019). *Asociación de Industriales Químico-Farmacéuticos de El Salvador. Sexto Informe Sectorial. Una Industria Saludable para El Salvador.* Obtenido de <https://es.calameo.com/read/0056806816b69037f3695>
- Laboratorios SalvaMed. (2019-2020). *Manuales Técnicos. Registros del departamento técnico y de mantenimiento de Laboratorios SalvaMed.* San Salvador, El Salvador.
- MAG. (Septiembre de 2020). *Ministerio de Agricultura y Ganadería. Informe diario de precios de productos agropecuarios. Dirección General de Economía Agropecuaria. Gobierno de El Salvador.* Obtenido de <https://www.mag.gob.sv/direccion-general-de-economia-agropecuaria/estadisticas-agropecuarias/informe-diario-de-precios-de-productos-agropecuarios/>
- MARN. (18 de Mayo de 2004). *Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ramo de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Diario Oficial Tomo N° 363. Gobierno de El Salvador.* Obtenido de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/els49926.pdf>
- NSO 13.11.02. (2007). *Norma Salvadoreña Obligatoria. Emisiones atmosféricas. Fuentes fijas puntuales.* Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). El Salvador.
- ONUDI. (Junio de 2008). *Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial. Introducción a la producción mas limpia.* Obtenido de <https://www.unido.org/>
- OptimaGrid. (2013). *Buenas prácticas para el ahorro de energía en la empresa.* Universidad de San Jorge, Escuela de Ingeniería Informática. Sevilla, España. Obtenido de <https://4.interreg-sudoe.eu/>
- Osorio Rivas, J. B., y Sibrián Sánchez, K. A. (Septiembre de 2019). *Inversión en investigación y desarrollo (I+D) y competitividad: Una aplicación del modelo de Michael Porter al sector farmacéutico en El Salvador, período 2005 - 2017. (Trabajo de Grado).* Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Económicas. San Salvador, El Salvador. Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/20422/>
- SAM. (2020). *System Advisor Model [Software]. N° de versión 2020.2.29. Windows.* Washington DC, United States: National Renewable Energy Laboratory (NREL).
- SIGET. (9 de Febrero de 2021). *Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones. Pliego tarifario del suministro de energía eléctrica al consumidor final, período del 15 de octubre de 2020 al 14 de enero de 2021. Gobierno de El Salvador.* Obtenido de <https://www.siget.gob.sv/>

- Smith, J. M., Van Ness, H. C., y Abbott, M. M. (2007). *Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química. Séptima Edición*. México, D.F.: Mc-Graw Hill Interamericana.
- SOGECAL. (2019). *Soluciones industriales en calderas de vapor y generadores térmicos. Caldera pirotubular*. Obtenido de <https://sogecal.com/servicios/caldera-pirotubular-fabricantes-instaladores-calderas-industriales-vapor/>
- Spirax-Sarco. (2018). *Catalogo general de servicios y productos. Soluciones para todas las industrias*. Santiago, Chile. Obtenido de <https://content.spiraxsarco.com/>
- Spirax-Sarco. (2020). *Tecnologías para la recuperación de condensado en sistemas industriales de vapor*. Obtenido de <https://vaporparalaindustria.com/ebook-gratuito-tecnologias-para-la-recuperacion-de-condensado/>
- Stanleigh, M. (17 de Marzo de 2011). *Business Improvement Architects. Risk Management...the What, Why, and How*. Obtenido de <https://bia.ca/risk-management-the-what-why-and-how/>

ANEXOS

ANEXO I. Fases de la metodología de eficiencia energética aplicada a laboratorios SalvaMed.



ANEXO II. Plan de mantenimiento vigente en Laboratorios SalvaMed.

MAQUINA O EQUIPO:		CALDERA			
MARCA:	YORK CHIPLEY	MODELO:	CBH-100-50	SERIE:	L-63630
DEPARTAMENTO:		FACILIDADES			
PROGRAMADO (semana No.):		COMPLETADO (semana No.):		FECHA:	

MENSUAL:

1. Verificación de funcionamiento de válvula de seguridad
2. Verificación de fugas en empaques de puerta
3. Verificación de fugas de vapor en suministro de vapor
4. Verificación del tubo de visor de nivel de agua
5. Revisión del sistema de alimentación de voltaje (motor turbina)
6. Revisión del sistema de alimentación de combustible
7. Verificación de limpieza de las boquillas de combustión
8. Limpieza general del área
9. Verificación de funcionamiento mecánico de levas de cambio de ciclo
10. Verificación de filtro de diesel, limpiar si es necesario

