

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS
AMÉRICAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA**

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

**para optar por el grado de licenciatura en ingeniería
electromecánica**

**“ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL
SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR DEL
HOSPITAL SAN JUAN DE DIOS”**

AUTOR:

ING. DILAN ALFONSO ACUÑA BERMÚDEZ

TUTOR:

ING. BILLY RETANA PEÑA

SAN JOSÉ, COSTA RICA

NOVIEMBRE, 2022

Contenidos

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	9
Generalidades	9
Planteamiento del problema	10
Objetivos	10
Objetivo General	10
Objetivos específicos	10
Justificación	11
Antecedentes	12
Internacionales	12
Nacionales	17
Limitaciones	24
Proyecciones	24
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	25
Vapor y sus características	25
Temperatura	25
Transporte de energía	27
Presión	27
Estados del agua	27
Combustión	29
Generadores de vapor	30
Principios y funcionamiento	31
Calderas	32
Calderas de combustión	33
Tipos de calderas	34
Clasificación de las calderas según disposición de los fluidos	34
Acuotubulares	34
Calderas pirotubulares	36
Combustibles de uso industrial	38
Principales características del Búnker C.	38
Eficiencia de la caldera	40
Pérdidas de calor principales	41
Cálculo de la eficiencia	42

Transferencia de energía	42
Trampas de Vapor	42
Trampas termostáticas:	43
Trampas termodinámicas:	43
Trampas mecánicas:	43
Normativa y reglamentación.....	45
Decreto Ejecutivo N°26789 – MTSS: Reglamento de calderas.	45
Medición de la huella de carbono	45
Emisiones equivalentes por consumo de energía eléctrica.	46
Emisiones equivalentes procedentes del consumo de búnker.....	47
Evaluación financiera y económica-social.....	48
Estudio y evaluación financiera	49
Evaluación económica-social.....	51
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	54
Método de la investigación	54
Enfoque de la investigación.	54
Tipo de investigación.....	54
Tipo de Muestra	55
Fuentes de información.....	55
Unidades de análisis	56
Instrumentos.....	61
El proceso de planteamiento recolección y análisis	61
Fase 1: Definición y planteamiento del estudio.....	61
Fase 2: Recolección de datos	61
Fase 3: Análisis de datos	61
Fase 4: Finalización del estudio.....	61
CAPÍTULO IV: DESARROLLO	63
Planta de Calderas	63
Operación del sistema de generación de vapor.....	63
Ilustración 11. Distribución de la red de vapor en el HSJD.....	64
Ilustración 12. Edificio AC.....	65
Ilustración 13. Alimentación hacia blanco Cervantes y lavandería.....	65
Ilustración 14. Intercambiador de calor para búnker	66

Ilustración 15. Intercambiador de calor Fisioterapia	66
Ilustración 16. Alimentación Manifold principal planta de calderas	67
Ilustración 17. Manifold principal planta de calderas.....	67
Ilustración 18. Manifold parque Bansen.....	68
Ilustración 19. Trampas Bomba.....	68
Ilustración 20. Manifold Sala de Operaciones.....	69
Ilustración 21. Intercambiador de calor en sala de operaciones	69
Ilustración 22. Manejadoras de aire acondicionado de Sala de Operaciones	70
Ilustración 23. Trampas bomba Equipos de nutrición	70
Ilustración 24. Intercambiador de calor y trampas bomba Neurocirugía.....	71
Ilustración 25. Alimentación autoclaves de centro de equipos.....	71
Ilustración 26. Intercambiador de calor y trampas bomba edificio de medicinas.....	72
Ilustración 27. Intercambiador de calor y trampas bomba de Emergencias.	72
Estación de almacenamiento y suministro de búnker	76
Almacenamiento y suministro de agua	79
Ilustración 35. Monitoreo Sistema de agua para calderas.....	80
Ilustración 36. Tanque de agua fría	80
Consumo eléctrico	84
Generación de Vapor	85
Costos de mantenimiento	86
Costo total de la producción de vapor	90
Oportunidades de conservación de energía	96
Estudio ambiental para obtener el equivalente de toneladas de dióxido de carbono (CO₂)	102
Evaluación financiera	103
Evaluación económica-social	106
Factores de Conversión a Precios Sociales	107
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	112
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES	114
CAPÍTULO VII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
CAPÍTULO VIII: ANEXOS	118
Anexo 1. Precio de trampa de balde invertido united 849 1/2" 5-50 PSI.....	118
Anexo 2. Precio Armstrong 811 Inverted Bucket Trap 3/4"NPT 125 PSI 1/8"Orifice C5297.27.	118

