

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 PARA EL
SISTEMA DE SUMINISTRO DE VAPOR DEL HOSPITAL
NACIONAL DR. JUAN JOSÉ FERNÁNDEZ, ZACAMIL**

PRESENTADO POR:

JACQUELINNE LISSETH DÍAZ HERNANDEZ
OSWALDO ERNESTO MELENDEZ JANDRES

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, JUNIO 2019

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIA GENERAL:

MSc. CRISTOBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA E INGENIERIA DE ALIMENTOS

DIRECTORA:

DRA. TANIA TORRES RIVERA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA 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 PARA EL SISTEMA DE SUMINISTRO DE VAPOR DEL HOSPITAL NACIONAL DR. JUAN JOSÉ FERNÁNDEZ, ZACAMIL

Presentado por:

**JACQUELINNE LISSETH DÍAZ HERNANDEZ
OSWALDO ERNESTO MELENDEZ JANDRES**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Directora:

M.I. ALBA MARISELA SARAVIA CORTEZ

Docente Director Externo:

MAE. NELSON MAURICIO VAQUERO ANDRADE

San Salvador, Junio de 2019

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Directora:

M.I. ALBA MARISELA SARAVIA CORTEZ

Docente Director Externo:

MAE. NELSON MAURICIO VAQUERO ANDRADE

AGRADECIMIENTOS GENERALES

Agradecemos a la Universidad de El Salvador y a su Facultad de Ingeniería y Arquitectura por permitirnos ser parte de esta familia de profesionales que le tienen como Alma Mater.

A las autoridades, equipo técnico y personal de apoyo del Hospital Nacional Zacamil, por abrirnos las puertas y confiar en nosotros para el desarrollo de este trabajo de graduación. Les estamos muy agradecidos.

A nuestros asesores, M.I. Marisela Saravia, asesora interna; e Ing. Nelson Vaquero, asesor externo; por su incondicional apoyo y dedicación a esta investigación y durante nuestra formación profesional.

Al ing. Eduardo Pérez, jefe de mantenimiento del Hospital Nacional Zacamil, por atendernos siempre con amabilidad y brindarnos toda la información necesaria para el éxito de esta investigación.

Al cuerpo docente de la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos, quienes enriquecieron nuestra formación profesional en cada minuto en las aulas.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme lograr esta meta, por cuidarme mientras estaba lejos de casa y por darme la sabiduría e inteligencia necesarias para culminar mi carrera y crecer como persona.

A mi familia por su apoyo incondicional, su amor y confianza ya que a pesar de los obstáculos nunca dejaron de creer en mí.

A mis amigos que hicieron de mi vida universitaria una gran experiencia enseñándome que desconocidos pueden volverse familia, a pesar de mi eterna simplicidad; no cambiaría ninguna de las aventuras vividas a su lado.

A mi grupo de tesis Oswaldo y Gabriel que a pesar de ser miembro honorario nunca nos dejaste solos, esta experiencia no hubiera sido lo mismo de no haber estado los tres juntos.

A mis asesores de tesis, por la paciencia y el interés en nuestro trabajo; en especial al ing. Vaquero quien además de ser un excelente maestro se convirtió en un amigo, el tiempo compartido durante las pasantías del CNPML con usted y los demás fue lo máximo.

Y a todos los docentes de la EIQA y miembros de la ASEIQA por brindarme sus conocimientos tanto académicos como de la vida, y un espacio seguro donde aparte de estudiar poder compartir con amigos.

Jacqueline Díaz

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, mi Señor Jesucristo, por su infinita misericordia y su gracia en mi vida, por darme la bendición a través de mis padres de poder comenzar, continuar y concluir mi carrera universitaria. Hasta aquí, Él ha sido fiel.

Agradezco a mis padres Juan José Meléndez y Paty de Meléndez, por su amor incondicional y su apoyo en cada etapa de mi vida; sé que para ellos esto significa mucho más que una meta alcanzada, y juntamente con ellos y mis 2 hermanos, Sem y Caleb, lo logramos.

Agradezco a Rebeca Ángel, mi fiel compañera, por su apoyo y sus palabras de aliento; pude siempre encontrar en ella alguien con quien compartir cada momento vivido en esta travesía.

Doy gracias a mi Pastor Alberto Masis por sus consejos y aliento desde el comienzo hasta esta etapa final.

A Jacky, mi compañera de trabajo y Gabriel, nuestro miembro honorario, por llegar juntos hasta la última página. Gracias por su amistad y compañerismo.

A mis asesores durante el desarrollo de este trabajo de graduación, les estoy muy agradecido por sus invaluable aportes en tiempo y conocimientos para su culminación exitosa. Gracias por confiar en nosotros.

A la Universidad de El Salvador, que muy honradamente puedo llamar mi alma Mater, por abrirnos las puertas a un mundo de oportunidades a través del conocimiento aprendido.

A los docentes de la EIQA por compartir conmigo sus conocimientos, habilidades y experiencias para mi desarrollo profesional.

A mi familia, amigos y compañeros con quienes compartí durante este proceso, e hicieron de él a través de un consejo, visita o con solo escuchar de las experiencias vividas, que este tiempo fuera mucho más valioso de lo pude esperar, gracias.

Oswaldo Meléndez

RESUMEN

El presente trabajo de grado, es una investigación en la cual se aplican los conceptos de eficiencia energética enfocados en el recurso energético térmico del Hospital Nacional Zacamil, la cual se inicia realizando un análisis del sistema de generación, distribución y consumo del recurso; identificando potenciales energéticos de ahorro que sigan la línea de medidas financiadas por el “Programa de Eficiencia Energética en Edificios Públicos”, de forma que puedan ser implementadas a corto o mediano plazo.

Se realizó un estudio energético térmico para determinar la línea base del consumo energético actual, identificar áreas de mejora y calcular indicadores energéticos y ambientales; los cuales, serán el punto de partida para evaluar los avances que se hagan en materia de eficiencia energética térmica del HNZ.

Los potenciales energéticos de ahorro identificados durante el estudio, se analizan en base a su factibilidad técnica, económica y ambiental. De forma que al determinar los ahorros y costos asociados a la implementación de dichas propuestas pueda realizarse una proyección económica que indique la factibilidad del proyecto mediante el cálculo de indicadores económicos (VAN, TIR) que serán evaluados con los criterios establecidos por el “Plan Maestro para el desarrollo de la Energía Renovable en El Salvador” para proyectos de energía renovable.

Los indicadores económicos VAN y TIR del proyecto fueron de \$34,236.97 y 36.76% respectivamente, los cuales de acuerdo a los criterios antes mencionados indica que el proyecto es económicamente factible.

Índice de contenido

Tema	Pág.
INTRODUCCION	i
1. MARCO TEÓRICO.....	2
1.1. Eficiencia Energética en El Salvador.	2
1.2. Auditorias de Eficiencia Energética	4
1.3. Proyectos de Eficiencia Energética en la red hospitalaria de El Salvador.	5
1.4 Eficiencia Energética en el sistema térmico del Hospital Nacional Dr. Juan José Fernández, Zacamil.	7
2. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE UNA AUDITORÍA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA.	14
2.1. Metodología para la realización de una Auditoría Energética.	15
2.2. Desarrollo de la Metodología de Auditoría Energética	16
2.2.1. Paso 1. Programación de los recursos y el tiempo.	16
2.2.2. Paso 2. Recopilar datos y recorrido por las instalaciones.....	18
2.2.3. Paso 3. Toma de mediciones en campo a los equipos de generación y distribución de vapor.....	23
2.2.4. Paso 4: Análisis de datos.	29
2.2.5. Paso 5. Elaboración de la cartera de proyectos.....	40
2.2.6. Paso 6. Elaborar el informe de la AE.	42
3. ESTUDIO DE EE APLICADA AL HOSPITAL NACIONAL “Dr. Juan José Fernández”, Zacamil.	44
3.1. Paso 1 y 2: Programación y recopilación de la información	44

Tema	Pág.
3.1.1. Información General del HNZ y las áreas de lavandería y cuarto de máquina.	44
3.1.2. Historial de consumo de combustible.	48
3.1.3. Actividades que demandan vapor en el área de Lavandería.	49
3.1.4. Caracterización e identificación de equipos del sistema.	51
3.2. Paso 3: Toma de mediciones de campo.	53
3.2.1. Equipos que utilizan vapor.....	53
3.2.2. Líneas de distribución de vapor y retorno de condensado.	54
3.2.3. Estudio termográfico.....	58
3.3. Paso 4: Análisis de datos	61
3.3.1. Gestión de la energía térmica.....	62
3.3.2. Emisiones de GEI.....	63
3.3.3. Indicadores energéticos.....	65
3.3.4. Balance de Materia y Energía.....	67
4. ANALISIS DE PROPUESTAS DE EFICIENCIA ENERGETICA AL HOSPITAL NACIONAL “Dr. Juan José Fernández”, Zacamil.	91
4.1. Análisis de las propuestas de EE en el área de generación de vapor.....	91
4.1.1. Análisis de la propuesta de instalación de colectores solares de placa plana.	91
4.1.2. Análisis de la Optimización de purgas.	96
4.2. Análisis de las propuestas de EE en el área de distribución de vapor y retorno de condensados	98
4.2.1. Análisis de la propuesta para la eliminación de la fuga de vapor.....	98

Tema	Pág.
4.2.2. Análisis de la propuesta para la instalación de aislante térmico a la red de distribución de vapor y retorno de condensados.	103
4.2.3. Análisis de la propuesta dimensionar un tanque de condensados de mayor capacidad.	109
4.3. Análisis Económico, Proyección de Ahorros por implementación de medidas de EE	116
4.3.1. Proyección sin financiamiento bancario.....	121
5. GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS EN EL USO Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA TÉRMICO DEL HNZ.	124
5.1 Generalidades del uso de calderas.	124
5.1 Buenas prácticas en la operación y mantenimiento de calderas.....	127
5.1.1 Operación eficiente de calderas.	127
5.1.2 Mediciones en calderas.....	129
5.2 Mantenimiento del sistema de combustión.	131
5.2.1 Mantenimiento general.	133
5.3 Buenas prácticas para el mejoramiento de calderas.....	135
5.3.1 Ajuste y control del exceso de aire.	135
5.3.2 Reducir depósitos en los tubos.....	137
5.3.3 Reducción de la purga.....	139
5.3.4 Recuperación de calor de gases.	139
5.4 Buenas prácticas en equipos auxiliares.....	140
5.4.1 Sistema de ablandamiento de agua.	140
5.4.2 Recolección de condensado.....	141

Tema	Pág.
6. OBSERVACIONES	145
7. CONCLUSIONES.....	147
8. RECOMENDACIONES.....	149
9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	150

Índice de anexos

Anexo	Pág.
Anexo 1: Equipo de protección personal utilizado en el área de lavandería y por encargados de mantenimiento del hospital nacional “Dr. Juan José Fernández”, Zacamil.....	153
Anexo 2: Información general del HNZ.	156
Anexo 3: Histórico de consumo de combustible	158
Anexo 4: Histórico de lavadas realizadas en el HNZ-2017	159
Anexo 5: Check list de inspección visual realizada al HNZ	160
Anexo 6: Histórico de energía térmica producida por mes en el HNZ.	163
Anexo 7: Emisiones de CO ₂ por la generación de vapor del HNZ en el año 2017.	164
Anexo 8: Indicadores Energéticos	165
Anexo 9: Análisis no confiable de gases de chimenea.	166
Anexo 10: Calor perdido en los gases de chimenea calculado por la ecuación de Siegert.....	167
Anexo 11: Fichas técnica Medidor de Conductividad	168

Índice de Ilustraciones

Ilustración	Pág.
Ilustración 1.1: Inversiones establecidas para la implementación de medidas de EE (US\$).	6
Ilustración 1.2: Flujo de vapor generado en el HNZ.	9
Ilustración 1.3: Flujo de proceso del proceso del área de lavandería.	11
Ilustración 1.4: Izq. carro de recolección de prendas. Dcha: bascula para prendas usadas.	12
Ilustración 2.1: Metodología para el desarrollo de una AE en el sector industria.	15
Ilustración 2.2: Check list 1 sobre la información general de la planta.	17
Ilustración 2.3: Check list 2 sobre la información general de la planta.	17
Ilustración 2.4: Formato de inspección visual.	21
Ilustración 2.5: Formato de identificación de calderas.	23
Ilustración 2.6: Flujos de energía que entrada y salida de la caldera.	33
Ilustración 2.7: Formato de plan de implementación.	42
Ilustración 3.1: Ubicación del sistema de trampero de línea con énfasis en las áreas de lavandería y sala de máquinas del HNZ.	46
Ilustración 3.2: Vista de planta de instalaciones existentes en el área de lavandería.	47

Ilustración.	Pág.
Ilustración 3.3: Comportamiento del consumo de gas propano para el periodo de análisis en el HNZ..	49
Ilustración 3.4: Vista de planta de distribución de obra mecánica en el departamento de lavandería del HNZ.	55
Ilustración 3.5: Vista de planta de distribución de obra mecánica de cuarto de máquinas del HNZ.	56
Ilustración 3.6: termografía de caldera en operaciones	58
Ilustración 3.7: Tubería con fuga en el sistema de distribución de vapor del HNZ ubicado a 33.4 m del cuarto de máquinas.	60
Ilustración 3.8: Tubería de inyección de vapor a secadoras, ubicadas en el área de lavandería del HNZ.	61
Ilustración 3.9: Energía térmica mensual producida en base al consumo de diésel del HNZ.	62
Ilustración 3.10: Emisiones de CO ₂ emitidas durante el periodo de análisis debido a la generación de vapor del HNZ.	64
Ilustración 3.11: Comportamiento de indicador de desempeño energético por cada 1000 lb (GJ/1000 lb) de ropa lavada y secada en el dpto. de lavandería del HNZ.	66
Ilustración 3.12: Comportamiento de indicador ambiental de desempeño de emisiones por cada 1000 lb de ropa lavada y secada en el dpto. de lavandería del HNZ.	66

Ilustración	Pág.
Ilustración 3.13: Diagrama de distribución de vapor con los valores de las corrientes resultantes del balance de masa para el sistema de distribución de generación de vapor del HNZ.	70
Ilustración 3.14: Diagrama de distribución de vapor en el área de lavandería.	90
Ilustración 5.1: Componentes de una caldera piro tubular.	125
Ilustración 5.2: Incremento del consumo de petróleo por acumulación de suciedad en los tubos.	138
Ilustración 5.3: Ahorro de combustible por recuperación de condensado.	143

Índice de tablas

Tablas	Pág.
Tabla 1.1: Tipos de suciedad y sus requerimientos en ciclos de lavado en el HNZ.	12
Tabla 2.1: Formato de recolección de historial de consumo de gas propano de HNZ, para la generación de vapor	18
Tabla 2.2: Formato para conocer los programas de lavado y sus especificaciones de uso de vapor	19
Tabla 2.3: Formato para conocer las características de ciclos de secado	19
Tabla 2.4: Formato para concluir el total de lavadas realizadas en el tiempo de estudio, según su clasificación por tipo de suciedad.....	20
Tabla 2.5: Formato de Inventario de equipos constituyentes de la sección generadora de vapor	22
Tabla 2.6: Inventario de equipos consumidores de vapor del HNZ.....	24
Tabla 2.7: Formato de identificación de simbología utilizada en el diagrama de tuberías.	24
Tabla 2.8: Inventario de tuberías por fluido.	25
Tabla 2.9: Inventario de tuberías por diámetro y fluido (valores en metro lineal).	25
Tabla 2.10: Formato de presentación de generación de energía por consumo de diésel.....	29
Tabla 2.11: Formato para recolección de datos técnicos del combustible	30

Tabla	Pág.
Tabla 2.12: Formato para presentar las toneladas de CO2 emitidas a la atmosfera por uso de combustible en el sistema térmico de HNZ.	30
Tabla 2.13: Formato para presentar los Indicadores energéticos del HNZ.	32
Tabla 2.14: Criterios de evaluación de proyectos de EE.	41
Tabla 3.1: Información general del HNZ.	45
Tabla 3.2: Resumen del consumo de combustible utilizado en el HNZ para el año 2017.	48
Tabla 3.3: Programas de lavado y sus especificaciones de uso de vapor en el departamento de lavandería del HNZ.	50
Tabla 3.4: Características de ciclos de secado en el departamento de lavandería del HNZ.	50
Tabla 3.5: Inventario de equipos constituyentes de la sección generadora de vapor en el HNZ.	52
Tabla 3.6: Datos de calderas del HNZ.	52
Tabla 3.7: Inventario de equipos consumidores de vapor en el área de lavandería del HNZ.	53
Tabla 3.8: Inventario de tuberías por fluido en lavandería y sala de maquina del HNZ.	57
Tabla 3.9: Inventario de tuberías por diámetro y fluido (valores en metro lineal)-área de lavandería del HNZ.	57

Tabla	Pág.
Tabla 3.10: Inventario de tuberías por diámetro y fluido (valores en metro lineal)- área de sala de máquina del HNZ.	57
Tabla 3.11: Datos técnicos del combustible utilizado para la generación de vapor en el HNZ.	63
Tabla 3.12: Análisis de promedio de SDT y temperaturas en la corrientes del sistema de vapor del HNZ.	67
Tabla 3.13: Valores de flujos máxicos de las corrientes del sistema de generación de vapor del HNZ.....	69
Tabla 3.14: Energía total mensual requerida por el proceso de generación de vapor en el HNZ.	70
Tabla 3.15: Características físicas de la caldera del HNZ.	73
Tabla 3.16: Constantes utilizadas para conocer el calor perdido por radiación y convección en el cuarto de maquinas del HNZ.	74
Tabla 3.17: Coeficientes de pérdidas de calor y flujo de calor perdido por superficie de la caldera del HNZ.	74
Tabla 3.18: Análisis de Gases de Chimenea de caldera del HNZ.	76
Tabla 3.19: Límites máxicos permisibles de gases de chimenea en calderas piro tubulares	77
Tabla 3.20: Composición de diésel.	77
Tabla 3.21: Promedio de composición de gases de combustión (%peso) para el HNZ.....	77

Tabla	Pág.
Tabla 3.22: Composición mol de los gases de chimenea del HNZ.	81
Tabla 3.23: Constantes de las capacidades caloríficas de gases en estado de gas ideal.....	82
Tabla 3.24: Cálculo del Cp de gases de chimenea para las calderas del HNZ.	82
Tabla 3.25: Valores de flujos de entrada y salida en el balance térmico para el HNZ.....	84
Tabla 3.26: Condiciones de fuga en la tubería de distribución de vapor del HNZ.	85
Tabla 3.27: Variables a utilizar para determinar la energía pérdida por la falta de aislamiento en tuberías en el HNZ.	86
Tabla 3.28: Diámetro y longitudes de tuberías con pérdida de calor por falta aislamiento térmico	86
Tabla 3.29: Solución de ecuaciones-pérdida de energía por falta de	86
aislamiento	86
Tabla 3.30: Perdidas de energía térmica en la distribución de vapor del HNZ.	87
Tabla 3.31: Demanda de vapor por programa de lavado utilizado en el HNZ.....	88
Tabla 3.32: Demanda de vapor por programa de secado utilizado en el HNZ.....	89
Tabla 4.1: Factibilidades por la implementación de recomendación “Instalación de Colectores solares”	95
Tabla 4.2: Factibilidades por la implementación de recomendación “Instalación de Equipo para la medición de conductividad”	98

Tabla	Pág.
Tabla 4.3: Condiciones de fuga en el sistema de distribución de vapor del HNZ.....	99
Tabla 4.4: Factibilidades por la implementación de recomendación “eliminación de fugas de vapor”	103
Tabla 4.5: Descripción de cantidades de aislamiento térmico por diámetros de tuberías.	105
Tabla 4.6: Calor perdido al ambiente para un aislante térmico de 3”.	106
Tabla 4.7: Factibilidades por la implementación de recomendación “instalación de aislante térmico a la red de distribución de vapor y retorno de condensados”	109
Tabla 4.8: Cotización Nuevo tanque recolector de condensado para el HNZ.....	114
Tabla 4.9: Ahorros y costos por la instalación de un tanque de condensado de mayor capacidad.	115
Tabla 4.10: Factibilidades por la implementación de recomendación “tanque de condensados de mayor capacidad” en el HNZ.	116
Tabla 4.11: Resumen de costos y beneficios por medida de EE propuesta	117
Tabla 4.12: Proyección de ahorros por medida de EE propuesta.....	118
Tabla 4.13: Proyección de costos por medida de EE propuesta.	118
Tabla 4.14: Datos de depreciación para colectores solares.	119
Tabla 4.15: Datos de depreciación para Tanque de condensado.....	120
Tabla 4.16: Datos de depreciación para aislamiento térmico.	120

Tabla	Pág.
Tabla 4.17: Flujo de caja del proyecto sin financiamiento bancario	122
Tabla 4.18: Beneficios totales por implementación de recomendaciones técnicas al HNZ en el área térmica.....	123
Tabla 5.1: Variables de control de calderas del HNZ.....	129
Tabla 5.2: Escala de índice de Bacharach.	131

INTRODUCCION

En los últimos años se han desarrollado en el país iniciativas de desarrollo sustentable en todos los sectores productivos y de servicios, bajo esta dirección el Gobierno de El Salvador ha implementado un programa de Eficiencia Energética en todas sus dependencias. A partir de las evaluaciones energéticas realizadas a dichas dependencias, se identificó a las instituciones de salud pública como uno de los mayores consumidores energéticos tanto eléctricos como térmicos de los recursos utilizados por el sector público.

Por otro lado, dicho sector se ha visto afectado por fluctuaciones en los precios de insumos médicos, medicamentos y en los recursos energéticos necesarios para la prestación de un óptimo servicio; lo que puede ser traducido en un alto costo de operación y en grandes impactos negativos al medio ambiente.

Bajo esta necesidad, se plantea la Propuesta para la Implementación de un Programa de Eficiencia Energética que este enfocado al requerimiento energético de vapor del Hospital Nacional Dr. Juan José Fernández, Zacamil, mediante el seguimiento de una metodología adaptada para el sector hospitalario de la red pública del país.

Como resultado de este estudio energético se identifican aquellas áreas que presentan un potencial energético de mejora, y que además son cuantificadas mediante evaluaciones que reporten la factibilidad técnica, económica y ambiental que se obtendrían al ponerlas en marcha. Se presentan aquellas para las cuales se obtienen procesos más eficientes, además de viables y que se traducen en ahorros económicos y ambientales.

1. MARCO TEÓRICO.

En el presente capítulo se describe la importancia del recurso térmico en el Hospital Nacional Dr. Juan José Fernández, conocido como Hospital Nacional Zacamil (HNZ), y como ha ido tomando importancia la Eficiencia Energética (EE) en los diferentes sectores a nivel nacional con énfasis en las acciones en materia de EE tomadas por el gobierno en el sector público. Se parte de forma general en cómo surgió el ente regulador en materia de energía y la política de energía enfocados en la mejora de la eficiencia energética de la matriz energética nacional. Asimismo, se presenta una descripción de cómo está conformado el recurso energético del HNZ con énfasis en el uso del recurso energético térmico en el Hospital.

1.1. Eficiencia Energética en El Salvador.

El Salvador no contaba con un ente regulador en materia de energía enfocado en temas de eficiencia energética del recurso, por lo que, en el año 2007, la Asamblea Legislativa aprobó la creación del Consejo Nacional de Energía (CNE); considerando que es deber del Estado promover el desarrollo económico y social mediante el incremento de la producción, la productividad y la racional utilización de los recursos energéticos (CNE, 2010). El CNE tiene como propósito generar ahorros económicos en el Estado y proteger el medio ambiente.

En el año 2010 se creó además una Política Energética Nacional (PEN) la cual busca *promover el ahorro y uso adecuado de los recursos energéticos, incentivando el uso de tecnologías más eficientes en el sector público, comercio, industria, servicios y transporte, a través de normativas, incentivos y promoción educativa del ahorro energético, buscando disminuir la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) tomando como punto de partida, las acciones de entidades públicas que sirvan como modelo y apoyando paralelamente todos los esfuerzos de los sectores académicos y gremiales* (CNE, 2012).

Conjuntamente a la PEN, el Organismo Salvadoreño de Reglamentación Técnica (OSARTEC) cuenta con siete Normas Salvadoreñas Obligatorias (NSO) vigentes

en materia de Eficiencia Energética, referentes a lámparas fluorescentes, motores de corriente alterna, refrigeración de uso comercial y doméstico.

El CNE ha identificado que, para promover una cultura de ahorro y Eficiencia Energética, se debe contar (como mínimo) con los siguientes elementos en una estrategia nacional:

- a) Política Energética con énfasis en EE con una visión de corto, medio y largo plazo.
- b) Información Energética: indicadores energéticos para evaluación y planificación.
- c) Base legal: aseguramiento de sostenibilidad de medidas.
- d) Marco Institucional: realidad de las necesidades del país.
- e) Acciones.

Entre los programas de promoción de una cultura de eficiencia y ahorro energético se encuentra el Programa de Eficiencia Energética en Edificios Públicos (EEPB), el cual fue seleccionado por el proyecto de Eficiencia Energética del Fondo Mundial del Medio Ambiente (GEF, por sus siglas en inglés) del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo de El Salvador (PNUD) puesto que el CNE estimó que en el año 2012 el sector público representaba un 12% de la demanda de energía eléctrica generada en el país, por lo cual se consideró que era clave para la promoción de la cultura del ahorro y eficiencia de recursos.

Este proyecto tiene como objetivo disminuir las emisiones de GEI provenientes de la generación de electricidad a base de energía fósil en el país a través de la remoción de barreras culturales y la introducción de medidas de EE en los edificios públicos nuevos y existentes. Este proyecto fue desarrollado en coordinación entre instituciones como el Ministerio de Salud (MINSAL), la Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas” (UCA), la Agencia Alemana de Cooperación Internacional (GIZ), el GEF, entre otras, cuyo aporte en conjunto totalizó un fondo de US\$ 4.3 millones para inversiones en proyectos de EE (CNE, 2012).

Bajo este proyecto se implementó un programa piloto de EE por medio de inversiones y monitoreo de energía en el MINSAL, ya que en el año 2012 el CNE estimó que este representaba el 18 % del consumo de energía eléctrica del sector público. En el marco de este plan piloto se crearon comités de EE en 10 hospitales del MINSAL los cuales buscaban desarrollar las capacidades técnicas sobre la adecuada gestión de la energía y su conservación mediante la promoción, ejecución y seguimiento a las acciones identificadas, determinando metas de ahorro energético tomando en cuenta los costos que implican dichas acciones.

Actualmente como parte de la promoción e incentivos en materia de EE el Ministerio de Economía (MINEC) y el CNE invitan a las empresas a participar en el Premio Nacional a la Eficiencia Energética, esta premiación es realizada en conjunto por instituciones públicas, privadas, universidades y ONG'S que trabajan coordinando esfuerzos en la promoción y la generación de soluciones tecnológicas que conlleven a ahorros energéticos y supongan mejoras en el uso de la energía.

1.2. Auditorías de Eficiencia Energética

La realización de un análisis de Eficiencia Energética, implica la realización de Auditorías Energéticas, a través de las cuales se cuantifica la forma en la cual el cliente consume los recursos energéticos mediante cálculos y mediciones.

La información necesaria se obtiene a través del análisis de los consumos históricos y entrevistas con los involucrados. A partir de ahí se planificarán las actividades a realizar, se define el alcance de la auditoría (áreas que se abarcarán en el estudio), los integrantes del equipo auditor y auditado.

Estos diagnósticos energéticos son realizados en el país por organizaciones como: Fundación Centro Nacional de Producción Más Limpia (CNPML), Universidad José Simeón Cañas (UCA), Universidad de El Salvador (UES); y han sido implementados proyectos en empresas privadas de diversos rubros, instituciones de gobierno como el MINSAL, MINEC, entre otros.

El CNPML ha brindado asistencia técnica a instituciones bancarias como el Banco Agrícola, Banco Azul, Banco Fomento Agropecuario, Caja de Crédito, entre otras; para el establecimiento de líneas de crédito para proyectos de Eficiencia Energética.

Estos diagnósticos energéticos se realizan utilizando las metodologías elaboradas por el MINEC en colaboración con el Banco Interamericano de Desarrollo específicas para el sector a analizar (Industria, Servicios, etc.).

1.3. Proyectos de Eficiencia Energética en la red hospitalaria de El Salvador.

El CNE en colaboración con el MINSAL y la UCA desarrollaron “Diagnósticos Energéticos Especializados” en 10 hospitales de la red pública, de los cuales el Hospital Nacional de Jiquilisco es el que da la pauta para establecer comparaciones con la institución a estudiar, el HNZ, debido a que ambos son hospitales de segundo nivel por lo cual tienen funciones y flujos de pacientes similares.

Como resultado se identificaron más de 68 oportunidades de ahorro en proyectos de EE estimándose US\$ 461,652.29 en ahorros anuales y una reducción de GEI de aproximadamente 780 Toneladas de CO₂ al año (CNE, 2012).

A continuación, se presentan en la Ilustración 1.1 los montos de inversiones establecidas para la implementación de las medidas de EE identificadas en cada institución en US\$, la inversión total necesaria para lograr una mejor eficiencia en el uso de energía es de US\$ 1.16 Millones.

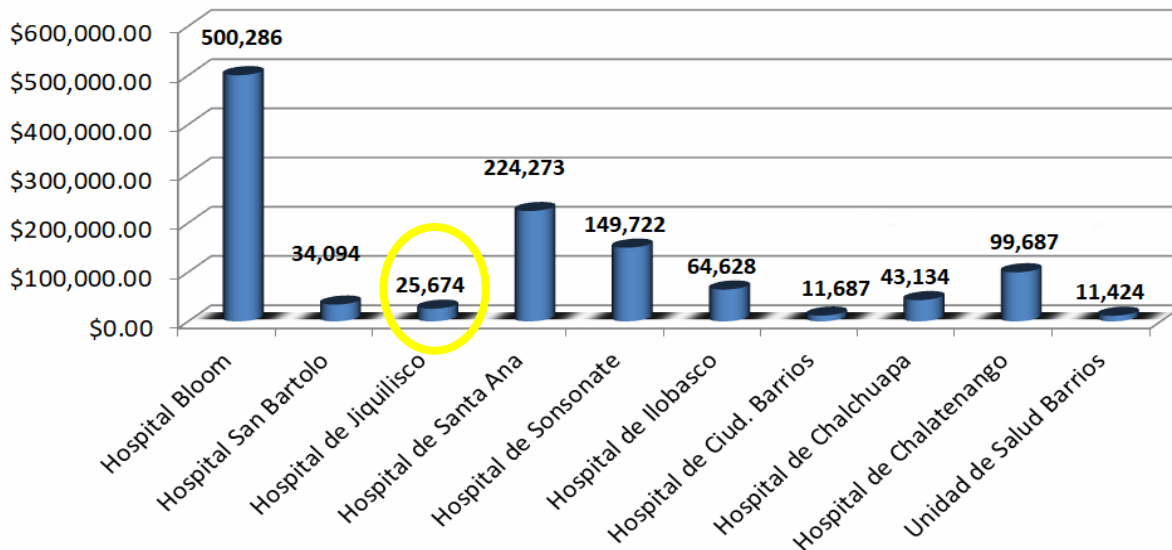


Ilustración 1.1: Inversiones establecidas para la implementación de medidas de EE (US\$).

Fuente: CNE, 2012.

En el año 2012 el PNUD presentó la primera etapa sobre la puesta en marcha de proyectos de EE en 6 establecimientos de salud, estos primeros trabajos permitieron ahorros que superan los 125 kW de energía, equivalentes a casi US\$ 27 mil en ahorros al año y 76 toneladas mitigadas de CO₂ anuales, que dejaron de emitirse al ambiente, lo cual representa un 9.74 % de las reducciones estimadas por la puesta en marcha de medidas de EE en las 10 instituciones participantes. Todo esto con una inversión de US\$ 10,757.56 (PNUD El Salvador, 2012).

Los proyectos a ejecutar y financiar por el Programa de EE en Edificios Públicos incluyen: sustitución de motores eléctricos, aislamiento de sistemas de distribución de vapor, cambio de trampas de vapor, cambio de aires acondicionados, instalación de colectores solares y cambio de luminarias.

1.4 Eficiencia Energética en el sistema térmico del Hospital Nacional Dr. Juan José Fernández, Zacamil.

Según el acuerdo N° 288 del Reglamento General de Hospitales del Ministerio de Salud (MINSAL), el Hospital Nacional Dr. Juan José Fernández, Zacamil (HNZ), es un hospital de segundo nivel, categorizado como Hospital Departamental, puesto que tiene una mayor cantidad de respuesta en materia de especialidades, infraestructura y tecnología.

El HNZ depende jerárquicamente de la Dirección Regional correspondiente a su ubicación geográfica y, atiende las cuatro especialidades básicas: medicina interna, cirugía general, pediatría y ginecología (Ministerio de Salud, El Salvador, 2017).

Este es también un hospital escuela o formador especialista, puesto que de acuerdo a la normativa interna del MINSAL y los convenios a los cuales está suscrito con instituciones educativas como la Universidad de El Salvador (UES), forma especialistas en el área de la salud.

Dentro de la organización del nosocomio se encuentra la subdirección administrativa, de la cual se desliga la unidad de Conservación y Mantenimiento. El objetivo de esta unidad es el de mantener y conservar la infraestructura, bienes inmuebles y equipos, en buen estado para la prestación de los servicios de salud (Ministerio de Salud, El Salvador, 2013).

Según la reforma de salud del país, se demanda una prestación de servicios a la población con eficiencia en la utilización de recursos; y como se aprecia en el art. 46 y 47 del *Reglamento de las Normas Técnicas de Control Interno Específicas, del Hospital Nacional "Dr. Juan José Fernández", Zacamil, San Salvador*, publicado el 8 de mayo de 2014 en el diario oficial, la subdirección administrativa del hospital debe de *elaborar y cumplir* con el plan anual del mantenimiento correctivo y preventivo de los activos fijos de la institución.

Parte de los bienes inmuebles del HNZ, son los implementados para la red de suministro de vapor, que forma parte de las dos fuentes de energía que suplen las necesidades energéticas del hospital (energía eléctrica y térmica). Para cubrir con

la demanda de vapor se cuenta con dos calderas piro-tubulares las cuales operan de forma alterna (seis meses al año cada caldera), tuberías para la distribución de vapor y para el retorno de condensados, bombas, tanque de almacenamiento de combustible y un tanque de retorno de condensados; las cuales alimentan vapor al área de lavandería (todo el vapor generado por las calderas es empleado en tres lavadoras y tres secadoras).

Todo el vapor generado por las calderas, se utiliza para desinfectar y esterilizar la ropa, sabanas, toallas, compresas y demás indumentaria textil utilizada por los pacientes hospitalizados y personal médico en los diferentes procesos que se realizan. Sin embargo, la necesidad de vapor no solo es en el área de lavandería, sino también en el área esterilización del arsenal quirúrgico del hospital, pero este es generado a través de autoclaves con autogeneración de vapor los cuales no utilizan combustibles fósiles para dicha generación de vapor, por lo cual no se incluirán en el presente estudio.

De manera general se presenta en la Ilustración 2 el flujo que sigue el vapor generado en las calderas en el HNZ.

La lavandería es una dependencia del departamento de servicios generales. Sus funciones son las de abastecer de ropa limpia a todo el establecimiento y proveer y distribuir a las diferentes áreas la confección de ropa hospitalaria, lavado y secado (Ministerio de Salud, El Salvador, 2017). En la Ilustración 1.3 se presenta el diagrama de flujo de proceso de la lavandería del HNZ.

En la etapa de recolección, el personal encargado en cada área del hospital recolecta en carros de transporte las prendas sucias y demás indumentaria textil utilizada.

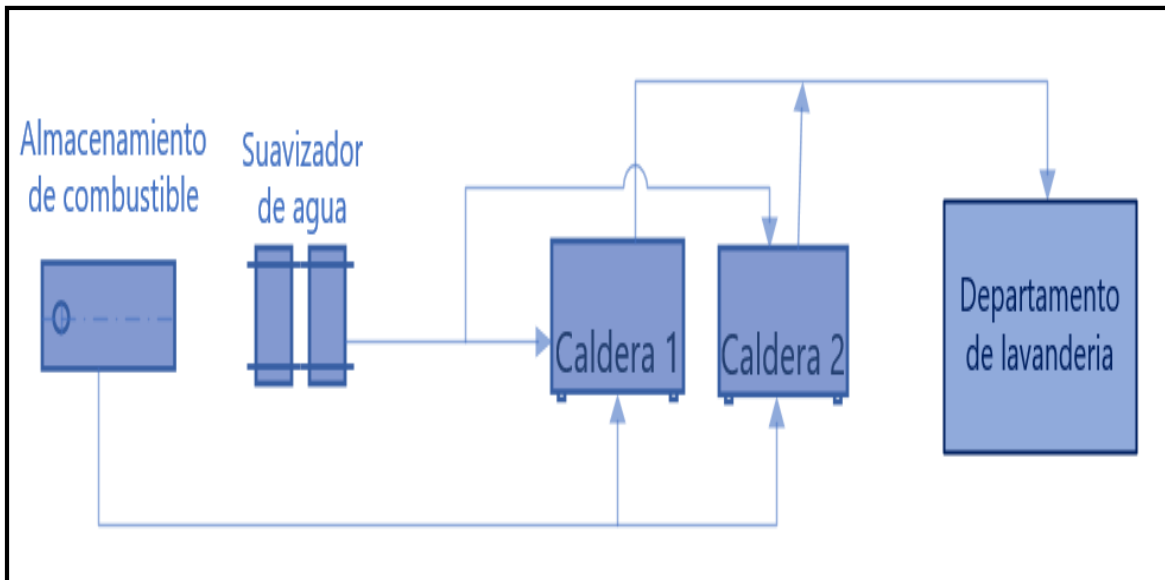


Ilustración 1.2: Flujo de vapor generado en el HNZ.

En la etapa de clasificación se da la separación manual de las prendas por parte de los operarios clasificados y debidamente protegidos con su equipo de protección personal, de ahora en adelante EPP (véase anexo 1). Estas son depositadas en carros recolectores según el tipo de suciedad (Información consolidada en base a entrevistas con la jefa del departamento de lavandería):

- a) **Ropa suciedad liviana:** ropa usada por el personal o procedente de otras áreas no contaminadas.
- b) **Ropa suciedad mediana:** ropa procedente de áreas infecciosas sin residuos orgánicos e inorgánicos.
- c) **Ropa suciedad pesada:** ropa impregnada de sangre, heces, orina, desechos patológicos, medicamentos y otros productos químicos.
- d) **Ropa suciedad altamente contaminada:** es el procedente de pacientes con VIH, meningitis, ácaros u otras enfermedades contagiosas.
- e) **Compresas:** se clasifican en esta categoría la ropa hospitalaria elaborada con gasa que está completamente manchada de sangre, generada en sala de operaciones y procedimientos quirúrgicos.