✓

ANUAL:

1. Revisión general
2. Verificación de empaques de tortuga
3. Limpieza general lado de agua
4. Limpieza general lado de fuego
5. Limpieza general de la chimenea
6. Verificación interna del macdonnel
7. Limpieza exterior de la maquina
8. Prueba hidrostática
9. Verificación de funcionamiento de los presutrol

✓

MAQUINA O EQUIPO:		RED DE DISTRIBUCION VAPOR			
MARCA:		MODELO:		SERIE:	
DEPARTAMENTO:		FACILIDADES			
PROGRAMADO (semana No.):		COMPLETADO (semana No.):		FECHA:	

TRIMESTRAL:

1. Verificación completa de fugas en tuberías
2. Verificación de soportería de las tuberías
3. Verificación de fugas en válvulas
4. Verificación de estado de aislamiento

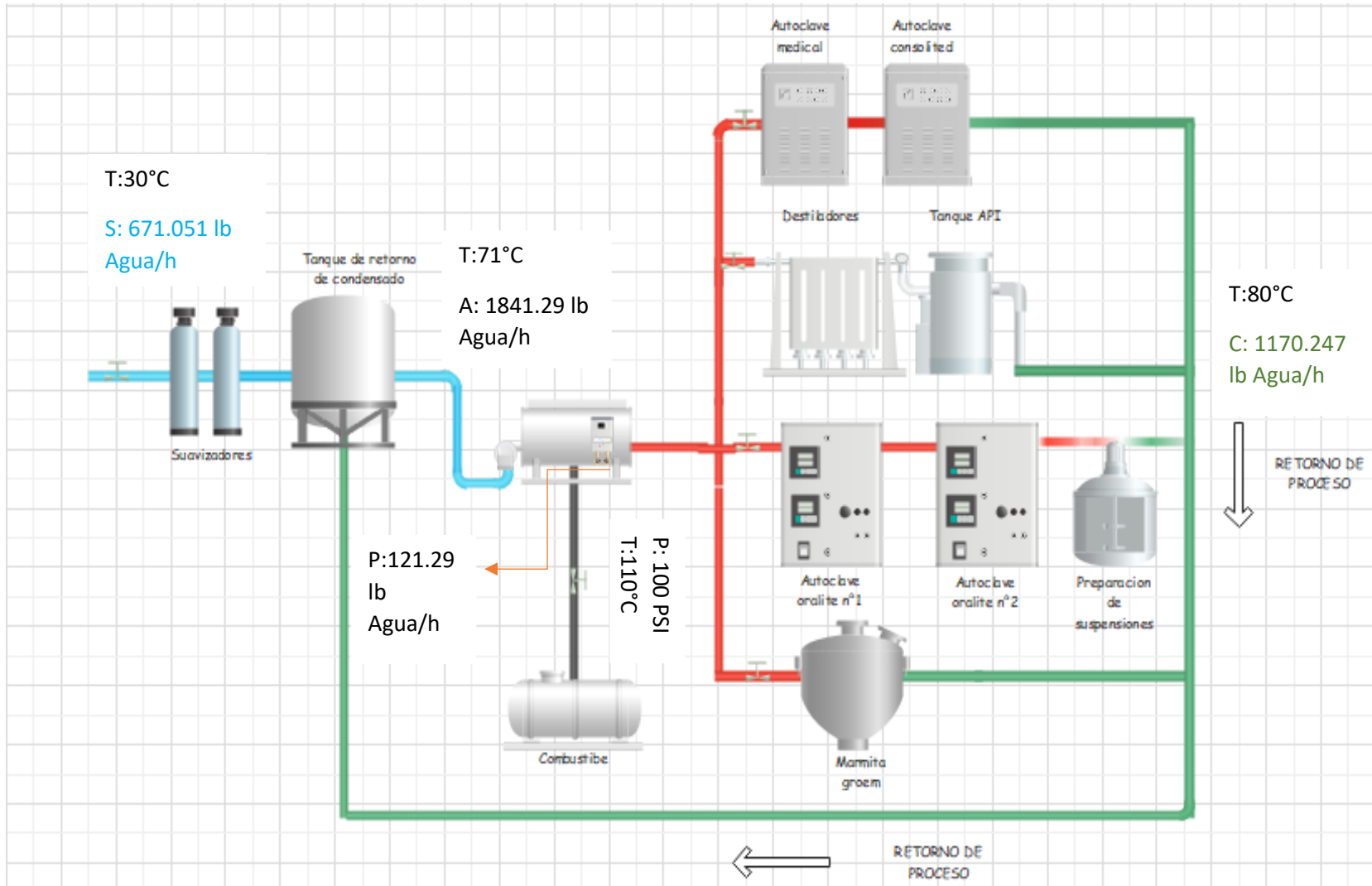
✓

⇒ Registrar este Check List en la bitácora de la Caldera. Pagina No.: _____

--

OBSERVACIONES:

ANEXO III. Valor de cada corriente del sistema de generación de vapor.



ANEXO IV. Precios de referencia al público de diésel y gasolina por zona en estación de servicio en el año 2019.

Ministerio de Economía

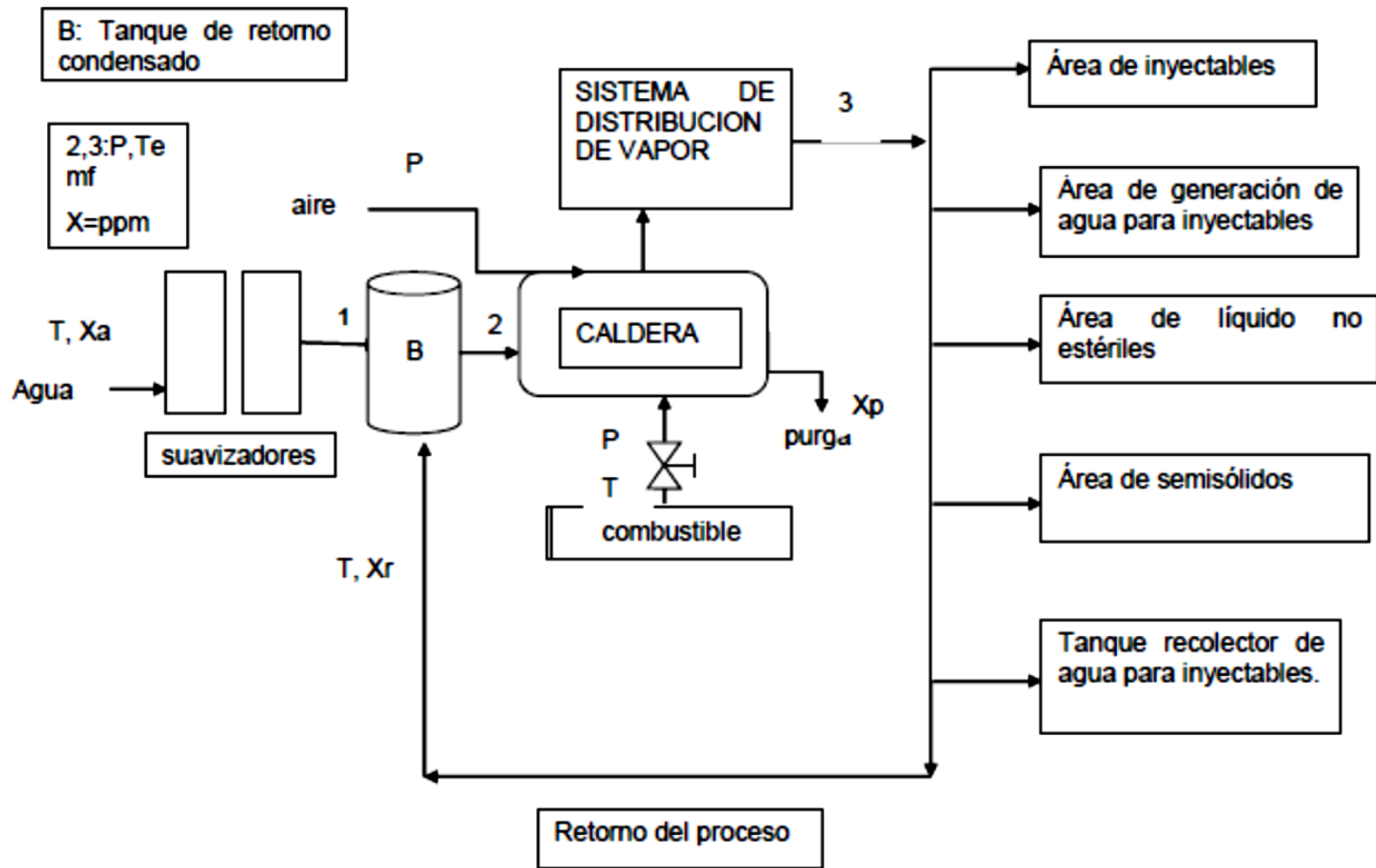
Dirección de Hidrocarburos y Minas

**Precios de referencia al público de diésel y gasolinas por zona en estación de servicio
(U.S. \$ / Galón)**

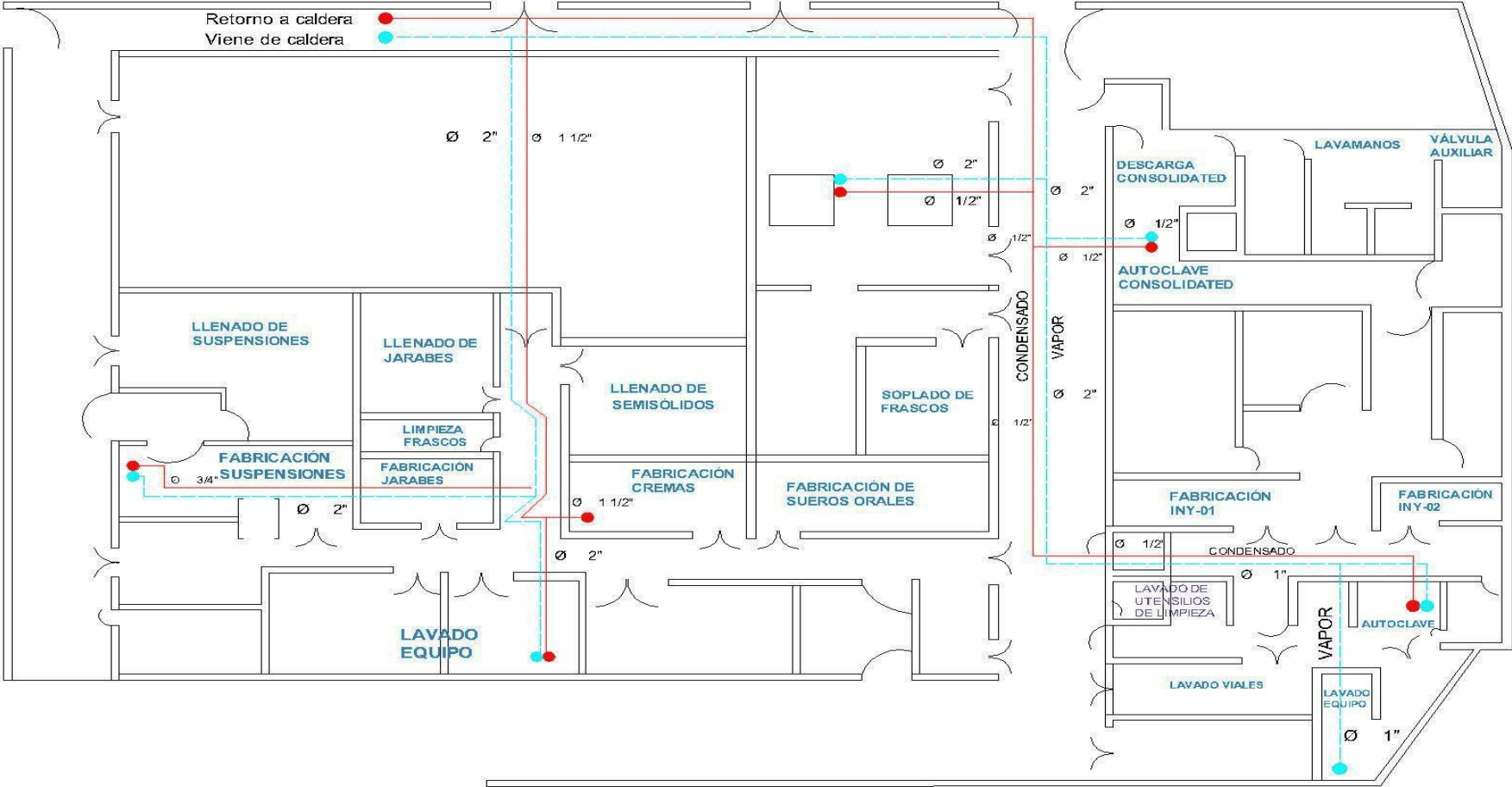
PERÍODO		DIESEL			DIESEL BAJO EN AZUFRE			GASOLINA REGULAR			GASOLINA ESPECIAL		
2019		CENTRAL	OCCIDENTAL	ORIENTAL	CENTRAL	OCCIDENTAL	ORIENTAL	CENTRAL	OCCIDENTAL	ORIENTAL	CENTRAL	OCCIDENTAL	ORIENTAL
1/1/2019	14/1/2019	2.78	2.79	2.83	2.82	2.83	2.86	2.78	2.79	2.83	2.97	2.98	3.01
15/1/2019	28/1/2019	2.77	2.78	2.82	2.80	2.81	2.84	2.74	2.74	2.78	2.93	2.94	2.97
29/1/2019	11/2/2019	2.84	2.86	2.90	2.90	2.91	2.94	2.78	2.78	2.82	3.00	3.01	3.04