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Escalas de Temperatura	26
Ilustración 2. Transferencia de energía.....	27
Ilustración 3. Diagramas P-T y P-v para el agua	28
Ilustración 4. Proceso de la combustión	30
Ilustración 5. Esquema del funcionamiento de un generador de vapor.	31
Ilustración 6. Caldera acuotubular.....	36
Ilustración 7. Caldera piro tubular horizontal.....	38
Ilustración 8. Trampa de balde invertido	44
Ilustración 9. Trampa de flotador	45
Ilustración 10. El proceso de planteamiento recolección y análisis.....	62
Ilustración 11. Distribución de la red de vapor en el HSJD	64
Ilustración 12. Edificio AC.....	65
Ilustración 13. Alimentación hacia blanco Cervantes y lavandería.....	65
Ilustración 14. Intercambiador de calor para búnker	66
Ilustración 15. Intercambiador de calor Fisioterapia	66
Ilustración 16. Alimentación Manifold principal planta de caderas	67
Ilustración 17. Manifold principal planta de calderas.....	67
Ilustración 18. Manifold parque Bansen.....	68
Ilustración 19. Trampas Bomba.....	68
Ilustración 20. Manifold Sala de Operaciones.....	69
Ilustración 21. Intercambiador de calor en sala de operaciones	69
Ilustración 22. Manejadoras de aire acondicionado de Sala de Operaciones	70
Ilustración 23. Trampas bomba Equipos de nutrición	70
Ilustración 24. Intercambiador de calor y trampas bomba Neurocirugía.....	71
Ilustración 25. Alimentación autoclaves de centro de equipos.....	71
Ilustración 26. Intercambiador de calor y trampas bomba edificio de medicinas.....	72
Ilustración 27. Intercambiador de calor y trampas bomba de Emergencias.	72
Ilustración 28. Calderas	74
Ilustración 29. Monitoreo de calderas mediante SCADA	75
Ilustración 30. Área de descarga del búnker.....	76
Ilustración 31. Tanques de almacenamiento de búnker frio	76
Ilustración 32. Tanques de almacenamiento de búnker caliente.....	77
Ilustración 33. Sistema de bombeo de búnker	78
Ilustración 34. Monitoreo tanques de búnker mediante SCADA	78
Ilustración 35. Monitoreo Sistema de agua para calderas.....	80
Ilustración 36. Tanque de agua fría	80
Ilustración 37. Tanque de condensados	81

Ilustración 38. Tanque de agua ADAC.....	82
Ilustración 39. Tuberías de vapor y agua caliente con material aislante.....	97
Ilustración 40. Tramo de tubería sin material aislante.....	97
Ilustración 41. Trampas bomba sector de medicinas.....	98