Luego que son separadas, la ropa ya clasificada es pesada en seco en báscula y agrupada de acuerdo a la capacidad de las maquinas lavadoras

Según Varela (2012), en la etapa de lavado y secado, se deben de considerar 4 puntos importantes:

- a) La fibra o tipo de tejido, objeto de limpieza.
- b) La suciedad.
- c) El baño de lavado, agua, detergentes o productos químicos.
- d) Energía calorífica utilizada para aumentar la temperatura del agua.

Además de tener en cuenta que deben evitarse mezclas de ropas con distintas necesidades de lavado, respetar la capacidad de carga de la maquinaria y el uso de detergente y suavizante, asimismo dar el mantenimiento necesario a los equipos.

El ciclo de lavado y sus requerimientos, son en base a la clasificación de la suciedad de la prenda. Esto se describe a continuación en la tabla 1.1.

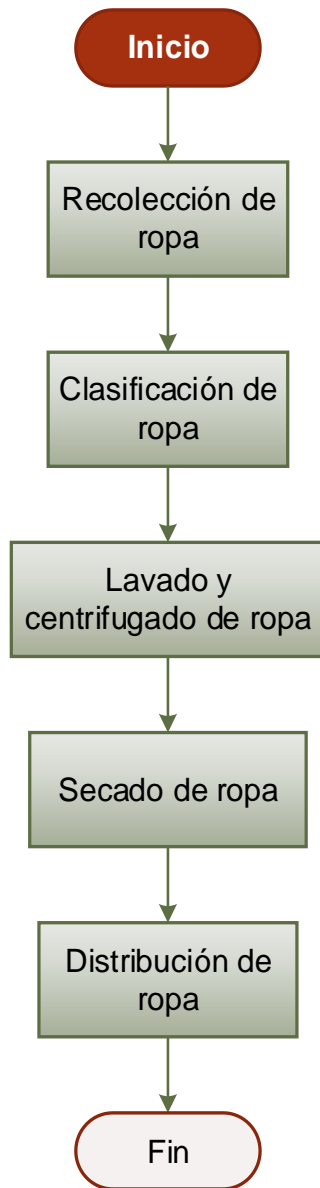


Ilustración 1.3: Flujo de proceso del proceso del área de lavandería.

Fuente: Información proporcionada por el personal de lavandería del HNZ, 2018.

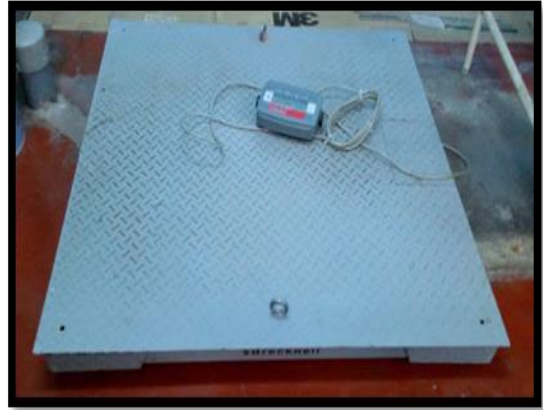


Ilustración 1.4: Izq. carro de recolección de prendas. Dcha: bascula para prendas usadas.

Fuente: Información recolectada por el equipo de trabajo, 2018.

Tabla 1.1: Tipos de suciedad y sus requerimientos en ciclos de lavado en el HNZ.

Tipo de suciedad en la prenda	Carga máxima lb / lavadora	Tiempo total del ciclo de lavado	Tiempo total del ciclo de secado	Requerimiento de vapor	Detergentes o químicos utilizados
Liviana	150	30 min	30-40 min	-	Detergente, Cloro, Secuestrante
Mediana	150	34.33 min	30-40 min	✓	
Pesada	150	66 min	30-40 min	✓	
Altamente contaminada	150	61 min	30-40 min	✓	
Compresas	150	77 min	30-40 min	✓	

Fuente: Información proporcionada por personal de lavandería del HNZ, 2018.

El vapor que es requerido para los programas que se señalan en la tabla anterior, es en base a la cantidad de ropa y demás indumentaria textil que es cargada en las lavadoras y secadoras según sea su clasificación de suciedad.

Los pasos que se dan en el ciclo de lavado son los siguientes:

- a) **Prelavado:** en este paso se realiza un enjuague inicial, a temperatura ambiente. Se propina un arrastre de la suciedad superficial además de suavizar la sangre y otros contaminantes adheridos a la fibra.
- b) **Lavado:** se elimina la suciedad adherida en la superficie de los tejidos y evita que se deposite nuevamente en este.
- c) **Desinfección y/o esterilización:** se añaden los químicos y detergentes necesarios para matar rápidamente a los microorganismos presentes. Idealmente, deben tener un amplio espectro microbiano y ser de acción rápida; deben ser activos en presencia de materias orgánicas (fluidos corporales) y compatibles químicamente entre ellos. Adicionalmente, aunque no en todas las prendas (véase tabla 1.1), se inyecta vapor para su esterilización en diferentes intervalos de tiempo y temperatura, según haya sido clasificada por su suciedad.
- d) **Enjuagues:** remoción de suciedad y químicos de las prendas.
- e) **Centrifugado:** se da con el propósito de escurrir la mayor cantidad de agua de las prendas para facilitar la etapa de secado.

La siguiente etapa es la del secado, y consiste en la introducción de aire caliente en el interior del tambor giratorio de la secadora para eliminar el exceso de agua de la prenda.

Luego de finalizado el secado, la ropa es doblada y clasificada según el tipo de prenda y distribuida a los diferentes servicios del HNZ, según sean sus requerimientos, o almacenada en un lugar destinado para esto.

La importancia de la implementación de medidas de EE en el uso de vapor, desde su generación hasta el mantenimiento de equipos, tiene por objetivo disminuir costos de mantenimiento y alargar la vida de equipos, y además brindar a la sociedad un servicio de calidad que cumpla con los estándares necesarios para garantizar su bienestar; y que además está en acuerdo con los propósitos que el HNZ ha fijado en la prestación de sus servicios.

2. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE UNA AUDITORÍA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA.

Una auditoría energética (AE) se define como “un procedimiento sistemático para obtener un adecuado conocimiento del perfil de los consumos energéticos en una institución, identificando y valorando las posibilidades de ahorro de energía desde el punto de vista técnico y económico. Dichas valoraciones suponen generalmente mejoras en la calidad de los servicios prestados, mejoras económicas y mejoras medioambientales” (Metodología de Eficiencia Energética en la Industria. CNE/BID/MINEC, 2011).

En el informe preparado por el CNE en el año 2014 denominado “Introducción a la Eficiencia Energética”, se mencionan algunos beneficios de la realización de una auditoría energética:

- a) Conocer la situación energética actual, así como el funcionamiento y eficiencia de los equipos e instalaciones.
- b) Inventariar los principales equipos existentes.
- c) Analizar las posibilidades de optimización del suministro de combustibles.
- d) Proponer mejoras y realizar su evaluación técnica y económica.

También, la realización de la auditoría energética será el punto de partida para que la institución analizada disponga de la información necesaria sobre aquellas mejoras derivadas del propio estudio y sobre las buenas prácticas de uso eficiente de la energía.

Otros impactos positivos de una auditoría energética son:

- a) Ahorro y mejora de eficiencia energética.
- b) Racionalización y optimización de procesos.
- c) Reducción de costos de producción.
- d) Elevación de la competitividad empresarial o industrial.

- e) Sensibilización y generación de cultura de ahorro y EE al interior de las instituciones, especialmente en el nivel directivo y en el personal involucrado en el manejo de los procesos de producción.

2.1. Metodología para la realización de una Auditoría Energética.

Para la realización de la auditoría energética en las instalaciones del HNZ se hace uso de una adaptación de la metodología elaborada por el proyecto “Programa de Eficiencia Energética” del Ministerio de Economía (MINEC) de la Republica de El Salvador y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) elaborada para la ejecución de AE en la industria; Dicha metodología se resume a continuación en la ilustración 2.1.

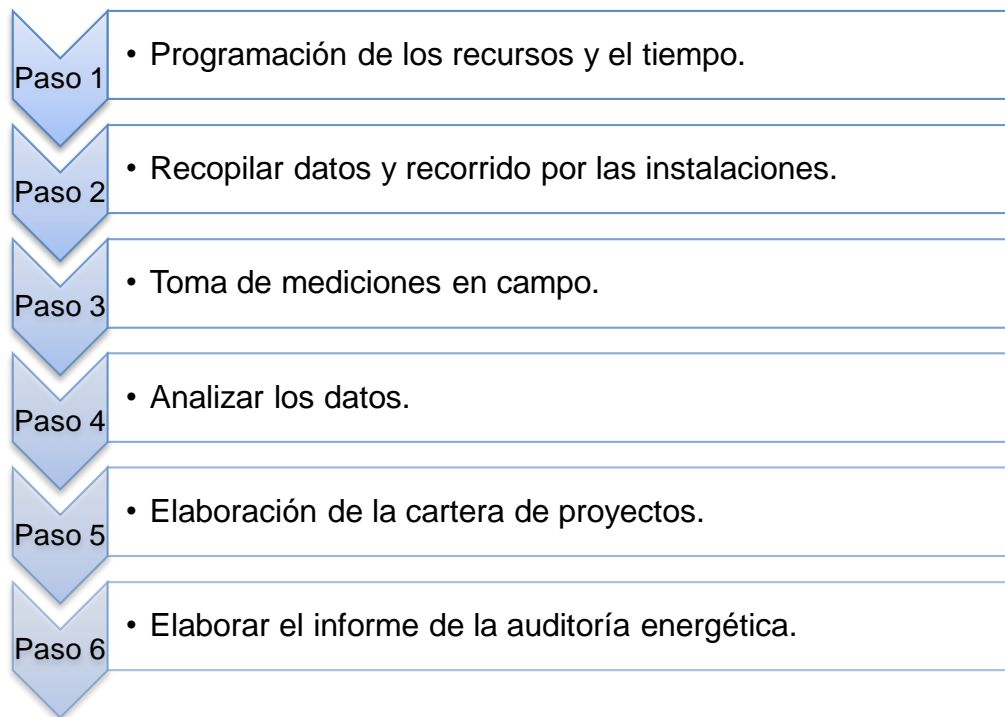


Ilustración 2.1: Metodología para el desarrollo de una AE en el sector industria.

Fuente: Metodología de EE en la industria, (CNE, 2011).

2.2. Desarrollo de la Metodología de Auditoría Energética

A continuación se detalla la metodología a seguir para la realización de la AE en el HNZ y los check list a utilizar para la recopilación de la información necesaria.

2.2.1. Paso 1. Programación de los recursos y el tiempo.

La primera actividad a realizar es concentrar y revisar toda la información disponible de la institución, tal como:

- a) Nombre de la empresa.
- b) Rama a la que pertenece.
- c) Tamaño y edad del inmueble.
- d) Localización del inmueble.
- e) Estructura administrativa, anotando el nombre y cargo de los principales directivos y las personas involucradas con el programa de ahorro de energía.
- f) Horarios típicos de operación.
- g) Consumos anuales de los energéticos utilizados por la planta.
- h) Costos de los energéticos.

Como apoyo para la ejecución de esta actividad se pueden utilizar los siguientes formatos que a continuación se presentan en las ilustraciones 2.2 y 2.3; los cuáles han sido adaptados para la situación en estudio: ´

EMPRESA: _____	
HOJA: _____	FECHA: _____
ELABORO: _____	FIRMA: _____
REVISO: _____	FECHA: _____ FIRMA: _____

LOCALIZACIÓN

CALLE Y NÚMERO: _____	COLONIA: _____
LOCALIDAD: _____	MUNICIPIO Y ESTADO: _____ C.P. _____
TELÉFONO: _____	FAX: _____

DATOS GENERALES

RAMA INDUSTRIAL: _____	AÑO INICIAL DE OPERACIONES: _____
PRODUCTO MANUFACTURADO: _____	PRINCIPALES INSUMOS: _____
SUPERFICIE DE TERRENO(m ²): _____	SUPERFICIE CONSTRUIDA(m ²): _____

ESTRUCTURA ADMINISTRATIVA

NOMBRE DEL FUNCIONARIO	CARGO
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

Ilustración 2.2: Check list 1 sobre la información general de la planta.

Fuente: Metodología de EE en el sector servicios, (CNE, 2011).

EMPRESA: _____	
HOJA: _____	FECHA: _____
ELABORO: _____	FIRMA: _____
REVISO: _____	FECHA: _____ FIRMA: _____

TURNOS DE OPERACIÓN

TURNO	HORARIO	DIAS A LA SEMANA	HORAS/AÑO
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____

RÉGIMEN DE OPERACIÓN: CONTINUO () POR TEMPORADA () TEMPORADA DE OPERACIÓN: _____

PRINCIPALES MATERIAS PRIMAS Y PRODUCCIÓN ANUAL

MATERIA PRIMA	CONSUMO ANUAL	PRODUCTO TERMINADO	PRODUCCIÓN ANUAL

CONSUMOS ENERGÉTICOS MENSUAL

MES	AÑO												
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNJO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMB	OCTUBRE	NOVIEMB	DKIEMB	
ELÉCTRICIDAD	kW												
	kWh												
GAS NATURAL (m ³)													
COMBUSTOLEO (m ³)													
GASOLEO (m ³)													
OTROS													
COSTOS: TARIFA ELÉCTRICA: _____ GAS NATURAL (m ³) _____ COMBUSTOLEO (m ³) _____ GASOLEO (m ³) _____													

Ilustración 2.3: Check list 2 sobre la información general de la planta.

Fuente: Metodología de EE en el sector servicios, (CNE, 2011).

2.2.2. Paso 2. Recopilar datos y recorrido por las instalaciones.

El objetivo de este paso es el de reunir datos de todo aquello relacionado con el uso de la energía en el inmueble, tales como: historial de consumo de energéticos, información recopilada como resultado de una inspección visual a todas las instalaciones, programas de mantenimiento y levantamiento de datos de equipos consumidores de energía.

A. Historial de consumo de energía.

Obtener los datos de consumo de combustible de por lo menos los últimos 12 meses. La información a registrar es: el tipo de combustible utilizado, las unidades de registro (L, m³, gal, etc.), el proveedor, capacidad de almacenamiento del hospital, inventario de unidades al inicio de mes, entregas realizadas durante dicho mes, el costo unitario y total en el mes; para ello se hace uso del formato descrito en la tabla 2.1.

Tabla 2.1: Formato de recolección de historial de consumo de gas propano de HNZ, para la generación de vapor

Mes	Consumo de combustible-gal	Costo por galón	Costo por mes
Total			

B. Actividades que demandan vapor

Se detallan las tareas en las que el hospital tiene su demanda y uso de vapor dentro de las áreas de interés; para el caso de estudio se toman en cuenta los programas utilizados en el lavado y secado de la indumentaria textil, así como la carga que es procesada en los equipos (lavadoras y secadoras) y la cantidad de cargas por mes que se realizaron en el tiempo de estudio.

Para ello se hará uso de los formatos plasmados en la Tabla 2.2, 2.3 y 2.4.

Tabla 2.2: Formato para conocer los programas de lavado y sus especificaciones de uso de vapor

Programa de lavada según el tipo de suciedad	Carga máxima lb/ lavadora	Tiempo total del ciclo de lavado	Tiempo de inyección de vapor	Temperatura del baño
Mediana				
Pesada				
Altamente contaminada				
Compresas				

Tabla 2.3: Formato para conocer las características de ciclos de secado

Tipo de carga	Tiempo de secado	Carga máxima por secadora	Temperatura de secado

Tabla 2.4: Formato para concluir el total de lavadas realizadas en el tiempo de estudio, según su clasificación por tipo de suciedad.

Mes	Lavadas ropa liviana	Lavadas ropa mediana	Lavadas ropa pesada	Lavadas ropa compresada	Lavadas ropa contaminada	Total
Promedio (mensual)						
Total (anual)						

C. Inspección visual.

Esta actividad consiste en hacer un recorrido por las instalaciones, en el que se observe la operación de los principales procesos y equipos consumidores de energía térmica. Parte de las actividades es elaborar un diagrama de flujo del proceso, en el que se muestren los principales consumidores de energía térmica. Para realizar esta actividad se puede utilizar el formato presente en la ilustración 2.4.

EMPRESA: _____	HOJA: _____
ELABORÓ: _____ FECHA: _____	FIRMA: _____
REVISÓ: _____ FECHA: _____	FIRMA: _____

GUÍAS: _____	
NOMBRE: _____ PUESTO: _____	
NOMBRE: _____ PUESTO: _____	

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO <div style="height: 150px;"></div>	OBSERVACIONES: <div style="height: 40px;"></div> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
--	--

Ilustración 2.4: Formato de inspección visual.

Fuente: Fuente: Metodología de EE en el sector industria, (CNE, 2011).

D. Análisis de los programas de operación y mantenimiento.

El objetivo de esta actividad es el de identificar problemas de operación y mantenimiento que puedan redundar en una baja eficiencia energética de los sistemas y equipos.

La actividad involucra lo siguiente:

- a) Revisar los programas de mantenimiento de las instalaciones. Averiguar sobre las fechas de ejecución, su problemática a nivel técnico y organizacional.
- b) Analizar los procedimientos de generación y distribución de vapor del hospital, para establecer procedimientos de operación que redunden en un ahorro de energía.

E. Registro de levantamiento de datos.

En esta actividad se realiza el levantamiento de los datos de placa de todas las cargas térmicas en la empresa.

A continuación, se describen los formatos que se deben utilizar, así como la información que se debe recabar en cada uno de ellos:

Tabla 2.5: Formato de Inventario de equipos constituyentes de la sección generadora de vapor

Equipo	Tipo	Marca	Capacidad

F. Registro de calderas.

En esta actividad se realiza un levantamiento de información de las calderas, algunos de los datos a recopilar durante la identificación de las calderas son los siguientes:

Tipo de combustible, presión de trabajo, capacidad, carga promedio, horas al año de operación, posee o no un economizador o un pre-calentador de agua, cuanto es el consumo de combustible por hora y fecha de última prueba de eficiencia.

Esta información será documentada en el formato de identificación de calderas propuesto en la metodología seleccionada que se adjunta a continuación en la ilustración 2.5:

EMPRESA: _____	HOJA: _____
ELABORÓ: _____	FECHA: _____ FIRMA: _____
REVISÓ: _____	FECHA: _____ FIRMA: _____

CARACTERÍSTICAS	CALDERA					
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6
Identificación						
Tipo De Combustible						
Presión De Vapor						
Capacidad						
Carga Promedio						
Horas De Operación Año						
Economizador						
Precalentador De Agua						
Desareados						
Consumo De Combustible H ₂						
Fecha De Última Prueba De Eficiencia						
Observaciones:	_____					

Ilustración 2.5: Formato de identificación de calderas.
Fuente: Metodología de EE en el sector industria, (CNE, 2011).

2.2.3. Paso 3. Toma de mediciones en campo a los equipos de generación y distribución de vapor.

En esta actividad se realizan las mediciones de los parámetros de operación de los equipos, con la finalidad de conocer la eficiencia energética de cada uno de ellos, y de obtener información que permita proponer mejoras.

A. Mediciones a equipos consumidores de energía térmica.

Los formatos a utilizar y las mediciones a realizar como parte de esta actividad se describen a continuación:

En la tabla 2.5 y 2.6 se presenta el formato a utilizar para la recolección de información de los equipos generadores y consumidores de vapor.

Tabla 2.6: Inventario de equipos consumidores de vapor del HNZ.

Equipo	Marca	Capacidad

Adicionalmente es necesario contar con el inventario de tuberías utilizadas para la distribución de vapor. Se debe presentar el total de metros lineales existentes de tuberías, separadas por tipo de fluido que circula por ellas y su diámetro nominal, utilizando un símbolo o nombre según sea el tipo de fluido que circula por ellas; mostrando en principio su representación gráfica.

Los formatos a utilizar son los descritos en las tablas 2.7, 2.8 y 2.9.

Se asigna un símbolo a cada línea de tubería dependiendo del tipo fluido que circula por ellas; en la tabla 2.7 se presenta un ejemplo de fluidos en tuberías y su símbolo a utilizar en el diagrama de tuberías.

Tabla 2.7: Formato de identificación de simbología utilizada en el diagrama de tuberías.

Símbolo	Fluido que recorre por tubería
V	Vapor
C	Retorno de condensado
A	Aire comprimido
H	Agua caliente
W	Agua fría
WC	Agua de condensa
WS	Agua suavizada
WD	Agua dura
DR	Tubería de drenaje
P	Línea de purga
D	Combustible

- 1) Para el inventario de tuberías por fluido se utiliza el formato de la tabla 2.8; en la que se identifican el fluido, el símbolo que lo identifica y las áreas en las que se encuentran estas tuberías y son las que para el estudio son las áreas de interés:

Tabla 2.8: Inventario de tuberías por fluido.

Fluido	Símbolo	Área 1	Área 2
		Metros lineales (m)	
Total			

- 2) Para el inventario de tuberías por diámetro, según el área de interés, se utiliza el formato presente en la tabla 2.9. En el formato se incluyen los diámetros más comunes que se encuentran en un sistema de generación y distribución de vapor. no obstante, no está limitado a estos.

Tabla 2.9: Inventario de tuberías por diámetro y fluido (valores en metro lineal).

Fluido	Símbolo	Diámetro						
		1/2"	3/4"	1"	1-1/4 "	2"	2-1/2"	3"
Total (m)								

B. Estudio termográfico

El estudio termográfico es utilizado para determinar la temperatura superficial de equipos: conductores eléctricos, motores, carcazas de calderas, líneas de vapor, etc.

En los sistemas de generación y distribución de vapor se puede determinar puntos calientes en los aislantes térmicos, que representan fugas de calor, las cuales conllevan a un incremento en el consumo de combustibles.

Este estudio se llevará a cabo con una cámara termográfica proporcionada por el Centro Nacional de Producción más Limpia de El Salvador con apoyo de uno de sus técnicos de campo.

La información a recolectar es la ubicación de tuberías o equipos que servirán como referencia en los puntos que se encuentren algunas de las situaciones anteriormente descritas (puntos críticos), además de conocer su temperatura y la imagen infrarroja del mismo. Esto con el objetivo de descubrir áreas de mejora en el sistema.

C. Mediciones para cálculo de rendimiento de calderas mediante el método directo.

La eficiencia de una caldera es de vital importancia ya que a mayor eficiencia su consumo de combustible es menor (el rendimiento de una caldera es la relación entre el calor contenido en el vapor y el calor contenido en el combustible que se quema), y en consecuencia el costo de operación y la contaminación hacia el medio ambiente serán menores. La metodología seleccionada propone para su cálculo un método directo y uno indirecto, debido a la información que se posee se utilizará el método directo, cuyas ecuaciones se describen a continuación:

$$Q_{comb} = m_c * PC \quad Ec. 2.1$$

$$E = \frac{m_v * (h_v - h_a)}{Q_{comb}} * 100 \quad Ec. 2.2$$

Donde:

m_c : Flujo de combustible (kg/h).

PC: Poder calorífico inferior del Combustible (kJ/kg).

m_v : Flujo de vapor (kg/h).

h_a : Entalpia de agua de alimentacion (kJ/kg).

h_v : Entalpia de vapor (kJ/kg)^a

D. Mediciones para el control de purgas de caldera.

La realización de purgas en una caldera es clave en su buen funcionamiento, al hacerlo se eliminan elementos corrosivos (sólidos disueltos y sedimentos sin disolver) 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; la importancia de controlar las purgas se debe a que un exceso de purga da lugar a un funcionamiento ineficiente de la caldera, ya que cada purga hace que se pierda el calor contenido en el agua extraída. Este calor perdido puede relacionarse con el coste de combustible, coste del agua tratada y el de los químicos usados para tratarla.

Se utilizará para su cálculo las relaciones brindadas por la metodología seleccionada que se muestran a continuación:

Razón de purga actual.

$$P = \left(\frac{SDT_a}{SDT_p - SDT_a} \right) * W_v \quad \text{Ec. 2.3.}$$

Razón de purga esperada.

$$P' = \left(\frac{SDT_a}{SDT_{p'} - SDT_a} \right) * W_v \quad \text{Ec. 2.4.}$$

Ahorro de agua.

^a Metodología de EE en el sector industria, (CNE, 2011).

$$AA = P - P' \quad Ec. 2.5$$

Volumen anual de agua ahorrada

$$VAA = AA * Hop \quad Ec. 2.6$$

Ahorro económico anual de agua.

$$\$AA = VAA * Ca \quad Ec. 2.7$$

Calor que se deja de perder anualmente.

$$Qp = VAA * hl \quad Ec. 2.8$$

Calor que se deja de utilizar en la caldera.

$$Qc = \frac{Qp}{\eta} \quad Ec. 2.9$$

Combustible que se ahorró.

$$AC = \frac{Qc}{Pc} \quad Ec. 2.10$$

Ahorro económico anual de combustible.

$$\$AC = AC * Cc \quad Ec. 2.11$$

Ahorro económico total anual.

$$\$A = \$AA + \$AC \quad Ec. 2.12$$

Dónde:

SDTp: solidos disueltos en el agua de purga (ppm).

SDTa: solidos disueltos en el agua de alimentación (ppm).

Wv: flujo de vapor (Ton/hr).

Ca: costo del agua tratada (\$/Ton).

hl: entalpia de saturación del líquido (kJ/kg).

D: eficiencia del generador de vapor (%).

Pc: poder calorífico superior del combustible (kcal/lt).

Cc: costo del combustible (\$/m3).

Hop: horas de operación anual (h/año).

2.2.4. Paso 4: Análisis de datos.

Una vez que la información ha sido recopilada en los pasos anteriores de la AE esta debe ser capturada y ordenada para proceder a su análisis, con la finalidad de identificar las áreas de oportunidad de ahorro de energía que ofrezca la instalación.

Con la finalidad de identificar a los equipos y sistemas más intensivos en el consumo de energía, la primera actividad a realizar en esta etapa de la AE, es determinar la gestión actual de la energía térmica. Para lo cual es necesario contabilizar el consumo y gasto de combustible de por lo menos 12 meses antes del inicio de la investigación; en este caso se recaba información desde enero hasta diciembre de año 2017.

Se utilizan los siguientes instrumentos para la recolección de la información.

- a) Generación de energía térmica por consumo de combustible. Se detalla el consumo total por mes y la energía térmica producida en Giga Joules (GJ) según el formato de la tabla 2.10. a continuación en la tabla 2.11 se presenta los datos técnicos del combustible utilizado para la generación de vapor dentro del HNZ.

Tabla 2.10: Formato de presentación de generación de energía por consumo de diésel

Mes	Consumo de combustible-gal	Energía térmica Producida (GJ)
Total		

Se debe mostrar además la representación gráfica del consumo de diésel y la generación de energía térmica por mes.

Tabla 2.11: Formato para recolección de datos técnicos del combustible

Tipo de combustible	Densidad (kg/m ³)	Poder calorífico. (GJ/kg)	Factor de emisión (Ton CO ₂ /GJ)

Para calcular los GJ de energía térmica se utilizan las siguientes formulas:

GJ de energia termica

$$= \text{Consumo de combustible} * \rho_{\text{combustible}} * PC_{\text{combustible}}$$

Ec. 2.13

Dónde:

$\rho_{\text{combustible}}$ = densidad del combustible

$PC_{\text{combustible}}$ = poder calorifico inferior del combustible.

- b) Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Se calcularán los GEI únicamente como emisiones de CO₂ equivalentes basados en el consumo mensual registrado. En la tabla 2.12 se lista el formato a utilizar para la presentación de estos datos.

Tabla 2.12: Formato para presentar las toneladas de CO₂ emitidas a la atmosfera por uso de combustible en el sistema térmico de HNZ.

Mes	Consumo de combustible (gal)	Energía producida (GJ)	Emisiones de CO ₂ (ton CO ₂)

Tabla 2.12: Formato para presentar las toneladas de CO₂ emitidas a la atmosfera por uso de combustible en el sistema térmico de HNZ (continuación)

Mes	Consumo de combustible (gal)	Energía producida (GJ)	Emisiones de CO ₂ (ton CO ₂)
Total			
Promedio Mensual			

Para conocer las toneladas de CO₂ emitidas se hace uso de la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 TonCO_2 emitidas &= Consumo\ de\ combustible * \rho_{combustible} * PC_{combustible} \\
 &* FEC_{combustible} \qquad \qquad \qquad Ec. 2.14
 \end{aligned}$$

Dónde:

$$FEC_{combustible} = \text{factor de emision de } CO_2 \text{ para el combustible.}$$

A. Indicadores energéticos

Un indicador energético constituye una herramienta esencial para dar a conocer aspectos o consecuencias de la producción y el uso de la energía; refleja los progresos realizados, o la falta de ellos, hacia la consecución de un desarrollo sostenible^b; estos sirven como línea base para las auditorías energéticas, muestran el estado actual del sistema en estudio y a partir del cual se pretende mejorar.

En base a los resultados obtenidos de los literales anteriores y del consumo de vapor para el proceso de lavandería, se identifican los indicadores energéticos bajo los cuales se construye la línea base para las mejoras en eficiencia energética a proponer. Se utiliza el siguiente formato adaptado al HNZ para la determinación de los mismos mostrado en la tabla 2.13.

^b (ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA, DEPARTAMENTO DE ASUNTOS ECONOMICOS Y SOCIALES DE LAS NACIONES UNIDAS, 2008)

Tabla 2.13: Formato para presentar los Indicadores energéticos del HNZ.

Mes	Energía producida (GJ)	Emisiones totales de CO2 (kg)	Total de ropa lavada (lb)	Total de ropa secada (lb)	Carga total de ciclos (lb)	Indicador Energético GJ / lb	Indicador Energético kg CO2 / lb
Total							
Prom. Mensual							

B. Balances de masa energía

Para la situación en estudio, los balances de masa a presentar involucran únicamente la cantidad de agua consumida por el sistema para la generación de vapor. Una forma de determinar los flujos másicos en cada corriente es en bases a la cantidad de sólidos totales disueltos (SDT). Los SDT de cada corriente pueden ser conocidos a través de los reportes físico-químicos del sistema de vapor.

En cuanto a los balances de energía a presentar, se desarrollan únicamente los balances de energía térmica. Estos incluyen las entradas y salidas de flujos energéticos al sistema de generación de vapor y en general, de los equipos consumidores. Estos pueden ser representados en forma tabular o gráficamente en forma de diagrama de pastel, en el que cada rebanada represente el consumo de energía de cada sistema analizado.

Se consideran como flujos de entrada al sistema de generación de vapor la energía del agua de alimentación y la energía de combustible; los flujos de salida son: la energía presente en el vapor producido a la presión y temperatura del sistema y las pérdidas que se presentan de forma de radiación y convección, la pérdida en los gases de combustión y las pérdidas de energía debido a las purgas tal como se muestra en la ilustración 2.6.

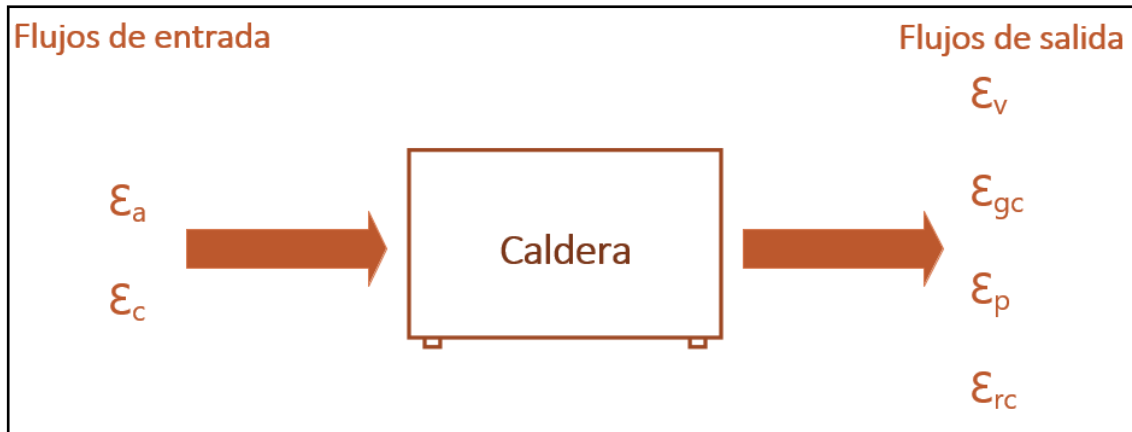


Ilustración 2.6: Flujos de energía que entrada y salida de la caldera.

En la ilustración 2.6, ϵ_a = energía del agua de alimentación, ϵ_c = energía del combustible, ϵ_v = energía del vapor producido, ϵ_{gc} = gases de combustión, ϵ_p = energía en la purga, ϵ_{rc} = energía perdida por radiación y convección. A continuación, se describen las relaciones de cálculo para determinar estos flujos.

C. FLUJOS DE ENTRADA

C.1. Calculo del calor absorbido por el agua, Q_a .

Partiendo del balance de masa se determina la cantidad de agua de alimentación entrando por hora a la caldera; si el sistema de generación de vapor cuenta con dispositivos que miden el flujo de agua entrando, puede utilizarse este dato. Además, debe de conocerse el valor de la temperatura a la que el agua está siendo enviada, para determinar su valor entálpico. Este puede ser conocido a través de tablas de vapor de agua, correlaciones matemáticas o con el uso de software termodinámicos.

La ecuación a utilizar es la siguiente:

$$Q_a = m_a * H_1 \quad \text{Ec. 2.15}$$

Dónde:

m_i = es la masa de agua entrando a la caldera.

H_1 = es la entalpia del agua a las condiciones de entrada.

C.2 Energía del combustible, Q_{comb} .

Para conocer la energía que entra al sistema por la combustión del combustible se utiliza la ecuación 2.1, descrita anteriormente. El flujo de combustible a utilizar el resultante del promedio de consumo de combustible de los históricos.

D. FLUJOS DE SALIDA

D.1. Energía del vapor producido, Q_v .

Para conocer la energía del vapor producido basta con multiplicar la masa de vapor producido (m_v) y la diferencia de entalpias a las condiciones de salida (H_2) y entrada (H_1), es decir:

$$Q_v = m_v * (H_2 - H_1) \quad Ec. 2.16$$

D.2. Energía perdida en las purgas, Q_{purga} .

El calor perdido en las purgas se conoce utilizando la ecuación 2.17:

$$Q_{purga} = \frac{SDT_a}{SDT_p - SDT_a} * Q_v \quad Ec. 2.17$$

D.3. Energía perdida por convección y radiación

Para conocer el valor del calor perdido por convección y radiación se utilizan las ecuaciones proporcionada por la *Norma Oficial Mexicana NOM-009-ENER-1995, Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriales*. 2da ed. (p.15).

Calculo del coeficiente de transferencia de calor por convección natural y forzada, desde la superficie aislada hacia el ambiente, h_c (W/m² K):

$$h_c = 3.0075 * C * \left[\frac{1.11}{t_{sup} + t_a - 510.44} \right]^{0.181} * [1.8 * (t_{sup} + t_a)]^{0.266} * (1 + 7.9366 * 10^{-4} * V)^{0.5} \quad Ec. 2.18$$

Calculo del coeficiente de transferencia de calor por radiación, h_r (W/m²K):

$$h_r = 0.9824 * 10^{-8} * Em_{SS} * \frac{t_a^4 - t_{sup}^4}{t_a - t_{sup}} \quad Ec. 2.19$$

El cálculo del coeficiente global de transferencia de calor, h_s (W/m²K) será:

$$h_s = h_c + h_r \quad Ec. 2.20$$

Calculo del coeficiente global de transferencia de calor, h_s (W/m²):

$$q = \frac{(t_{op} - t_a)}{\left[\left(\frac{esp}{k_{ais}} \right) + \left(\frac{1}{h_s} \right) \right]} \quad Ec. 2.21$$

Dónde:

C = coeficiente de forma, 1.79 para superficies planas y 1.016 para tuberías

esp = espesor del material aislante, m

t_{op} = temperatura de operación, K

t_{sup} = temperatura de la superficie del termoaislante, K

t_a = temperatura de ambiente, K

k_{ais} = conductividad térmica del termoaislante, $\frac{W}{mK}$

V = velocidad del viento, $\frac{m}{h}$

Em_{SS} = emisividad de la superficie aislada, adimensional

do = diametro exterior del equipo o tubería aislado, m.

Para poder hacer uso de las ecuaciones anteriores, es necesario conocer las dimensiones de la caldera, temperatura de superficie y su material de construcción.

D.4. Energía perdida en los gases de chimenea, Q_{ch} .

Para determinar la energía que se pierda en los gases de chimenea, un buen punto de partida son los registros de análisis a los mismos que la institución realiza. La información necesaria a recabar es la temperatura de salida de los gases, composición de las especies que conforman los gases, eficiencia de combustión, cantidad de aire en exceso y de más valores que aporten información valiosa para determinar a la pérdida de energía.

La ecuación a utilizar es:

$$Q_{ch} = m_g * C_{p_g} * \Delta T \quad \text{Ec. 2.22}$$

Dónde:

m_g = masa de gases de chimenea

C_{p_g} = capacidad calorífica de los gases (kJ/kg*K)

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. El cálculo de la capacidad calorífica de la mezcla de gases se realiza para una temperatura promedio de salida de los mismos y utilizando las siguientes formulas^c:

$$C_{p_m} = \sum_{i=1}^n y_i C_{p_i} \quad \text{Ec. 2.23}$$

^c (J.M.Smith, 2007)

$$\frac{Cp_i}{R} = A + BT + CT^2 + DT^{-2} \quad \text{Ec. 2.24}$$

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.

Una forma alternativa de calcular las pérdidas de energía en los gases de chimenea es utilizando la *ecuación de Siegert^d*, en la cual se utilizan los valores de temperatura ambiente (t_a , °C), temperatura de humos (t_h , °C) y el contenido de CO_2 en porcentaje. La ecuación es la siguiente:

$$q_{ch}(\%) = K * \frac{t_h - t_a}{\% \text{CO}_2} \quad \text{Ec. 2.25}$$

Dónde:

K es una constante para cada combustible.

Para diésel: $K = 0.495 + (0.00693 * \% \text{CO}_2)$

Para fuelóleo: $K = 0.516 + (0.0067 * \% \text{CO}_2)$

Para gas natural, propano y butano: $K = 0.376 + (0.0097 * \% \text{CO}_2)$

Para hulla y antracita: $K = 0.68$

Para cok: $K = 0.57$

Para gas ciudad: $K = 0.50$

El resultado de esta ecuación es el porcentaje en relación al calor de entrada que se pierde en los gases de combustión. Presenta una estimación aceptable de este valor cuando se dificulta obtener el valor de esta pérdida por los métodos convencionales.