12/2/2019	25/2/2019	2.91	2.93	2.96	2.97	2.98	3.01	2.81	2.82	2.86	3.05	3.06	3.09
26/2/2019	11/3/2019	2.97	2.99	3.03	3.02	3.03	3.07	2.89	2.90	2.93	3.13	3.14	3.17
12/3/2019	25/3/2019	3.05	3.06	3.10	3.08	3.09	3.13	3.04	3.05	3.09	3.28	3.29	3.32
26/3/2019	8/4/2019	3.05	3.06	3.10	3.09	3.10	3.14	3.22	3.23	3.26	3.49	3.50	3.53
9/4/2019	22/4/2019	3.05	3.06	3.09	3.09	3.10	3.13	3.36	3.36	3.40	3.64	3.65	3.68
23/4/2019	6/5/2019	3.08	3.09	3.13	3.14	3.14	3.18	3.44	3.45	3.48	3.71	3.72	3.75
7/5/2019	20/5/2019				3.19	3.19	3.23	3.49	3.50	3.54	3.73	3.73	3.77
21/5/2019	3/6/2019				3.18	3.19	3.23	3.42	3.43	3.46	3.63	3.64	3.68
4/6/2019	17/6/2019				3.13	3.14	3.17	3.34	3.35	3.39	3.54	3.55	3.59
18/6/2019	1/7/2019				2.98	2.99	3.02	3.21	3.22	3.25	3.43	3.44	3.48
2/7/2019	15/7/2019				2.93	2.94	2.97	3.16	3.17	3.20	3.41	3.42	3.46
16/7/2019	29/7/2019				2.99	3.00	3.04	3.29	3.29	3.33	3.57	3.58	3.62
30/7/2019	12/8/2019				3.00	3.00	3.04	3.31	3.32	3.36	3.61	3.62	3.66