Índice de tablas

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas del Búnker C (Fuel Oil).....	40
Tabla 2. Factor de emisión en el sector electricidad	47
Tabla 3. Factores de emisión por la utilización de búnker	48
Tabla 4. Potenciales de calentamiento global.....	48
Tabla 5. Criterios de decisión para valorar el VAN	50
Tabla 6. Criterios de decisiones para medir la TIR	51
Tabla 7. Criterios de decisión para valorar la R (C/B).....	51
Tabla 8. Factores de conversión a precios sociales	52
Tabla 9. Operacionalización de variables de objetivos	56
Tabla 10. Operacionalización de variables objetivo específico 2.....	57
Tabla 11. Operacionalización de variables objetivo específico 3	58
Tabla 12. Operacionalización de variables objetivo específico 4	59
Tabla 13. Operacionalización de variables objetivo específico 5	59
Tabla 14. Calderas Instaladas.....	73
Tabla 15. Consumos de Búnker	79
Tabla 16. Consumo de agua	82
Tabla 17. Detalle del costo del agua.....	83
Tabla 18. Datos del consumo eléctrico	84
Tabla 19. Datos de producción de vapor.....	86
Tabla 20. Costo de análisis de emisiones de contaminantes atmosféricos	86
Tabla 21. Costos de tratamiento químico del agua y de combustión	87
Tabla 22. Costos tramite de inspección anual y renovación de permisos	89
Tabla 23. Costos por mano de obra	89
Tabla 24. Costos totales por mantenimiento	90
Tabla 25. Costos totales de producción de vapor	91
Tabla 26. Costo operativo del sistema de vapor para el HSJD	92
Tabla 27. Costos totales por tonelada de búnker.....	93
Tabla 28. Costo Unitario de la Energía.....	94
Tabla 29. Entalpía del agua de alimentación.....	95
Tabla 30. Vapor Saturado por Presión	95
Tabla 31. Costo unitario del vapor	96
Tabla 32. Trampas bomba del sistema de generación de vapor	99
Tabla 33. Trampas de condensados en mal estado.....	100
Tabla 34. Costo económico de las pérdidas de vapor por trampas en mal estado.....	101
Tabla 35. Inversiones del proyecto en colones.....	104
Tabla 36. Flujo financiero	105

Tabla 37. Conversión de inversiones totales a precios sociales en colones	107
Tabla 38. Beneficios anuales a precios sociales en colones	109
Tabla 39. Flujo de caja económico social	110

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Cálculo de la eficiencia	42
Ecuación 2. Transferencia de energía.....	42
Ecuación 3. Emisiones equivalentes por consumo de energía eléctrica.....	46
Ecuación 4. Emisiones equivalentes procedentes del consumo de búnker	47
Ecuación 5. Valor Actual Neto	50
Ecuación 6. Tasa interna de retorno TIR.....	50
Ecuación 7. Eficiencia térmica teórica	85
Ecuación 8. Costo Unitario de la Energía.	93
Ecuación 9. Costo Unitario del Vapor	94
Ecuación 10. Fórmula de Napier (Armstrong, 1998).....	101
Ecuación 11. Eficiencia de la caldera. Miranda, Y. (2014).....	102
Ecuación 12. Calculo hectáreas de eucalipto (Miranda, 2014)	103

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Generalidades

El paso del tiempo ha convertido en un punto importante para el ser humano y para nuestro planeta el consumo y generación responsable de la energía; existe una relación muy estrecha entre consumo energético y el desarrollo económico e industrial de un país. Un país como el nuestro invierte grandes cantidades de dinero en proyectos de generación eléctrica, por lo es importante integrar a todos los sectores en esfuerzos de un uso racional del recurso energético.

En este aspecto el Hospital San Juan de Dios es un centro médico público, el cual ocupa uno de los lugares más importante del país a nivel salud. Es un hospital clase A, que cuenta con todas las especialidades médico-quirúrgicas para atender a los usuarios.

Como objetivo vela por la salud de sus pacientes y por ofrecerles las mejores condiciones para su recuperación. El hospital cuenta con una moderna planta para la producción de vapor que permite llevar a cabo las labores diarias, no solo en el centro médico sino en dos hospitales más como lo son el Hospital Nacional de Niños y el Hospital Nacional de Geriatria y Gerontología. El hospital San Juan de Dios cuenta con cuatro calderas que trabajan con combustible tipo búnker, donde el suministro de vapor de esta planta es de vital importancia para las instituciones ya mencionadas.