^d (alcion, 2013)

Otras fuentes de pérdidas que deben considerarse son las causadas por la presencia de fugas de vapor en el sistema de tuberías y la falta de aislamiento térmico de las tuberías. Para determinar su valor se utilizan los procesos siguientes.

D.5. Pérdida de energía por fugas de vapor.

Para conocer la cantidad de vapor que se pierde debida a las fugas en la red de tuberías puede ser utilizado el método de cálculo del CNPML, el cual hace uso de las siguientes ecuaciones:

$$W_{vf} = \frac{\left[\frac{0.8 * 0.4118 * 3.1416}{4} \right] * \left[\frac{D}{25.4} \right]^2 * (P * 14.502) * 0.4536}{[1.8 * (T + 273.15)]^{0.5}} \quad Ec. 2.26$$

Dónde:

W_{vf} = flujo de vapor que se fuga $\left(\frac{kg}{s}\right)$

D = diametro de fuga de vapor (mm)

T = temperatura de vapor en la linea ($^{\circ}C$)

P = presion del vapor en la linea (bar)

Conociendo el flujo másico que se pierde de vapor, puede calcularse la energía en forma de calor que este representa haciendo uso de la ecuación 2.27:

$$Q_{fuga} = W_{vf} * \Delta h \quad Ec. 2.27$$

Dónde:

$$\Delta h = h_{vf} - h_{aa} \quad Ec. 2.28$$

h_{vf} = entalpía de vapor a la presión de la fuga $\left(\frac{kJ}{kg}\right)$

h_{aa} = entalpía a la temperatura del agua $\left(\frac{kJ}{kg}\right)$

D.6. Pérdida de energía por la falta de aislamiento térmico en las tuberías

Para conocer la cantidad de energía que se pierde por la falta de aislamiento, al igual que en las causada por la radiación y convección, se sigue la metodología presentada por la *Norma Oficial Mexicana NOM-009-ENER-1995, Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriales*. 2da ed. (p.15); por lo cual se usan las siguientes ecuaciones:

Cálculo del diámetro aislado, d_a (m):

$$d_a = d_o + 2 * esp \quad Ec. 2.29$$

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección natural y forzada, desde la superficie aislada hacia el ambiente, h_c ($W/m^2 K$):

$$h_c = 2.2741 * C * (d_a)^{-0.2} \left[\frac{1.11}{t_{sup} + t_a - 510.44} \right]^{0.181} * [1.8 * (t_{sup} + t_a)]^{0.266} * (1 + 7.9366 * 10^{-4} * V)^{0.5} \quad Ec. 2.30$$

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por radiación, h_r (W/m^2K):

$$h_r = 0.9824 * 10^{-8} * Emss * \frac{t_a^4 - t_{sup}^4}{t_a - t_{sup}} \quad Ec. 2.31$$

El cálculo del coeficiente global de transferencia de calor, h_s (W/m^2K) será:

$$h_s = h_c + h_r \quad Ec. 2.32$$

Cálculo del flux de calor, q (W/m):

$$q = \frac{\pi * (t_{op} - t_a)}{\frac{1}{2 * kais} * \ln \frac{d_a}{d_o} + \frac{1}{h_s * d_a}} \quad Ec. 2.33$$

2.2.5. Paso 5. Elaboración de la cartera de proyectos.

Una vez que las oportunidades de ahorro de energía han sido identificadas y analizadas, se deberá realizar una cartera de proyectos, donde para cada una de las medidas de ahorro propuestas se presente la siguiente información:

- a) Resumen que contiene:
 - i. Ahorro de energía.
 - ii. Emisiones evitadas de GEI (tCO₂/año).
 - iii. Ahorro económico (US\$/año).
 - iv. Inversiones necesarias (US\$).
 - v. Período simple de recuperación de la inversión (años).
- b) Descripción de la situación actual. Breve descripción de la situación actual que brinda un panorama de partida a la medida propuesta.
- c) Descripción de las acciones concretas a realizar para la implementación de la medida. Describir brevemente las acciones para implantar la medida.
- d) Cálculo de ahorros. Describir los ahorros que se pretenden obtener al implantar esta medida contrastada con la situación actual.
- e) Evaluación económica. Dicha evaluación deberá contener al menos el cálculo del periodo de retorno de la inversión.

A. Factibilidad económica del proyecto.

Con el diagnóstico energético terminado, las oportunidades de ahorro identificadas y las medidas a implementar con sus respectivas evaluaciones técnicas, ambientales y económicas definidas, es necesario realizar un estudio de factibilidad financiera, o informe de proyecto de inversión, el cual deberá presentarse con base a las siguientes consideraciones:

- a) Monto total de la inversión.
- b) Periodo de recuperación de la inversión (PRI).
- c) Tasa Interna de Retorno (TIR).

d) Valor Actual Neto (VAN).

Y la respectiva interpretación de cada uno de estos indicadores de rentabilidad económica. Esto deberá presentarse en un flujo de caja, presentando un cuadro en una hoja de cálculo como Microsoft Excel.

En el “Plan Maestro para el desarrollo de la energía renovable en El Salvador” (Consejo Nacional de Energía, 2012), se establecen los criterios para evaluar un proyecto de energía renovable (Centrales hidroeléctricas, Energía solar, Eólica, Geotermia, Biomasa, etc.). Para el estudio a realizar tomaremos los criterios de evaluación para proyectos de Energía Solar, debido a que esta será la línea en base a la cual se estudiarán medidas de mejora utilizando energía renovable.

A continuación, en la tabla 2.14 se mencionan los criterios de evaluación para estos indicadores.

Tabla 2.14: Criterios de evaluación de proyectos de EE.

Indicador de rentabilidad	Criterio de evaluación
Valor Actual Neto (VAN) con 10% de tasa de descuento	>0
Tasa Interna de Retorno (TIR)	>12%

Fuente: Plan maestro para el desarrollo de la energía renovable en El Salvador, (CNE, 2012).

B. Planificación o plan de implementación.

Para la formulación del plan de trabajo o plan de implementación es importante proponer un esquema detallado de las acciones y actividades a desarrollar.

El plan de implementación se realiza por el propietario del proyecto o en conjunto con el consultor, para que tenga el compromiso de la gerencia y de esta manera las acciones sean planificadas de acuerdo a los objetivos planteados.

Estas acciones son mostradas cronológicamente, en un orden secuencial, indicando los plazos propuestos para realizarlas, así como el responsable de las mismas, en un formato como el que se presenta en la ilustración 2.7 siguiente:

No.	Área de Impacto/Objetivo	Opción u Recomendación	Meta	Responsable	Fecha Programada para la Implementación					
					Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.
1.										
2.										

Ilustración 2.7: Formato de plan de implementación.

Fuente: Guía práctica para la formulación y ejecución de proyectos de EE, (CNE, 2012).

2.2.6. Paso 6. Elaborar el informe de la AE.

El paso final es el de preparar un informe que contenga las observaciones y conclusiones de la AE, haciendo énfasis en las oportunidades de ahorro de energía, y el plan de acción para implantarlas. En este informe también se presentan todos los datos energéticos básicos de la planta en una forma consistente para que se puedan comparar con los parámetros energéticos de diferentes plantas.

En el informe se contempla al menos la siguiente información:

- a) Resumen ejecutivo.
- b) Descripción de la planta.
 - i. Datos generales de la planta: localización, tamaño, edad.
 - ii. Departamentos y procesos principales.
 - iii. Consumos energéticos anuales.
 - iv. Costos de combustibles.
- c) Análisis de consumos energéticos.
 - i. Repartición de consumos y costos de energía.
 - ii. Balance energético global.

- iii. Variación mensual de consumo de energía.
- iv. Análisis de indicadores energéticos.

d) Análisis de los diferentes sistemas.

- i. Levantamiento.
- ii. Mediciones.
- iii. Medidas de ahorro.
- iv. Evaluación económica.
- v. Conclusiones y recomendaciones.

3. ESTUDIO DE EE APLICADA AL HOSPITAL NACIONAL “Dr. Juan José Fernández”, Zacamil.

En el presente capítulo se describe la información recolectada de los pasos 1, 2, 3 y 4 descritos en el capítulo anterior; además de su análisis correspondiente. Se describen también las áreas del HNZ en las que la generación y uso de vapor es más relevante.

Se presenta también el estado actual de funcionamiento del sistema de generación de vapor del HNZ, el gasto de combustible para el año de estudio, así como la energía producida y la generación de gases de efecto invernadero que este representa. Esto con la finalidad de establecer una línea base y establecer los indicadores energéticos y ambientales, y proponer medidas de EE que se ajusten a las necesidades del sanatorio en el área de lavandería; además de los balances de masa y energía respectivos.

3.1. Paso 1 y 2: Programación y recopilación de la información

A través de reuniones con el personal encargado del departamento de mantenimiento del HNZ se concretaron visitas a las instalaciones del nosocomio para conocer las áreas donde se genera y consume el vapor, que como se mencionó en el capítulo 1, dichas áreas corresponden únicamente al cuarto de máquinas y el área de lavandería.

Durante los recorridos a las instalaciones se recopiló la información que en los siguientes apartados se detalla. Dicha actividad se realizó con la supervisión de encargados de las mismas.

3.1.1. Información General del HNZ y las áreas de lavandería y cuarto de máquina.

En la tabla 3.1 se presenta la información general de las áreas de estudio, y en el anexo 2 la check list utilizada para su recolección.

Tabla 3.1: Información general del HNZ.

Nombre del lugar de investigación:	Hospital Nacional “Dr. Juan José Fernández”, Zacamil.
Dirección del hospital	Calle la Ermita y Avenida Castro Moran, Urbanización José Simeón Cañas, Colonia Zacamil, San Salvador.
Nivel de atención	2° nivel.
Misión del hospital	Instancia que dirija el funcionamiento efectivo del Hospital, a nivel técnico administrativo y financiero, que permita la satisfacción de la población en sus Requerimientos de salud.
Visión del hospital	Conducir y asegurar la gestión de los servicios hospitalarios sostenibles equitativos, eficientes y transparentes, para el logro de la satisfacción de las necesidades en salud de la población usuaria de las RIISS.
Áreas o departamentos de interés:	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Departamento de lavandería. ✓ Cuarto de máquina. ✓ Red de suministros de vapor.
Cantidad de empleados:	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Lavandería: 16. ✓ Mantenimiento: 19.
Días de trabajo por año	365.
Horarios de turnos	24 horas del día.

Fuente: Datos proporcionados por jefe de mantenimiento del HNZ, 2018.

En la ilustración 3.1 se presenta el plano de ubicación del sistema de trampeo de línea, del cual se puede identificar la ubicación de las áreas de interés, sala de máquinas y lavandería; para un mayor alcance, en la ilustración 3.2 se muestra la distribución de planta del área de lavandería.

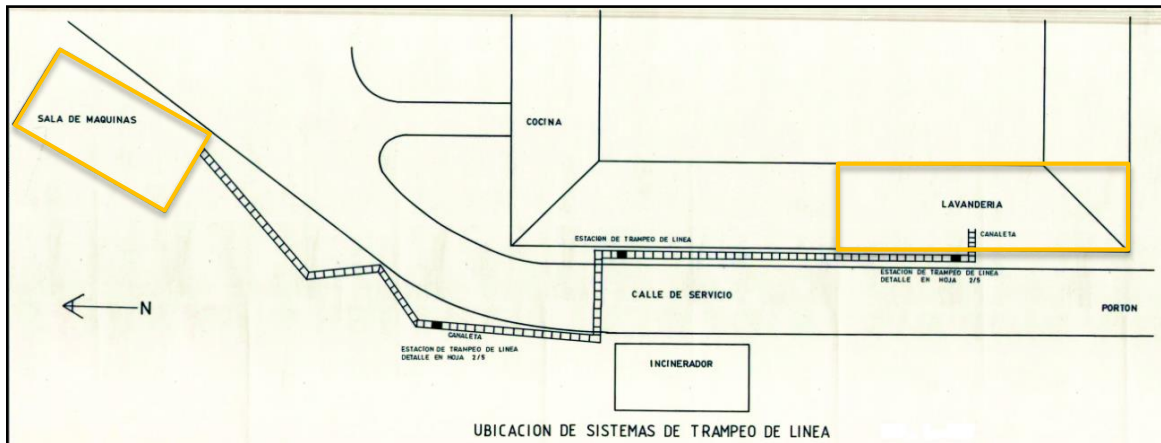


Ilustración 3.1: Ubicación del sistema de trampero de línea con énfasis en las áreas de lavandería y sala de máquinas del HNZ

Fuente: Departamento de mantenimiento del HNZ, 2018.

En la ilustración 3.2 se aprecian las diferentes dependencias por las que está constituida el área de lavandería. Esta posee una distribución lineal según el proceso de lavado y secado que se ejecuta el hospital.

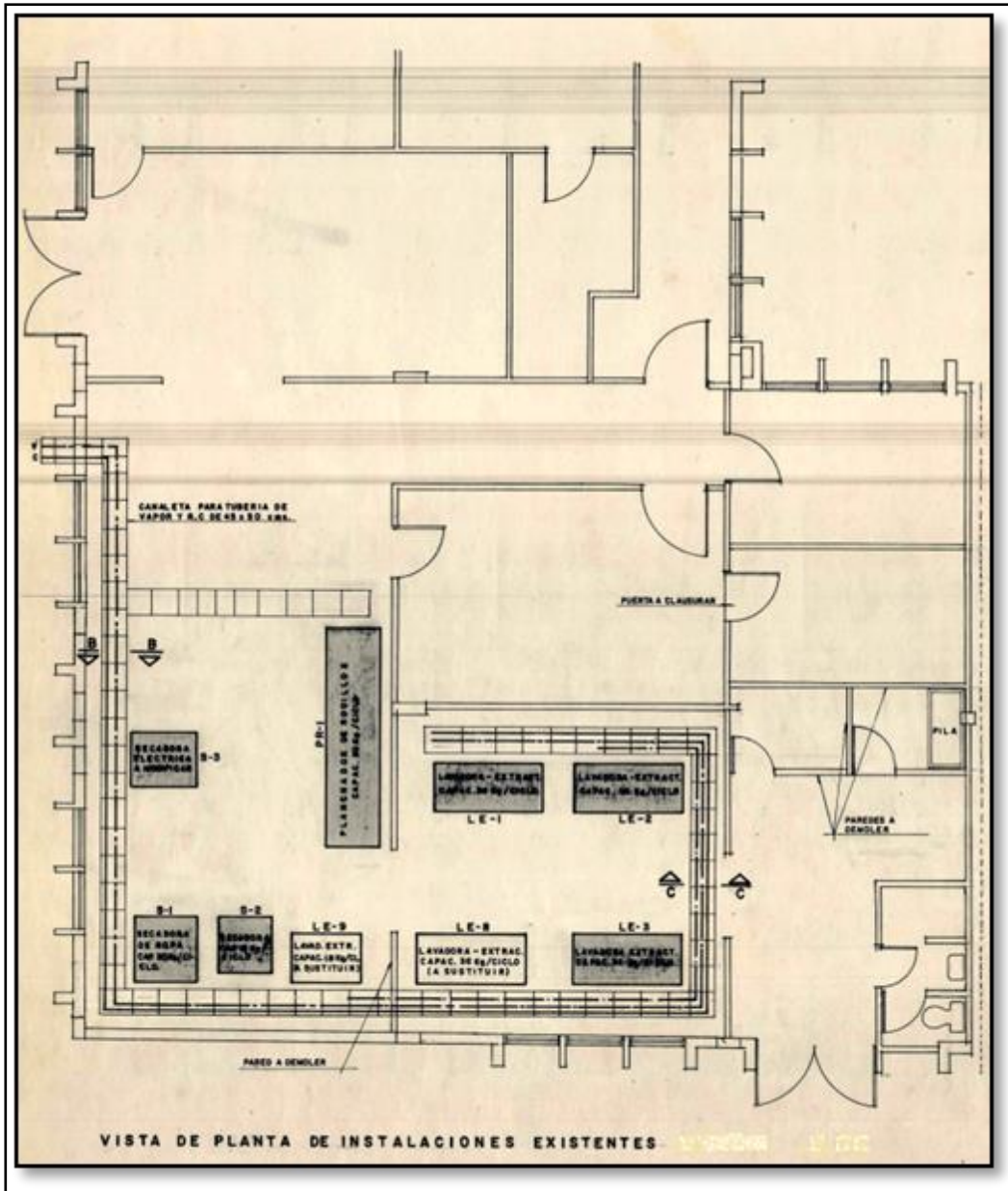


Ilustración 3.2: Vista de planta de instalaciones existentes en el área de lavandería.

Fuente: Departamento de mantenimiento del HNZ, 2018.

3.1.2. Historial de consumo de combustible.

La tabla 3.2 presenta los gastos de combustibles y sus consumos promedio, esto en base a su historial para el periodo comprendido de enero a diciembre del año 2017 (véase anexo 3).

Tabla 3.2: Resumen del consumo de combustible utilizado en el HNZ para el año 2017.

Concepto	Diésel (gal)
Consumo promedio Mensual	2852.64
Consumo anual	34231.68
Costo mensual promedio	\$ 5811.80
Costo anual	\$ 69741.62
Costo promedio por Unidad	\$ 2.62 ^e

Fuente: Facturación de combustible, departamento de mantenimiento, HNZ. 2018.

En la ilustración 3.3 se presenta la tendencia del consumo de combustible que el HNZ utilizó para el abastecimiento de vapor en lavandería contrastado con el gasto en la compra del mismo. Se observa que el mayor consumo de diésel se dio en el mes de junio, seguido por el mes de octubre. Sin embargo, el mayor gasto de combustible se tuvo en el mes de diciembre, seguido por octubre y noviembre; esto debido a un incremento del 2.43% (\$2.81 y \$2.88 respectivamente) en el precio del galón de combustible entre estos meses, y un 12.5% mayor al precio facturado en el mes de junio (\$2.40 y \$2.88)

^e Costo libre de impuestos, véase anexo 3.

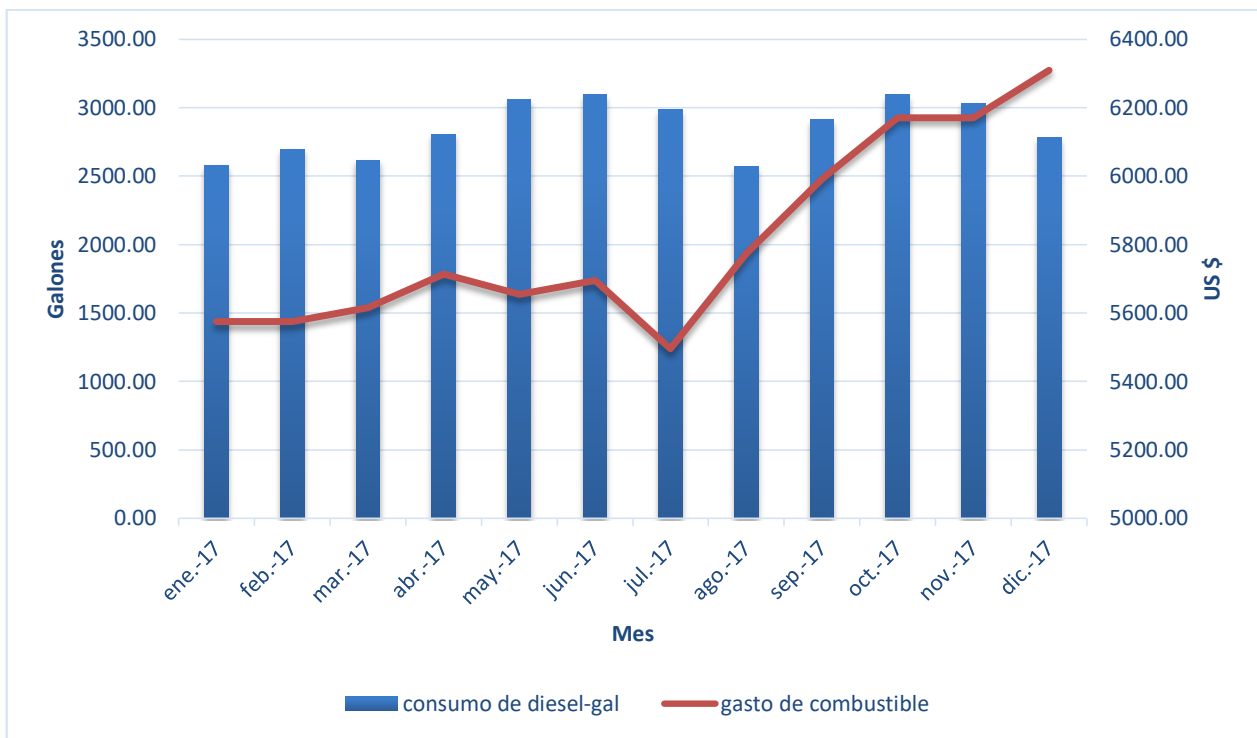


Ilustración 3.3: Comportamiento del consumo de gas propano para el periodo de análisis en el HNZ.

Fuente: Registro del departamento de mantenimiento, HNZ. 2018.

3.1.3. Actividades que demandan vapor en el área de Lavandería.

La ropa es recogida por el personal encargado de los diferentes servicios en carros cargadores. Estos son llevados a la zona de recolección. Luego es clasificada por el personal técnico, y pesada en báscula según sea la capacidad de la lavadora a utilizar, que obedece a la selección del programa de lavado según la clasificación hecha.

Los programas de lavado son 5, de los cuales 4 demandan el uso de vapor (véase tabla 1.1). En la tabla 3.3 se muestran la variación de tiempos, temperaturas y demandas de vapor que se de acuerdo a estos programas.

Tabla 3.3: Programas de lavado y sus especificaciones de uso de vapor en el departamento de lavandería del HNZ.

Programa de lavada según el tipo de suciedad	Carga máxima lb/ lavadora	Tiempo total del ciclo de lavado	Tiempo de inyección de vapor	Temperatura del baño
Mediana	150	34 min con 20 s	10 min	40 °C
			1 min	50 °C
Pesada	150	66 min	13 min	40 °C
			15 min	60 °C
			3 min	30 °C
Altamente contaminada	150	61 min	15 min	50 °C
			15 min	50 °C
Compresas	150	77 min	10 min	45 °C
			20 min	60 °C

Fuente: Reportes anuales de la Jefatura de Lavandería del HNZ, 2018.

Terminado el ciclo de lavado, el personal encargado del secado transporta la ropa húmeda en carros cargadores a la estación de secado, donde es introducida en una de las secadoras habilitadas.

Las secadoras son utilizadas según la disponibilidad del momento. Estas no están clasificadas según el tipo de suciedad ni carga; sin embargo, la carga es clasificada según su estilo como se muestra en la tabla 3.4.

Tabla 3.4: Características de ciclos de secado en el departamento de lavandería del HNZ.

Tipo de carga	Tiempo de secado	Carga máxima por secadora	Temperatura de secado
Sabana	40 min	75 lb	50 °C – 90°C
Ropa delgada	30 min	75 lb	

Fuente: Departamento de mantenimiento del HNZ, 2018.

En el proceso de secado, la carga clasificada como sabana son toda la ropa de cama utilizada (sábanas, cobijas y otras); la clasificada como ropa delgada corresponde a toda la demás indumentaria textil.

Actualmente el hospital cuenta con 3 secadoras en funcionamiento. Los ciclos de secado se ven alterados en diferentes ocasiones por problemas como el suministro de vapor, ya sea que no se cuente con este o que no se alcance la temperatura deseada; atascos durante el ciclo de secado y problemas en el funcionamiento de equipos ocasionados por su desgaste debido a su sobre utilidad.

Estos problemas son solucionados con ciclos de reproceso que varían entre 10 a 20 min del ciclo normal. Generando de esta manera mayor demanda de vapor y por consiguiente de combustible, así mismo de un mayor desgaste de las secadoras junto con atrasos en los tiempos de entrega de la ropa limpia.

Para finalizar el proceso, la ropa saliente de las secadoras es inspeccionada visualmente por los operarios para determinar si esta se encuentra libre de manchas y completamente seca; luego es doblada y repartida según las necesidades que los servicios del hospital demanden.

Para el año 2017 el hospital realizó en promedio 687 lavadas (con sus respectivos ciclos de secado). La ropa e indumentaria textil que es mayormente lavada son las clasificadas como pesada y mediana (véase capítulo 1), con un total para el mismo año de 5,698 y 2,264 cargas. Esta información se aprecia con mayor detalle en el anexo 4.

3.1.4. Caracterización e identificación de equipos del sistema.

El sistema térmico en un hospital está conformado básicamente por aquellos centros donde se consume directamente el combustible y en los que utilicen vapor o agua caliente generados a partir de energía térmica.

Los subsistemas a estudiar son: la sección generadora de vapor, compuesta por las calderas; las líneas de distribución de vapor y retorno de condensado y los equipos que utilizan vapor en el área de lavandería.

3.1.4.1. Sección generadora de vapor.

La generación de vapor constituye la mayor fuente de consumo energético, de ahí la importancia de la eficiencia de combustión y operación de las calderas.

En las tablas 3.5 y 3.6 se presentan los equipos que componen la sección generadora de vapor del HNZ y los datos de las calderas de la institución^f.

Tabla 3.5: Inventario de equipos constituyentes de la sección generadora de vapor en el HNZ..

Equipo	Tipo	Marca	Capacidad
Caldera 1	Piro tubular	York Shipley Inc.	80 BHP
Caldera 2	Piro tubular	York Shipley Inc	80 BHP
Tanque de Diésel	Horizontal		375 gal
Bomba de Diésel		BALDOR	1 ½
Compresor		BALDOR RELIANCER	5 HP

Tabla 3.6: Datos de calderas del HNZ

Parámetro del equipo	Caldera 1	Caldera 2
Marca	York Shipley Inc	York Shipley Inc.
Modelo	SPHV-80-2 94220	SPHV-80-2 94220
Capacidad	80 BHP	80 BHP
Generación calorífica	2678000 BTU/h	2678000 BTU/h
Combustible	Diésel	Diésel
Presión nominal	150 lb/plg ²	150 lb/plg ²
Presión de trabajo	102 lb/plg ²	102 lb/plg ²

^f Ver anexo 5 Check list “identificación de calderas”

3.2. Paso 3: Toma de mediciones de campo.

3.2.1. Equipos que utilizan vapor

El centro de consumo del vapor generado en el HNZ se encuentra en el área de lavandería; en esta área se consideran los siguientes equipos: lavadoras y secadoras. Actualmente el departamento trabaja con 3 lavadoras y 3 secadoras. Sin embargo, debido a la demanda de servicios que tiene el nosocomio y al desgaste de uso de equipos, en ocasiones los equipos sufren defectos mecánicos, lo que conlleva a un mayor trabajo de aquellos equipos en funcionamiento y por ende un mayor desgaste de los mismos.

En la tabla 3.7 y 3.8 se encuentran las generalidades de las lavadoras y secadoras mencionadas anteriormente.

Tabla 3.7: Inventario de equipos consumidores de vapor en el área de lavandería del HNZ.

Equipo	Marca	Capacidad
Secadora	MAXY DRY	13 BHP
	MAXY DRY	13 BHP
	MAXY DRY	13 BHP
Lavadora	MAXY WASH	71 kg
	MAXY WASH	71 kg
	MAXY WASH	55 kg

El uso de los equipos es en promedio de 12 horas por día. Dentro de este tiempo se cuenta con la constante demanda de vapor para los diferentes programas que se mencionan en la tabla 3.3. El uso de los equipos es independiente del tipo de suciedad y programa de lavado y secado a utilizar, puesto que en cada uno de ellos se encuentran disponibles todos los ciclos de lavado y secado. Su uso depende únicamente de la demanda del hospital y la disponibilidad de los mismos.

3.2.2. Líneas de distribución de vapor y retorno de condensado.

Las líneas de distribución de vapor están identificadas según el tipo de fluido que se transporta a través de ellas (vapor y condensado). Su alcance va desde el cuarto de máquinas hasta el departamento de lavandería.

En las ilustraciones 3.4 y 3.5 se muestra la distribución de tuberías en las áreas de lavandería y cuarto de máquinas respectivamente; y en la tabla 2.7 la identificación de la nomenclatura utilizada. La ubicación de las tuberías corresponde a su diseño original de 1999; sin embargo, algunas se encuentran deshabilitadas puesto que estas han sido modificadas en los años de trabajo por los diferentes usos que estas han tenido.

En las tablas 3.8, 3.9 y 3.10 se muestra el inventario de tuberías por fluido y por diámetros de las áreas de lavandería y sala de máquinas.

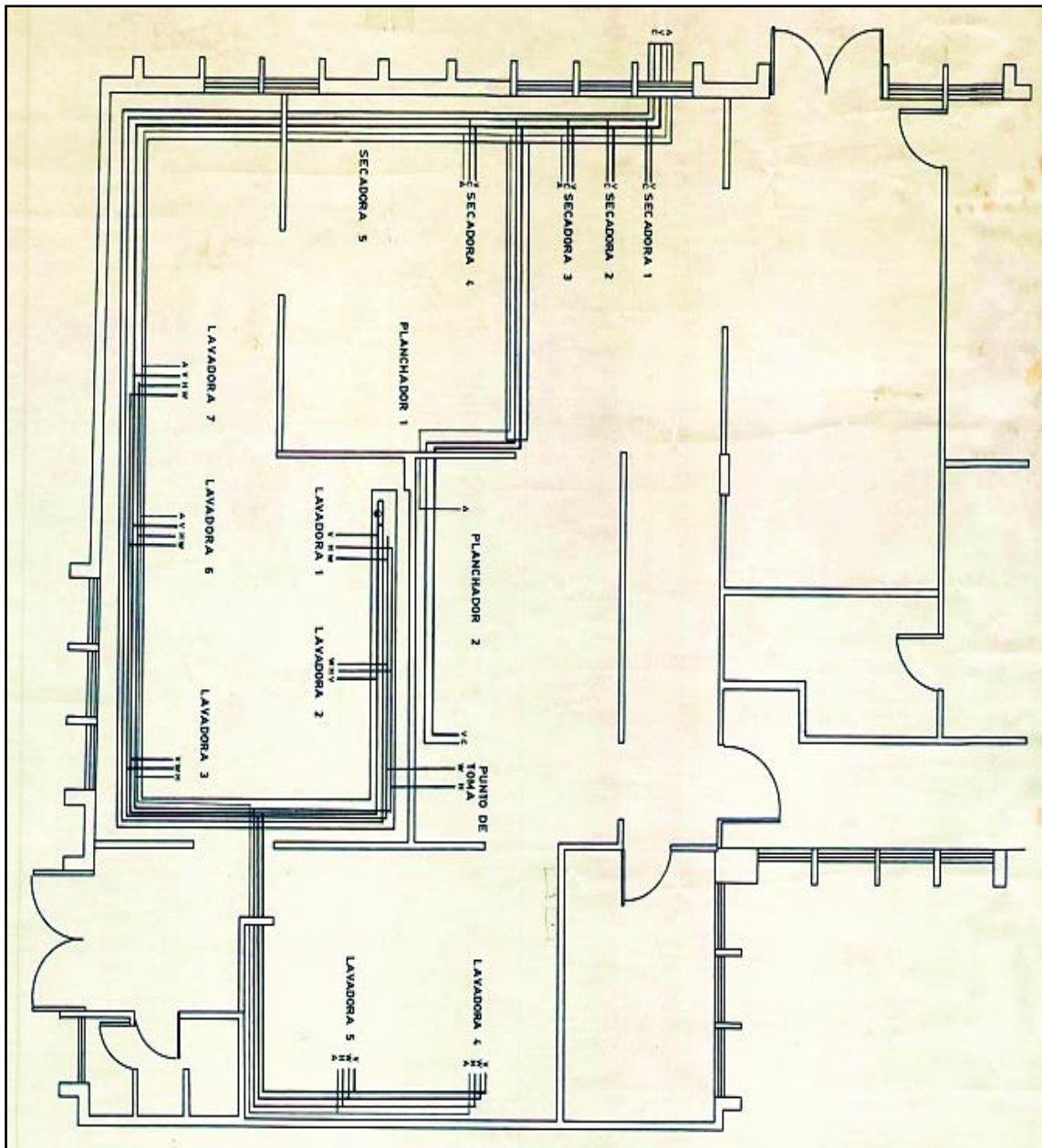


Ilustración 3.4: Vista de planta de distribución de obra mecánica en el departamento de lavandería del HNZ.

Fuente: Planos proporcionados por el departamento de mantenimiento del HNZ, 1999.

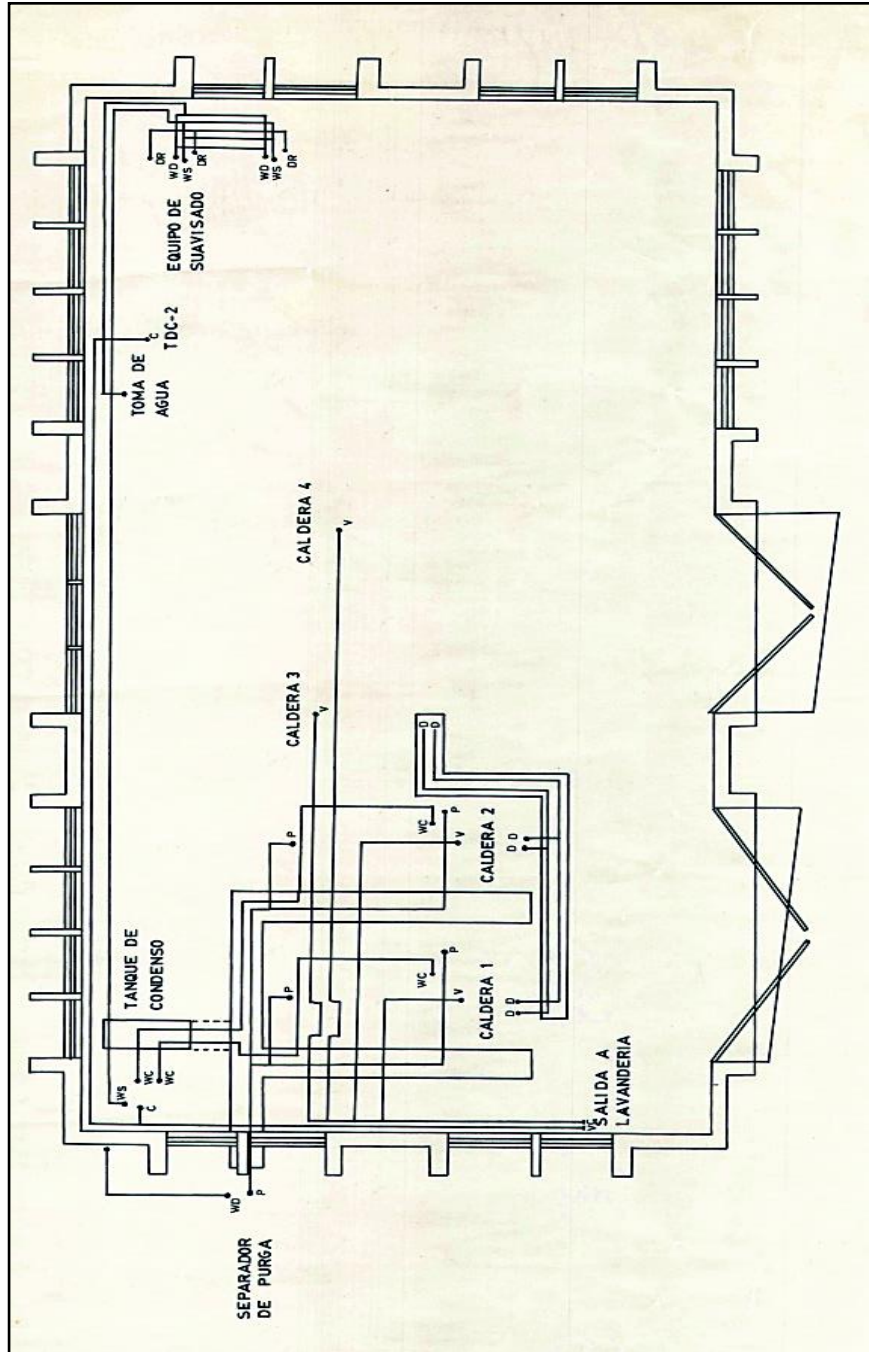


Ilustración 3.5: Vista de planta de distribución de obra mecánica de cuarto de máquinas del HNZ.

Fuente: Planos proporcionados por el departamento de mantenimiento del HNZ, 1999.

Tabla 3.8: Inventario de tuberías por fluido en lavandería y sala de máquina del HNZ.

Fluido	Símbolo	Sala de maquina	Lavandería
		Metros lineales (m)	
Vapor	V	11.6	60.15
Retorno de condensado	C	18.8	48.95
Línea de purga	P	14.55	---
Agua fría	W	---	30.075
Agua de condenso	WC	13.65	---
Agua suavizada	WS	19.45	---
Agua dura	WD	4.6	---
Tubería de drenaje	DR	2.6	---
Combustible	D	13.9	---
Aire comprimido	A	2.18	45.65
Agua caliente	H	---	24.55

Fuente: Planos proporcionados por el departamento de mantenimiento del HNZ, 1999

Tabla 3.9: Inventario de tuberías por diámetro y fluido (valores en metro lineal)-área de lavandería del HNZ.

Fluido	Símbolo	Diámetro					
		1/2"	3/4"	1"	1-1/4 "	2"	2-1/2"
Vapor	V		8.35	20.4	---	11.05	11.35
Retorno de condensado	C	25.55	12.2	---	---	11.2	---
Agua fría	W	2.7	---	---	11.38	16	---
Aire comprimido	A	---	45.65	---	---	---	---
Agua caliente	H	---	---	24.55	---	---	---
Total (m)		28.25	66.2	44.95	11.38	27.05	11.35

Fuente: Planos proporcionados por el departamento de mantenimiento del HNZ, 1999.

Tabla 3.10: Inventario de tuberías por diámetro y fluido (valores en metro lineal)- área de sala de máquina del HNZ.

Fluido	Símbolo	Diámetro			
		3/4"	2"	3 "	1 ¼"
Vapor	V			18.45	
Retorno de condensado	C		31.82		
Agua de condenso	WC		13.65		
Agua suavizada	WS	19.45			
Agua dura	WD	4.6			
Tubería de drenaje	DR	2.6			
Combustible	D	13.9			
Aire comprimido	A	2.18			
Total (m)		42.73	45.47	18.45	

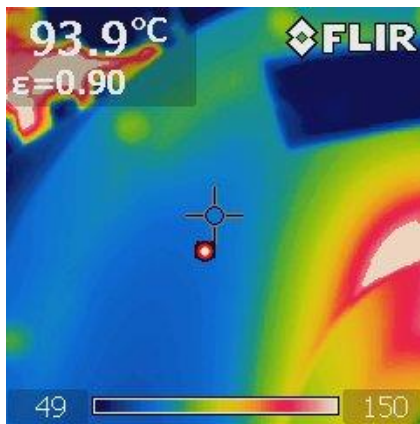
Fuente: Planos proporcionados por el departamento de mantenimiento del HNZ, 1999.