13/8/2019	26/8/2019				2.95	2.96	3.00	3.21	3.22	3.25	3.48	3.49	3.52
27/8/2019	9/9/2019				2.92	2.93	2.96	3.12	3.13	3.16	3.35	3.36	3.39
10/9/2019	23/9/2019				2.92	2.93	2.96	3.06	3.07	3.10	3.27	3.28	3.32
24/9/2019	7/10/2019				2.99	3.00	3.04	3.09	3.10	3.14	3.31	3.32	3.35
8/10/2019	21/10/2019				3.03	3.04	3.08	3.11	3.11	3.15	3.36	3.37	3.40
22/10/2019	4/11/2019				3.01	3.02	3.06	3.08	3.09	3.12	3.37	3.38	3.41
5/11/2019	18/11/2019				3.00	3.01	3.04	3.06	3.07	3.11	3.33	3.34	3.38
19/11/2019	2/12/2019				2.97	2.98	3.01	3.06	3.06	3.10	3.30	3.31	3.34
3/12/2019	16/12/2019				2.96	2.97	3.00	3.07	3.08	3.11	3.30	3.31	3.34
17/12/2019	30/12/2019				2.97	2.98	3.01	3.04	3.05	3.09	3.26	3.27	3.30
31/12/2019	13/1/2020				3.03	3.04	3.07	3.07	3.08	3.11	3.28	3.29	3.32

Nota: El combustible diésel no presenta cambios en los precios a partir del periodo de 04-2019 al 1-2020.