Tiene también como uno de sus compromisos ayudar al medio ambiente y para ayudar a conservar este compromiso, se requiere gestionar adecuadamente la energía requerida en su planta de generación de vapor, evitando los desperdicios de energía y recursos que son necesarios para el proceso de producción.

Es por esto, que se decide determinar la situación energética de la planta, de igual forma se realizan recomendaciones que ayuden a optimizar el consumo energético del lugar, al realizar el análisis, se pueden obtener resultados que afirmen la importancia de que el sistema mantenga una buena administración de la energía y que contribuya al aprovechamiento de los recursos, todo esto para mantener su eficiencia en el proceso de producción y también reducir el impacto ambiental.

Planteamiento del problema

¿Cuál es la situación energética actual de la planta de calderas en el Hospital San Juan de Dios de la Caja Costarricense de Seguro Social?

Objetivos

Objetivo General

Conocer la situación energética actual, así como el funcionamiento del sistema de generación de vapor del Hospital San Juan de Dios de la Caja Costarricense de Seguro Social.

Objetivos específicos

1. Determinar las características de operación del sistema actual de generación de vapor, así como su trasiego y consumo final de vapor, para conocer cómo se utiliza el mismo.
2. Evaluar cuál es el estado de los equipos y la eficiencia energética de trabajo actual del sistema de generación de vapor.
3. Realizar un proceso de búsqueda de oportunidades de conservación de la energía para el sistema de vapor, con el fin de poder minimizar eventuales pérdidas en el sistema de generación y trasiego de vapor.
4. Realizar el estudio ambiental para obtener el equivalente de toneladas de dióxido de carbono (CO₂) que produce el sistema de vapor del Hospital San Juan de Dios de acuerdo a las oportunidades de conservación de energía detectadas según el análisis de los consumos de búnker.
5. Realizar el estudio financiero y económico-social para implementación de las oportunidades de conservación de energía detectadas, utilizando la metodología propia de evaluación financiera y económico-social para el sector público.

Justificación

El Hospital San Juan de Dios cuenta con una novedosa planta para la producción de vapor, la cual opera con combustible tipo búnker que abastece a cuatro calderas. Este amplio sistema de vapor es empleado para realizar tareas como calentamiento del agua para el baño y desinfección de los pacientes, así como para la preparación de los alimentos, lavado, secado y planchado de prendas de los pacientes, esterilizar equipos, instrumentos y ropa de funcionarios del hospital.

La necesidad de la reducción de utilización de combustibles fósiles debido a los problemas ambientales que provocan sus emisiones y los efectos adversos que ocasionan en el ambiente ha sido la causa principal para la búsqueda de formas adecuadas para el uso eficiente de todos los recursos energéticos.

De acuerdo con el MINAE (2015) “la eficiencia energética mejora la competitividad del sistema productivo del país, evita el desperdicio y, por ende, disminuye las inversiones e impactos sociales y ambientales del desarrollo energético”. El uso eficiente de la energía además de los beneficios ambientales que trae por la disminución del consumo de combustibles de origen fósil, también logra beneficios económicos importantes que elevan la competitividad de las empresas.

Siendo la auditoría energética el paso fundamental para la identificación de la situación actual del consumo de los distintos energéticos.

Antecedentes

En el presente apartado se contemplan los estudios vinculados con el tema de investigación; incluidos aquellos desarrollados en el ámbito internacional y nacional.

Internacionales

Autor: José Palacios - Patricio Peña - Víctor Hidalgo.

Fecha: 2015.

Institución: Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.

Título: Técnicas de Gestión Energética en Sistemas de Vapor.

El trabajo recoge experiencias en técnicas de gestión energética durante la realización de una auditoría energética de una planta industrial alimenticia y en la inspección de las trampas de vapor efectuada en Planta Piloto del Departamento de Ciencias de Alimentos y Biotecnología de la Escuela Politécnica Nacional en Quito Ecuador.