3.2.3. Estudio termográfico.

Con el estudio termográfico se buscan puntos de fuga de calor en la generación, distribución y aprovechamiento de vapor; además del tanque de condensados. En las líneas de vapor ya aisladas se buscaron puntos donde el aislamiento térmico ha perdido sus propiedades aislantes, de igual forma en la superficie de la caldera.

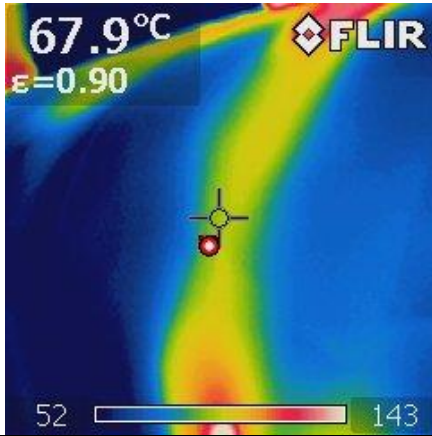
A continuación, se muestran las termografías más representativas del recorrido realizado con la cámara termográfica:

En la ilustración 3.6 puede observarse que la temperatura superficial de la caldera varía según la posición en la misma; esto debido al estado del enchaquetamiento refractario. Se presentan temperaturas desde 52.8 °C hasta 93.9 °C. Con esta termografía se puede determinar que el material refractario está perdiendo sus propiedades de aislante térmico, aumentando las pérdidas de energía en forma calor al ambiente.

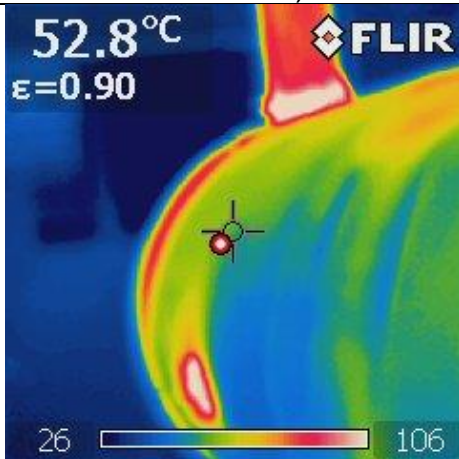


a) Tapa frontal de la caldera 1 del HNZ

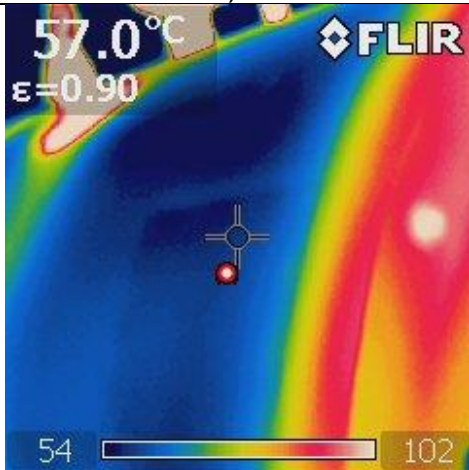
Ilustración 3.6: termografía de caldera en operaciones



b) Envoltante de cuerpo de caldera



c) Envoltante cuerpo de caldera-punto medio



d) Envoltante-fondo de la caldera

Ilustración 3.6: termografía de caldera en operaciones (continuación)

En la ilustración 3.7 se puede observar la fuga localizada a 33.4 m del cuarto de maquina en la tubería de distribución de vapor al área de lavandería. La temperatura del vapor perdido es de 150 °C, lo que se traduce como una gran cantidad de energía desperdiciada. La fuga es notoria por el ruido producido por la presión de salida del vapor.

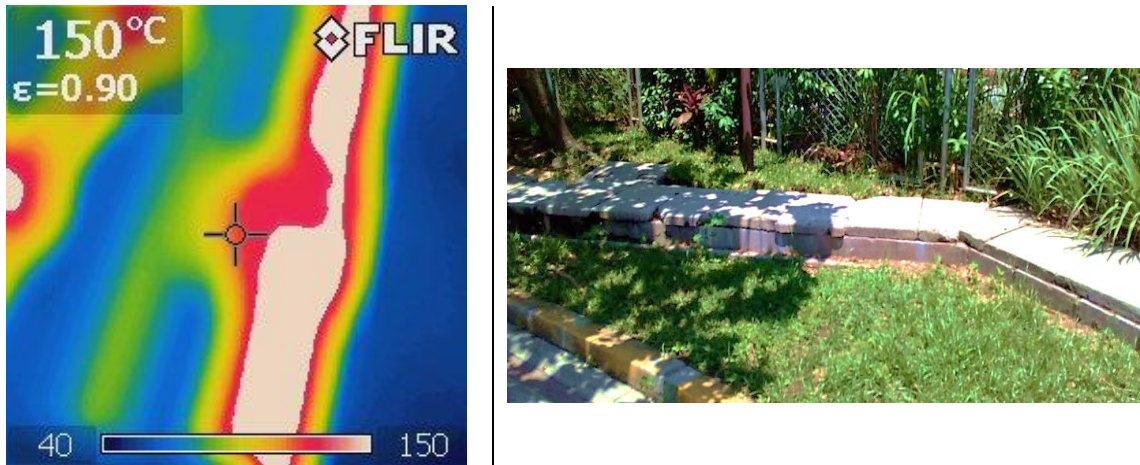


Ilustración 3.7: Tubería con fuga en el sistema de distribución de vapor del HNZ ubicado a 33.4 m del cuarto de máquinas.

Para reducir la transferencia de calor a lo largo de la línea de distribución de vapor se utiliza aislamiento térmico. En la ilustración 3.8 se observa que la temperatura superficial de las tuberías en las que se cuenta con aislamiento térmico es de 30.8 °C, específicamente en las líneas de alimentación de vapor hacia las secadoras. Las líneas de vapor en las que el material refractario se encuentra degradado la temperatura ascienden hasta 46°C, es decir una reducción de temperatura superficial de 16 °C, implicando una reducción de transferencia de calor.

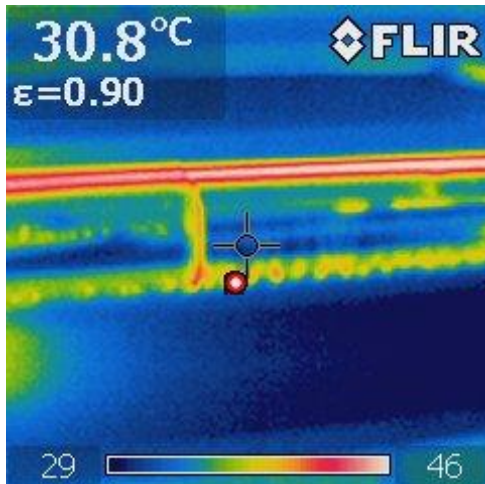


Ilustración 3.8: Tubería de inyección de vapor a secadoras, ubicadas en el área de lavandería del HNZ.

El tanque de condensado no posee aislamiento térmico, lo que implica una gran cantidad de pérdida de energía que se trata de recuperar del vapor de condensado en el proceso. La temperatura superficial del tanque es de 85 °C, lo que aumenta la transferencia de calor al ambiente.

Se observó además el estado en deterioro en el que se encuentra actualmente el tanque; en el cual se presenta también pérdidas de retorno de condensados debido a que la capacidad del tanque es menor a la cantidad de condensados que se retornan a la caldera.

3.3. Paso 4: Análisis de datos

Una vez recopilado todos los datos necesarios durante los pasos anteriores, se procede a su tabulación y análisis para determinar el estado actual de funcionamiento del sistema de distribución de vapor.

3.3.1. Gestión de la energía térmica.

El HNZ cuenta con un sistema de generación de vapor integrado por dos calderas, las cuales trabajan alternadamente una vez al año, trabajando como promedio diario 12 horas y 14 minutos contabilizando el tiempo de trabajo y tiempo de encendido, produciendo vapor saturado a la presión de trabajo.

Para el 2017 y con todo el vapor consumido se generó un total de 4830.99 Giga Joule (GJ) de energía, con un promedio mensual de 402.58 GJ, siendo junio el mes de mayor demanda de energía (véase anexo 6).

Para una mayor comprensión se presenta en la siguiente grafica la representación del consumo de diésel expresado en GJ de energía producido.

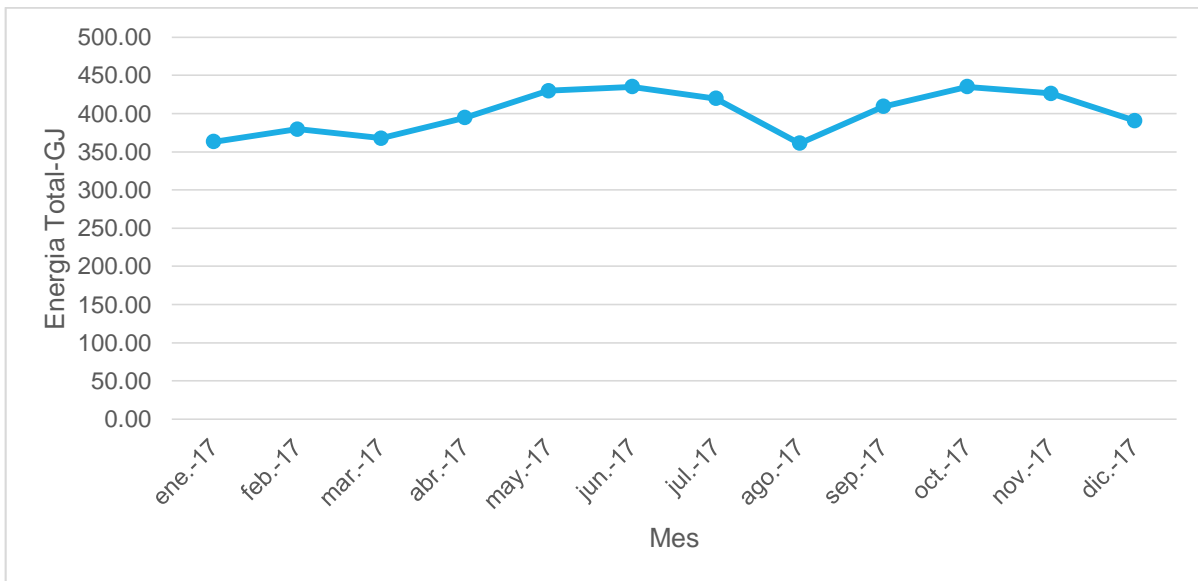


Ilustración 3.9: Energía térmica mensual producida en base al consumo de diésel del HNZ.

Para la determinación de los GJ producidos por mes se utilizaron los datos técnicos del combustible presentados en la tabla 3.11 y la ecuación 2.13.

Tabla 3.11: Datos técnicos del combustible utilizado para la generación de vapor en el HNZ.

Tipo de combustible	Densidad (kg/m ³)	Poder calorífico inferior. (GJ/kg)	Factor de emisión (Ton CO ₂ /GJ)
Diésel	863.4 ^g	0.043180 ^h	0.080028 ⁱ

Ejemplo de cálculo para el mes de enero:

Sustituyendo en la ecuación 2.13 se tiene

$$GJ \text{ de energía térmica} = 2582.40 \text{ gal} * \frac{1 \text{ m}^3}{264.172 \text{ gal}} * 863.4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.043180 \frac{\text{GJ}}{\text{kg}}$$

$$GJ \text{ de energía térmica} = 364.44$$

Dado que el consumo de combustible está dado en galones, se vuelve necesario utilizar el factor de conversión de 264.172 gal = 1m³.

3.3.2. Emisiones de GEI.

Para el caso de las emisiones debido a la quema de combustible se utiliza el factor de emisión del combustible, la densidad y el poder calorífico; datos que se presentan en la tabla 3.11.

En el siguiente ejemplo de cálculo se presentan las emisiones de CO₂ debido a la utilización de Diésel para el sistema de generación de vapor correspondiente al mes de enero; el factor de emisión de CO₂ para el diésel a ocupar es de 72600 kgCO₂/TJ:

$$\text{TonCO}_2 \text{ emitidas} = \text{Consumo de Diesel} * \rho_{\text{diesel}} * PC_{\text{diesel}} * FEC_{\text{diesel}} \quad \text{Ec. 2.14}$$

^g Tomado de la ficha técnica del combustible proporcionada por el proveedor.

^h (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2014).

ⁱ (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2011).

^j Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador en su informe FACTOR DE EMISION EL SALVADOR 2011, es decir

TonCO₂emitidas

$$= 2582.40 \text{ gal} * \frac{1 \text{ m}^3}{264.172 \text{ gal}} * 863.4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.043180 \frac{\text{GJ}}{\text{kg}}$$
$$* 0.080028 \frac{\text{TonCO}_2}{\text{GJ}}$$

$$\text{TonCO}_2\text{emitidas} = 29.17 \text{ TonCO}_2$$

Para el resto del periodo de análisis se procedió de la misma forma. Los resultados para los meses restantes, así como el total y las emisiones promedio mensual, véase el anexo 7.

La ilustración 3.10 muestra la variación de las emisiones de CO₂ por vapor generado durante el periodo de análisis; las mayores emisiones de CO₂ se dieron en los meses de junio y octubre con casi 35 toneladas emitidas en cada mes.

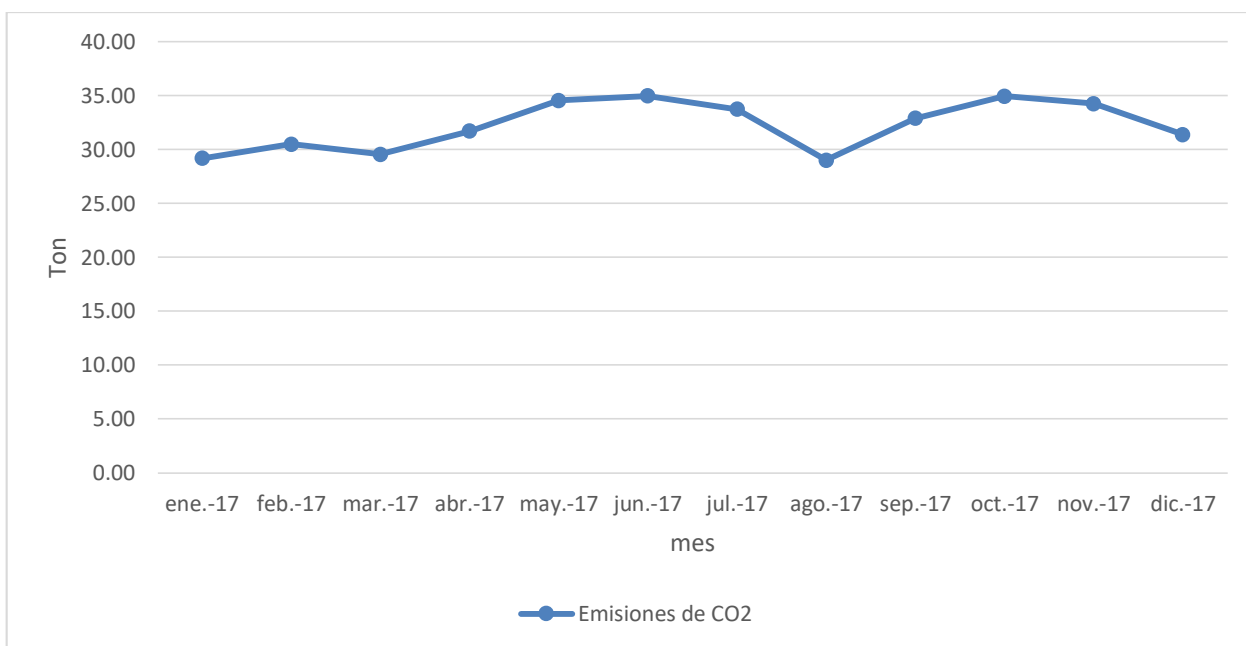


Ilustración 3.10: Emisiones de CO₂ emitidas durante el periodo de análisis debido a la generación de vapor del HNZ.

3.3.3. Indicadores energéticos.

A continuación, se describen los indicadores energéticos calculados para el HNZ en función de su generación de vapor para el año 2017. Esto con el fin definir la línea base según la situación actual del sistema de generación de vapor, y a partir de esto definir áreas de mejora enfocadas a la optimización del servicio y una producción eficiente de la energía térmica producida.

La demanda de vapor utilizada como línea base son las cargas de ropa sucia, medidas en lb, el número de los ciclos de lavado realizados que necesitan la inyección de vapor durante el tiempo de estudio, y el número de secados ejecutados.

En total para el año de estudio se hicieron 8244 lavadas, de las que 8214 fueron lavadas que, con sus ciclos de secado, demandaban vapor. Sin embargo, los ciclos de lavado para la ropa clasificada como liviana también demandan vapor en sus ciclos de secado, es decir que en total se realizaron 16488^k ciclos de secado en el año 2017. Partiendo de esto se realizaron los caculos pertinentes para cuantificar los indicadores energéticos térmicos (véase anexo 8).

En las ilustraciones 3.11 y 3.12 se muestra un panorama sobre la variación del consumo térmico y emisiones de CO₂ versus la cantidad de las lb de indumentaria textil procesada en su efecto como indicador de desempeño.

^k La carga por secador es de 75 lb de ropa, indistintamente del tipo de suciedad, es decir, se realizaron el doble de ciclos de secado que ciclos de lavado (8244 lavadas y 16488 secados en total).

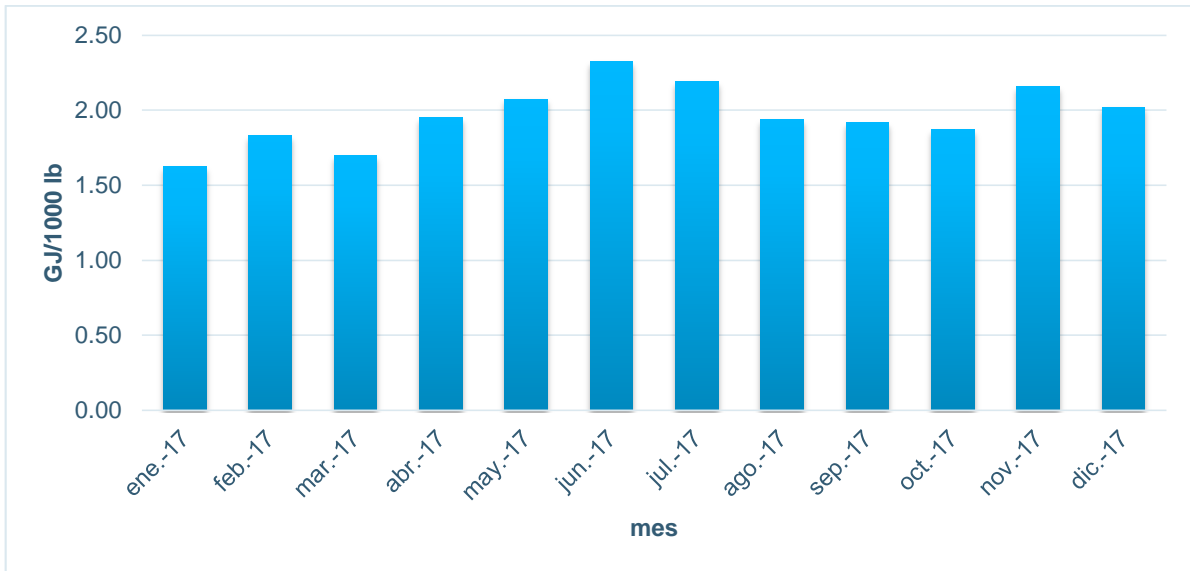


Ilustración 3.11: Comportamiento de indicador de desempeño energético por cada 1000 lb (GJ/1000 lb) de ropa lavada y secada en el dpto. de lavandería del HNZ.

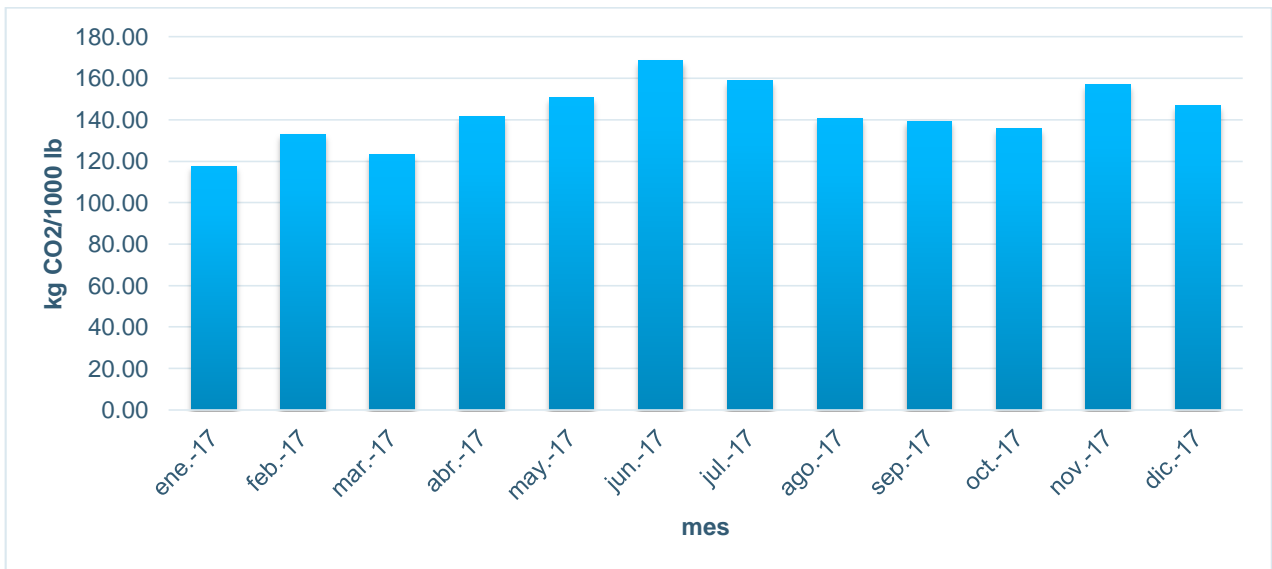


Ilustración 3.12: Comportamiento de indicador ambiental de desempeño de emisiones por cada 1000 lb de ropa lavada y secada en el dpto. de lavandería del HNZ.

De la ilustración 3.9 y 3.10 se aprecian un alza en el mes de junio en la energía consumida y en las emisiones de CO₂, siendo enero el mes en el que menos se generó vapor, justificado por la cantidad de ropa procesada para dichos meses.

Los indicadores energéticos para el HNZ son los siguientes:

- a) **Indicador energético:** 1.97 GJ/1000 lb de ropa lavada y secada según el registro del departamento de lavandería del nosocomio.
- b) **Indicador ambiental:** 142.77 kg CO₂/ 1000 lb de ropa lavada y secada; expresados en kg de CO₂ equivalente por emisiones para el combustible diésel.

3.3.4. Balance de Materia y Energía.

En esta etapa de la investigación se realizan los balances necesarios con el fin de cuantificar la energía generada en la caldera, la energía consumida en los equipos de lavandería y las pérdidas generadas en los sistemas de generación y distribución del vapor.

El balance de materia para el sistema se realiza en función de los sólidos disueltos, cuyos valores fueron tomados del promedio de las mediciones de control que la institución realiza periódicamente a la red. Los datos se presentan en la tabla 3.12.

Tabla 3.12: Análisis de promedio de SDT y temperaturas en la corrientes del sistema de vapor del HNZ.

Ubicación de la muestra	Valor	Temperatura (°C)
Agua fresca suavizada (ppm SDT)	384	30
Alimentación a la caldera (ppm SDT)	255	70
Condensado (ppm SDT)	16.6	85
Caldera (ppm SDT)	2511	---
%Retorno de condensado	33%	---

Fuente: Reportes A.P.K. Inc. y mediciones UES-HNZ

2018.

A partir del análisis de SDT se puede conocer la tasa mínima de purga actual (véase ecuación 2.3)

$$purga = \left(\frac{SDTa}{SDTp - SDTa} \right) * 100\%$$

$$P = \frac{255}{2511 - 255} * 100\%$$

$$purga = 11.30 \%$$

Es decir, se purga el 11.30% respecto al agua alimentada.

3.3.4.1. Balance de materia.

Para realizar el balance de masa el proceso de generación se subdivide en 2 sistemas; para los cuales se utiliza la siguiente nomenclatura:

A: agua de alimentación

C: retorno de condensado

P: purga

V: vapor

S: agua suavizada

Puesto que no se conoce la cantidad de vapor generada por hora, esta se estima a partir de la capacidad máxima de generación vapor, la cual es de 34.5 lbm de vapor por hora que equivale a 1,000 Bhp aproximadamente¹; se toma como referencia la caldera de 80 Bhp y un tiempo efectivo de trabajo de 0.7^m, por lo que se tiene:

$$m_v = HP_{caldera} * 34.5 \frac{lbm}{h} * 0.7 \quad Ec. 3.2$$

Sustituyendo:

$$m_v = 80 Bhp * 34.5 \frac{lbm}{h} * 0.7 = 1932 \frac{lbm}{h}$$

¹ Valor tomado de la ficha técnica del equipo.

^m Recomendación técnica por equipo de CNPML

Es decir que son producidos 876.34 kg de vapor por horaⁿ.

Del balance de solidos se conoce el valor de las corrientes de A, C, S, y P. Por lo que se tiene el siguiente sistema de ecuaciones de balance global y por componente:

a) En el tanque de mezcla:

$$C + S = A \quad \text{Ec. 3.3}$$

$$C * X_{TDS}^C + S * X_{TDS}^S = A * X_{TDS}^A \quad \text{Ec. 3.3}$$

b) En la caldera:

$$A = P + V \quad \text{Ec. 3.4}$$

$$A * X_{TDS}^A = P * X_{TDS}^P + V * V_{TDS}^V \quad \text{Ec. 3.5}$$

Conociendo que $V = 876.34 \text{ kg/h}$ y que $X_{TDS}^V = 0$, se puede resolver el sistema de ecuaciones. El valor de cada corriente se presenta en la tabla 3.13.

Tabla 3.13: Valores de flujos máxicos de las corrientes del sistema de generación de vapor del HNZ.

Corriente	Símbolo	(X_{TDS}^i)	Kg/h
Agua suave	S	384	632.92
Alimentación	A	255	975.40
Condensado	C	16.6	342.48
Purga	P	2511	99.05
Vapor	V	0	876.34

En la ilustración 3.13 se presenta el sistema de generación de vapor con el valor correspondiente a cada corriente.

ⁿ 1 kg \approx 2.20462 lbm

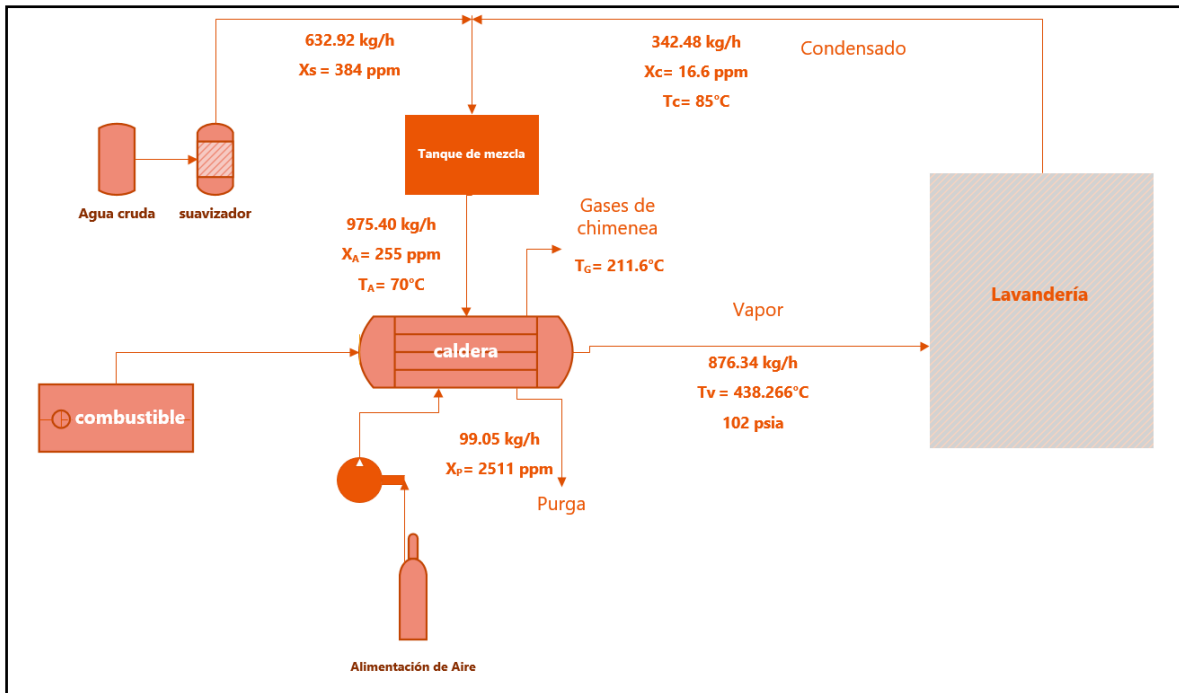


Ilustración 3.13: Diagrama de distribución de vapor con los valores de las corrientes resultantes del balance de masa para el sistema de distribución de generación de vapor del HNZ.

3.3.4.2. Balance Energético Térmico.

Para la elaboración de este balance, se parte del consumo mensual promedio de diésel que se consume en el hospital para la generación del vapor requerido el cual es de 2,814.02 gal/mes.

En la tabla 3.14 se resumen los datos utilizados y los resultados obtenidos.

Tabla 3.14: Energía total mensual requerida por el proceso de generación de vapor en el HNZ.^o

Descripción	Valor	Unidades
Densidad diésel	863.4	kg/m ³
Poder calorífico	43.18	MJ/kg
Consumo promedio	2,852.64	gal/mes
Energía total	402.58	GJ/mes
	402,582,475.56	kJ/mes

^o Véase sección 3.3.1

Para conocer la cantidad de energía producida en forma de calor por el sistema de vapor, es necesario conocer la cantidad total de energía generada y las pérdidas que se dan (por convección, radiación, fugas, falta de aislamiento, calor perdido en la purga y en los gases de chimenea, véase capítulo 2), para ello se analizan a continuación los flujos de entrada y salida de la caldera, en dos sistemas: en el cuarto de máquinas, es decir en la caldera que es la sección generadora de vapor, y en el área de lavandería, que es la sección que consume el vapor y retorna el condensado.

3.3.4.2.1. Balance térmico en caldera

Se determinan a continuación los flujos de entrada y salida de calor que se presentan en la caldera.

A. FLUJOS DE ENTRADA

a) Cálculo del calor absorbido por el agua Q_a

Para conocer la energía suministrada por el agua de alimentación (Q_a) se utiliza el flujo másico calculado en la sección anterior, siendo este de 975.40 kg/h (m_a) y su entalpía de entrada (H_1). Es decir:

$$Q_a = m_a * H_1 \quad \text{Ec. 2.15}$$

Los valores de entalpías a las temperaturas de entrada y salida de la caldera se conocen haciendo uso del Programa TermoGraf v5.7 asumiendo condiciones de saturación; por lo que se tiene:

$$H1_{T=70^{\circ}C}^{P=P_{sat}} = 293.93 \frac{kJ}{kg}$$

$$H2_{T=T_{sat}}^{P=102psia} = 2762.74 \frac{kJ}{kg}$$

Por lo que sustituyendo en Ec. 2.15 se tiene:

$$Q_a = 975.40 \frac{kg}{h} * 293.93 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_a = 286699.32 \frac{kJ}{h}$$

b) Energía del combustible Q_{comb}

La energía suministrada por el combustible (Q_{comb}) se conoce haciendo uso de su poder calorífico inferior (Pc, ver tabla 3.20) y la masa de combustible según la ecuación 2.1:

$$Q_{comb} = PC * m_c \quad Ec. 2.1$$

Por lo que sustituyendo en la ecuación se tiene:

$$Q_{comb} = 43180 \frac{kJ}{kg} * 55.1 \frac{kg}{h}$$

$$Q_{comb} = 2379218 \frac{kJ}{h}$$

B. FLUJOS DE SALIDA

En cuanto a los flujos de energía a la salida se tiene la energía del vapor producido, y la energía perdida en los gases de combustión, en la purga y por radiación y convección.

a) 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, se utiliza la ecuación 2.16;

$$Q_v = m_v * (H_2 - H_1) \quad Ec. 2.16$$

Por lo que se tiene que:

$$Q_v = 876.34 \frac{kg}{h} * (2762.74 - 293.93) \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_v = 2163516.95 \frac{kJ}{h}$$

b) Energía pérdida en las purgas Q_{purga}

Sustituyendo en la ecuación 2.17 se tiene:

$$Q_{purga} = \frac{F}{B - F} * Q_v \quad Ec. 2.17$$

$$Q_{purga} = \frac{255}{2511 - 255} * 2163516.95 \frac{kJ}{h}$$

$$Q_{purga} = 244546.46 \frac{kJ}{h}$$

c) Energía pérdida por convección y radiación Q_{rc}

Las condiciones de temperatura y medidas de la caldera necesarios para determinar las pérdidas de energía por convección y radiación se describen en la tabla 3.15; en la tabla 3.16 se presentan los valores de las constantes utilizadas; y en la tabla 3.17 los valores de los coeficientes de pérdidas de calor correspondientes a cada área de la misma provenientes de la sustitución de las ecuaciones 2.18 a 2.21 (véase capítulo 2), junto con el flujo de calor por área y el calor total perdido.

Tabla 3.15: Características físicas de la caldera del HNZ.

Superficie de caldera	Longitud o diámetro (m)	Temperatura (K)	Área (m²)
Manto cilíndrico	2.2	336	9.43
Tapa Posterior	1.365	329	1.46
Tapa Frontal	1.365	370	1.46

Tabla 3.16: Constantes utilizadas para conocer el calor perdido por radiación y convección en el cuarto de máquinas del HNZ.

Variable	Valor
C	1.79
esp	0 ^p
top	Temperatura de caldera (ver tabla 3.22)
tsup	Temperatura de caldera (ver tabla 3.22) ^q
ta	25 °C
kais	0
V	0 m/s ^r
Emss	0.074 ^s
do	Ver tabla 3.22

Tabla 3.17: Coeficientes de pérdidas de calor y flujo de calor perdido por superficie de la caldera del HNZ.

Superficie de caldera	hc (W/m²*K)	hr (W/m²*K)	hs (W/m²*K)	q (W/m²)	Q_{rc} (kJ/s)
Manto cilíndrico	7.06	0.093	7.15	840.11	7.93
Tapa Posterior	6.75	0.090	6.84	685.35	1.00
Tapa Frontal	8.00	0.110	8.11	1591.80	2.33
Total	21.82	0.293	22.11	3117.30	11.26

Por lo tanto, el calor perdido en forma de radiación y convección es de 11.26 kJ/s, lo que equivale a 40529.17 kJ/h.

^p El valor del espesor es cero, debido que no se encuentra aislada.

^q En las ecuaciones utilizadas por la Norma Mexicana se utiliza un valor supuesto de temperatura de superficie para luego, por procesos iterativos conocer el valor real. Para la investigación se parte del valor conocido de superficie que es el mismo que la temperatura de operación. Ver apartado 3.14

^r El valor de la velocidad del viento es despreciable ≈ 0 dado que se encuentran en un área cerrada

^s (Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer, 2008)

d) Energía pérdida en los gases de chimenea Q_{ch}

Para conocer el 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 el HNZ; los análisis a los gases de combustión de las calderas del HNZ se presentan a continuación en la tabla 3.18.

Los intervalos normales para el buen funcionamiento de un sistema de vapor se presentan en la tabla 3.19 donde las Partículas Totales Suspendidas (PTS), SO_2 (Dióxido de azufre), CO (monóxido de carbono) y NO_x (óxidos de nitrógeno) se reportarán referidos a 10% O_2 base seca^t; puede observarse que los promedios de los parámetros de CO, NO_x y SO_2 se encuentran dentro de los intervalos permitidos de operación.

Para el balance de masa de los gases de combustión se parte de la composición de combustible diésel presentado en la tabla 3.20 para conocer el valor del C_p y posteriormente la cantidad de gases de chimenea por combustible alimentado^u. Se tomarán como base de cálculo 100 kg de gases de combustión y se partirá de los valores reportados de CO, CO_2 y O_2 , como se muestra en la tabla 3.21.

^t (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT.)

^uEl análisis proporcionado por el HNZ se establece como no confiables porque presentan una composición no acorde a la ficha técnica de diésel (Véase anexo 9).

Tabla 3.18: Análisis de Gases de Chimenea de caldera del HNZ.

Parámetro	Unidad	Primera medición	Segunda medición	Tercera medición	Promedio ^v	
Temperatura ambiente	°C	29.50	29.70	29.90	29.70	
Temperatura de salida de los gases	°C	211.70	211.50	211.60	211.60	
Oxígeno	%	1.63	1.73	1.73	1.70	
Óxido Nitroso	Ppm	105.00	105.00	106.00	105.33	
Eficiencia	%	86.50	86.50	86.50	86.50	
Aire en Exceso	%	7.90	8.40	8.40	8.23	
Parámetros regulados por la Norma						
Parámetro	Unidad	Primera medición	Segunda medición	Tercera medición	Promedio	Límite de la Norma
Monóxido de carbono	mg/Nm ³	9.20	9.20	8.05	8.82	-
Óxidos de Nitrógeno	mg/Nm ³	206.80	206.80	208.68	207.43	-
Dióxido de Azufre	mg/Nm ³	36.68	39.30	47.16	41.05	-
Dióxido de Carbono	%	14.39	14.31	14.31	14.34	Reportar
Opacidad	%	0.00	0.00	0.00	0.00	30.00
Parámetros corregidos al 10% de O₂ base seca:						
Monóxido de carbono	mg/Nm ³	5.20	5.23	4.58	5.00	152.00
Óxidos nitrógeno	mg/Nm ³	116.98	117.59	118.65	117.74	201.00
Dióxido de azufre	mg/Nm ³	20.75	22.35	26.82	23.30	435.00

Fuente: Reportes DIMMA S.A. DE C.V., 2017^w.

^v La toma de muestra para el análisis de gases de chimenea se realiza por triplicado y luego se calcula el promedio obtenido de las mediciones.