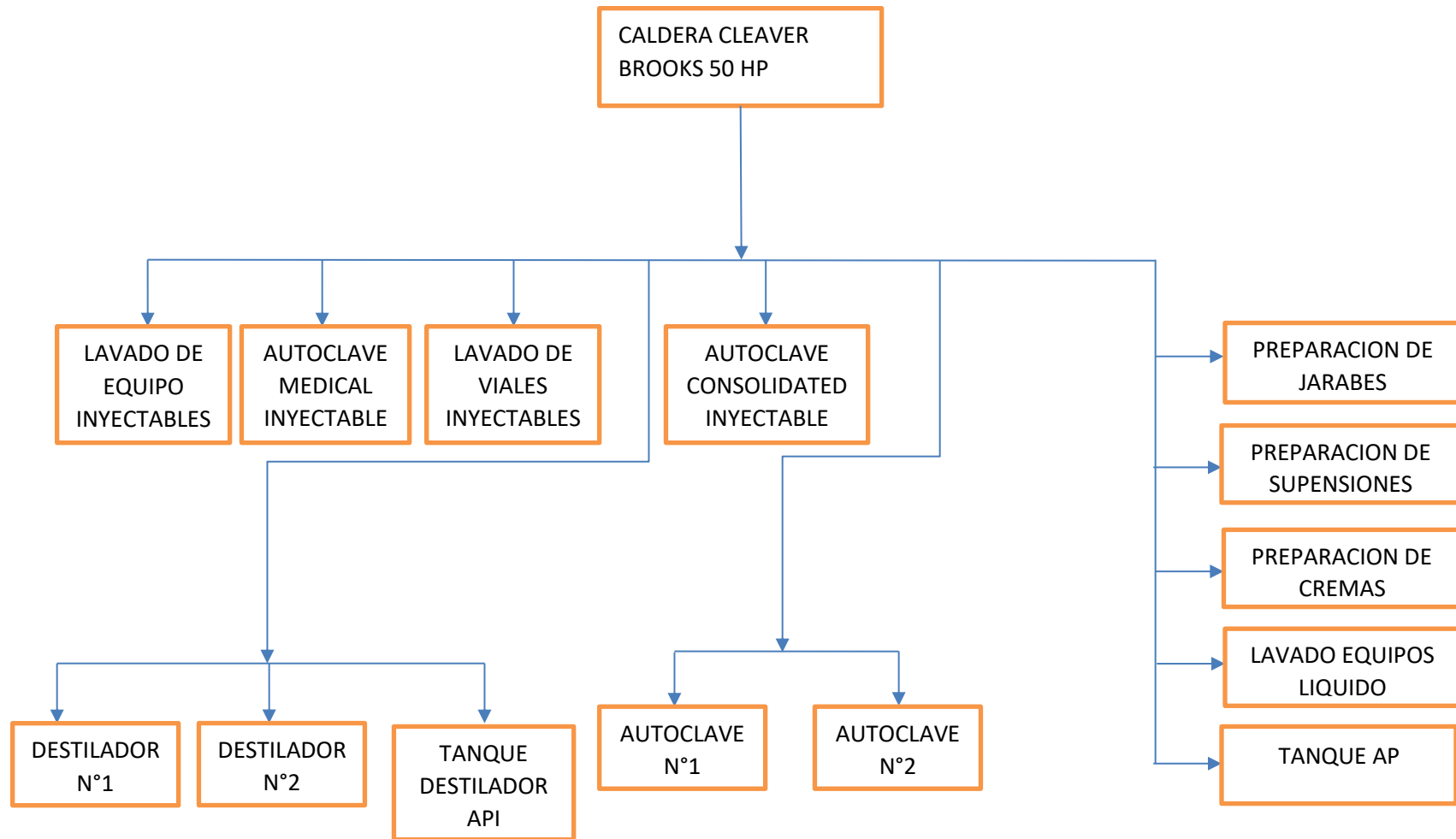
ANEXO V. Diagrama del sistema de generación de vapor por la caldera de 50 BHP.



ANEXO VI. Plano de puntos de uso del sistema de distribución de vapor y retorno de condensado.



ANEXO VII. Diagrama de flujo de distribución de vapor.



ANEXO VIII. Consolidado de iluminarias instaladas en laboratorios SalvaMed.