Los autores hacen referencia a que buena parte del vapor producido se pierde a través de fugas del sistema de distribución de vapor, incluyendo tuberías, válvulas y trampas de vapor obteniendo como resultado pérdidas económicas considerables, directamente mediante el incremento de costos de la generación de vapor y potencialmente indirectos mediante la reducción de la capacidad calorífica del vapor.

Se explica cómo emplear la revisión ultrasónica de trampas de vapor e inspección infrarroja como mecanismos efectivos para disminuir pérdidas de energía y conseguir ahorros económicos importantes en sistemas de vapor. Se resalta también la importancia ambiental en la reducción de consumo energético.

Indican que, de acuerdo con El Departamento de Energía de los Estados Unidos, en sistemas de vapor sin mantenimiento por 3 o 5 años, el porcentaje de trampas de vapor con falla oscila entre el 15 y 30%, y que, de las inspecciones realizadas, tanto en la planta de alimentos como en la Planta Piloto-DECAB se determinó que el porcentaje de trampas de vapor en mal estado concuerdan con lo indicado por El Departamento de Energía de los Estados Unidos.

Las técnicas de gestión energética indicadas en el artículo son herramientas importantes para la reducción de pérdidas energéticas y económicas, teniendo en cuenta también los beneficios ambientales, apoyándose en estos estudios y sus resultados demostrados anteriormente muestran la efectividad de una buena gestión de la energía que será de ayuda para la elaboración de este trabajo.

Autor: Yuniel Delgado Santana - Reinier Jiménez Borges - Margarita Josefa Lapidó Rodríguez

Fecha: 2017

Institución: Universidad de Cienfuegos. Cuba.

Título: Eficiencia Energética en el Uso del Vapor para la Cocción de Alimentos.

En el trabajo se analizan los principales parámetros del sistema de producción y el uso del vapor. Se calcula el calor útil en el sistema de cocción y se analizan las pérdidas que existen en la red de distribución debido a la falta de aislamiento.

Los principales datos obtenidos en el estudio por los autores fueron las pérdidas en transmisión en las tuberías aislada fueron de 13 318,40 W y, sin aislamiento, de 4216,5 W, para un total de 17,5 kW de pérdidas de calor.

Mediante el análisis se determinó que la pérdida de calor total de la instalación fue de 14 14,4 kW, con respecto a 243 019,69 que representó el calor disponible, obteniéndose así una eficiencia del sistema de un 94 %, respectivamente.

Con estos datos concluyen y demuestran que en cuanto a los estudios energéticos la determinación de la eficiencia de cualquier sistema es el paso principal para una posterior optimización de este.

Autor: Amaury Pérez-Sánchez, Yenney Fernández Tejeda, Raúl González de la Cruz.

Fecha: 2017.

Institución: Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte y Loynaz. Cuba.

Título: Evaluación de la generación de vapor de la fábrica de refrescos 23 de agosto, en Camagüey.

Este trabajo se llevó a cabo en la fábrica de refrescos “23 de agosto”, con el fin de evaluar la eficiencia energética del generador de vapor, se determinaron las pérdidas de calor en las tuberías de vapor que se encuentran sin aislamiento y el impacto medioambiental que producen los gases de combustión generados.

Se evaluó el sistema de tratamiento del agua con que se alimenta la caldera, el suavizador de agua, así como también se realizó un análisis en el precalentamiento del agua con que se alimenta la caldera hasta los 90 °C, y el aislamiento de las tuberías de vapor con el aislante de lana mineral.

Concluyen que el empleo del aislante de lana mineral reduce las pérdidas de calor en las tuberías horizontales en un 89.97 %, y en las tuberías verticales en un 90.12 %. aproximadamente. Dando como resultado una eficiencia energética del generador de vapor de un 86.64 %.

También destacan que al realizar un incremento de la temperatura del agua con que se alimenta el generador de vapor hasta 90 °C traerá consigo un ahorro económico anual de \$9087 pesos cubanos.