^w El análisis es comparado con los valores prescritos por la NORMA SALVADOREÑA NSO 13.11.02:07, EMISIONES ATMOSFÉRICAS FUENTES FIJAS PUNTUALES, CONACYT.

Tabla 3.19: Límites máximos permisibles de gases de chimenea en calderas piro tubulares

CONTAMINANTE	SIMB	UNIDAD	DIESEL
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: NORMA SALVADOREÑA NSO 13.11.02:07, EMISIONES ATMOSFÉRICAS FUENTES FIJAS PUNTUALES, CONACYT.

Tabla 3.20: Composición de diésel.

Componente	Símbolo	% peso
Carbono	C	85.9
Hidrogeno	H ₂	12
Oxigeno	O ₂	0.7
Nitrógeno	N ₂	0.5
Azufre	S	0.5
Agua	H ₂ O	0.4
	Total	100

Fuente: GUIA PARA LA CALIFICACION DE CONSULTORES EN EFICIENCIA ENERGETICA, Ejemplos Prácticos. AChEE.

Tabla 3.21: Promedio de composición de gases de combustión (%peso) para el HNZ.

Compuesto	Dato reportado (%)
CO₂	14.34
CO	0.65
O₂	1.70

Fuente: Tabla 3.24, Reportes DIMMA S.A. DE C.V

Para obtener el % de CO, teniendo como valor reportado 7.67 ppm se tiene:

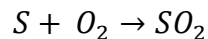
$$7.67 \text{ ppm} * \frac{0.001 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1 \text{ ppm}} = 0.00767 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Tomando como referencia la densidad de los gases^x como 1.18 kg/m³

$$\frac{0.00767 \text{ kg/m}^3}{1.18 \text{ kg/m}^3} * 100\% = 0.65\%$$

El contenido de SO₂ y NO son calculados a continuación en base a la composición de diésel.

Utilizando la relación estequiométrica:

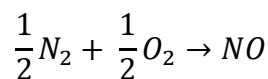


Calculando la cantidad de SO₂:

$$0.005 * 55.1 \text{ kg de diesel} = 0.27 \text{ kg de S}$$

$$0.27 \text{ kg de S} * \frac{(1)64 \text{ kg/kmol } SO_2}{(1)32 \text{ kg/kmol S}} = 0.54 \text{ kg } SO_2$$

Utilizando la relación estequiométrica para el nitrógeno:



Calculando la cantidad de N₂:

$$0.005 * 55.1 \text{ kg de diesel} = 0.27 \text{ kg de N}_2$$

$$0.27 \text{ kg N}_2 * \frac{1(30) \text{ kg/kmol NO}}{\frac{1}{2} (28) \text{ kg/kmol N}_2} = 0.58 \text{ kg NO}$$

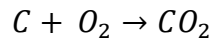
Para conocer la cantidad de CO₂ se utiliza su porcentaje obtenido en el análisis de chimenea.

^x (Avilés, 2012)

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

$$CO_2 = 14.34\% = \frac{m CO_2}{m_{Tmg}} * 100\%$$

Estequiométricamente se tiene:



$$0.859 * 55.1 \text{ kg de diesel} = 47.33 \text{ kg de C entrando}$$

La cantidad de C convertido a CO₂ es de 95.47% del carbón entrando, por lo que:

$$47.33 \text{ kg C} * 0.9547 * \frac{1(44)\text{kg } CO_2}{1(12)\text{kg C}} = 165.68 \text{ kg } CO_2$$

Despejando de la fórmula de %p/p del CO₂ para obtener la masa total de mezcla de gases (m_{Tmg}):

$$m_{Tmg} = \frac{m CO_2}{14.34\%} * 100\%$$

$$m_{Tmg} = \frac{165.68 \text{ kg } CO_2}{14.34\%} * 100\% = 1155.37 \text{ kg de mezcla de gases}$$

Teniendo la masa de SO₂ y NO producidos y la masa de mezcla se calcula el %p/p de SO₂ y NO:

$$\% \frac{p}{p} SO_2 = \frac{0.54 \text{ kg } SO_2}{1155.37 \text{ kg de mezcla}} * 100\% = 0.047\% \text{ de } SO_2$$

$$\% \frac{p}{p} NO = \frac{0.58 \text{ kg } NO}{1155.37 \text{ kg de mezcla}} * 100\% = 0.05\% \text{ de } NO$$

Analizando para el CO₂ y CO se tiene:

$$CO_2 = 14.34 \text{ g } CO_2 * \frac{1 \text{ mol } CO_2}{44 \text{ g}} = 0.3259 \text{ moles de } CO_2$$

$$CO = 0.65 \text{ g } CO * \frac{1 \text{ mol } CO}{28 \text{ g } CO} = 0.0232 \text{ mol de } CO$$

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 H₂O formado a partir del H₂ presente en el diésel, luego se calcula el oxígeno real en base al porcentaje de exceso de aire.

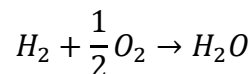
$$O_{2Est} = gmol_{O_2 \rightarrow CO_2} + gmol_{O_2 \rightarrow CO} + gmol_{O_2 \rightarrow H_2O}$$

Por lo tanto

$$gmol_{O_2 \rightarrow CO_2} = 0.33 \text{ mol } CO_2 * \frac{1 \text{ mol } O_2}{1 \text{ mol } CO_2} = 0.33$$

$$gmol_{O_2 \rightarrow CO} = 0.023 \text{ gmol } CO * \frac{1/2 \text{ mol } O_2}{1 \text{ mol } CO} = 0.0115$$

Para el caso del H₂:



$$0.12 * 55.1 \text{ kg de diesel} = 6.61 \text{ kg de } H_2 \text{ entrando}$$

$$6.61 \text{ kg } H_2 * \frac{1(18.01) \text{ kg } H_2O}{1(2.01) \text{ kg } H_2} = 59.23 \text{ kg } H_2O$$

$$\% \frac{p}{p} H_2O = \frac{59.23 \text{ kg } H_2O}{1155.37 \text{ kg de mezcla}} * 100\% = 5.13\% \text{ de } H_2O$$

$$5.13 \text{ g } H_2O * \frac{1 \text{ mol } H_2O}{18.01 \text{ g}} = 0.28 \text{ mol } H_2O$$

$$mol_{O_2 \rightarrow H_2O} = 0.28 \text{ mol } H_2O * \frac{1/2 \text{ mol } O_2}{1 \text{ mol } H_2O} = 0.14$$

$$O_{2Est} = (0.33 + 0.0115 + 0.14) \text{ gmol} = 0.48 \text{ gmol de } O_2$$

$$O_{2real} = O_{2Est} * \left(\frac{100 + \% \text{exceso de aire}}{100} \right)$$

$$O_{2real} = 0.48 \text{ gmol } O_{2Est} * \left(\frac{100 + 8.23}{100} \right) = 0.52 \text{ gmol de } O_2$$

Calculando los moles de nitrógeno sabiendo que encuentra en una relación molar de 79/21 de N₂ respecto al O₂ en el aire.

$$N_2 = 0.52 \text{ gmoles de } O_2 * \frac{79 \text{ gmoles de } N_2}{21 \text{ gmoles de } O_2} = 1.96 \text{ gmoles de } N_2$$

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

$$NO = 0.05 \text{ gNO} * \frac{1 \text{ mol NO}}{30 \text{ g}} = 0.0017 \text{ moles de NO}$$

$$SO_2 = 0.047 \text{ g } SO_2 * \frac{1 \text{ gmol } SO_2}{64 \text{ g}} = 0.000734 \text{ moles de } SO_2$$

Con los datos obtenidos en la tabla 3.22 se presenta la composición molar de los gases de salida.

Tabla 3.22: Composición mol de los gases de chimenea del HNZ.

	Moles	% mol
CO₂	0.3259	12.52
CO	0.0232	0.87
N₂	1.96	74.37
O₂	0.04	1.52
H₂O	0.28	10.62
NO	0.0017	0.065
SO₂	0.000734	0.028
Total	2.64	100

Capacidad calorífica de la mezcla de gases de chimenea

El cálculo de la capacidad calorífica de la mezcla de gases se realiza para una temperatura promedio de 463.72K (temperatura de salida de los gases) utilizando las ecuaciones 2.23 y 2.24:

Donde A, B, C y D son constantes características de las sustancias en particular y R la constante universal de los gases; para este caso R = 8.31445 kJ/kmol*K.

En la tabla 3.23 se encuentran las constantes de la ecuación 2.24 a utilizar.

Tabla 3.23: Constantes de las capacidades caloríficas de gases en estado de gas ideal.

Compuesto	A	$10^3 B$	$10^6 C$	$10^5 D$
Dióxido de azufre	5.699	0.801	0	-1.015
Dióxido de carbono	5.457	1.045	0	-1.157
Monóxido de nitrógeno	3.387	0.629	0	0.014
Monóxido de carbono	3.376	0.557	0	-0.031
Oxígeno	3.639	0.506	0	0.227
Nitrógeno	3.280	0.593	0	0.040
Agua	3.470	1.450	0	0.121

Fuente: Apéndice C, Introducción A La Termodinámica En Ingeniería Química, Smith-Van Ness-Abbott, 7ta edición, 2007.

Se calcula el C_p/R para cada compuesto sustituyendo sus respectivos valores de y_i , junto con sus constantes; luego se multiplican por la constante universal de los gases y por su peso molecular tal como se expresa en la ecuación 2.23. La tabla 3.24 muestra resumido el proceso de cálculo.

Tabla 3.24: Cálculo del C_p de gases de chimenea para las calderas del HNZ.

Compuesto	Y_i	Coeficiente C_p			
		A	$B \times 10^3$	$C \times 10^6$	$D \times 10^5$
SO ₂	0.0073	5.699	0.801	0	-1.015
CO ₂	0.33	5.457	1.045	0	-1.157
NO	0.00170	3.387	0.629	0	0.014
CO	0.023	3.376	0.557	0	-0.031
O ₂	0.004	3.639	0.506	0	0.227
N ₂	1.96	3.28	0.593	0	0.04
H ₂ O	0.28	3.47	1.45	0	0.121
Total	2.64	1.0473	0.23035	0	-0.01182

Por lo que:

$$\frac{Cp_m}{R} = 1.0473 + (0.23035 * 10^{-3})(463.72) + (0)(463.72)^2 + (-0.01182 * 10^5) * (463.72)^{-2}$$

$$Cp_m = 1.15 \frac{kJ}{kg * K}$$

El flujo másico de chimenea por hora se conoce a partir de la cantidad de combustible alimentado y la composición molar de diésel de $C_{16.142}H_{25.193}S_{0.036}^y$, con PM de 226.55. En las ecuaciones de reacción de combustión se tiene que las únicas especies que tienen carbón son el diésel, CO y CO₂, así que para conocer la cantidad de gases por combustible utilizado se estable el siguiente balance de carbono para obtener los gases generados en base a la alimentación de combustible por hora.

$$Diesel = Diesel_{Rxn1} + Diesel_{Rxn2}$$

La reacción 1 corresponde a la formación de CO₂, por lo que:

$$0.33 \text{ gmol } CO_2 * \frac{1 \text{ mol } C_{16.142}H_{25.193}S_{0.036}}{16.142 \text{ gmol } CO_2} * \frac{226 \text{ g } C_{16.142}H_{25.193}S_{0.036}}{1 \text{ gmol } 1 \text{ mol } C_{16.142}H_{25.193}S_{0.036}} = 4.63 \text{ g Diesel}$$

La reacción 2 corresponde a la formación de CO, por lo que:

$$0.0232 \text{ gCO} * \frac{1 \text{ mol } C_{16.142}H_{25.193}S_{0.036}}{16.142 \text{ gmol } CO_2} * \frac{226 \text{ g } C_{16.142}H_{25.193}S_{0.036}}{1 \text{ gmol } 1 \text{ mol } C_{16.142}H_{25.193}S_{0.036}} = 0.323 \text{ g Diesel}$$

Por lo que al sumar las cantidades se tiene que 4.95g de diésel generan 100 g de gases (base).

Sabiendo que la cantidad de diésel utilizado es de 55.1 kg por hora se tiene que:

$$55.1 \frac{kg Diesel}{h} * \frac{100 \text{ g gases}}{4.95 \text{ g Diesel}} = 1113.13 \frac{kg gases}{h}$$

^y Fuente especificada no válida.

Es decir, que, por cada kg de diésel por hora, se generan 1113.13 kg de gases de combustión.

Conociendo el Cpm y la masa de gases de chimenea se puede conocer la energía perdida; para ello se utiliza la ecuación 2.22:

$$Q_{ch} = m_g * C_{p_g} * \Delta T \quad \text{Ec. 2.22.}$$

$$Q_{ch} = 1113.13 \frac{\text{kg gases}}{\text{h}} * 1.15 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}} * (463.72 - 301.38) \text{K}$$

$$Q_{ch} = 207811.35 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

Conociendo la cantidad de energía en cada una de los flujos de entrada y salida se presenta en la tabla 3.25 el balance térmico para el sistema de generación de vapor.

Tabla 3.25: Valores de flujos de entrada y salida en el balance térmico para el HNZ.

ENTRADA			SALIDA		
Flujo	kJ/h	%	Flujo	kJ/h	%
Agua de alimentación	286699.32	10.75	Vapor	2163516.96	81.15
Combustible	2379218	89.25	Radiación y convección	40529.17	1.52
			Purga	244546.46	9.17
			Gases de chimenea	207811.35	7.80
			Otros	9513.38	0.36
Total	2665917.32	100	Total	2665917.32	100

Es decir que, del calor entrante, el 81.15% está contenido en el vapor producido y es aprovechable.

3.3.4.2.2. Balance térmico en el área de lavandería

El vapor generado por la caldera es distribuido por la red de tuberías hacia área de lavandería donde es utilizado en las lavadoras y secadoras; sin embargo, dentro de la línea de distribución se presentan 2 fuentes de pérdidas de calor, estas son: la fuga de vapor detectado cerca del cuarto de máquinas; y a la causada por la degradación o falta de aislamiento en las tuberías.

A. PÉRDIDA DE ENERGÍA POR LA FUGA DE VAPOR

A 33 metros de distancia del cuarto de máquinas, en sentido hacia el área de lavandería se localiza un fugo de vapor en la tubería de distribución (ver ilustración 3.1), lo que representa un potencial de pérdida energético.

Tomado las ecuaciones 2.26 a 2.28, el valor de h_{aa} como 293.98 kJ/kg y el valor del h_{vf} a la temperatura registrada del análisis termo gráfico de la tubería, en el que la temperatura del vapor era de 150°C a su presión de vapor asumiendo vapor saturado y las características de la tubería con fuga, se construye la tabla 3.26:

Tabla 3.26: Condiciones de fuga en la tubería de distribución de vapor del HNZ.

Diámetro de fuga (D)	5 mm
Presión de fuga (P)	4.76 bar
Temperatura de fuga (T)	150 °C
H_{vf}	2745.54 kJ/kg
h_{aa}	293.98 kJ/kg

Al sustituir en las ecuaciones se tiene:

$$W_{vf} = 0.011385231 \frac{kg}{s}$$

$$Q_{fuga} = 100481.675 \frac{kJ}{h}$$

B. PÉRDIDA DE ENERGÍA POR FALTA DE AISLAMIENTOS DE TUBERÍAS

Se utiliza el proceso descrito en el capítulo 2. En la tabla 3.27 se presentan los datos de las constantes a utilizar, y en la tabla 3.28 los valores de los diámetros y longitudes de tuberías.

En la tabla 3.29 se encuentran resumidas la solución de las ecuaciones 2.29 a 2.33 según el diámetro de tubería especificada.

Tabla 3.27: Variables a utilizar para determinar la energía pérdida por la falta de aislamiento en tuberías en el HNZ.

Nomenclatura			valor
Kais	Conductividad del aislante	W/(mk)	0.04 ^z
Esp	Espesor material aislante	Metros	0.00
Emisividad	Adimensional		0.2 ^{aa}
V	Velocidad del viento	m/h	0
Top	Temperatura de operación	°C/K	150
Ta	Temperatura ambiente	°C/K	29.7
Da	Diámetro aislado	Metros	do+2*esp
Tsup	Temperatura superficie exterior al aislante	°K	Top
C	Coeficiente de forma	Adimensional	1.016 ^{bb}

Tabla 3.28: Diámetro y longitudes de tuberías con pérdida de calor por falta aislamiento térmico

Diámetro (do)		Longitud	da (m)
Pulgadas	Metros		
½	0.0127	25.5	0.1127
¾	0.01905	20.55	0.11905
1	0.0254	20.4	0.1254
1 ¼	0.03175	0	0.13175
2	0.0508	67.72	0.1508
2 ½	0.0635	11.35	0.1635
3	0.0762	18.45	0.1762

Tabla 3.29: Solución de ecuaciones-pérdida de energía por falta de aislamiento

da (m)	hc (W/m ² K)	hr (W/m ² K)	hs (W/mK)	q (W/m)	Q (W)	Q (kJ/h)
0.1127	10.68	0.3862	11.06	53.10	1356.69	4884.08
0.11905	9.84		10.23	73.66	1513.75	5449.49
0.1254	9.29		9.68	92.93	1895.80	6824.88
0.13175	0		---	---	0	0
0.1508	8.09		8.48	46.11	3122.31	11240.31
0.1635	7.74		8.12	194.98	13203.91	47534.07
0.1762			7.85	225.99	2565.03	9234.11
Total				686.77	23657.49	85166.95

^z (DIDERISA, 2018)

^{aa} (Rorrer, 2008)

^{bb} (Secretaria de Energia , 1995)

Por lo que la energía pérdida por falta de aislamiento es de:

$$Q_{ais} = 85166.95 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

En la tabla 3.30 se presenta el balance térmico de las pérdidas de línea del vapor inyectado a la red del HNZ.

Tabla 3.30: Pérdidas de energía térmica en la distribución de vapor del HNZ.

Energía en el Vapor generado			Flujo de Energía térmica a la salida		
Flujo	kJ/h	%	Flujo	kJ/h	%
Energía en el Vapor entrante	2163516.96	100	Perdida por fuga	100481.66	4.64
			Perdida por aislamiento	85166.95	3.94
			Vapor útil	1977868.35	91.42
Total	2163516.96	100	Total	2163516.96	100

Por lo que del vapor distribuido se utiliza el 91.42 %, es decir, 1977868.35 kJ/h son utilizados en el proceso de lavandería del HNZ. El total de pérdidas de energía calorífica para todo el sistema de generación de vapor, corresponde a un 25.81% es decir, que, de toda la energía entrante, solamente el 74.19% es aprovechable.

C. DISTRIBUCION DE VAPOR EN LAVANDERIA

Como se mencionó al inicio del capítulo, el vapor generado es utilizado por las lavadoras y secadoras en los diferentes programas según el tipo de suciedad o de indumentaria textil. La cantidad de vapor consumido está relacionado con la carga y las temperaturas que el programa de lavado o secado demande.

Para conocer esta cantidad de vapor se toman como base el promedio de registro mensual de lavadas para el año 2017, del que se tiene: 3 lavadas liviana, 189 lavadas mediana, 475 lavadas pesadas, 20 compresas y 1 lavada clasificada como contaminada; en promedio se realizaron 687 lavadas.

Se utiliza la ecuación 3.7 para conocer la masa de vapor demandada por cada proceso de lavado y secado.

$$m_{vc} = \frac{m_R * C_{p_{tela}} * (T_2 - T_1)}{H_{Tsa} - H_{Ten}} \quad Ec. 3.7$$

Dónde:

m_{vc} = masa del vapor consumido

m_R = masa de la indumentaria textil

$C_{p_{tela}}$ = capacidad calorífica de la tela de confección de la indumentaria textil; para el caso se toma el C_p de la fibra de algodón, 1.3565 kJ/kg^{cc}.

T_2 y T_1 = Temperatura que alcanza el baño con el vapor y temperatura ambiente del baño.

H_{Tsa} = entalpia del vapor a su temperatura de salida

H_{Ten} = entalpia del vapor a la temperatura de entrada.

El proceso de cálculo se resume en la tabla 3.31 para los tipos de programa de lavado y en la tabla 3.32 para los programas de secado.

Tabla 3.31: Demanda de vapor por programa de lavado utilizado en el HNZ.

Programa de lavada según el tipo de suciedad	Carga máxima kg/ lavadora	Temperatura del baño °C	Entalpia del agua de baño kJ/kg ^{dd}	Masa de vapor utilizado kg	Total de masa de vapor por programa kg
Mediana	68.04	40	2573.41	21.87	43.72
		50	2591.21	21.85	
Pesada	68.04	40	2573.41	21.87	65.63
		60	2608.73	21.88	
		30	2555.4	21.88	
Altamente contaminada	68.04	50	2591.21	21.86	43.72
		50	2591.21	21.86	
Compresas	68.04	45	2582.34	21.86	43.75
		60	2608.73	21.89	

^{cc} (Industry instrumentation : Units and conversion tables for process control)

^{dd} TermoGraf v5.7

El total de la masa de vapor programa descrito en la tabla 3.29 y 3.30 son los kg de vapor que requieren las lavadoras y secadoras respectivamente, para realizar los procesos a su totalidad.

Tabla 3.32: Demanda de vapor por programa de secado utilizado en el HNZ.

Programa de secado	Carga máxima kg/secadora	Temperatura del baño °C	Entalpia del agua de baño kJ/kg ¹⁹	Masa de vapor kg	Total de masa de vapor por programa kg
Sabana	34.02	25	104.248	---	21.91
		50	209.79	10.93	
		90	377.832	10.98	
Ropa liviana	34.02	25	104.248	---	22.25
		50	209.79	10.93	
		90	372.832	11.32	

Mensualmente se inyecta 135552.888 kg de vapor al proceso, conociendo las cantidades de lavadas y secados promedios mensuales se sabe que en el proceso de lavado se utilizan 40348.14 kg de vapor, que además no son retornados por su alto grado de contaminación bioinfecciosa; para el proceso de secado se utilizan 47740.04 kg de vapor que si son retornado al proceso como condensados; además se retornan al proceso como condensados el 35.02% del vapor generado. La ilustración 3.14 muestra las líneas de distribución del vapor en el área de lavandería segmentadas en tres partes: lavadoras, secadoras y retorno de condensado.

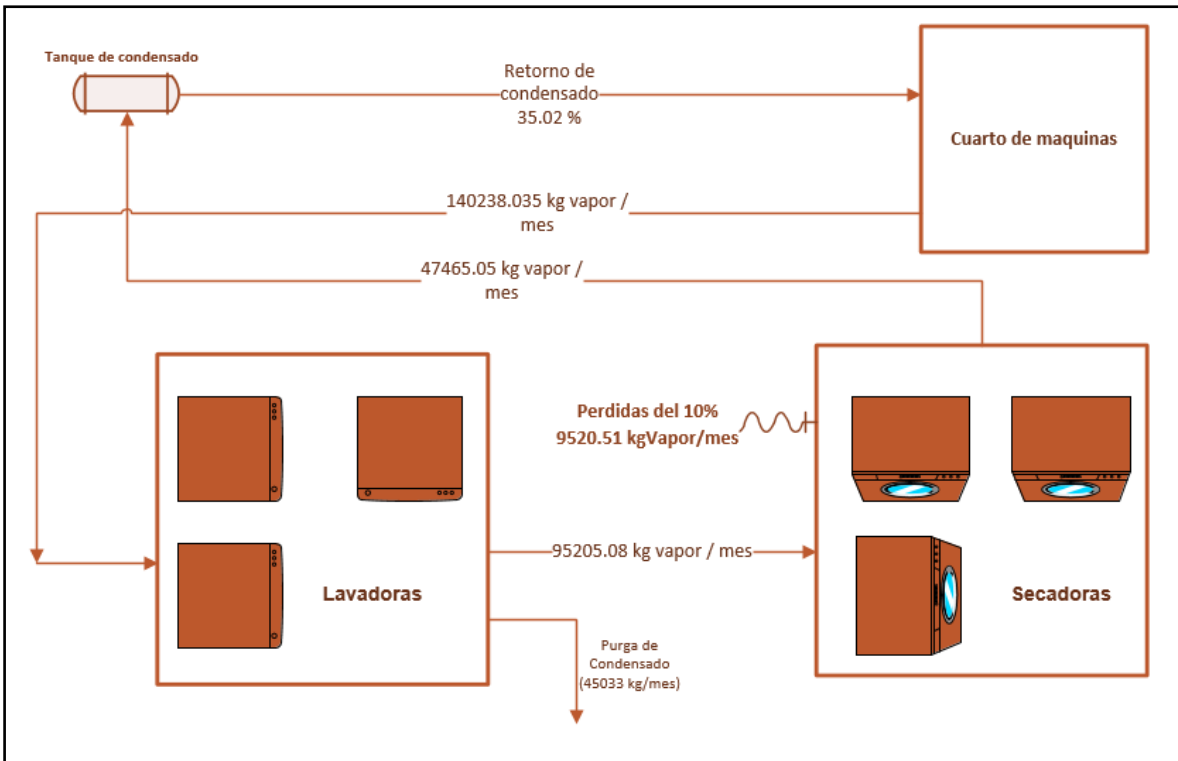


Ilustración 3.14: Diagrama de distribución de vapor en el área de lavandería.

4. ANALISIS DE PROPUESTAS DE EFICIENCIA ENERGETICA AL HOSPITAL NACIONAL “Dr. Juan José Fernández”, Zacamil.

A continuación, se presentan las propuestas en materia de EE resultantes de la aplicación de la metodología descrita en el capítulo 2 y de los resultados presentados en el capítulo 3. Para cada medida se presentan su análisis técnico, económico y ambiental con el propósito de obtener los costos y beneficios mediante la implementación de dichas opciones de mejora.

Se realiza además la comparativa de la situación actual en la que se encuentra la zona potencial identificada en las instalaciones del HNZ, junto con la situación esperada que sería la resultante de implementar las propuestas bajo el enfoque de la EE; para concluir con su análisis económico y proyección de ahorros.

4.1. Análisis de las propuestas de EE en el área de generación de vapor.

4.1.1. Análisis de la propuesta de instalación de colectores solares de placa plana.

Debido a las condiciones actuales de operación del sistema, se utiliza una cantidad considerable de combustible para calentar el agua de alimentación de la caldera por lo que se evaluarán los ahorros potenciales del uso de colectores solares para precalentar esta masa de agua.

a) Situación actual.

Durante la inspección visual al cuarto de máquinas, se observó que actualmente el agua suavizada a 30°C se mezcla en un tanque con el agua de condensado, lo cual genera una disminución en la temperatura de condensado perdiendo calor que puede ser aprovechado. En este tanque de mezclarse calienta el agua proveniente del suavizado y el condensado hasta alcanzar los 70°C y a esa temperatura se alimenta la caldera para ser evaporada y obtener vapor.

b) Situación recomendada.

Se recomienda la instalación de un sistema de colectores solares de placa plana debido a que el rango de operación de estos oscila entre los 50 a 80 °C y presentan mayor vida útil en comparación a los colectores de tubos al vacío. La medida a analizar será la siguiente: precalentar el 40% de agua suave del sistema 632.92 kg/h (equivalente a 220 kg/h) y obtener así un ahorro significativo de combustible debido a que el agua suavizada entraría al sistema de mezcla a una temperatura cercana a la del condensado por lo que el combustible necesario para calentar el agua suave y luego evaporarlo dentro de la caldera, será menor.

4.1.1.1. Análisis de Viabilidad Técnica para la Instalación de Colectores Solares de Placa Plana.

Se determinara la energía necesaria para elevar la temperatura de la masa de agua suave de 30 °C a 70°C según la ecuación de la demanda energética^{ee}:

$$E = MC_p(T_f - T_i) \quad EC. 4.1$$

Dónde:

E: Demanda energética (kJ/h)

M: Masa de agua a calentar en un día (kg/h)

C_p: Capacidad calorífica del agua (4.18kJ/kg °C)

T_i: Temperatura inicial del agua (°C)

T_f: Temperatura de consumo del agua (°C)

$$E = \left(220 \frac{kg}{h}\right) \left(4.18 \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C}\right) (70 \text{ } ^\circ C - 30 \text{ } ^\circ C) = 36,784 \frac{kJ}{h}$$

^{ee} Fuente: Variables de diseño para Sistemas de colectores solares térmicos, CNPML, 2018

A partir de la energía necesaria determinada para elevar la temperatura de la masa de agua, se determina la masa de combustible utilizada para la obtención de esta energía mediante la ecuación 2.1.

$$m_c = \frac{36,784 \text{ kJ/h}}{43,180 \text{ kJ/kg}} = 0.85 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$0.85 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 5.75 \frac{\text{h}}{\text{dia}} = 4.90 \frac{\text{kg}}{\text{dia}}$$

$$\frac{4.90 \frac{\text{kg}}{\text{dia}}}{863.4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.01 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} * 264.172 \frac{\text{gal}}{\text{m}^3} = 1.50 \frac{\text{gal}}{\text{dia}} * 30 \frac{\text{dia}}{\text{mes}} = \mathbf{44.97 \frac{\text{gal}}{\text{mes}}}$$

$$m_c = 44.97 \frac{\text{gal}}{\text{mes}} * 12 \frac{\text{mes}}{\text{año}} = \mathbf{539.62 \frac{\text{gal}}{\text{año}}}$$

En la determinación del número de colectores del sistema de calentamiento de agua, es necesario conocer el área de captación y la eficiencia global del colector.

El área de captación es aquella necesaria para captar la energía solar que pueda satisfacer la demanda energética. El área depende de la radiación global y de la eficiencia total del sistema de calentamiento de agua.

$$A_{cap} = \frac{E}{H_p * \eta_\varepsilon}$$

Dónde:

A_{cap} : Área de captación (m²)

H_p : Radiación solar (Wh/ m²)

η_ε : Eficiencia global del sistema (%)

El CNE en su plataforma virtual pone a disposición el mapa de irradiación solar en El Salvador, la radiación solar en el área metropolitana de El Salvador es de 5.3 kWh/m²/día.

El sistema utilizara colectores solares de placa plana debido a la vida útil de estos la cual puede alcanzar los 20 años, requieren un mantenimiento mínimo y cuentan a las condiciones de trabajo alcanzan eficiencias del 50% (Fuente: Instalación de sistemas solares para generación de agua caliente. Modulo Solar, México 2018).

$$A_{cap} = \frac{36,784 \frac{kJ}{h}}{5300 \text{ Wh} / m^2 * 0.5} = 13.88 m^2$$

La cantidad de colectores necesarios para satisfacer la demanda energética está determinada por la relación:

$$N_c = \frac{A_{cap} * F.S.}{A_c}$$

Dónde:

N_c : Numero de colectores

A_{cap} : Área de captación (m²)

A_c : Área de un colector (m²)

$F.S.$: Factor de seguridad (1 – 1.5)

Asumiendo un factor de seguridad de 1.3 y un área de colector de 2.62 m² con un precio unitario de US\$ 1600 por unidad (equipos cotizados por el CNPML, 2018).

$$N_c = \frac{13.88 m^2 * 1.3}{2.62 m^2} = 6.89 \cong 7 \text{ unidades}$$

4.1.1.2. Análisis de Viabilidad Económica de la Instalación de Colectores Solares de Placa Plana.

Conociendo la masa de combustible que se utiliza por año para elevar la temperatura del 40% del agua suave y el precio del diésel, se tiene entonces:

$$US\$ = V_{cperannual} * US\$ 2.62$$

$$US\$ = 539.62 \frac{gal}{año} * US\$ 2.62 = 1,413.80 \frac{US\$}{año}$$

La inversión requerida para esta medida es de 1600 US\$/unidad, agregando además un 10% adicional de costo por mano de obra. Bajo estas condiciones se obtiene un PSRI igual a:

$$Inversion = 1600 \frac{US\$}{unidad} * 7 unidades * 1.10 = 12,320 US\$$$

$$PSRI = \frac{12,320 US\$}{1,413.80 \frac{US\$}{año}} = 8.71 años$$

4.1.1.3. Análisis de Viabilidad Ambiental de la Instalación de Colectores Solares de Placa Plana.

Para conocer el beneficio ambiental se utiliza el factor de emisión de CO₂ para el diésel, por lo que se tiene:

$$Beneficio Ambiental = \frac{Energia\ perdida}{año} * FEC_{diesel}$$

$$Beneficio Ambiental = 76.15 \frac{GJ}{año} * 0.080028 \frac{TonCO_2}{GJ} = 6.09 \frac{TonCO_2}{año}$$

Las factibilidades que se generan al implementar esta opción se presentan en la tabla 4.1.

Tabla 4.1: Factibilidades por la implementación de recomendación “Instalación de Colectores solares”

Factibilidad Técnica	Factibilidad Económica	Factibilidad ambiental
Ahorro de energía de 76.15 GJ/año. Ahorro en diésel: 539.62 gal/año, equivalente al 1.58% del consumo actual.	Ahorro monetario de 1,413.80 US\$/ año.	CO ₂ no emitido a la atmosfera: 6.09 TonCO ₂ /año

4.1.2. Análisis de la Optimización de purgas.

A continuación, se evaluará la factibilidad de la oportunidad de ahorro potencial identificada correspondiente a la instalación de un equipo medidor de conductividad en la caldera.

a) Situación actual.

Durante el recorrido realizado en el cuarto de máquinas y mediante la entrevista con el encargado de los equipos, se determinó que no se cuenta con equipo de medición de sólidos disueltos o conductividad para purgar; se hace de forma manual según recomendación de la empresa encargada de monitorear el agua de las calderas.

b) Situación recomendada.

Se recomienda la instalación de equipo de medición de conductividad para el monitoreo de la concentración de sólidos disueltos en la caldera para realizar la purga a 3000 ppm de forma que se la purga sea más eficiente.

4.1.2.1. Análisis de Viabilidad Técnica de la Optimización de purgas.

Partiendo del balance de energía donde se determinó que al purgar la caldera a 2511 ppm TDS se pierden 244,546.46 kJ/h. A continuación, se determinará la energía que se perdería al purgar la caldera a 3000 ppm TDS utilizando la ecuación 2.17, luego se procederá a determinar la masa de combustible que se necesita para generar esta energía utilizando la ecuación 2.1.

$$Q_{purga} = \frac{255}{3000 - 255} * 2163516.95 \frac{kJ}{h}$$

$$Q_{purga} = 200,982.45 \frac{kJ}{h}$$

Al purgar a 3000 ppm, se obtendría un ahorro de 43,564.01 kJ/h; a partir de este ahorro se determinará su equivalente en combustible.

$$m_c = \frac{43,564.01 \text{ kJ/h}}{43,180 \text{ kJ/kg}} = 1.01 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$1.01 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 5.75 \frac{\text{h}}{\text{dia}} = 5.80 \frac{\text{kg}}{\text{dia}}$$

$$\frac{5.80 \frac{\text{kg}}{\text{dia}}}{863.4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.007 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} * 264.172 \frac{\text{gal}}{\text{m}^3} = 1.78 \frac{\text{gal}}{\text{dia}} * 30 \frac{\text{dia}}{\text{mes}} = 53.26 \frac{\text{gal}}{\text{mes}}$$

$$m_c = 53.26 \frac{\text{gal}}{\text{mes}} * 12 \frac{\text{mes}}{\text{año}} = 639.08 \frac{\text{gal}}{\text{año}}$$

4.1.2.2. Análisis de Viabilidad Económica de la Optimización de purgas.

Conociendo la masa de combustible que se ahorraría al purgar a 3000 ppm y el precio del diésel, se tiene entonces:

$$US\$ = V_{cperannual} * US\$ 2.62$$

$$US\$ = 639.08 \frac{\text{gal}}{\text{año}} * US\$ 2.62 = 1,674.39 \frac{US\$}{\text{año}}$$

La inversión requerida para esta medida es de 2500 US\$/unidad, agregando además un 10% adicional de costo por mano de obra. Bajo estas condiciones se obtiene un PSRI igual a:

$$Inversion = 2500 \frac{US\$}{\text{unidad}} * 1 \text{ unidad} * 1.10 = 2750 US\$$$

$$PSRI = \frac{2750 US\$}{1,674.39 \frac{US\$}{\text{año}}} = 1.64 \text{ año}$$

4.1.2.3. Análisis de Viabilidad Ambiental de la Optimización de purgas.

Para conocer el beneficio ambiental se utiliza el factor de emisión de CO₂ para el diésel, por lo que se tiene:

$$\text{Beneficio Ambiental} = \frac{\text{Energía perdida}}{\text{año}} \times \text{FEC}_{\text{diesel}}$$

$$\text{Beneficio Ambiental} = 90.19 \frac{\text{GJ}}{\text{año}} * 0.080028 \frac{\text{TonCO}_2}{\text{GJ}} = 7.22 \frac{\text{TonCO}_2}{\text{año}}$$

Las factibilidades que se generan al implementar esta opción se presentan en la tabla 4.2.

Tabla 4.2: Factibilidades por la implementación de recomendación “Instalación de Equipo para la medición de conductividad”

Factibilidad Técnica	Factibilidad Económica	Factibilidad ambiental
Ahorro de energía de 90.19 GJ/año. Ahorro en diésel: 639.08 gal/año equivalentes al 1.87% del consumo actual.	Ahorro monetario de 1,674.39 US\$/ año.	CO ₂ no emitido a la atmosfera: 7.22 TonCO ₂ /año

4.2. Análisis de las propuestas de EE en el área de distribución de vapor y retorno de condensados

4.2.1. Análisis de la propuesta para la eliminación de la fuga de vapor.

Otra medida de ahorro en el consumo térmico se puede obtener reparando las fugas en el sistema de distribución de vapor para reducir el consumo de combustible. La mayor de ellas y la más significativa se encuentran a algunos metros del cuarto de máquinas como se indicó en el capítulo 3.

a) Situación actual.

En la ilustración 3.7 se observó una de las lecturas de temperatura de superficie de la tubería con mayor fuga utilizando una cámara termográfica. La temperatura superficial de la tubería es de 150°C. La fuga es fácilmente identificable por el ruido ocasionado por la presión a la que es expulsado el vapor.

Esta fuga representa un gran desperdicio de energía y vapor, lo que se traduce en pérdidas de combustible en el proceso de generación. En la tabla 4.3 se muestran los detalles de la fuga considerada.

Tabla 4.3: Condiciones de fuga en el sistema de distribución de vapor del HNZ

Ubicación	Temperatura de superficie (°C)	Presión de línea (psia)	Diámetro de fuga (mm)
Tubería de distribución (33.3 m del cuarto de máquinas)	150	90	5

b) Situación recomendada

Se recomienda el cambio y/o reparación de la tubería con distribución de vapor, puesto que esta representa una de las mayores fuentes de pérdida de energía. A continuación, se describen los análisis que fundamentan la viabilidad de esta medida.