Consolidado de iluminarias instaladas en laboratorios SalvaMed - áreas administrativas y de servicios															
Localización	Luminaria				Lámparas									Personal 2019	
	Tipo	Potencia (watts)		Cantidad	Tipo	Potencia (watts)						Total	hrs		
		32W	18W			1*32W	1*18W	2*18W	3*18W	4*18W	2*32W				4*32W
Área de administrativa															
Marcador - entrada a recepción	Foco	4		4	fluorescente	4							4	8	
Recepción + escaleras	Tubo	16		16	fluorescente						4		4	8	
Área de promociones, ventas, diagnósticos	Tubo		60	60	LED					15			15	8	19
Departamento de: contabilidad, costos, cobros y finanzas	Tubo		40	40	LED					10			10	8	9
Sala de Reuniones 1	Tubo	8		8	fluorescente						2		2	8	
Sala de Reuniones 2 (finanzas)	Tubo	8		8	fluorescente						4		4		
Capital Humano	Tubo		12	12	LED					3			3	8	6
Bodega dept. de cont., cost., cobr y finaz.	Tubo		8	8	LED					2			2	8	
Pastillo al comedor	Tubo	10		10	fluorescente						5			8	
Oficina de Investigación y desarrollo	Tubo	12		12	fluorescente					3			3	8	8
Pastillo microbiología	Tubo		4	4	LED	4							4	8	

ANEXO VIII. Consolidado de iluminarias instaladas en laboratorios SalvaMed. (Continuación)

Área de microbiología														
Incubación y Lectura	tubo		6	6	LED				2				2	8
Oficina de microbiología	tubo		4	4	LED			2					1	8
Preparación de medio de cultivo	tubo		6	6	LED				2				2	8
Lavado 1	tubo		3	3	LED				1				1	8
Lavado 2	tubo		3	3	LED				1				1	8
Pasillo a oficina de microbiología	tubo		6	6	LED				2				2	8
Pasillo para siembra microbianas	tubo		3	3	LED				1				1	8
Esclusa de Cepas	foco		2	2	LED		2						1	8
Siembra	foco		8	8	LED		8						8	8
Esclusa 1 microbiología	foco		1	1	LED		1						1	8
Esclusa 2 microbiología	foco		1	1	LED		1						1	8
Esclusa 3 microbiología	foco		1	1	LED		1						1	8
Esterilidad	tubo		6	6	LED				1				1	8
Esclusa Procedimientos (PEOS)	tubo		3	3	LED				1				1	8
Esclusa de entrada a microbiología	tubo		3	3	LED				1				1	8
Pasillo Laboratorio Físicoquímico	tubo		8	8	LED			4					4	8

ANEXO VIII. Consolidado de iluminarias instaladas en laboratorios SalvaMed. (Continuación)

Control de calidad + Investigación y desarrollo.														
Laboratorio Físicoquímico (luz blanca)	tubo		12	12	LED					4			4	8
Laboratorio Físicoquímico (luz amarilla)	tubo	12		12	fluorescente							4	4	8
Área de lavado de cristalería en lab. Físicoquímico	tubo			3	LED	3							3	8
Laboratorio de investigación y desarrollo	tubo		6	6	LED					3			3	8
Laboratorio de formulación	tubo	12		12	fluorescente						4		4	8
Pasillo control de Calidad	tubo	8		8	fluorescente							4	4	8
Oficina de control de calidad - Inspección y muestreo	tubo	24		24	fluorescente							6	6	8
Gerencia de Calidad	tubo	8		8	fluorescente					2			2	8
Oficina de garantía de calidad	tubo	32		32	fluorescente							8	8	8
Registro Sanitario	tubo		16	16	LED					4			4	8
Oficina de regencia - vigilancia farmacéutica	tubo		16	16	LED					4			4	8
Sala de reunión de control de calidad	tubo		4	4	LED					1			1	8
Gradas pasillo control de calidad	foco	1		1	fluorescente	1							1	8
Pasillo planificación	tubo		28	28	LED					7			7	8

ANEXO VIII. Consolidado de iluminarias instaladas en laboratorios SalvaMed. (Continuación)

Control de calidad + Investigación y desarrollo.																
Gerencia de producción	tubo		8	8	LED						2			2	8	10
Compras	tubo		16	16	LED						4			4	8	3
Planificación	tubo		8	8	LED						4			4	8	4
Informática	tubo		16	16	LED						4			4	8	4
Seguridad Patrimonial	tubo		6	6	LED				2					2	8	13
Bodega de materias primas 1	tubo		24	24	LED						6			6	8	
pasillo bodega de materias primas 2	tubo		3	3	fluorescente	3								3	8	
Pasillo de exclusas de entrada de materiales	foco		8	8	LED		8							8	8	
pasillo a esclusa de hombres	tubo	4		4	LED							2		2	8	
Mantenimiento	tubo		20	20	LED						5			5	8	15
Oficina de mantenimiento	tubo		16	16	LED						4			4	8	
Bodega de materia prima 2	tubo		18	18	LED						6			6	8	5
Bodega de materiales	tubo	10		10	LED							5		5	8	6

ANEXO IX. Proyectos e investigaciones realizadas en base al software System Advisor Model (SAM).