Se necesito de una inversión de \$523 pesos cubanos para adquirir e instalar las cantidades necesarias de aislante y poder optimizar la red de vapor, la inversión realizada se podría recuperar al cabo de 122 días. La aplicación de las variantes de mejora propuestas trajo a la empresa un ahorro total anual de 9931.92 pesos cubanos por el combustible dejado de consumir en el generador de vapor.

Autor: Mariano Cortés Falcón.

Fecha: 2019.

Institución: Universidad Central Marta Abreu. Cuba.

Título: Evaluación del Sistema Energético en el Central Azucarero Quintín Bandera.

El objetivo del trabajo titulado “Evaluación del Sistema Energético en el Central Azucarero Quintín Bandera” realizado por Mariona Cortés Falcón, es evaluar el sistema energético y de circulación de agua de la Central Azucarera Quintín Bandera. Mediante la

aplicación de metodologías de gestión eficiente de la energía y de condensados, para la reducción de estos consumos y el incremento de los indicadores de eficiencia.

Como resultado de la evaluación energética y del sistema de condensados, se determinaron los consumos de vapor de los equipos obteniéndose que la generación de la caldera es 136 761,41 kg/h, con una eficiencia del 78%.

Se determinaron la demanda de combustible y el índice de generación en las calderas obteniéndose valores de 57 628,10 kg bagazo/h y 2,38 kg de vapor por kg de bagazo respectivamente. La cantidad de condensados generados en el proceso es de 179 215,97 kg/h.

Mediante el balance energético se obtuvo que 19 291,92 kg/h son pérdidas de vapor en condensación, desde las líneas de vapor general de las calderas a la planta eléctrica y desde la misma hasta el resto de los equipos del proceso.

Estas pérdidas están determinadas por la ausencia de un colector de vapor general con las características idóneas para evacuar la producción de vapor de las tres calderas, así como el insuficiente aislamiento térmico en las tuberías y en los equipos consumidores, además de las fugas a la atmósfera.

Autor: Yasneli Reyes Betancourt - Raúl González de la Cruz - Yilena Bárbara Rodríguez - Norlem Liaño Abascal.

Fecha: 2021.

Institución: Universidad Tecnológica de Pereira. Cuba.

Título: Evaluación del sistema de generación y distribución de vapor de una empresa cárnica.

Este trabajo fue realizado en el Combinado Cárnico “César Escalante Dellundé” por los autores Yasneli Reyes Betancourt, Raúl González de la Cruz, Yilena Bárbara Rodríguez y Norlem Liaño Abascal, de la provincia de Camagüey, Cuba con el objetivo de evaluar su sistema de generación y distribución de vapor.

Se obtuvo una eficiencia energética de la caldera pirotubular de 87,41 %, las pérdidas de calor al ambiente de las tuberías no aisladas ascendieron a 85 764,31 W, mientras que la

dureza total del agua de alimentación a la caldera se encuentra 10,26 veces por encima de lo establecido.

Se propusieron dos alternativas de mejoras, consistentes en:

- El aislamiento de las tuberías por donde circula vapor de agua con el aislante Lana Mineral.
- Pre calentamiento del agua de alimentación a la caldera hasta 70 °C.

Ya que indican que con el aislamiento de las tuberías por donde circula vapor de agua con aislante les permitiría reducir las pérdidas de calor al ambiente en 72.801,24 W.

La aplicación de las alternativas de mejoras propuestas redujo el consumo de combustible en 23,56 kg/h, incrementando la eficiencia energética en 0,10 % y aumentando el índice de generación en 0,94 kg de vapor/kg de combustible del generador de vapor, también, les permitió ahorrar anualmente las emisiones al ambiente de 236.900,79 kg de CO₂, 1.170.553,05 kg de N₂, 81.871,02 kg de O₂ y 2.987,80 kg de SO₂, para un ahorro total de emisiones de 1.492.312,66 kg/año.