4.2.1.1. Análisis de viabilidad técnica de eliminación de fugas de vapor.

La magnitud de la pérdida de vapor se conoce de la sección 3.3.4.2.2, de donde se conoce el flujo de vapor y la energía perdida:

$$W_{vf} = 0.011385231 \frac{kg}{s}$$

$$Q_{fuga} = 100481.675 \frac{kJ}{h}$$

Calculando la energía que se pierde por año:

Energía perdida anual

= *Perdida de Energía por fuga X factor de conversión de tiempo*

$$\begin{aligned} \text{Energía perdida anual} &= 100481.675 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} * \frac{12\text{h} * 0.7}{1 \text{ dialaboral}} * \frac{365 \text{ dias}}{1 \text{ año}} \\ &= 308076815.55 \frac{\text{kJ}}{\text{año}} \end{aligned}$$

$$\text{Energía perdida anual} = 308.08 \frac{\text{GJ}}{\text{año}}$$

En base a la fórmula de eficiencia, se busca la masa de combustible anual que se pierde, para luego calcular su equivalente monetario.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Energía perdida anual}}{m * Cp}$$

La eficiencia de la generación de vapor se conoce como la cantidad de vapor generado en relación a la energía entrante al sistema de generación, es decir de 81.15 %

Por lo tanto, para conocer la masa de combustible:

$$\begin{aligned} m &= \frac{\text{Energía perdida anual}}{Cp * E} \\ m &= \frac{308076815.55 \frac{\text{kJ}}{\text{año}}}{43180 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * 0.8115} = 8792 \frac{\text{kg}}{\text{año}} \end{aligned}$$

Para conocer el volumen de diésel, dividimos el valor de la masa entre su densidad.

$$8792 \frac{\text{kg}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ m}^3}{863.4 \text{ kg}} * \frac{264.172 \text{ gal}}{\text{m}^3} = 2690.06 \frac{\text{gal}}{\text{año}}$$

Es decir, que se tiene un ahorro de 7.86% de ahorro anual en el consumo de combustible por la implementación de esta medida.

4.2.1.2. Análisis de la viabilidad económica de eliminación de fugas de vapor

Conociendo la masa de combustible que se pierde al año y el precio del diésel, se tiene entonces:

Costo promedio de combustible (véase sección 3.1.2): \$2.62 / gal

$$US\$ = V_{cperannual} * US\$ 2.62$$

$$US\$ = 2690.06 \frac{gal}{año} * US\$ 2.62 = \frac{US\$ 7047.96}{año}$$

Si las reparaciones se dieran inmediatamente, dejando la pérdida de energía únicamente en un mes, se tendría:

$$\begin{aligned} \text{Energía perdida mensual} &= 100481.675 \frac{kJ}{h} * \frac{12h * 0.7}{1 \text{ dialaboral}} * \frac{30 \text{ dias}}{1 \text{ mes}} \\ &= 25321382.1 \frac{kJ}{mes} \cong 25.32 \frac{GJ}{mes} \end{aligned}$$

Calculando el equivalente monetario:

$$2690.06 \frac{gal}{año} * \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} = 224.17 \frac{gal}{mes}$$

$$US\$ = m_{combmen} * US\$ 2.62 = 224.17 \frac{gal}{mes} * US\$ 2.62 = \frac{587.325US\$}{mes}$$

La inversión de la medida consiste en adquirir el accesorio que eliminará las fugas de vapor identificadas, su valor puede ser de alrededor de US \$600^{ff}, para reparar las tuberías dañadas.

Por lo que se procede a calcular el PSRI:

$$\text{inversión} = US\$ 600 + 5\% \text{ por costos de instalacion} = US\$ 630$$

^{ff} Estimación técnica por parte del CNPML

$$PRSI = \frac{US\$ 630}{US\$ 7047.96} = 0.089 \text{ años} \cong 1 \text{ mes}$$

4.2.1.3. Análisis de viabilidad ambiental de eliminación de fugas de vapor

Para calcular el beneficio se utiliza el factor de emisión para el diésel (véase sección 3.3.2) y la energía perdida calculada anteriormente.

Si se asume que la fuga pasa un año sin ser reparadas se tiene el siguiente beneficio ambiental:

$$\text{Beneficio Ambiental} = \frac{\text{Energía perdida}}{\text{año}} \times FEC_{\text{diesel}}$$

$$\text{Beneficio Ambiental} = 308.08 \frac{\text{GJ}}{\text{año}} * 0.080028 \frac{\text{TonCO}_2}{\text{GJ}} = 24.66 \frac{\text{TonCO}_2}{\text{año}}$$

Si las fugas únicamente permanecieran un mes, el beneficio ambiental que se obtendría al repararse esta sería:

$$\text{Beneficio Ambiental} = 24.66 \frac{\text{GJ}}{\text{mes}} * 0.080028 \frac{\text{TonCO}_2}{\text{GJ}} = 2.05 \frac{\text{TonCO}_2}{\text{mes}}$$

De los 2690.06 gal/año que se ahorran en combustible, se calcula el % de diésel que se ahorraría, al implementar esta opción:

$$2690.06 \frac{\text{gal}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} * \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} * \frac{1 \text{ día}}{12 \text{ horas (funcionamiento de caldera)}} * 0.7$$

$$= 0.62 \frac{\text{gal}}{\text{h}}$$

Sabiendo que el consumo de diésel de la caldera por hora es de 55.1 kg/h, se tiene:

$$\text{Volúmen}_{\text{Diesel}} = \frac{m_{\text{diesel}}}{\rho_{\text{diesel}}} = \frac{55.1 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{863.4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} * \frac{264.172 \text{ gal}}{1 \text{ m}^3} = 16.86 \frac{\text{gal}}{\text{h}}$$

$$0.62 \frac{\text{gal}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{16.86 \text{ gal}} * 100\% = 3.68\% \text{ de combustible ahorrado}$$

Las factibilidades que se generan al implementar esta opción se presentan en la tabla 4.4.

Tabla 4.4: Factibilidades por la implementación de recomendación “eliminación de fugas de vapor”

Factibilidad Técnica	Factibilidad Económica	Factibilidad ambiental
Ahorro de energía por eliminación de fugas de vapor: 308.08GJ/año. Ahorro en diésel: 2690.06 gal/año equivalente al 7.86% del consumo actual	Ahorro monetario de US\$ 7047.96 anual en diésel.	CO ₂ no emitido a la atmosfera: 24.66 TonCO ₂ /año

4.2.2. Análisis de la propuesta para la instalación de aislante térmico a la red de distribución de vapor y retorno de condensados.

La medida a continuación evaluada para promover el ahorro energético y evitar pérdidas de calor es el aislamiento de las tuberías que transportan el vapor y condensado.

a) Situación Actual.

Actualmente una gran parte de las tuberías que transportan vapor y el retorno de condensado no se encuentran completamente aisladas, el aislamiento se encuentra deteriorado o carecen de aislamiento; esto genera pérdidas de calor hacia el ambiente, lo cual puede traducirse en un desperdicio de combustible.

El total de líneas de distribución de vapor y retorno de condensado, en el cuarto de máquinas y el área de lavandería, se puede apreciar en las tablas 3.8, 3.9 y 3.10, al igual que en las ilustraciones 3.4 y 3.5 donde se muestra la vista de planta de la

distribución de obra mecánica de la red de tuberías. De la misma forma en el estudio termográfico (véase sección 3.2.3) se observan las temperaturas de superficie de diferentes tramos de tuberías tomadas como referencia. Los rangos de temperaturas van desde 46°C para tuberías de inyección de vapor a secadoras, y 150°C para la tubería de distribución de vapor.

b) Situación recomendada

El aislamiento térmico reduce la cantidad de energía perdida al aumentar la resistencia térmica del conjunto. La transferencia de calor está en función del diferencial de temperatura entre el objeto y el ambiente. Al tener una temperatura superficial cercana al ambiente, la transferencia de calor se reduce⁹⁹. Por lo que se recomienda colocar aislante de fibra de vidrio en las tuberías que transportan el vapor y retorno de condensados para disminuir las pérdidas de calor en las tuberías.

4.2.2.1. Análisis de viabilidad técnica de instalación de aislante térmico a la red de distribución de vapor y retorno de condensados.

Es necesario dimensionar la pérdida de energía en forma de calor que se pierde por la falta de aislamiento. Dicho cálculo se presenta en la sección 3.3.4.2 (pérdida de energía por falta de aislamiento de tuberías), donde se presentan las variables consideradas, diámetros y longitudes de tuberías consideradas como potenciales de pérdida de calor por falta de aislamiento. Donde se obtiene que:

$$Q_{ais} = 85166.95 \frac{kJ}{h}$$

En la tabla 4.5 se tiene los diámetros, longitudes, cantidad y precio de las cañuelas de fibra de vidrio necesarios.

⁹⁹ (Corzo, 2015)

Tabla 4.5: Descripción de cantidades de aislamiento térmico por diámetros de tuberías.

Descripción	Cantidad	Precio unitario (US\$)	Precio total (US\$)
Cañuela fibra de vidrio de 3"	116 m	15.74	1825.84
Cañuela de fibra de vidrio de 2"	113 m	10.67	1205.71
Juego de cañuelas de fibra de vidrio para tuberías de alimentación de agua a las calderas y tubería de dosificadores de químicos.	2 juegos	74.58	149.16
		Total	3180.71

Fuente: DIDERISA DE CV.

Calculando la energía que se pierde por año:

Energía perdida anual

= *Perdida de Energía por falta de aislamiento X factor de conversión de tiempo*

$$\begin{aligned}
 \text{Energía perdida anual} &= 85166.95 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} * \frac{12\text{h} * 0.7}{1 \text{ día}} * \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} \\
 &= 257544856.8 \frac{\text{kJ}}{\text{año}}
 \end{aligned}$$

$$\text{Energía perdida anual} = 257.54 \frac{\text{GJ}}{\text{año}}$$

En base a la fórmula de eficiencia, se busca la masa de combustible anual que se pierde, para luego calcular su equivalente monetario.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Energía perdida anual}}{m * Cp}$$

Por lo tanto, para conocer la masa de combustible:

$$m = \frac{\text{Energía perdida anual}}{Cp * E}$$

$$m = \frac{257544856.8 \frac{\text{kJ}}{\text{año}}}{43180 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * 0.8115} = 7349.9 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

Para conocer el volumen de diésel, dividimos el valor de la masa entre su densidad.

$$7349.9 \frac{kg}{año} * \frac{1 m^3}{863.4 kg} * \frac{264.172 gal}{m^3} = 2248.83 \frac{gal}{año}$$

Es decir, que en el estado actual del sistema se pierden 2248.83 galones por año de combustible. A continuación, se presenta el cálculo de los galones de combustible que se proyectan ahorrar por la instalación del aislante térmico.

Utilizando el mismo procedimiento descrito en el apartado 2.2 para el cálculo de pérdidas en el sistema de distribución de vapor, y para un esp de 0.0762 m (3") se obtienen los resultados descritos en la tabla 4.6.

Tabla 4.6: Calor perdido al ambiente para un aislante térmico de 3".

da (m)	hc (W/m ² K)	hr (W/m ² K)	hs (W/mK)	q (W/m)	Q (W)	Q (kJ/h)
0.1127	6.39	0.3862	6.78	11.47	293.01	1054.83
0.11905	6.34		6.73	13.34	274.13	986.86
0.1254	6.30		6.68	15.02	306.37	1102.93
0.13175	0		---	--	0	0
0.1508	6.13		6.52	15.77	1068.24	3845.67
0.1635	6.06		6.44	23.60	1598.01	5752.85
0.1762	5.99		6.38	26.21	297.50	1070.99
Total				105.41	3837.26	13814.12

Esto equivale a 41773898.88 kJ de energía por año, o 1192.16 galones de combustible al año.

La reducción de energía ahorrada es de:

$$Q_{ahs} = Q_{ais} - Q'_{ais}$$

$$Q_{ahs} = (85166.95 - 13814.12) \frac{kJ}{h}$$

$$Q_{ahs} = 71352.8 \frac{kJ}{h}$$

Lo que reduciría la pérdida del vapor por falta de aislamiento a un 0.7 % del vapor actual inyectado al área de lavandería. El ahorro de combustible por la implementación sería de:

$$2248.83 \frac{gal}{año} - 1192.16 \frac{gal}{año} = 1056.67 \frac{gal}{año}$$

Este ahorro de combustible representa el 3.09% en el consumo anual.

4.2.2.2. Análisis de la viabilidad económica de instalación de aislante térmico a la red de distribución de vapor y retorno de condensados.

Conociendo la masa de combustible que se ahorra al año y el precio del diésel, se tiene entonces:

$$US\$ = V_{cperanual} * US\$ 2.62$$

$$US\$ = 1056.67 \frac{gal}{año} * US\$ 2.62 = \frac{US\$ 2768.48}{año}$$

Si las reparaciones se dieran inmediatamente, dejando la pérdida de energía únicamente en un mes, se tendría:

$$\begin{aligned} \text{Energía perdida mensual} &= 85166.95 \frac{kJ}{h} * \frac{12h * 0.7}{1 \text{ día}} * \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = 21462071.4 \frac{kJ}{mes} \\ &\cong 21.45 \frac{GJ}{mes} \end{aligned}$$

Calculando el equivalente monetario:

$$2248.83 \frac{gal}{año} * \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} = 187.40 \frac{gal}{mes}$$

$$US\$ = v_{combmen} * US\$ 2.62 = 187.40 \frac{gal}{mes} * US\$ 2.62 = \frac{US\$ 490.99}{mes}$$

La inversión de la medida consiste en adquirir el aislamiento de fibra de vidrio para cubrir las tuberías; su valor según cotizaciones hechas a proveedores autorizados por el HNZ (véase tabla 4.4), es de \$3180.71, más un 10 de cargo adicional al precio del producto, en honorarios de instalación.

Por lo que se procede a calcular el PSRI:

$$\text{inversión} = \text{US\$ } 3180.71 + 5\% \text{ por costos de instalacion} = \text{US\$ } 3339.75$$

$$\text{PRSI} = \frac{\text{US\$ } 3339.75}{\text{US\$ } 2768.48/\text{año}} = 1.21 \text{ años}$$

4.2.2.3. Análisis de viabilidad ambiental de instalación de aislante térmico a la red de distribución de vapor y retorno de condensados.

Para conocer el beneficio ambiental se utiliza el factor de emisión de CO₂ para el diésel, asumiendo que el aislamiento es colocado dentro de un año. Por lo que se tiene:

$$\text{BeneficioAmbiental} = \frac{\text{Energia perdida}}{\text{año}} \times \text{FEC}_{\text{diesel}}$$

$$\text{BeneficioAmbiental} = 41.77 \frac{\text{GJ}}{\text{año}} * 0.080028 \frac{\text{TonCO}_2}{\text{GJ}} = 3.34 \frac{\text{TonCO}_2}{\text{año}}$$

Si las fugas únicamente permanecieran un mes, el beneficio ambiental que se obtendría al repararse esta sería:

$$\text{BeneficioAmbiental} = 3.48 \frac{\text{GJ}}{\text{mes}} * 0.080028 \frac{\text{TonCO}_2}{\text{GJ}} = 0.28 \frac{\text{TonCO}_2}{\text{mes}}$$

De los 1056.67 gal/año que se ahorran en combustible, se calcula el % de diésel que se ahorraría, al implementar esta opción:

$$\begin{aligned} & 1056.67 \frac{\text{gal}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} * \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} * \frac{1 \text{ día}}{12 \text{ horas} * 0.7 \text{ (funcionamiento de caldera)}} \\ & = 0.35 \frac{\text{gal}}{\text{h}} \end{aligned}$$

Sabiendo que el consumo de diésel de la caldera por hora es de 16.86 gal/h, se tiene:

$$0.35 \frac{\text{gal}}{h} * \frac{1 h}{16.86 \text{ gal}} * 100\% = 2.07 \% \text{ de combustible ahorrado}$$

Las factibilidades que se generan al implementar esta opción se presentan en la tabla 4.7.

Tabla 4.7: Factibilidades por la implementación de recomendación “instalación de aislante térmico a la red de distribución de vapor y retorno de condensados”

Factibilidad Técnica	Factibilidad Económica	Factibilidad ambiental
Ahorro de energía por instalación de aislante térmico: 215.77 GJ/año. Ahorro en diésel: 1056.67 gal/año, equivalente al 3.1% del consumo actual.	Ahorro monetario de US\$2768.48 anual en diésel.	CO ₂ no emitido a la atmosfera: 3.34 TonCO ₂ /año

4.2.3. Análisis de la propuesta dimensionar un tanque de condensados de mayor capacidad.

Tan pronto como el vapor deja la caldera, empieza a ceder parte de su entalpía a cualquier superficie con menor temperatura. Por lo que una parte del vapor condensa, convirtiéndose en agua a la misma temperatura. Este proceso es el inverso del que tiene lugar en el interior de la caldera, cuando el agua en estado líquido se convierte en gas por adición de calor.

Cuando el vapor condensa, pierde su entalpía de evaporación, formándose agua caliente que cae a la parte baja de la conducción que transporta el vapor. Esta agua caliente recibe el nombre de condensado y tiene que ser drenada del circuito de vapor (Herranz, 2009).

Los sistemas de recuperación de condensados ofrecen varias ventajas, entre ellas se puede mencionar que se ahorra energía y se reducen los costes de combustible, se reducen los costes de agua junto con los de su tratamiento químico. Una parte esencial de estos sistemas, es el tanque de condensados, este sirve acumular el fluido para luego suministrar el agua de alimentación al generador de vapor.

a) Situación actual.

En el circuito de vapor del HNZ se cuenta con sistema de retorno de condensado, sin embargo, su tanque de almacenamiento es de menor capacidad a la cantidad real de condensados, por lo que existen pérdidas considerables de este recurso, reflejándose en un bajo porcentaje de condensados, aproximadamente 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 a un 25% respecto al agua de alimentación.

4.2.3.1. Análisis de viabilidad técnica para dimensionar tanque de condensado de mayor capacidad.

El valor exacto del flujo de vapor actual ha sido determinado según la capacidad máxima de generación del sistema térmico del HNZ, por lo que se utilizara el porcentaje estimado de recuperación del condensado actual en base al balance de materia (véase tabla 3.13).

Se establece como objetivo un aumento en la recuperación de condensado de un 25% respecto al valor actual, por lo que:

$$m_{\text{retorno actual}} = 342.48 \text{ kg/h}$$

$$m_{\text{retorno propuesto}} = 1.25 * m_{\text{retorno actual}}$$

$$m_{\text{retorno propuesto}} = 1.25 * 342.48 \text{ kg/h} = 428.1 \text{ kg/h}$$

El objetivo de la implementación de esta medida, es la de reducir el consumo de agua suave aumentando la masa de condensado. Esta reducción se establece como:

$$m_{\text{suave ahorrada}} = m_{\text{suave}} - m_{\text{retorno incrementado}}$$

$$m_{\text{retorno incrementado}} = 632.92 \frac{\text{kg}}{\text{h}} - \left(0.25 * 342.48 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) = 547.3 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$m_{\text{suave ahorrada}} = 632.92 \frac{\text{kg}}{\text{h}} - 547.3 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 85.62 \text{ kg/h}$$

Calculando el % de ahorro de agua suave:

$$\% \text{ ahorro} = \left(1 - \frac{m_{\text{suave propuesta}}}{m_{\text{suave actual}}} \right) * 100$$

$$\% \text{ ahorro} = \left(1 - \frac{547.3}{632.92} \right) * 100 = 13.53\%$$

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

$$V_{\text{adicional}} = 428.1 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ kg}} = 0.43 \text{ m}^3 \cong 111 \text{ gal}$$

4.2.3.2. Análisis de Viabilidad económica para dimensionar tanque de condensado de mayor capacidad.

El HNZ cuenta con un ablandador de agua de intercambio iónico, en el que el agua pasa a través del depósito de mineral, en el cual los iones de calcio y de magnesio pierden su carga positiva, con la carga negativa de perlas de plástico.

Un medidor arriba del depósito de mineral regula los ciclos de carga, la válvula de montaje conduce el flujo de agua hacia cada paso del ciclo de la regeneración, de esta forma el sistema de suavizada gasta 200 libras de sal al mes, siendo el costo del quintal de sal de US\$23. Por lo tanto, se establecen los ahorros en consumo de sal de regeneración, de la siguiente manera:

$$Costo_{mensual} = \frac{200 \text{ lb}}{\text{mes}} * \frac{US\$23}{100 \text{ lb}} = \frac{US\$46}{\text{mes}}$$

$$Costo_{anual} = \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} * \frac{US\$46}{\text{mes}} = \frac{US\$552}{\text{año}}$$

El costo para suavizar el agua fresca (o cruda) por un año es de US\$216. Sabiendo que la reducción de agua suave a implementar es de 13.53%, se puede establecer la siguiente relación para determinar los ahorros:

$$Ahorro_{mensual} = Costo_{mensual} * (\%Ahorro_{agua suave})$$

$$Ahorro_{mensual} = \frac{US\$46}{\text{mes}} * 0.1353 = \frac{US\$6.22}{\text{mes}}$$

$$Ahorro_{anual} = \frac{US\$6.23}{\text{mes}} * \frac{12 \text{ meses}}{\text{año}} = \frac{US\$74.7}{\text{año}}$$

Otra de las fuentes de ahorro, y quizás la más evidente, se determina en base al flujo másico de agua suave ahorrada:

$$V_{ahorrado \text{ diario}} = \frac{m_{suaveahorrada} * tiempo \text{ de trabajo}}{\rho_{agua}}$$

$$V_{ahorrado \text{ diario}} = \frac{(85.62 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{12 \text{ h} * 0.7}{\text{día}})}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0.72 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \cong 190.2 \frac{\text{gal}}{\text{día}}$$

$$V_{ahorrado \text{ mensual}} = 0.72 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = 21.6 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}}$$

En base a este volumen de agua ahorrado se puede estimar el ahorro monetario tomando los valores del pliego tarifario de ANDA 2018, para el sector no residencial vigentes durante el tiempo de esta investigación, el cual es de US\$1.20/m³ para tarifa de acueducto para consumo de 21 a 30 m³, más la tarifa de alcantarillado US\$5.0.

Obteniendo los ahorros económicos:

$$Ahorro_{mensual} = \frac{21.6 \text{ m}^3}{\text{mes}} * \frac{\text{US\$1.20}}{\text{m}^3} = \frac{\text{US\$25.92}}{\text{mes}}$$

$$Ahorro_{anual} = \frac{\text{US\$25.92}}{\text{mes}} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = \frac{\text{US\$ 311.04}}{\text{año}}$$

Determinando el ahorro en combustibles, sabiendo que el condensado debe de llegar al tanque a la temperatura descrita en el capítulo 3 ($T=85^\circ\text{C}$), se estima la energía necesaria para llevar el agua desde 30°C hasta 70°C .

$$T_1 = 30^\circ\text{C} \therefore h_1 = 125.262 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$T_2 = 70^\circ\text{C} \therefore h_2 = 293.93 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_{ganado} = \eta Q_{perdido}$$

$$m_{condensado\ 70^\circ\text{C}} * (h_2 - h_1) = 0.8115 * m_{diesel} * Pc_{diesel}$$

$$m_{diesel} = \frac{m_{agua\ 70^\circ\text{C}} * (h_2 - h_1)}{0.8115 * Pc_{diesel}}$$

$$m_{diesel} = \frac{m_{agua\ 70^\circ\text{C}} * (h_2 - h_1)}{0.8115 * Pc_{diesel}}$$

$$m_{Diesel} = \frac{85.62 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \left(293.93 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 125.262 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)}{0.8115 * 43180 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 0.41 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

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

$$\%Ahorro = \frac{Ahorro\ Diesel}{Consumo\ actual} * 100\% = \frac{0.41 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{55.1 \frac{\text{kg}}{\text{h}}} * 100\% = 0.74\%$$

Es decir que la masa de combustible a ahorrar del 0.41 kg/h representa el 0.74% respecto al consumo actual.

$$V_{Diesel} = 0.41 \frac{kg}{h} * \frac{12h * 0.7}{1 dia} * \frac{30 dias}{1 mes} * \frac{m^3}{863.4 kg} = 0.12 \frac{m^3}{mes}$$

$$V_{Diesel} = 0.12 \frac{m^3}{mes} * 264.172 \frac{gal}{m^3} = 31.7 \frac{gal}{mes}$$

$$Ahorro_{DieselMen} = 31.7 \frac{gal}{mes} * \frac{US\$2.62}{gal} = \frac{US\$83.05}{mes}$$

$$Ahorro_{DieselAnual} = \frac{US\$83.05}{mes} * \frac{12meses}{año} = \frac{US\$996.6}{año}$$

El costo de construcción (o adquisición) del nuevo tanque de condesado se presenta en la tabla 4.8:

Conociendo los ahorros y los costos asociados a esta recomendación se procede a determinar el PRSI. En la tabla 4.9 se presenta el resumen de los ahorros calculados.

Tabla 4.8: Cotización Nuevo tanque recolector de condesado para el HNZ.

Descripción	Cantidad	Tiempo de entrega	Precio unitario	Precio Total
Fabricación e instalación de tanque recolector de condesado	1	3 semanas	\$ 2734.6	\$2734.6
Incluye: Fabricación de tanque de diámetro de 55 cm y 1 m de largo en lámina de Ho. Negro de ¼"				
Aislamiento con aislante fibra de cerámica de 2" de espesor				
Enchaquetado con lámina ho. Negro de 1/32"				
Pintura de esmalte, para protegerlo de corrosión				
Desinstalación del tanque actual				
Instalación en la posición del tanque actual				
Conexión a tuberías existentes de acuerdo a conexión actuales				
			TOTAL	\$2734.6

Fuente: DIDERISA

Tabla 4.9: Ahorros y costos por la instalación de un tanque de condensado de mayor capacidad.

Ahorro en sales de regeneración anual	US\$ 74.70
Ahorro en agua no utilizada anual	US\$ 311.04
Ahorro diésel anual	US\$ 996.6
Costos de construcción e instalación del tanque de condensados	US\$ 2734.60

$$PRSI = \frac{\text{Costos}}{\sum \text{Ahorros anuales}}$$

$$PRSI = \frac{US\$2734.6}{US\$ (74.70 + 311.04 + 996.6)} = 1.98 \cong 2 \text{ años}$$

4.2.3.3. Análisis de viabilidad ambiental para dimensionar tanque de condensado de mayor capacidad.

En base al ahorro de combustible se estima la reducción en toneladas de CO₂ por la implementación de la medida:

$$V_{\text{Diesel}} = 31.7 \frac{\text{gal}}{\text{mes}} * \frac{12 \text{ meses}}{\text{año}} = 380.4 \frac{\text{gal}}{\text{año}}$$

$$\text{Ton } CO_2 = V_{\text{Diesel}} * PC_{\text{Diesel}} * 0.080028 \frac{\text{Ton } CO_2}{\text{GJ}}$$

$$\begin{aligned} \text{Ton } CO_2 &= 380.4 \frac{\text{gal}}{\text{año}} * \frac{m^3}{264.172 \text{ gal}} * 863.4 \frac{\text{kg}}{m^3} * 0.043180 \frac{\text{GJ}}{\text{kg}} * 0.080028 \frac{\text{Ton } CO_2}{\text{GJ}} \\ &= 4.30 \frac{\text{Ton } CO_2}{\text{año}} \end{aligned}$$

En la Tabla 4.10 se presenta la tabla resumen sobre el análisis técnico, económico y ambiental.

Tabla 4.10: Factibilidades por la implementación de recomendación “tanque de condensados de mayor capacidad” en el HNZ.

Factibilidad técnica	Factibilidad económica	Factibilidad ambiental
Instalación del tanque de condensado de 111 gal	Ahorro sales de regeneración anual US\$ 74.70	Reducción en CO ₂ de 4.30 Ton CO ₂ por ahorro de diésel
Ahorros de Diésel de 384.4 gal/año equivalente al 1.12% del consumo actual	Ahorro agua no utilizada anual US\$ 311.04	
	Ahorro diésel anual US\$ 996.6	

4.3. Análisis Económico, Proyección de Ahorros por implementación de medidas de EE

En esta sección se presenta la proyección económica global del proyecto, con un horizonte de 10 años (tiempo basado en la vida útil de la mayor parte de los equipos recomendados).

La inflación anual acumulada promedio que presento El Salvador según la Defensoría del consumidor para el año 2017 fue de 1.63%. En cuanto a la tasa incremental de costo de energía eléctrica anual para El Salvador es del 3%. En cuanto al valor de la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR), se utiliza el criterio para evaluar proyectos de energía renovable del “Plan Maestro para el desarrollo de la energía renovable en El Salvador” definido en la tabla 2.14.

Tabla 2.14: Parámetros para flujo de caja.

Tasa de inflación	1.63%
Tasa incremental del Costo de energía eléctrica anual	3%
Período de análisis	10 años
TMAR	12%

A continuación, se presenta un resumen de los costos y beneficios asociados a cada medida de EE propuesta.

Tabla 4.11: Resumen de costos y beneficios por medida de EE propuesta

Recomendaciones técnicas	Ahorros anuales	Costos anuales
Instalación de Colectores Solares de Placa Plana para precalentar el agua suavizada.	US\$ 1,504.04	US\$ 150.40
Instalación de Equipo para Medición de Conductividad.	US\$ 1781.27	US\$ 178.13
Eliminación de la fuga de vapor	US\$ 7047.96	-
Instalación de aislante térmico a la red de distribución de vapor y retorno de condensados	US\$ 2768.48	-
Dimensionar un tanque de condensados de mayor capacidad	US\$ 996.60	-

A continuación, se presentan en la tabla 4.13 los ahorros totales para los 10 años de proyección financiera, y en la tabla 4.141 los costos totales para los 10 años de proyección financiera.

Para calcular 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.

$$Depreciación\ anual = \frac{Costo\ del\ equipo - Valor\ de\ salvamento}{Vida\ útil} \quad (Ec.\ 4.2.)$$

Por ejemplo, para el ahorro por colectores solares se tiene:

$$Depreciación\ anual = \frac{\$ 12,320 - 1232}{20\ años} = \frac{\$554.40}{año}$$

Depreciación acumulada es:

$$Depreciación\ acumulada\ año\ n = depreciación\ anual + depreciación\ acumulada(n - 1) \quad (Ec.\ 4.3).$$

Tabla 4.12: Proyección de ahorros por medida de EE propuesta

Ahorros Anuales por Implementación de Medidas de Eficiencia Energética										
Concepto/años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Instalacion de colectores solares	\$ 1,413.80	\$ 1,456.21	\$ 1,499.90	\$ 1,544.90	\$ 1,591.24	\$ 1,638.98	\$ 1,688.15	\$ 1,738.80	\$ 1,790.96	\$ 1,844.69
Optimizacion de purgas	\$ 1,674.39	\$ 1,724.62	\$ 1,776.36	\$ 1,829.65	\$ 1,884.54	\$ 1,941.08	\$ 1,999.31	\$ 2,059.29	\$ 2,121.07	\$ 2,184.70
Reparacion de fugas	\$ 7,047.96	\$ 7,259.40	\$ 7,477.18	\$ 7,701.50	\$ 7,932.54	\$ 8,170.52	\$ 8,415.63	\$ 8,668.10	\$ 8,928.14	\$ 9,195.99
Aislamiento de tuberias	\$ 2,768.00	\$ 2,851.04	\$ 2,936.57	\$ 3,024.67	\$ 3,115.41	\$ 3,208.87	\$ 3,305.14	\$ 3,404.29	\$ 3,506.42	\$ 3,611.61
Instalacion de tanque de condensados de mayor capacidad	\$ 1,382.34	\$ 1,423.81	\$ 1,466.52	\$ 1,510.52	\$ 1,555.84	\$ 1,602.51	\$ 1,650.59	\$ 1,700.10	\$ 1,751.11	\$ 1,803.64
Ahorro total	\$ 14,286.49	\$ 14,715.08	\$ 15,156.54	\$ 15,611.23	\$ 16,079.57	\$ 16,561.96	\$ 17,058.82	\$ 17,570.58	\$ 18,097.70	\$ 18,640.63

Tabla 4.13: Proyección de costos por medida de EE propuesta.

Costos Operativos										
Concepto/años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Instalacion de colectores solares	\$ 141.38	\$ 143.68	\$ 146.03	\$ 148.41	\$ 150.83	\$ 153.28	\$ 155.78	\$ 158.32	\$ 160.90	\$ 163.53
Optimizacion de purgas	\$ 167.44	\$ 170.17	\$ 172.94	\$ 175.76	\$ 178.63	\$ 181.54	\$ 184.50	\$ 187.50	\$ 190.56	\$ 193.67
Reparacion de fugas	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Aislamiento de tuberias	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Instalacion de tanque de condensados de mayor capacidad	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos Totales	\$ 308.82	\$ 313.85	\$ 318.97	\$ 324.17	\$ 329.45	\$ 334.82	\$ 340.28	\$ 345.83	\$ 351.46	\$ 357.19

La depreciación acumulada para el año 1, por definición es igual que el valor de la depreciación anual, entonces para el año 2 se tiene que la depreciación anual es:

$$\text{Depreciación acumulada año 2} = \$554.40 + \$554.40 = \$1,108.80$$

El valor en libros para el año 1 está dado de la siguiente forma:

$$\text{Valor en libros año 1} = \text{Costo del equipo} - \text{depreciación acumulada}$$

(Ecuación 4.30)

$$\text{Valor en libros año 1} = \$12,320 - \$554.40 = \$11,765.60$$

A continuación, se muestra el método de depreciación por línea recta para los equipos recomendados:

Tabla 4.14: Datos de depreciación para colectores solares.

Tabla de depreciación: Método de línea recta			
Equipo: Colectores solares			
Valor	\$ 12,320.00	Vida útil	20
Valor de Salvamento			\$ 1,232.00
Depreciación anual			\$ 554.40
Año	Depreciación	Depreciación acumulada	Valor en libros
1	\$ 554.40	\$ 554.40	\$ 11,765.60
2	\$ 554.40	\$ 1,108.80	\$ 11,211.20
3	\$ 554.40	\$ 1,663.20	\$ 10,656.80
4	\$ 554.40	\$ 2,217.60	\$ 10,102.40
5	\$ 554.40	\$ 2,772.00	\$ 9,548.00
6	\$ 554.40	\$ 3,326.40	\$ 8,993.60
7	\$ 554.40	\$ 3,880.80	\$ 8,439.20
8	\$ 554.40	\$ 4,435.20	\$ 7,884.80
9	\$ 554.40	\$ 4,989.60	\$ 7,330.40
10	\$ 554.40	\$ 5,544.00	\$ 6,776.00
11	\$ 554.40	\$ 6,098.40	\$ 6,221.60
12	\$ 554.40	\$ 6,652.80	\$ 5,667.20
13	\$ 554.40	\$ 7,207.20	\$ 5,112.80
14	\$ 554.40	\$ 7,761.60	\$ 4,558.40
15	\$ 554.40	\$ 8,316.00	\$ 4,004.00
16	\$ 554.40	\$ 8,870.40	\$ 3,449.60
17	\$ 554.40	\$ 9,424.80	\$ 2,895.20
18	\$ 554.40	\$ 9,979.20	\$ 2,340.80
19	\$ 554.40	\$ 10,533.60	\$ 1,786.40
20	\$ 554.40	\$ 11,088.00	\$ 1,232.00

Tabla 4.15: Datos de depreciación para Tanque de condensado.

Tabla de depreciación: Método de línea recta			
Equipo: Tanque de condensado			
Valor	\$ 2,734.60	Vida útil	10
Valor de Salvamento			\$ 273.46
Depreciación anual			\$ 246.11
Año	Depreciación	Depreciación acumulada	Valor en libros
1	\$ 246.11	\$ 246.11	\$ 2,488.49
2	\$ 246.11	\$ 492.23	\$ 2,242.37
3	\$ 246.11	\$ 738.34	\$ 1,996.26
4	\$ 246.11	\$ 984.46	\$ 1,750.14
5	\$ 246.11	\$ 1,230.57	\$ 1,504.03
6	\$ 246.11	\$ 1,476.68	\$ 1,257.92
7	\$ 246.11	\$ 1,722.80	\$ 1,011.80
8	\$ 246.11	\$ 1,968.91	\$ 765.69
9	\$ 246.11	\$ 2,215.03	\$ 519.57
10	\$ 246.11	\$ 2,461.14	\$ 273.46

Tabla 4.16: Datos de depreciación para aislamiento térmico.

Tabla de depreciación: Método de línea recta			
Equipo: Aislamiento termico			
Valor	\$ 3,339.75	Vida útil	10
Valor de Salvamento			\$ 333.98
Depreciación anual			\$ 300.58
Año	Depreciación	Depreciación acumulada	Valor en libros
1	\$ 300.58	\$ 300.58	\$ 3,039.17
2	\$ 300.58	\$ 601.16	\$ 2,738.60
3	\$ 300.58	\$ 901.73	\$ 2,438.02
4	\$ 300.58	\$ 1,202.31	\$ 2,137.44
5	\$ 300.58	\$ 1,502.89	\$ 1,836.86
6	\$ 300.58	\$ 1,803.47	\$ 1,536.29
7	\$ 300.58	\$ 2,104.04	\$ 1,235.71
8	\$ 300.58	\$ 2,404.62	\$ 935.13
9	\$ 300.58	\$ 2,705.20	\$ 634.55
10	\$ 300.58	\$ 3,005.78	\$ 333.98

4.3.1. Proyección sin financiamiento bancario.

A continuación, se presenta en la tabla 4.17 el flujo de caja para el proyecto sin financiamiento bancario debido a que el proyecto se está realizando en una institución pública.

Las funciones VAN y TIR de Microsoft Excel, fueron utilizadas para el cálculo del valor actual neto, que es la acción de trasladar al presente el flujo de caja anual, y la tasa interna de retorno, la cual indica la rentabilidad del proyecto.

Se obtiene una VAN y una TIR de \$ 34,236.97 y 36.76% respectivamente. Tomando como punto de comparación los criterios para evaluar un proyecto de energía renovable del “Plan Maestro para el desarrollo de la energía renovable en El Salvador” definidos en la tabla 2.14 se puede concluir que el proyecto es factible económicamente.

Los beneficios totales por la implementación de las recomendaciones técnicas para el HNM se presentan en la tabla 4.18, en la que se observa que el total de beneficio por la implementación de las medidas recomendadas es del 19.92% del costo anual actual por la compra de combustibles, es decir US\$ 13892.53 en galones de combustible anuales.