PROYECTO 1

Nombre del proyecto	Propuesta de diseño de integración/aplicación de la tecnología solar fotovoltaica en base al system advisor model (SAM) en edificios residenciales en altura de la ciudad de San Juan
Director/Codirector	Dr. Arq. Alción Alonso Frank.
Año	2019
Unidad ejecutora	IRPHa – Instituto Regional de Planeamiento del Hábitat
Fuente	Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (FAUD), Universidad Nacional de San Juan (UNSJ)
Sitio de Consulta	Secretaría de Investigación y Creación FAUD. Página Web: https://cutt.ly/gmtCBrD
Resumen	La presente investigación propone realizar un diseño holístico a nivel de integración/aplicación de la tecnología solar fotovoltaica en una serie de edificios residenciales en altura de la Ciudad de San Juan, Argentina. Dichos edificios serán elegidos de manera que sirvan de modelo para, a futuro, replicar la propuesta en otros de similares características. Para ello, se propone hacer uso del software libre System Advisor Model (SAM) versión 2018.11.11 que posibilita llevar a cabo el cálculo de la instalación, como así el análisis económico de la misma, considerado este último de elevada importancia dado el contexto socio-económico actual.

ANEXO X. Proyectos e investigaciones realizadas en base al software System Advisor Model (SAM).

PROYECTO 2

Nombre del proyecto	Optimización de parámetros de diseño de una planta solar de concentración para generación eléctrica considerando distintos escenarios de despacho.
Director/Codirector	Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas. Departamento de ingeniería mecánica.
Año	2018
Unidad ejecutora	Departamento de ingeniería mecánica de la Universidad de Chile
Fuente	Trabajo de investigación. (Tesis). Para optar a título de ingeniería civil mecánica. (Catalina Arlette Bravo Inostroza) Docente asesor: Ing. José Cardemil Iglesias.
Sitio de Consulta	Repositorio de la Universidad de Chile. Página Web: WEB: https://cutt.ly/HmtVyCB
Resumen	En este trabajo se analizan las configuraciones de variables de diseño como el múltiplo solar y las horas de almacenamiento de energía térmica tales que puedan producir un máximo de los ingresos de una planta generadora de energía eléctrica de tipo solar. Para realizar este análisis, se desarrollan los modelos matemáticos que representan los escenarios de despacho, para ingresarlos como datos de entrada al software System Advisor Model, en donde se simula el comportamiento de la planta. Luego, se desarrolla el modelo de optimización de maximización de ingresos para finalizar calculando el valor actual neto y la tasa interna de retorno como indicadores de rentabilidad, y el costo nivelado de energía como indicador de competitividad económica. Los resultados muestran que existen fuertes diferencias en rentabilidad entre los tres tipos analizados en el programa.

ANEXO XI. Proyectos e investigaciones realizadas en base al software System Advisor Model (SAM).

PROYECTO 3

Nombre del proyecto	Evaluación de la contribución de los bonos de carbono a la competitividad de las centrales solares de concentración en Chile
Director/Codirector	Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas. Departamento de ingeniería mecánica.
AÑO	2018
Sitio de Consulta	Página: https://cutt.ly/rmtVWBC
Resumen	<p>En Chile el 68% de la energía eléctrica consumida es generada por centrales térmicas accionadas por combustibles fósiles, los que son importados en 90%. Las variaciones en el precio de los combustibles afectan directamente al sector industrial, lo que podría convertirse en un inconveniente para el desarrollo del país. El presente trabajo estima la contribución de los bonos de carbono a la competitividad de las centrales solares de concentración. Para ello utiliza simulaciones de plantas solares realizadas con el software System Advisor Model (SAM) y cálculos de reducción de emisiones con metodologías oficiales de la UNFCCC. Estos factores de emisión son proyectados al futuro mediante diferentes escenarios energéticos para determinar los aumentos de la competitividad de la energía solar que genera la particularidad climática del país ya que fuentes de energía como la solar han demostrado ser competitivas bajo las condiciones adecuadas de clima, financiamiento e incentivos.</p>