El costo total de inversión necesaria para implementar las dos alternativas de mejoras propuestas alcanzó un valor de \$ 8.117,35, el cual se recuperará en 2,36 meses considerando los ahorros económicos por año que se obtienen, los cuales ascienden a \$ 41.193,33 a causa de combustible que no se consume en la caldera.

Autor: María Rosa Perellada-GamioII - Mercedes de la Caridad Albelo-Martínez

Fecha: 2022.

Institución: Universidad Agraria de La Habana. Cuba.

Título: Eficiencia energética en la empresa productora de cosechadoras cañeras KTP.

En el estudio se analizó relación existente entre las producciones del sector industrial destinadas al sector agrícola, en este caso específicamente destinadas a Azcuba, teniendo en cuenta su eficiencia energética y el comportamiento de los índices de consumo necesarios por cada portador energético para estas producciones.

Los métodos estadísticos utilizados tuvieron como base la información histórica de consumo de las variables energéticas involucradas en la producción, en este caso haciendo énfasis en el comportamiento de la electricidad, que fue el predominante en la estructura energética de la entidad analizada en este estudio.

Tomaron acciones como la sustitución de luminarias por iluminación, se sustituyeron un total de 180 lámparas lo que introdujo un ahorro aproximado de 348 kWh al año.

Se obtuvo un ahorro total anual en valores de 23663 pesos cubanos mediante la aplicación de las medidas propuestas y cuantificables considerando el costo kWh.

Nacionales

Autor: Kimberly de los Ángeles Robles Rojas.

Fecha: 2019.

Institución: Instituto Tecnológico De Costa Rica.

Título: Modelo de Gestión Energética para los Sistemas de Aires Acondicionado del Campus Tecnológico Central Cartago del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

El denominado “Modelo de Gestión Energética para los Sistemas de Aires Acondicionado del Campus Tecnológico Central Cartago del Instituto Tecnológico de Costa Rica” desarrollado por parte de Kimberly de los Ángeles Robles Rojas consistió en realizar un levantamiento técnico de los sistemas de aire acondicionado instalados en el campus del Tecnológico de Costa Rica, así como una inspección visual de las unidades.

Posteriormente, estableció una línea base, con un análisis estadístico técnico, de vida útil y eficiencia energética, y hallazgos de las condiciones de operaciones y gestión de mantenimiento.

Además, realizó un inventario de los gases de efecto invernadero generados por estos sistemas, a partir de la situación energética de los sistemas, planteo un Modelo de Gestión Energética, que incluye una política energética para la gestión, compra y sustitución de sistemas de aire acondicionado; un análisis de criticidad de los equipos, a nivel energético e impacto ambiental.

Los planes de acción permitieron reducir un 10 % del consumo energético y un 15 % las emisiones de CO₂ eq, para el año 2021. Por último, elaboró una comparación, desde una

perspectiva ambiental, energética y financiera, entre sistemas de aire acondicionado con refrigerante convencional y sistemas con refrigerante natural, el análisis de los sistemas de aire acondicionado con refrigerante convencional (R22-R410A) y los sistemas con refrigerante natural (R290), evidencio que los refrigerantes naturales aportan una reducción mínima del 30 % de las emisiones de CO₂ eq y una diferencia del 40 % en el consumo energético de estos equipos.

Autor: José Douglas López Mora.

Fecha: 2020.

Institución: Instituto Tecnológico De Costa Rica.

Título: Estudio de Viabilidad y Factibilidad Ambiental, Económica y Técnica de la Estrategia de Descarbonización de Cargill, Enfocada en la Reducción del Gasto en Búnker en el Área de Calderas, Complejo San Rafael, Costa Rica.

El trabajo desarrollado por parte de José Douglas López Mora expone las oportunidades para la conservación de la energía en la empresa Cargill, enfocadas en el vapor flash que se forma en el tanque de retorno de condensados de las cocinas, producto de la configuración actual del sistema de recolección de condensados que abastece de energía al proceso de producción de harinas en el área de rendering.