Tabla 4.17: Flujo de caja del proyecto sin financiamiento bancario

Flujo de Caja del Proyecto SIN Financiamiento Bancario											
Concepto/año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(+) Ahorros	\$ 14,286.49	\$ 14,715.08	\$ 15,156.54	\$ 15,611.23	\$ 16,079.57	\$ 16,561.96	\$ 17,058.82	\$ 17,570.58	\$ 18,097.70	\$ 18,640.63	
(-) Costos	\$ 308.82	\$ 313.85	\$ 318.97	\$ 324.17	\$ 329.45	\$ 334.82	\$ 340.28	\$ 345.83	\$ 351.46	\$ 357.19	
(=) depreciación	\$ 13,977.67	\$ 14,401.23	\$ 14,837.57	\$ 15,287.07	\$ 15,750.12	\$ 16,227.14	\$ 16,718.54	\$ 17,224.75	\$ 17,746.24	\$ 18,283.44	
(-) Depreciación	\$ 300.58	\$ 300.58	\$ 300.58	\$ 300.58	\$ 300.58	\$ 300.58	\$ 300.58	\$ 300.58	\$ 300.58	\$ 300.58	\$ 300.58
(-) Intereses	\$ 1,567.75	\$ 1,464.56	\$ 1,352.09	\$ 1,229.49	\$ 1,095.85	\$ 950.19	\$ 791.42	\$ 618.36	\$ 429.73	\$ 224.12	
(=) Utilidad Bruta	\$ 12,109.34	\$ 12,636.09	\$ 13,184.90	\$ 13,757.00	\$ 14,353.69	\$ 14,976.37	\$ 15,626.54	\$ 16,305.81	\$ 17,015.93	\$ 17,758.74	
(-) ISR (30%)	\$ 3,632.80	\$ 3,790.83	\$ 3,955.47	\$ 4,127.10	\$ 4,306.11	\$ 4,492.91	\$ 4,687.96	\$ 4,891.74	\$ 5,104.78	\$ 5,327.62	
(=) Utilidad Neta	\$ 8,476.54	\$ 8,845.26	\$ 9,229.43	\$ 9,629.90	\$ 10,047.58	\$ 10,483.46	\$ 10,938.58	\$ 11,414.07	\$ 11,911.15	\$ 12,431.12	
(-) Amortización	\$ 1,146.55	\$ 1,249.74	\$ 1,362.22	\$ 1,484.82	\$ 1,618.45	\$ 1,764.11	\$ 1,922.88	\$ 2,095.94	\$ 2,284.58	\$ 2,490.19	
(+) Depreciación	\$ 300.58	\$ 300.58	\$ 300.58	\$ 300.58	\$ 300.58	\$ 300.58	\$ 300.58	\$ 300.58	\$ 300.58	\$ 300.58	\$ 300.58
(+) Valor de Rescate											\$ 6,776.00
(=) Flujo de Caja Neto	\$ 7,630.56	\$ 7,896.10	\$ 8,167.79	\$ 8,445.66	\$ 8,729.71	\$ 9,019.92	\$ 9,316.27	\$ 9,618.71	\$ 9,927.15	\$ 10,235.59	\$ 10,544.03
Detalle de inversiones:											
(-) Instalacion de colectores solares	\$ 12,320.00										
(-) Optimizacion de purgas	\$ 2,750.00										
(-) Reparacion de fugas	\$ 630.00										
(-) Aislamiento de tuberias	\$ 3,339.75										
(-) Instalacion de tanque de condensados de mayc	\$ 2,734.60										
(=) Flujo de Caja Neto Incremental	\$ (21,774.35)	\$ 7,630.56	\$ 7,896.10	\$ 8,167.79	\$ 8,445.66	\$ 8,729.71	\$ 9,019.92	\$ 9,316.27	\$ 9,618.71	\$ 9,927.15	\$ 10,235.59
Factor de descuento	0.909	0.827	0.752	0.684	0.622	0.566	0.514	0.468	0.425	0.387	
Flujos descontados	\$ 6,939.08	\$ 6,529.84	\$ 6,142.42	\$ 5,775.82	\$ 5,429.06	\$ 5,101.21	\$ 4,791.35	\$ 4,498.60	\$ 4,222.12	\$ 3,971.83	\$ 3,722.97
Flujo acumulado	\$ (14,835.27)	\$ (8,305.43)	\$ (2,163.01)	\$ 3,612.82	\$ 9,041.88	\$ 14,143.09	\$ 18,934.43	\$ 23,433.03	\$ 27,655.14	\$ 31,212.97	\$ 34,236.97

Tabla 4.18: Beneficios totales por implementación de recomendaciones técnicas al HNZ en el área térmica.

Recomendaciones técnicas	Beneficio económico por implementación.	Beneficio Ambiental por implementación	Porcentaje de ahorros en costos de recursos por implementación de medidas respecto al costo actual de los recursos	Indicadores económicos del proyecto
Instalación de Colectores Solares de Placa Plana para precalentar el agua suavizada.	US\$ 1,413.80 en galones de combustible al año	6.09 TonCO ₂ /año no emitidas	2.03	VAN de US\$34236.97 TIR del 36.76%
Instalación de Equipo para Medición de Conductividad.	US\$ 1674.39 en galones de combustible al año	7.22 TonCO ₂ no emitidas	2.4	
Eliminación de la fuga de vapor	US\$ 7047.96 en galones de combustible al año	24.66 TonCO ₂ /año no emitidas	10.11	
Instalación de aislante térmico a la red de distribución de vapor y retorno de condensados	US\$ 2768.48 galones de combustible al año	3.34 TonCO ₂ /año no emitidas	3.96	
Dimensionar un tanque de condensados de mayor capacidad	US\$ 996.6 en galones de combustible al año	4.30 TonCO ₂ /año no emitidas.	1.42	
			Porcentaje Total de ahorros (%)	19.92

5. GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS EN EL USO Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA TÉRMICO DEL HNZ.

La presente Guía de Buenas Prácticas tiene como propósito brindar a los responsables de la operación del sistema térmico las herramientas que le permitan lograr una operación eco eficiente de sus máquinas, esto es producir más vapor con el mínimo consumo de combustible y producción de emisiones al ambiente, consiguiendo así ahorros energéticos para la institución (menor costo de producción de vapor), además de brindar orientación sobre el mantenimiento que debe recibir el sistema de generación de vapor; todo esto en base a los resultados obtenidos durante la presente investigación.

5.1 Generalidades del uso de calderas.

El vapor se produce generalmente en las calderas, que son recipientes cerrados a presión constituidos básicamente por un casco y tubos, a través de los cuales se produce la transferencia de calor, desde los gases de combustión de un combustible quemado en un quemador.

Las calderas instaladas en el HNZ son calderas pirotubulares. En este tipo de calderas, los gases calientes fluyen por el interior de los tubos que son sumergidos en agua dentro de un casco.

Las principales ventajas de estas calderas son:

- a) Son más económicas en su adquisición y mantenimiento con respecto a una caldera acuotubular.
- b) Alcanzan elevadas eficiencias (>80%).
- c) Espacio necesario reducido.

En la ilustración 1 se representa los componentes de una caldera piro tubular.

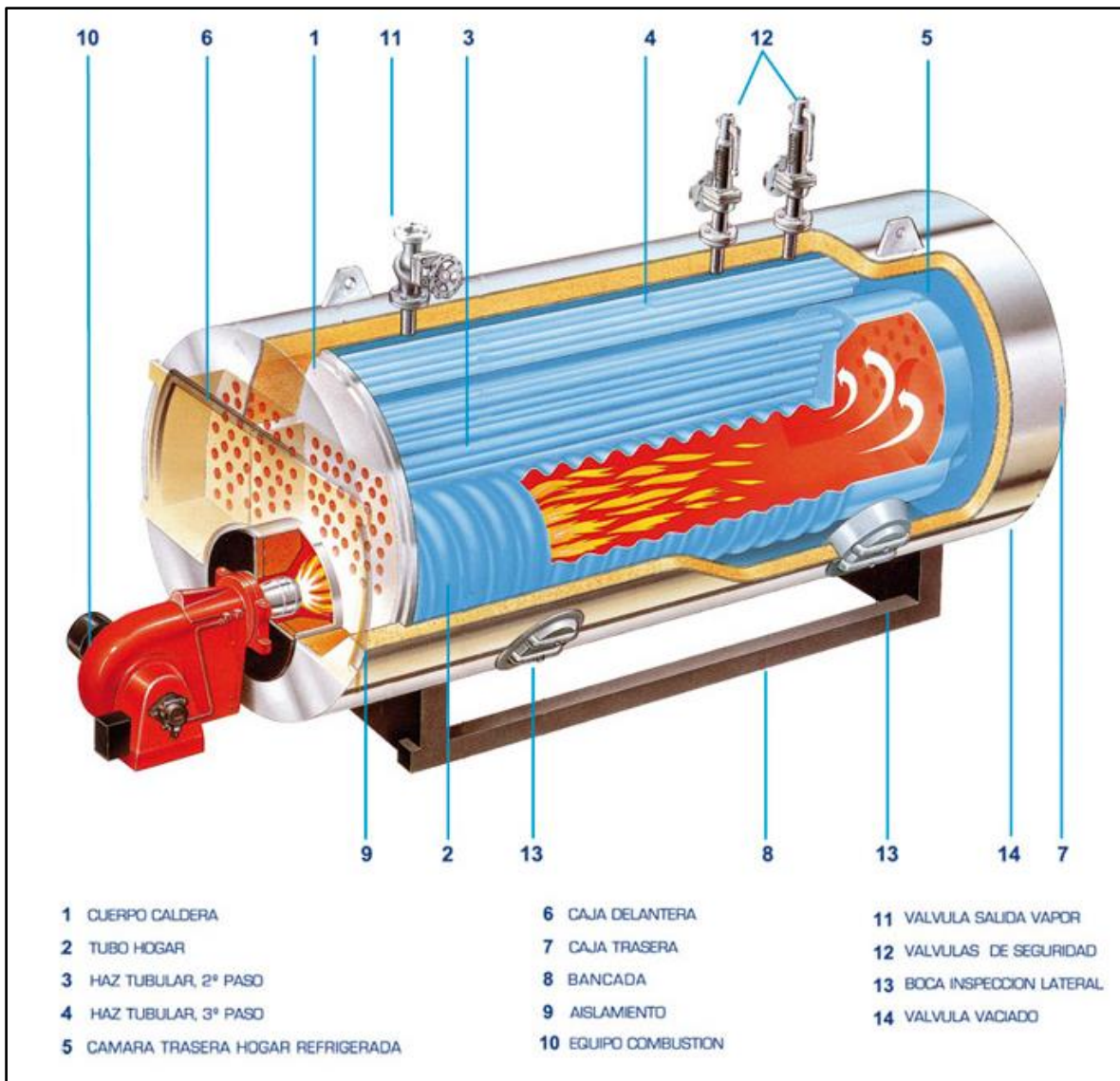


Ilustración 5.1: Componentes de una caldera piro tubular.
Fuente: CALDERAS DE VAPOR PIROTUBULAR, SOGECAL S.L. (2018).

Los componentes básicos de una caldera son el quemador, la cámara de combustión, la sección convectiva, la chimenea, los ventiladores de aire y la instrumentación y controles.

Quemador: es uno de los componentes fundamentales de la caldera de vapor, y su función es realizar la mezcla del aire con el combustible para conseguir su combustión y la liberación del calor necesario para la generación de vapor.

Un factor importante de la eficiencia de combustión es la mezcla del aire con el combustible, lo que permite facilitar la reacción del carbono e hidrógeno del combustible con el oxígeno del aire, produciendo así un mínimo de inquemados (CO, hollín, etc.). En el caso de los combustibles líquidos, como el utilizado en el HNZ, esto se logra atomizando finamente el combustible.

Otro factor importante es el exceso de aire, esto es la cantidad de aire usado en el quemador por encima del valor estequiométrico (aire mínimo para completar las reacciones de combustión). Si el exceso de aire es muy bajo se produce una mala combustión (alta presencia de CO y hollín); y si el exceso de aire es muy alto, se gasta parte del combustible para calentar el aire excedente, habiendo en ambos casos ineficiencia en la caldera.

Cámara de combustión: también llamado hogar, es el espacio donde se aloja la llama, es decir, se produce la combustión y se transfiere calor por radiación hacia el agua.

Sección convectiva: es la zona donde se transfiere el calor de los gases de combustión al agua a través de las superficies de calefacción (tubos).

Chimenea: ducto por donde se evacuan los gases de combustión después de transferir su calor al agua, permitiendo a la vez regular el tiro de la caldera, es decir la presión de vacío que induce a circular a los gases de combustión y dar forma a la llama.

Ventiladores de aire: proporcionan el aire de combustión. Por lo general son de tipo centrífugo que impulsan el aire a través de la caldera.

Instrumentación y controles: desde el punto de vista energético, el control más importante es el que regula los flujos de aire y combustible hacia el quemador, es

decir el exceso de aire. Otros controles importantes son los de la presión de vapor y el nivel de agua dentro de la caldera.

5.1 Buenas prácticas en la operación y mantenimiento de calderas.

Las calderas generalmente se diseñan y fabrican para que tengan una larga vida útil (usualmente de 25 a 30 años); pero si no se tienen los cuidados del caso durante su operación y no se le presta el adecuado mantenimiento de acuerdo a un programa establecido, entonces sufre un deterioro paulatino que no solo acorta su vida; sino que también reduce su eficiencia e incluso se convierte en un factor de riesgo para la planta.

5.1.1 Operación eficiente de calderas.

La eficiencia de una caldera de vapor depende fundamentalmente de determinados parámetros como son el régimen de carga, condiciones de la combustión (presión del combustible, exceso de aire, aire de atomización, etc.), tratamiento del agua de alimentación, así como de su temperatura.

Una combustión eficiente es vital para alcanzar una buena eficiencia térmica, lo que implica aprovechar al máximo la energía disponible en el combustible.

Los principales parámetros de operación de una caldera piro tubular, que deben ser vigilados por el operador son los siguientes:

- 1) En el sistema de combustión:** exceso de aire de combustión, presión de inyección del combustible, presión del aire de atomización, temperatura de calentamiento del combustible a la salida del precalentador (si se cuenta con uno), temperatura de inyección del combustible en el quemador, temperatura del gas de chimenea.

Un elevado exceso de aire, o lo que es lo mismo un alto contenido de O₂ en los gases de escape, disminuye la temperatura de llama de los gases de combustión

en el quemador, debido a la captación de calor por parte del O_2 y N_2 del exceso de aire para elevar su temperatura, dando como resultado una menor transferencia de calor por radiación en el hogar de la caldera y un aumento de la temperatura del gas de escape, con el consiguiente aumento de las pérdidas de calor por la chimenea y consumo de combustible.

Si el exceso de aire es reducido por debajo de cierto nivel, que suele ser del 15 al 25 %, dependiendo del combustible, se produce inquemados gaseosos como CO y hollín, lo cual también trae consigo un incremento en el consumo de combustible debido a la combustión incompleta del carbono e hidrógeno del combustible.

Las presiones de inyección del combustible y del aire de atomización, así como la correcta temperatura de inyección del combustible, son muy importantes para lograr una buena mezcla aire-combustible y una combustión eficiente.

El mismo efecto se produce también por una mezcla pobre del aire y el combustible; lo cual puede ser consecuencia ya sea de una mala atomización, bajas temperaturas o presiones inadecuadas del aire de atomización, mal estado del quemador, etc., o de un tiro deficiente en el hogar de la caldera.

Una mezcla de aire-combustible pobre da también como resultado una llama inestable; lo cual a su vez origina una transferencia de calor variable e incontrolada en el hogar de la caldera. Esto último resulta finalmente en una producción inestable de vapor, variación de la presión del mismo, rápido ensuciamiento de los tubos (reduciendo la transferencia de calor al agua), y un elevado consumo de combustible.

La temperatura máxima de gases en chimenea debe ser de 220 °C. Si llega a 250 °C no debe trabajarse la caldera, pues requiere limpieza de tubos.

a) En general.

Presión de la caldera: nunca debe superar la presión de diseño.

Nivel del agua dentro de la caldera: nunca debe bajar por debajo del mínimo establecido.

Temperatura del agua de alimentación: no debe ser menor a 80 °C.

Dureza del agua de alimentación: no debe ser mayor a 5 ppm.

En la tabla 5.1 se muestra un resumen de los valores de las variables anteriormente mencionadas en el uso de las calderas del HNZ.

Tabla 5.1: Variables de control de calderas del HNZ.

Variable	Valor
Presión nominal	150 lb/plg ²
Presión de trabajo	102 lb/plg ²
Temperatura de agua de alimentación	70 °C
Dureza de agua de alimentación	255 SDT
Temperatura de gases de chimenea	211.60 °C
Exceso de aire en combustión	8.23 %

La tabla 5.1 muestra que las condiciones de trabajo de las calderas se encuentran fuera de los parámetros de control; estos son la temperatura del agua de alimentación, el porcentaje del exceso de aire (valores menores a los requeridos) y la dureza del agua de alimentación (valor excedido al límite ideal). Por lo que se identifica como un área de mejora, la cual es contemplada en el capítulo 4.

5.1.2 Mediciones en calderas.

La única manera de realizar un buen diagnóstico de cuán buena es la combustión y que nivel de aprovechamiento de la energía se tiene en la caldera, y por ende su eficiencia, es realizando mediciones con instrumentos confiables y por personal experimentado.

Existen 3 pruebas básicas, relacionadas a los aspectos de combustión, que dictaminan si una caldera está trabajando eficientemente: análisis de gases de chimenea, determinación de la opacidad de gases y medición de la temperatura de gases de chimenea.

Estas pruebas se hacen necesariamente con instrumentos y en forma periódica (mensual o trimestralmente), en función del nivel de operación de la caldera.

2) Análisis de gases de chimenea.

Normalmente se analiza el porcentaje de volumen de oxígeno (% O₂) para poder determinar el exceso de aire con el que está operando la caldera.

$$\%E = (N - 1) * 100$$

Dónde:

$$N = \frac{21}{21 - \%O_2}$$

Para tal efecto se emplean analizadores de gases, ya sea volumétricos (equipos FYRITE), o electrónicos (equipos TESTO). Las muestras de gas se toman a través de un orificio practicado en la chimenea.

2.1) Determinación de la opacidad de gases.

Se realiza con un opacímetro o probador de humos (equipo BACHARACH, por ejemplo). El método del Índice de Bacharach (IB) consiste en hacer pasar una muestra a través de un papel filtro especial en el cual se forma una mancha circular, cuyo color puede variar del negro al blanco. La tonalidad relacionada con la cantidad de inquemados sólidos contenida en los humos. La mancha obtenida se compara con una serie de manchas patrón que actúan de testigos numerados y de intensidad creciente. La escala del IB permite obtener un diagnóstico de cuán completa es la combustión por la formación de hollín y es de acuerdo a la escala presentada en la tabla 5.2.

Un gas siempre debe dar IB=0, el Diésel se acepta hasta un IB=2 y para el Residual hasta un IB=3. Si se obtienen valores mayores. Significa que la caldera requiere ajustes.

Tabla 5.2: Escala de índice de Bacharach.

Índice de Bacharach	Calificación	Efectos
1	Excelente	No hay hollín
2	Buena	Hollín muy reducido
3	Regular	Cierta cantidad de hollín
4	Pobre	Hollín visible
5	Muy pobre	Hollín muy visible
6 a 9	Pobrísimas	Hollín muy visible

Fuente: Centro de Eficiencia Técnica de Perú, 2014.

Aunque la opacidad no es reportada en los análisis de gases de chimenea por la empresa subcontratada por el HNZ, es recomendable conocer este valor para un mayor entendimiento del comportamiento real de la combustión en la caldera (véase capítulo 3).

2.2) Medición de la temperatura de gases de chimenea.

Se mide con un termómetro bimetalico o también con una termocupla. La temperatura es una indicación de posibles problemas de ensuciamiento de los tubos, ya sea en el lado de los gases o del agua. Altas temperaturas (por encima de 250 °C) significan pérdidas de energía por chimenea, por lo que debe analizarse su causa.

5.2 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.

a) Bombas.

1. Sellos: evitar fugas, verificar temperatura de trabajo.
2. Engranajes: chequear tolerancias, desgaste.
3. Fajas: revisar tensión, desgaste.

b) Filtros.

1. Verificar limpieza.
2. Verificar buen estado.

c) Válvula moduladora de combustible.

1. Eliminar fugas.
2. Chequear fuelles, diafragmas, etc.
3. Chequear leva moduladora: alineación, pines, etc.

d) Instrumentación y control.

Revisar:

1. Manómetros.
2. Válvulas de control de presión y caudal.
3. Programador.
4. Modutrol.
5. Presuretroles, etc.

e) Ventilador de aire.

1. Limpiar la malla de entrada de aire y el rotor del ventilador.
2. Inspeccionar si los prisioneros están apretados.
3. Verificar si las fajas están flojas y cambiarlas si se notan gastadas.
4. Engrasar rodamientos del ventilador y del motor.

f) Quemador.

1. Retirar el conjunto del quemador: difusores y cañón, desármelo y límpielo perfectamente.
2. Limpiar regularmente las toberas con solventes. Cambiarlas cada tres años como máximo.
3. Inspeccione las puntas de los electrodos y ajústelas cuando sea necesario.
4. Mantener limpia la fotocelda.
5. Mantener limpio y en buen estado el difusor de aire, esto garantiza una buena mezcla aire-combustible.
6. Mantener en buen estado el cono refractario.

g) Compresor de aire.

1. Limpiar el filtro de aire cuando menos mensualmente con un solvente y llenar el depósito con aceite a su nivel adecuado,
2. Lubricar permanentemente paletas y rotor.

h) Tubos.

1. La limpieza de tubos es fundamental para lograr una buena transmisión de calor y alta eficiencia de la caldera.

5.2.1 Mantenimiento general.

A continuación, se presenta una propuesta de rutinas de mantenimiento en base al estado actual del sistema de generación de vapor del HNZ.

a) Rutina de mantenimiento diario.

1. Observar las instalaciones de la válvula moduladora de combustible.
2. Observar la presión del combustible.
3. Observar la presión del aire (o vapor de atomización).
4. Limpiar filtros de combustible.
5. Revisar las formaciones excesivas de carbón.

6. Revisar las temperaturas del combustible.
7. Revisar el nivel de aceite lubricante del compresor de aire.
8. Observar las presiones de gas para encendido.
9. Soplar hacia abajo por la columna de agua (y válvula auxiliar si se tiene) con encendido del quemador. Revisar la operación de bajo nivel.
10. Cerrar fuertemente las válvulas de purga.
11. Conservar limpios la caldera, el quemador, el tablero y todo el cuarto de calderas.
12. Chequear si hay fugas en las conexiones de vapor, agua y combustible y repararlas en cuanto aparezcan.
13. Mantener cerrada la puerta del gabinete del tablero de control para evitar ensuciamiento de los contactos eléctricos.
14. Chequear si el agua ha sido adecuadamente ablandada mediante pruebas con reactivos químicos.

b) Mantenimiento semanal.

1. Inspeccionar y limpiar las toberas de combustible residual en caso de ser necesario.
2. Drenar y rellenar el cárter del compresor.

c) Mantenimiento quincenal.

1. Limpiar los filtros de entrada de aire en el compresor.
2. Engrasar los cojinetes del ventilador.
3. Remover y limpiar el ensamble del piloto de gas. Ver que no esté rajada la porcelana y revisar la instalación de la chispa del gas.
4. Remover el cuerpo del visor y limpiar el vidrio del mismo.

d) Mantenimiento cada 60 a 90 días.

1. Remover todas las tapas de los registros y de los puertos de acceso. Revisar para ver si los tubos tienen lodo o incrustaciones.
2. Lavar la caldera completamente con una manguera de agua de alta presión.
3. Cambiar empaquetaduras y reinstalar las placas de registro.
4. Inspeccionar el lado de fuego de los tubos para detectar depósitos. En caso de que estén sucios cepillarlos desde el frente hacia atrás. Remover la cámara posterior.

e) Mantenimiento anual.

Se debe drenar la caldera para su inspección, limpieza y mantenimiento general de acuerdo al manual del fabricante de la caldera.

5.3 Buenas prácticas para el mejoramiento de calderas.

Existen prácticas y tecnologías desarrolladas para mejorar el funcionamiento y operación de calderas. En esta sección se busca brindar al usuario conocimientos básicos e ideas para el mejoramiento de la operación y mantenimiento de la caldera, orientados al uso eficiente del combustible, para su máximo aprovechamiento, consiguiendo con ello incrementar el rendimiento de vapor de la caldera, reducir costos operativos y emisiones de gases de chimenea al ambiente.

5.3.1 Ajuste y control del exceso de aire.

El ajuste y control del exceso de aire es una de las prácticas más efectivas para mejorar la eficiencia de una caldera con inversiones que pueden ser bajas a moderadas, dependiendo del control que se adopte.

El nivel mínimo de exceso de aire a emplear depende del combustible usado y del tipo de quemador disponible, este debe garantizar un suministro adecuado aire-combustible y permitir su regulación.

Esta mejora consiste en regular los flujos de aire y combustible mediante el ajuste de la apertura del d mper del ventilador y de la válvula de ingreso de combustible al quemador respectivamente, de tal manera que se mantenga una relaci3n aire-combustible que logre un mínimo de exceso de aire, a la potencia del quemador que se trabaje y con una mínima producci3n de inquemados (hollín y CO).

El nivel mínimo de exceso de aire a emplear depende del combustible usado y del tipo de quemador disponible.

En la tabla 5.3 se presentan los parámetros recomendados para una caldera que es alimentada con Diésel.

Tabla 5.3: Nivel recomendado de exceso de aire y otros parámetros

Combustible	Exceso de aire (%)	O₂ en chimenea (%)	CO en chimenea (ppm)	Opacidad de humos (�ndice de Bacharach)
Diésel	20 máx.	3.5 máx.	200 máx.	3 máx.

Fuente: CET Perú, 1999.

A continuaci3n, se listan los principales beneficios de la reducci3n de exceso de aire:

1. Los ahorros de combustible por reducir el exceso de aire pueden llegar hasta un 10%.
2. Menores perdidas de calor con el gas de chimenea que abandona la caldera, en virtud que se deja de calentar innecesariamente aire en exceso

que es evacuado junto con los gases. A menor volumen de gases de chimenea, menores son las pérdidas de calor.

3. Mayor transferencia de calor radiante.
4. Reducción de las emisiones de gases contaminantes (NO_x , SO_2 , CO) en virtud que se quema menos combustible para satisfacer la misma demanda de vapor.

En resumen, una mayor eficiencia de la caldera, menor costo de producción de vapor por el menor consumo de combustible y el consiguiente ahorro económico para la institución.

5.3.2 Reducir depósitos en los tubos.

En una caldera pueden formarse depósitos, tanto en el lado del agua como en el lado de los gases. En el primer caso, los depósitos se forman por causa de un mal tratamiento del agua de alimentación a caldera, principalmente por un mal ablandamiento; es decir, que el agua de aporte, contiene todavía sales de calcio y magnesio que no fueron totalmente removidas en los equipos de ablandamiento, depositándose en los tubos por efecto del calor.

Una calidad pobre del agua afecta el desempeño de la caldera de dos maneras:

1. Se requiere una mayor purga dando como resultado mayores pérdidas de calor.
2. Los depósitos de sales en los tubos, constituyen una barrera a la transferencia de calor gases-agua, que provoca no solo elevación de la temperatura de gases de chimenea, con la consiguiente pérdida de calor; sino también recalentamiento de tubos y posible falla de los mismos.

Los depósitos de hollín en los tubos (lado de los gases) se originan por una mala combustión, debido a una pobre mezcla aire-combustible o por defecto de aire.

Cuando el hollín se deposita en los tubos, también actúa como una capa de aislamiento que reduce la transferencia de calor gases-agua.

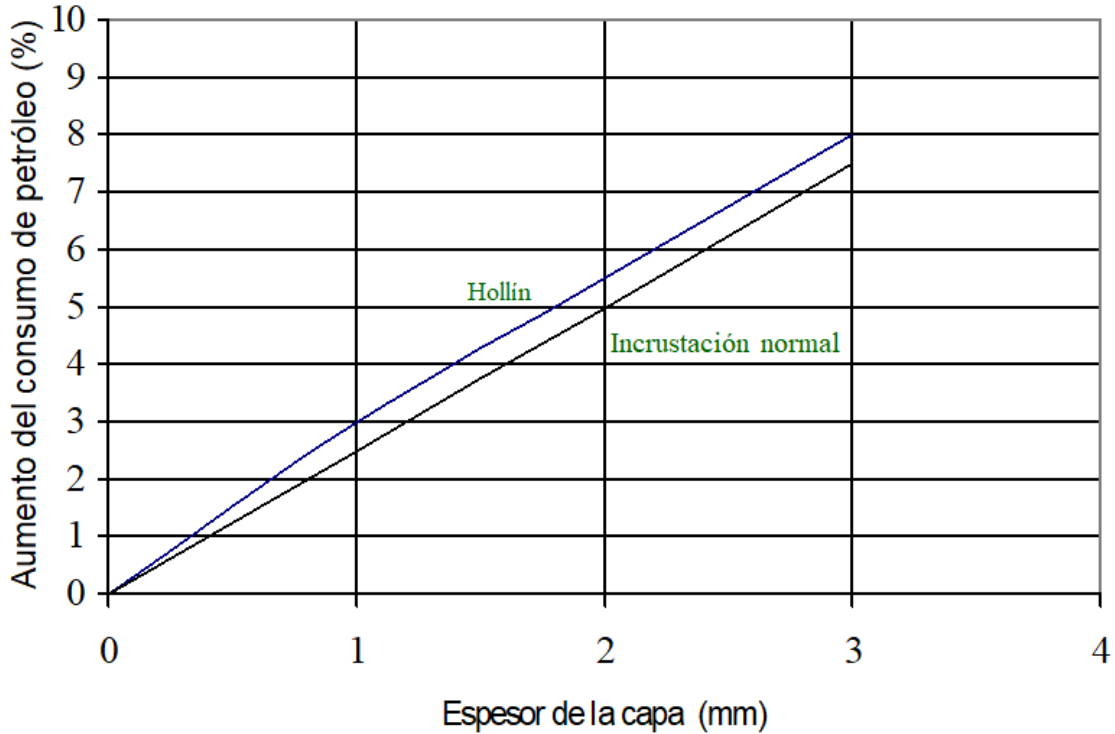


Ilustración 5.2: Incremento del consumo de petróleo por acumulación de suciedad en los tubos.

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, Perú, 1999.

En cualquier caso, el resultado es que los gases salen de la caldera con alta temperatura y la eficiencia de la unidad se reduce, por no haberse aprovechado todo el calor de los gases. Adicionalmente, una excesiva temperatura (mayor a 300 °C) es peligrosa para la caldera, pues los tubos se dilatan excesivamente y se sueltan de las placas, originando fugas de agua o incluso daño a las placas si los tubos están soldados, lo cual resulta muy costoso reparar.

Para prevenir estos problemas, es necesario limpiar los tubos de la caldera cuando se noten excesivos depósitos, o la temperatura sobrepasa los 250 °C (calderas piro tubulares).

La limpieza química de los tubos del lado del agua, debe ser realizada por personal experimentado para evitar posibles daños a los tubos por el ácido usualmente empleado para este fin.

5.3.3 Reducción de la purga.

Una purga efectuada manualmente, sin un control adecuado, resulta por lo general demasiado excesiva o también insuficiente; siendo ambos casos negativa para la caldera.

Una purga excesiva implica extraer demasiada agua con gran contenido energético de la caldera, la cual hay que reemplazar con agua fría de aporte que debe calentarse consumiendo combustible innecesariamente.

Si la purga es insuficiente, la concentración de sólidos disueltos se incrementa por encima del nivel permisible, haciendo que el agua tienda a formar incrustaciones, lo cual conlleva una transmisión de calor pobre y mayor consumo de combustible, además de problemas mecánicos en la caldera.

5.3.4 Recuperación de calor de gases.

Existen tres formas de recuperar el calor de los gases de chimenea de una caldera:

- a) Usando un economizador.
- b) Usando un recuperador de calor por condensación.
- c) Usando un recuperador de calor de contacto directo.

La recomendación para el sistema del HNZ es usar un **Recuperador por contacto directo**.

Un sistema de recuperación de calor por contacto directo, consiste en una torre donde una corriente descendente de agua, se pone en contacto íntimo con una corriente ascendente de gases calientes provenientes de una caldera, de tal manera que se recupera tanto calor latente (del vapor de agua) como calor sensible de los gases.

Los tipos de torres más comunes son las de empaque, de bafles y las torres abiertas.

El agua caliente (40 – 55 °C) que se obtiene en dichas torres, es circulada a través de intercambiadores de calor, para diferentes usos, y regresada nuevamente a la torre.

La formación de ácido en el agua no es un problema en estos sistemas, por la dilución debida a la gran cantidad de agua que se emplea para condensar los gases.

5.4 Buenas prácticas en equipos auxiliares.

Una caldera requiere que todos los insumos que se le entregue (combustible, agua y aire), estén en las condiciones de cantidad y calidad que aseguren su óptimo funcionamiento y la máxima duración de su vida útil, lo cual se asegura mediante una operación eficiente de los equipos auxiliares. En este apartado se proporcionan recomendaciones de operación para dichos equipos.

5.4.1 Sistema de ablandamiento de agua.

El sistema de tratamiento del agua tiene como objetivo eliminar o reducir ciertas impurezas indeseables presentes en el agua de alimentación a la caldera.

Los pasos que normalmente se siguen para tratar el agua de caldera, son dos: tratamiento externo y tratamiento interno.

El tratamiento externo se emplea para reducir o eliminar las impurezas del agua antes de ser alimentada a la caldera, este tratamiento tiene como objetivos la prevención de incrustaciones, la prevención de corrosión y el control de arrastres.

El tratamiento externo más común es el ablandamiento del agua mediante resinas, que es el mismo empleado en el HNZ.

Este tratamiento se realiza haciendo fluir agua a través de un lecho de resina sintética cuya estructura alberga iones, que pueden ser intercambiados por iones presentes en el agua que causan incrustaciones.

A continuación, se presentan en la tabla 5.4 los parámetros de control en el agua de una caldera.

Tabla 5.4: Parámetros de control del agua de una caldera.

Límites para constituyentes del agua de calderas.	
STD (ppm)	700 – 3500
STD en vapor (ppm)	0.2 – 1.0 máx.
Alcalinidad total (ppm)	140 – 700
Sólidos suspendidos (ppm)	15 máx.
Sílice (ppm SiO ₂)	150 máx.
Límites recomendados para el agua de caldera.	
pH	10 – 11.5
pH (condensado)	8 – 9
Fosfato residual (ppm)	30 – 50
Sulfito residual (ppm)	20 – 40

Fuente: CET Perú, 1999.

5.4.2 Recolección de condensado.

La recuperación de condensados implica un ahorro de combustible en la caldera y menores costos de generación de vapor por las siguientes razones:

- a) El condensado normalmente retorna a una temperatura de 70 a 90 °C, lo cual significa que contiene una cantidad de calor que, si no es aprovechada, tiene

que ser aportada por el combustible en la caldera, para calentar el agua de aporte hasta la misma temperatura.

- b) Si el condensado, que es esencialmente agua pura, se pierde; el agua de aporte tiene que ser tratada, lo cual implica mayores gastos operativos por el tratamiento y el costo del agua misma.
- c) El agua de aporte que reemplaza a un condensado no aprovechado, contiene impurezas que incrementan el régimen de purga y las pérdidas de calor asociadas a dicha purga.

En la actualidad, casi la mayoría de plantas recuperan el condensado de los diferentes procesos de uso de vapor, el problema surge cuando por malas prácticas el condensado se pierde como agua; o se pierde también su energía por pérdidas de calor en el circuito de condensado.

Las recomendaciones de buenas prácticas en el sistema de condensado son básicamente las siguientes:

- a) Recuperar la mayor cantidad de condensado posible,
- b) Controlar el pH de tal manera que este entre 8 a 9. Valores menores de pH ocasionaran corrosión de las tuberías de condensado y perdidas del mismo.
- c) Realizar un adecuado mantenimiento de las trampas de vapor; a fin de evitar que las fallas de ciertas trampas en la red produzcan no solo perdidas de vapor vivo; sino también contrapresiones en otros puntos de descarga de condensados, obligando a drenarlo antes de retornarlo a la caldera.
- d) Realizar inspecciones y mantenimiento de serpentines y chaquetas de vapor, a fin de evitar fugas de condensado (y vapor), o que el condensado se contamine con algún producto o aceite, de tal manera que obligue a drenarlo al desagüe.

e) En el tanque de agua de alimentación a la caldera, donde llega el condensado, deberá chequearse la válvula del agua de aporte fría. A veces sucede que el flotador o el dispositivo de cierre de la válvula están descompuestos, y ocurre un rebose de agua caliente hacia el desagüe, con lo cual se pierde valiosa energía, además que alimentar agua más fría a la caldera puede producir tensiones térmicas en los tubos y placas.

A continuación, se presenta en la ilustración 3 el ahorro de combustible por recuperación de condensado.

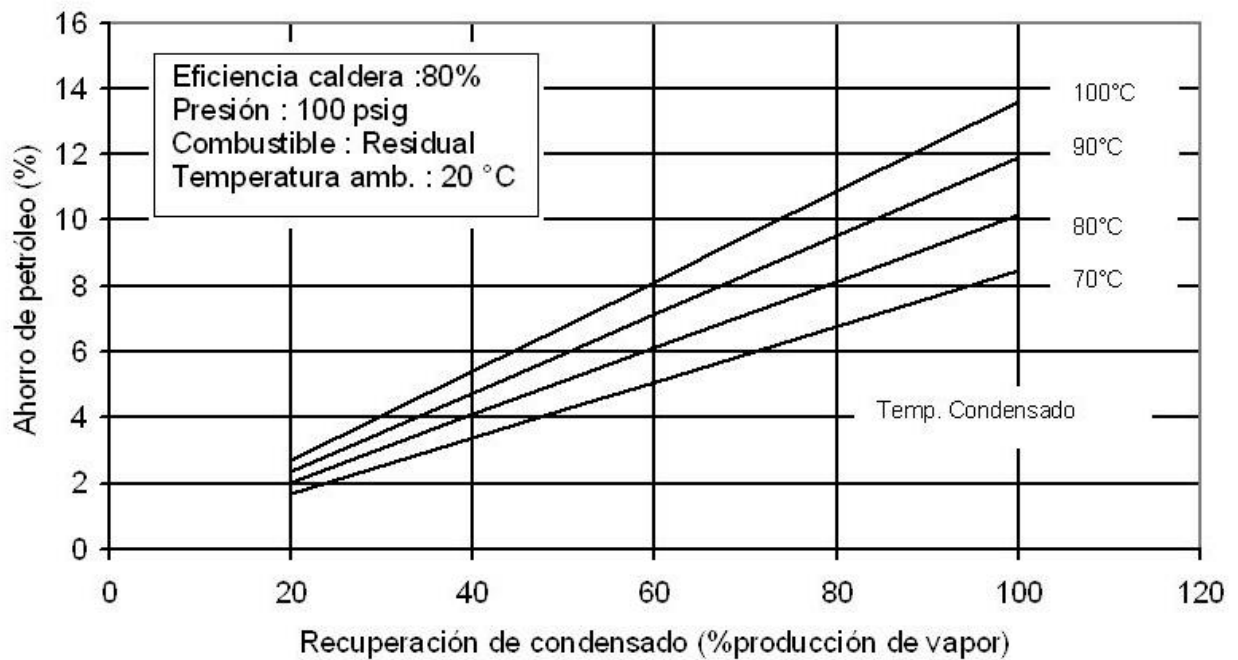


Ilustración 5.3: Ahorro de combustible por recuperación de condensado.

Fuente: Uso Racional de Energía: Manual para consultores y expertos, CDG-PAE/MEM, Perú (1999).

De la ilustración anterior se puede apreciar que a mayor cantidad de condensado recuperado, el ahorro en combustible es mayor; además de directa relación de ahorro de combustible con la temperatura de condensa.

6. OBSERVACIONES

1. Del estudio termográfico realizado a la red de distribución de vapor se observa que el aislamiento actual de las tuberías se encuentra deteriorado, lo que genera pérdidas de energía por el cambio de temperaturas de las tuberías con el ambiente.
2. La red de distribución de vapor tiene una fuga de gran magnitud, la cual a pesar de estar dentro de un canal subterráneo puede escucharse a varios metros y verse la emanación de vapor proveniente de esa estructura de concreto; además de la temperatura elevada que es perceptible, en relación a su entorno.
3. Mediante el desarrollo del presente trabajo de investigación se determinó que si bien las autoridades del HNZ han hecho esfuerzos por introducir una cultura de eficiencia energética en la institución, esta es mayoritariamente enfocada en la generación de ahorros referentes a energía eléctrica, por lo cual los resultados de este trabajo serán el punto de partida para comparar los avances que se hagan en materia de eficiencia energética térmica con respecto a los índices energéticos determinados actualmente.
4. En la sección distribuidora de vapor se observó que el tanque de retorno de condensado está sub dimensionado, por lo cual este representa un potencial energético considerable a ser evaluado. Además, el tanque se encuentra deteriorado, por lo que presenta diferentes fugas de condensado que son evacuados en el alcantarillado.
5. En el área de lavandería, se observa que las condiciones del aislante térmico de las tuberías que alimentan vapor a los equipos se encuentra deteriorado, lo que representa además de una pérdida energética; un riesgo a la seguridad del personal al entrar en contacto directo con estas tuberías.

6. En los resultados de análisis de agua de purga de las calderas, se observan fluctuaciones considerables en las concentraciones de sólidos disueltos de un periodo respecto a otro; esto impacta directamente en pérdidas energéticas y en una mayor demanda de químicos para el tratamiento de suavizado de agua.

7. En los planos de tuberías con que cuenta el HNZ, no se consideran modificaciones en la red como: tuberías inhabilitadas, cambios en la red por necesidades de los equipos actuales y demás reestructuraciones realizadas desde 1993.

7. CONCLUSIONES

1. Como resultado del estudio realizado al recurso energético térmico del Hospital Nacional Zacamil, se proponen medidas para solventar las pérdidas del recurso identificadas, evaluando la factibilidad no solo técnica si no también, económica y ambiental.
2. En base al balance de masa y energía realizado, de poner en marcha las medidas de eficiencia energética propuestas, el HNZ estaría percibiendo un ahorro económico de 13901.23 US\$/año. Dicho monto del presupuesto podría ser direccionado a la realización de mejoras en otros aspectos prioritarios a la institución.
3. La implementación de las medidas de EE propuestas, representan un impacto ambiental en la reducción de emisiones de GEI de 45.61 Ton CO₂/año, como un efecto directo de la optimización en la generación y distribución del recurso térmico; esto es equivalentes al 5.85% de las emisiones evitadas por la implementación de la totalidad de medidas evaluadas en el proyecto de Eficiencia energética en edificios Públicos de la red hospitalaria del MINSAL.
4. El análisis de la factibilidad económica del proyecto se realizó calculando los indicadores económicos VAN y TIR, cuyos resultados se comparan con los criterios definidos por el “Plan Maestro para el desarrollo de la Energía Renovable en El Salvador”.
5. Se elaboró una guía de buenas prácticas de uso y mantenimiento para el sistema generador y distribuidor de vapor del HNZ, la cual instruye sobre la interpretación de los resultados de los análisis que se realizan por empresas externas al sistema; se listan las actividades que deben realizarse para un mantenimiento preventivo con énfasis en la frecuencia con que están deben

realizarse. Las cuales contribuirían a mejorar la eficiencia térmica del sistema sin incurrir en ningún monto de inversión.

6. El buen uso y mantenimiento del sistema de generación y distribución de vapor no solo depende de las recomendaciones dadas en el desarrollo de este trabajo de grado, sino también de una toma de conciencia por todo aquel personal involucrado en el sistema. Todas las buenas prácticas descritas forman un punto de partida para el alcance de una cultura en eficiencia energética.
7. Al realizar la comparativa de los parámetros ideales y las condiciones de trabajo actuales, se observa que estas se encuentran fuera de los parámetros de control siguientes: el porcentaje del exceso de aire y la dureza del agua de alimentación. Por lo que se identifica como un área de mejora, la cual es contemplada en el capítulo 4 y complementada en su fundamento técnico en el capítulo 5.

8. RECOMENDACIONES

1. En base a los hallazgos y al estudio realizado se recomienda la oportuna implementación de las propuestas evaluadas para obtener los beneficios energéticos, económicos y ambientales identificados; los cuales impactaran de forma positiva no solo en el sistema térmico del HNZ sino también en los servicios prestados al usuario.
2. De acuerdo con las inspecciones técnicas realizadas en las diferentes visitas a las instalaciones del HNZ, se recomienda integrar la guía de buenas prácticas presentada en el capítulo 5, al plan anual de mantenimiento; de forma que se realicen mantenimientos preventivos y no correctivos.
3. Se recomienda continuar con los estudios de eficiencia energética en las diferentes áreas del HNZ de forma que pueda evaluarse la tendencia del comportamiento con respecto a la línea base definida en este trabajo e identificar nuevas áreas de potencial energético, como el cambio de equipos de lavadoras y secadoras de mayor eficiencia, la instalación de paneles solares para generación de energía eléctrica, entre otras.
4. Se recomienda brindar capacitaciones sobre la guía de buenas prácticas del uso y mantenimiento del sistema térmico del HNZ, de forma que las recomendaciones de la guía se lleven a cabo.
5. Se insta a las autoridades pertinentes a buscar el financiamiento necesario para implementar las propuestas de EE recomendadas. Así mismo, junto con el personal operativo, a seguir trabajando en la construcción de una cultura de eficiencia energética.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- J. R. Rorrer, (2018). *Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer* (págs. 371-372). John Wiley & Sons, Inc. Recuperado el Junio de 2018
- Alcion. (2013). Calderas. *Montajes e Instalaciones*, 111-122.
- Avilés, López. y.Soto (2012). *DESARROLLO DE PROPUESTAS TECNICAS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA, ENFOCADAS EN LOS REQUERIMIENTOS ENERGÉTICOS DEL HOSPITAL NACIONAL DE MATERNIDAD*. El salvador: Universidad de El Salvador. Recuperado el 20 de Agosto de 2018, de <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2341>
- Centro de Eficiencia y Tecnología. (06 de junio de 2007). Obtenido de http://www.minagri.gob.pe/porta1/download/pdf/direccionesyoficinas/dgca/normatividad-lacteos/Proteccion_del_Medio_Ambiente/Guia_para_implementacion_de_la_Produccion_Mas_Limpia_INDECOPI.pdf
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT. (s.f.). EMISIONES ATMOSFERICAS FUENTES FIJAS PUNTUALES. ANTE PROYECTO NORMA SALVADOREÑA. NSO 13.11.02:07, (pág. 9). San Salvador. Recuperado el 10 de agosto de 2018
- CNE (2011). *Meotodología de Eficiencia Energética en la Industria*. De Consejo Nacional de Energía de El Salvador. Recuperado de: https://www.cne.gob.sv/?page_id=1330
- CNE (2012). *Plan Maestro Para el Desarrollo de Energías Renovables en El Salvador*. De Consejo Nacional de Energía de El Salvador. Recuperado de: https://www.cne.gob.sv/?page_id=1330
- CNE (2012). *Proyecto de Eficiencia Energética en Edificios Públicos*. De Consejo Nacional de Energía de El Salvador. Recuperado de: https://www.cne.gob.sv/?page_id=1330
- CNE (2014). *Sistematización de experiencia y lecciones aprendidas en la implementación de medidas de eficiencia energética para el sector gubernamental. Proyecto PNUD/CNE/00775672*. De Consejo Nacional de Energía de El Salvador. Recuperado de: https://www.cne.gob.sv/?page_id=1330

- CET (2004). *Guía de Buenas Prácticas en Calderas de Vapor*. De Centro de Eficiencia Tecnológica del Ministerio de Energía y Minas de Perú.
Recuperado de: <http://mineria.minem.gob.pe/publicaciones/>
- Corzo, E. J. (2015). *ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA REDUCCIÓN DE COSTOS DE OPERACIÓN DE UNA EMPRESA TEXTIL*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar. Recuperado el 5 de octubre de 2018
- Departamento de lavandería del Hospital Nacional General "Dr. Juan José Fernández", Z. (Marzo de 2018). Mejicanos, El Salvador.
- Departamento de mantenimiento del Hospital Nacional General "Dr. Juan José Fernández", Z. (febrero de 2018). Mejicanos, El Salvador.
- DIDERISA. (15 de agosto de 2018). Obtenido de <http://diderisagt.com/pages/productos/aislamiento-termico.php>
- Herranz, M. M. (2009). *Sistema de Recuperación de Condesados de una Línea de Decapado de Bobinas Laminadas en Caliente*. Tesis de Máster, Valencia. Recuperado el 12 de octubre de 2018, de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/11306/Memoria_final.pdf?sequence=1
- Industry instrumentation : Units and conversion tables for process control*. (s.f.). Obtenido de http://www.sapiensman.com/conversion_tables/peso_especifico.htm
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2014). *Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F.: Coordinación General de Cambio Climático y Desarrollo Bajo en Carbono. Recuperado el Abril de 2018
- J.M.Smith, V. N. (2007). *INTRODUCCION A LA TERMODINAMICA EN INGENIERIA QUIMICA*. Mc Graw Hill. Recuperado el agosto de 2018
- Ministerio de Energía y Minas*. (septiembre de 2018). Obtenido de <http://mineria.minem.gob.pe/publicaciones/>
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2011). *Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador*. Recuperado el Mayo de 2018, de <http://www.marn.gob.sv/descarga/factores-de-emision-de-la-red-el-salvador-2011/>
- Ministerio de Salud, El Salvador. (19 de diciembre de 2013). *Centro Virtual de Documentación Regulatoria*. Recuperado el 3 de marzo de 2018, de <http://asp.salud.gob.sv/regulacion/buscar1.asp>
- Ministerio de Salud, El Salvador. (06 de 03 de 2017). *Centro Virtual de Documentación Regulatoria*. Recuperado el 27 de febrero de 2018, de http://asp.salud.gob.sv/regulacion/pdf/reglamento/reglamento_general_de_hospital_es_v1.pdf

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA, DEPARTAMENTO DE ASUNTOS ECONOMICOS Y SOCIALES DE LAS NACIONES UNIDAS. (Julio de 2008). *Organismo Internacional de Energía Atómica*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2018, de https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1222s_web.pdf

SENER (1995). *NORMA Oficial Mexicana NOM-009-ENER-1995, Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriales*. De Secretaría de Energía de México. Obtenido de <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69931.pdf>

Secretaria de Energia - Mexico. (8 de Noviembre de 1995). *NORMA Oficial Mexicana NOM-009-ENER-1995, Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriales*. Mexico, Estados Unidos Mexicanos. Obtenido de <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69931.pdf>

SOGECAL (2018). *Calderas de vapor pirotubular*. De Sociedad General de Calderas Geval de España. Recuperado de: <https://www.sogecal.com>

VARELA, V. M. (2012). *ESTANDARIZACION DE LOS PROCESOS DE LAVADO DE PRENDAS DE USO HOSPITALARIO, A FIN DE EVITAR LA PROPAGACION DE ENFERMEDADES INFECCIOSAS CONTAGIOSAS*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS, Ibarra-Ecuador. Recuperado el 26 de febrero de 2018, de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/1039/1/04%20IT%2011%20Tesis%20Lavanderia%20Hospitalaria.pdf>

Anexo 1: Equipo de protección personal utilizado en el área de lavandería y por encargados de mantenimiento del hospital nacional “Dr. Juan José Fernández”, Zacamil.

Por ser un área potencial de infecciones bio infecciosas, en el área de lavandería es necesario la utilización Equipo de Protección Personal (EPP). Cada área dentro del departamento demanda diferentes EPP según las tareas que en ella se realizan. Estos se detallan a continuación.

Tabla A1-1: EPP requerido por área de lavandería del HNZ.

Área de trabajo	Equipo de Protección Personal
Recepción	<ul style="list-style-type: none"> • Mascarilla industrial. • Lentes protectores. • Gorros descartables. • Gabachón impermeable. • Botas de hule. • Guantes descartables de hule.
Lavado	<ul style="list-style-type: none"> • Mascarilla industrial. • Lentes protectores. • Gabachón impermeable. • Gorro descartable. • Guantes de hule. • Guantes de látex descartable.
Secado	<ul style="list-style-type: none"> • Guantes de cuero o descartables (según convenga). • Gorro descartable.
Doblado	<ul style="list-style-type: none"> • Mascarilla descartable. • Gorro descartable.
Entrega	<ul style="list-style-type: none"> • Mascarilla descartable. • Gorro descartable.
Costura	<ul style="list-style-type: none"> • Mascarilla industrial. • Gorro descartable o de tela. • Protectores de oídos

Fuente: Departamento de lavandería HNZ, 2018.

Además del EPP, el hospital brinda a sus empleados ropa adecuada para cumplir con sus tareas según su área de trabajo, como se puede apreciar en las siguientes imágenes.



Ilustración A1-1: Uso de EPP en el área de recepción y lavado.

Fuente: HNZ, 2018.



Ilustración A1-2: Uso de EPP en el área de doblado.

Fuente: HNZ, 2018.



Ilustración A1-3: Uso de EPP en el área de costura.

Fuente: HNZ, 2018.

Anexo 2: Información general del HNZ.

Empresa: Hospital Nacional "Dr. Juan José Fernández", Zacamil.	
Hoja: 1 de 1	
Elaboro: Oswaldo Meléndez	Fecha: Marzo 2018
Reviso: Jacqueline Díaz	Fecha: Marzo 2018

LOCALIZACION

Calle y número: Calle la Ermita y avenida Castro Moran.	Colonia: Zacamil
Localidad: Urbanización José Simeón Cañas.	Municipio y estado: San Salvador
Teléfono:	

DATOS GENERALES

Rama industrial: Sector servicios-Salud	Año inicial de operaciones:
Producto Manufacturado: X	Principales Insumos: Medicamentos, artículos de oficina, herramientas y equipo médico.
Superficie de terreno (m²):	Superficie construida (m²):

ESTRUCTURA ADMINISTRATIVA

Nombre del Funcionario	Cargo
Dr.	Director del hospital
Ing.	Encargado del departamento de Mantenimiento
Licda.	Encargada del departamento de lavandería

Empresa: Hospital Nacional "Dr. Juan José Fernández", Zacamil.	
Hoja: 1 de 1	
Elaboro: Jacqueline Díaz	Fecha: Marzo 2018
Reviso: Oswaldo Meléndez	Fecha: Marzo 2018

TURNOS DE OPERACIÓN

Turno	Horario	Días a la semana	Horas/ año
Único	6 am – 6 pm	5	3132
Régimen de operación:		Continuo: <u>X</u>	Por temporada: __
			Temporada de operación: _____

PRINCIPALES MATERIAS PRIMAS Y PRODUCCIÓN ANUAL

Al ser el HNZ una institución eminentemente dedicada a prestar servicios concernientes a la salud y según el alcance de esta investigación, en la ilustración siguiente se muestran los insumos necesarios para la generación de vapor.

Materia prima	Consumo anual	Producto terminado	Producción anual
Agua	1353.57 m ³	Vapor	111880.26 kg
Combustible-Diésel	34224 gal		

CONSUMO ENERGETICO MENSUAL

Mes	Galones de diésel
Enero	2582.4
Febrero	2699.5
Marzo	2616.3
Abril	2806
Mayo	3059.2
Junio	3095.2
Julio	20863
Agosto	2568.92
Septiembre	2912.4
Octubre	3094.56
Noviembre	3032
Diciembre	2778.9
Costo por galón: \$2.62 (Promedio anual. Libre de impuestos)	

Fuente: facturación de combustible, departamento de mantenimiento HNZ, 2018.
Elaboración propia.

Anexo 3: Histórico de consumo de combustible

En la tabla siguiente se presenta la descripción del consumo total de diésel empleada en las instalaciones del hospital para el periodo comprendido de enero a diciembre de 2017:

Tabla A3-1: Historial de consumo de gas propano de HNZ, para la generación de vapor-año 2017.

Mes	Consumo de diésel-gal	Costo por galón sin impuesto	Costo por mes^{hh}
ene-17	2582.40	\$ 2.51	\$ 5575.58
feb-17	2699.50	\$ 2.51	\$ 5575.58
mar-17	2616.30	\$ 2.53	\$ 5615.22
abr-17	2806.00	\$ 2.58	\$ 5714.34
may-17	3059.20	\$ 2.55	\$ 5654.87
jun-17	3095.20	\$ 2.52	\$ 5694.51
jul-17	2986.30	\$ 2.40	\$ 5496.28
ago-17	2568.92	\$ 2.61	\$ 5773.81
sep-17	2912.40	\$ 2.72	\$ 5991.86
oct-17	3094.56	\$ 2.81	\$ 6170.27
nov-17	3032.00	\$ 2.81	\$ 6170.27
dic-17	2778.90	\$ 2.88	\$ 6309.03
Total	34231.68	---	\$ 69741.62

Fuente: facturación de combustible, departamento de mantenimiento HNZ, 2018.
Elaboración propia.

^{hh} El costo por mes representa la cantidad de galones que fueron comprados al proveedor para mantener combustible disponible en el tanque de almacenamiento de diésel.

Anexo 4: Histórico de lavadas realizadas en el HNZ-2017

Tabla A4-1: Total de lavadas realizadas en el año 2017, según su clasificación por tipo de suciedad.

Mes	Lavadas ropa liviana	Lavadas ropa mediana	Lavadas ropa pesada	Lavadas ropa compresada	Lavadas ropa contaminada	Total
Ene-17	3	245	485	16	1	750
Feb-17	0	191	485	19	1	693
Mar-17	1	248	460	16	2	726
Abr-17	1	213	446	17	1	678
May-17	3	222	454	14	2	695
Jun-17	8	199	402	20	2	631
Jul-17	3	188	424	26	2	643
Ago-17	4	172	426	22	1	625
Sep-17	0	191	497	26	0	714
Oct-17	5	166	577	31	2	781
Nov-17	2	118	520	20	1	661
Dic-17	0	111	522	13	2	647
Promedio (mensual)	3	189	475	20	1	687
Total (anual)	30	2264	5698	240	17	8244

Fuente: Registros anuales del Departamento de lavandería del HNZ, 2018.

Anexo 5: Check list de inspección visual realizada al HNZ

Empresa: Hospital Nacional "Dr. Juan José Fernández", Zacamil.	
Hoja: 1 de 3	
Elaboro: Oswaldo Meléndez	Fecha: Abril 2018
Reviso: Jacqueline Díaz	Fecha: Abril 2018

Guías:	
Nombre: Ing. Pérez	Puesto:
Nombre: don Javier	Puesto:

Tabla A5-1: Check list-inspección visual

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO	OBSERVACIONES																	
<p>El diagrama de flujo del proceso muestra el ciclo de agua y vapor. El agua cruda pasa por un clarificador y luego se mezcla con vapor (A) en un tanque de mezcla. El agua mezclada (S) se calienta en la caldera con combustible. La caldera produce vapor (V) a 102 psia que va a la lavandería, gases de chimenea, y una línea de purga (P). El condensado (C) retorna a un tanque de condensado y luego al tanque de mezcla.</p>	<p>e) El vapor generado tiene un único uso: proceso de lavandería. f) Se cuenta con dos calderas pirotubulares de uso alternado cada 6 meses. g) Combustible diésel. h) Problemas de fuga de vapor en tubería distribución. i) No todas las tuberías están térmicamente aisladas. j) Tanque de condensado con menor capacidad que el flujo real de retorno de condensado.</p>																	
	EQUIPOS CONSUMIDORES DE ENERGIA																	
	<p>Se consideran solamente los consumidores de energía térmica en el área de lavandería.</p>																	
	<table border="1" data-bbox="1215 768 1776 1130"> <thead> <tr> <th>Equipo</th> <th>Marca</th> <th>Capacidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Secadora</td> <td>MAXY DRY</td> <td>13 BHP</td> </tr> <tr> <td>MAXY DRY</td> <td>13 BHP</td> </tr> <tr> <td>MAXY DRY</td> <td>13 BHP</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Lavadora</td> <td>MAXY WASH</td> <td>71 kg</td> </tr> <tr> <td>MAXY WASH</td> <td>71 kg</td> </tr> <tr> <td>MAXY WASH</td> <td>55 kg</td> </tr> </tbody> </table>	Equipo	Marca	Capacidad	Secadora	MAXY DRY	13 BHP	MAXY DRY	13 BHP	MAXY DRY	13 BHP	Lavadora	MAXY WASH	71 kg	MAXY WASH	71 kg	MAXY WASH	55 kg
Equipo	Marca	Capacidad																
Secadora	MAXY DRY	13 BHP																
	MAXY DRY	13 BHP																
	MAXY DRY	13 BHP																
Lavadora	MAXY WASH	71 kg																
	MAXY WASH	71 kg																
	MAXY WASH	55 kg																

Fuente: elaboración propia, 2018.

Empresa: Hospital Nacional “Dr. Juan José Fernández”, Zacamil.	
Hoja: 3 de 3	
Elaboro: Jacqueline Díaz	Fecha: Abril 2018
Reviso: Oswaldo Meléndez	Fecha: Abril 2018

Tabla A5-2: Check list – identificación de calderas del HNZ

Características	Calderas	
	N°1	N°2
Identificación	Caldera 1	Caldera 2
Tipo de combustible	Diésel	Diésel
Presión de vapor	150 lbf/plg ²	150 lbf/plg ²
Capacidad	80 BHP	80 BHP
Carga promedio	102 lbf//plg ²	102 lbf//plg ²
Horas de operación año	1128.82	1128.82
Economizador	NA	NA
Pre calentador de agua	NA	NA
Desareador	NA	NA
Consumo de combustible	16858.60 gal/año	17373.08 gal/año
Fecha de última prueba de eficiencia	---	---
Observaciones:		

Tabla A5-3: Simbología utilizada en las Ilustraciones 3.4 y 3.5 para la identificación de las tuberías existentes.

Símbolo	Fluido que recorre por tubería
V	Vapor
C	Retorno de condensado
A	Aire comprimido
H	Agua caliente
W	Agua fría
WC	Agua de condensa
WS	Agua suavizada
WD	Agua dura
DR	Tubería de drenaje
P	Línea de purga
D	Combustible

Fuente: Planos del HNZ proporcionados por personal de mantenimiento, 2018.

Anexo 6: Histórico de energía térmica producida por mes en el HNZ.

Tabla A6-1: generación de energía por consumo de diésel, HNZ, 2017

Mes	Consumo de diésel (gal)	Energía térmica producida (GJ)
ene-17	2582.40	364.44
feb-17	2699.50	380.97
mar-17	2616.30	369.23
abr-17	2806.00	396.00
may-17	3059.20	431.73
jun-17	3095.20	436.81
jul-17	2986.30	421.45
ago-17	2568.92	362.54
sep-17	2912.40	411.02
oct-17	3094.56	436.72
nov-17	3032.00	427.89
dic-17	2778.90	392.18
Total	34231.68	4830.99
Promedio mensual	2852.64	402.58

Fuente: departamento de mantenimiento, HNZ, 2018. Elaboración propia

Anexo 7: Emisiones de CO₂ por la generación de vapor del HNZ en el año 2017.

Tabla A7-1: Toneladas de CO₂ emitidas a la atmosfera por uso de Diésel en el sistema térmico de HNZ.

Mes	Consumo de diésel (gal)	Energía producida (GJ)	Emisiones de CO₂ (ton CO₂)
ene-17	2582.40	364.44	29.16
feb-17	2699.50	380.97	30.49
mar-17	2616.30	369.23	29.55
abr-17	2806.00	396.00	31.70
may-17	3059.20	431.73	34.55
jun-17	3095.20	436.81	34.96
jul-17	2986.30	421.45	33.73
ago-17	2568.92	362.54	29.01
sep-17	2912.40	411.02	32.90
oct-17	3094.56	436.72	34.96
nov-17	3032.00	427.89	34.24
dic-17	2778.90	392.18	31.39
Total	34231.68	4830.99	386.61
Promedio mensual	2852.64	402.58	32.22

Fuente: elaboración propia, 2018.

Anexo 8: Indicadores Energéticos

Tabla A8-1: Indicadores energéticos térmicos del HNZ.

Mes	Energía producida (GJ)	Emisiones totales de CO2 (kg)	Total de ropa lavada (lb)	Total de ropa secada (lb)	Carga total de ciclos (lb)	Indicador Energético GJ / 1000 lb	Indicador Energético kg CO2 / 1000 lb
ene-17	364.44	26458.71	112050	112500	224550	1.62	117.83
feb-17	380.97	27658.49	103950	103950	207900	1.83	133.04
mar-17	369.23	26806.04	108750	108900	217650	1.70	123.16
abr-17	396.00	28749.67	101550	101700	203250	1.95	141.45
may-17	431.73	31343.90	103800	104250	208050	2.08	150.66
jun-17	436.81	31712.75	93450	94650	188100	2.32	168.60
jul-17	421.45	30596.98	96000	96450	192450	2.19	158.99
ago-17	362.54	26320.60	93150	93750	186900	1.94	140.83
sep-17	411.02	29839.82	107100	107100	214200	1.92	139.31
oct-17	436.72	31706.19	116400	117150	233550	1.87	135.76
nov-17	427.89	31065.21	98850	99150	198000	2.16	156.90
dic-17	392.18	28472.01	97050	97050	194100	2.02	146.69
Total	4830.99	350730.37	1232100	1236600	2468700	23.60	1713.19
Promedio (mensual)	402.58	29227.53	102675	103050	205725	1.97	142.77

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Anexo 9: Análisis no confiable de gases de chimenea.

Partiendo de los valores reportados y tomando como base 1Nm^3 de gases, se conoce la composición de SO_2 y NO , utilizando además las conversiones provistas para mg/Nm^3 por la NSO 13.11.02:07.

Para el SO_2 se tiene que:

$$1 \text{ ppm} = 2.62 \text{ mg}/\text{Nm}^3$$

$$41.05 \frac{\text{mg}}{\text{Nm}^3} \text{SO}_2 * \frac{1 \text{ ppm}}{2.62 \frac{\text{mg}}{\text{Nm}^3}} = 15.67 \text{ ppm SO}_2$$

$$15.67 \text{ ppm SO}_2 * \frac{0.001 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1 \text{ ppm}} = 0.01567 \text{ kg}/\text{m}^3$$

Tomando como referencia la densidad de los gases como $1.18 \text{ kg}/\text{m}^3$

$$\% \text{SO}_2 = \frac{0.01567 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1.18 \text{ kg}/\text{m}^3} * 100\% = 1.32\%$$

De igual manera para el NO :

$$105.33 \text{ ppm NO} * \frac{0.001 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1 \text{ ppm}} = 0.10533 \text{ kg}/\text{m}^3$$

Tomando como referencia la densidad de los gases como $1.18 \text{ kg}/\text{m}^3$

$$\% \text{NO} = \frac{0.10533 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1.18 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} * 100\% = 8.93\%$$

Resumiendo:

$$\% \text{NO} = 8.93\% \quad \% \text{SO}_2 = 1.32\%$$

Por lo que se procede a utilizar los datos teóricos para el NO y SO_2 .

Anexo 10: Calor perdido en los gases de chimenea calculado por la ecuación de Siegert.

El calor perdido en los gases de chimenea puede ser conocido por la ecuación de Siegert presentada en el capítulo 2. Sin embargo, esta es una estimación en base a constantes experimentales por lo cual puede utilizarse como una aproximación para conocer este valor.

Por lo que al sustituir la ecuación 2.25 se tiene:

$$q_{ch}(\%) = (0.495 + (0.00693 * 14.34\%)) * \frac{211.6^{\circ}C - 29.7^{\circ}C}{14.34\%} = 7.54\%$$

Es decir, que el calor perdido en las chimeneas, es el 7.54% de calor entrante. Por lo tanto:

$$Q_{ch} = (Q_a + Q_{com}) * 0.0754$$

$$Q_{ch} = (286699.32 + 2379218) \frac{kJ}{h} * 0.0754 = 200986.73 \frac{kJ}{h}$$

Al comparar con los resultados presentados en la tabla 3.25 puede observarse que la diferencia entre el valor reportado (7.80%, 207811.35 kJ/h), es solo de 0.26%.

Conductividad, pH/ORP y Desinfección

Controladores serie W600

La serie W600 provee un control confiable para mantener su programa de tratamiento de aguas bajo control.

Resumen de los beneficios clave

- Gran pantalla táctil con programación basada en iconos hace fácil la configuración
- Entrada universal de sensor proporciona una flexibilidad extraordinaria ya que se puede utilizar el mismo controlador con casi cualquier tipo de sensor necesario
- Nueva combinación de tarjeta de entrada de sensores y entradas analógicas que permiten más flexibilidad
- Entrada analógica doble opcional (4-20 mA) para Fluorímetros o para casi cualquier otro valor de proceso.
- Disponible en varios idiomas permite una configuración sencilla sin importar a dónde lo lleve su negocio.
- Seis salidas de control permiten que el controlador pueda ser utilizado en más aplicaciones.
- Paquete económico de montaje en la pared para una instalación fácil
- Gráficas en pantalla de los valores de sensor y de estado de la salida de control.
- Flexibilidad total en la función de cada relé:
 - Setpoint on/off
 - Control de tiempo proporcional
 - Control de pulso proporcional (cuando se adquiere con Relés de estado sólido)
 - Control de PID (cuando se adquiere con Relés de estado sólido)
 - Activación En rango y Fuera de rango
 - Lavado de sensor
 - Activación basada en temporizador
 - Activación basada en el estado de un contacto cerrado
 - Activación temporizada por el flujo total acumulado en un Contador de agua o un caudalímetro de turbina
 - Activación con otra salida
 - Activación como un porcentaje de otras salidas por tiempo.
 - Alarma
 - Pico para punto de ajuste alterno sobre base de tiempo
 - Para aplicaciones de Torre de enfriamiento y Calderas:
 - Temporizador para blocaida
 - Descarga de la caldera por conductividad usando muestreo intermitente
- Control Lead/Lag hasta 6 relés de salida
- Registro de datos
- Envía por email mensajes de alarma, reportes de datos y reportes del resumen del sistema
- Dos entradas virtuales que pueden ser calculadas desde dos entradas reales (Ciclos de concentración, % rechazo, etc.)
- Opción de Ethernet para acceso remoto mediante Internet, LAN o Modbus/TCP



WALCHEM
WALCH America Inc.

Especificaciones

Entradas

Corriente

100-240 VAC, 50 o 60 Hz, 7A máx. Fusible: 6.3 Amp

Señales de entrada de sensor (0, 1 ó 2 dependiendo del código de modelo)

Conductividad de contacto: Constante de celda de 0.01, 0.1, 1.0, ó 10.0, o

Conductividad sin electrodo (no disponible en el combinación sensor/tarjeta de entrada analógica) o
Desinfección o

pH u ORP amplificado, el cual requiere una señal pre-amplificada. Se recomiendan las series Walthem WEL o WDS.
±5VDC de energía disponible para pre-amplificaciones externas.

Cada tarjeta de entrada de sensor contiene una entrada de temperatura.

Temperatura: 100 ó 1000 ohm RTD, 10K ó 100K resistencia térmica

Entrada de sensor analoga (4-20 mA) (0, 1, 2 ó 4 dependiendo del código de modelo)

Circuito cerrado de 2 cables energizados y transmisores auto-energizados soportados

Transmisores de 3 y 4 cables soportados

Cada tarjeta de entrada de sensor doble tiene dos canales: Canal 1, 130 ohm de resistencia de entrada y Canal 2, 280 ohm resistencia de entrada. La tarjeta combinación de entrada de sensor tiene uno canal, 280 ohm de resistencia de entrada

Energía disponible: Uno suministro independiente aislado de 24 VDC ± 1% por canal. 1.6 W máximo por cada canal.
2W (83 mA a 24 VDC) consumo de energía total para todos los canales (cuatro canales posibles en total si se instalan dos tarjetas dobles; 2W son equivalentes a 2 sensores Little Dipper)

Señales digitales de entrada (0):

Entradas digitales tipo estado

Eléctrico: Aislada ópticamente y proporcionando una fuente aislada eléctricamente de 9V con una corriente nominal de 2.3mA cuando el interruptor de entrada digital está cerrado. Tiempo de respuesta típico: < 2 segundos. Dispositivos respaldados: Cualquier contacto aislado seco (por ejemplo relé, interruptor de lengüeta). Tipos: Bloquea

Entradas digitales tipo contador de baja velocidad

Eléctrico: Aislado ópticamente y proporcionando una fuente aislada eléctricamente de 9V con una corriente nominal de 2.3mA cuando el interruptor de entrada digital está cerrado, 0-10 Hz, 60 mseg de ancho mínimo Dispositivos respaldados: Cualquier dispositivo con drenaje abierto aislado, colector abierto, transistor o interruptor de lengüeta.
Tipos: Caudalímetros de contacto

Entradas digitales tipo contador de alta velocidad

Eléctrico: Aislado ópticamente y proporcionando una fuente aislada eléctricamente de 9V con una corriente nominal de 2.3mA cuando el interruptor de entrada digital está cerrado, 0-600 Hz, 1.00 mseg de ancho mínimo Dispositivos respaldados: Cualquier dispositivo con drenaje abierto aislado, colector abierto, transistor o interruptor de lengüeta. Tipos: Caudalímetro de turbina

Salidas

Relés mecánicos energizados (Dependiendo del código de modelo 0 ó 6)

Pre-energizado en la placa de circuitos cambiando la línea de voltaje

Todos los relés tienen un fusible como un grupo, la corriente total no debe exceder 6A (resistiva), 1/8 HP (93W)

Relés mecánicos de contacto seco (Dependiendo del código de modelo 0, 2 ó 4)

6 A (resistiva), 1/8 HP (93W)

Los relés de contacto seco no están protegidos por fusible.

Salidas de pulso (Dependiendo del código de modelo 0, 2 ó 4)

Relés opto-aislado, estado sólido, 200mA, 48V CD

VLOWMAX = 0.05V @ 18mA

4 - 20 mA (Dependiendo del código de modelo 0 ó 2)

Energizada internamente, completamente aislado

600 Ohm máx. de carga resistiva, Resolución 0.0016% de lapso

Precisión ± 0.6% de lecturas

Mecánicas (sensores) (Ver gráficos)

Sensores	Presión	Temperatura	Materiales	Construcción de Presión
Conductividad sin electrodo	0-150 psi (0-10 bar) ²	CPVC: 32-158°F (0 to 70°C) PEEK: 32-190°F (0 to 88°C)	CPVC, FKM en línea anillo o PEEK, adaptador en línea SS 316	Sumergido NPTM de 1" Adaptador en línea NPTM de 2"
pH	0-100 psi (0-7 bar) ²	50-158°F (10-70°C)	CPVC, vidrio, anillos o FKM, HDPE, Eje de titanio, "T" PP relleno con fibra de vidrio	Sumergido NPTM de 1" "T" en línea de 3/4" NPTF
ORP	0-100 psi (0-7 bar) ²	32-158°F (0-70°C)		
Conductividad de contacto (Condensado)	0-200 psi (0-14 bar)	32-248°F (0-120°C)	SS 316, PEEK	3/4" NPTM
Conductividad de contacto Grafito (Torne)	0-150 psi (0-10 bar) ²	32-158°F (0-70°C)	Grafito, PP relleno con fibra de vidrio, FKM o-ring	3/4" NPTM
Conductividad de contacto SS (Torne)	0-150 psi (0-10 bar) ²	32-158°F (0-70°C)	316SS, PP relleno con fibra de vidrio, FKM o-ring	3/4" NPTM
Conductividad de contacto (Caldera)	0-250 psi (0-17 bar)	32-401°F (0-205°C)	316SS, PEEK	3/4" NPTM
Conductividad de contacto (Torne Alta Presión)	0-300 psi (0-21 bar) ²	32-158°F (0-70°C)	316SS, PEEK	3/4" NPTM
pH (Alta Presión)	0-300 psi (0-21 bar) ²	32-275°F (0-135°C)	Vidrio, Polymer, PTFE, 316SS, FKM	1/2" NPTM gland
ORP (Alta Presión)	0-300 psi (0-21 bar) ²	32-275°F (0-135°C)	Platinum, Polymer, PTFE, 316SS, FKM	1/2" NPTM gland
Cloro libre /bromo	0-14.7 psi (0-1 bar)	32-113°F (0-45°C)		
Cloro libre/bromo con rango de pH extendido	0-14.7 psi (0-1 bar)	32-113°F (0-45°C)		
Cloro total	0-14.7 psi (0-1 bar)	32-113°F (0-45°C)	PVC, Policarbonato, Silicona, SS, PEEK, FKM, Isoplast	Entrada NPTF de 1/4" Salida NPTF de 3/4"
Dióxido de cloro	0-14.7 psi (0-1 bar)	32-131°F (0-55°C)		
Ozono	0-14.7 psi (0-1 bar)	32-131°F (0-55°C)		
Ácido peracético	0-14.7 psi (0-1 bar)	32-131°F (0-55°C)		
Peróxido de hidrógeno	0-14.7 psi (0-1 bar)	32-113°F (0-45°C)		
Conjunto con detector de flujo	0-150 psi (0-10 bar) hasta 100°F (38°C) 0-50 psi (0-3 bar) a 140°F (60°C)	32-140°F (0-60°C)	GFRPP, PVC, FKM, Isoplast	3/4" NPTF
Conjunto con detector de flujo (Alta Presión)	0-300 psi (0-21 bar) ²	32-158°F (0-70°C)	Acero al carbon, Latón, 316SS, FKM	3/4" NPTF