Se evidencia que, en el proceso de recolección de condensados en el área de render, la despresurización en el condensado pasa desde 741 kPa hasta 91 kPa lo que provoca que el condensado libere gran parte de su calor latente a la atmósfera, incluso cuando este calor conserva todas las propiedades para ser aprovechado como energía en otros sistemas del proceso de producción.

Propone la idea de aprovechar la energía del vapor flash que actualmente se está liberando al ambiente, capturando de diferentes maneras estos condensado variando la configuración del sistema de recolección de condensados actual, mostrando distintos escenarios de aprovechamiento e inversión según sea conveniente y el proceso de producción lo permita, bajo cada escenario de recuperación de energía propuesto, con diferentes alcances ambientales, económicos y necesidades tecnológicas.

El balance energético determinó que el ahorro energético anual obtenido para el primer escenario es de 28,9%, para el segundo escenario es de 69,22% de ahorro y para el tercer escenario es de 86,77% en energía.

Mediante el balance energético se concluyó que a mayor producción y demanda de vapor en las cocinas del área de rendering, el ahorro energético se ve beneficiado con el sistema de recuperación de vapor flash, en cuanto la inversión se presenta una tasa interna de retorno mayor, y un período de recuperación de inversión menor en 0,1 años para el segundo escenario propuesto, sin embargo, el beneficio económico percibido después de haberse retornado la inversión inicial, es mayor que en los otros dos escenarios.

Autor: Yimy David Vega Masis.

Fecha: 2020.

Institución: Instituto Tecnológico De Costa Rica.

Título: Evaluación eléctrica y energética en la planta de alimentos balanceados para animales de la empresa AVUGA.

El proyecto desarrollado en la planta de alimentos balanceados para animales de la empresa Avicultores Unidos La Garita (AVUGA), consistió en una evaluación del sistema eléctrico y una evaluación energética de la planta de alimentos. Para poder realizar la evaluación eléctrica, se elaboró el diagrama unifilar y el levantamiento eléctrico con la distribución de los equipos en la planta.

Una vez realizada la evaluación eléctrica, se determinó que el sistema de distribución de energía eléctrica no cumplía con las condiciones establecidas por el NEC 2014, por lo que se propuso un nuevo sistema de distribución eléctrica, basado en el NEC 2014.

En la evaluación energética se obtuvo que el consumo total de energía es de 23 874.06 kWh, el proceso que consumía más energía era el proceso de molienda, 38,18 % del consumo total, el equipo que más consumo de energía representaba fue el molino con un 80,49 % de consumo de energía eléctrica del proceso de molienda.

Se plantearon oportunidades de conservación de energía y ahorro en la factura eléctrica, como sustitución de motores eléctricos sobredimensionados, con antigüedades de hasta 25

años, por motores de alta eficiencia y con un correcto dimensionamiento, también se planteó la eliminación de tiempos muertos en algunos equipos eléctricos. Además, se propuso la eliminación de multa por bajo factor de potencia con un banco de capacitores automático, en conjunto con estas propuestas se logra reducir el consumo energético anual en un 17,14 % equivalente a 46 665 kWh/año y un ahorro económico en la factura eléctrica de 26,27 % equivalente a ₡12 011 648.88/año.

Autor: Antonio Sánchez Lobo.

Fecha: 2020.

Institución: Instituto Tecnológico De Costa Rica.

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

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

Se plantearon diferentes alternativas para reducir el consumo de combustible y el impacto ambiental, mediante el cambio de aislamiento térmico en tubería, cambio de aislamiento térmico en accesorios, reparación de fugas de vapor, sistema de retorno de condensados, calentamiento de agua con vapor de caldera, calentamiento de agua con vapor del proceso de rendering, combustibles alternativos, reducción de presión de vapor y cambio de intercambiadores de calor.

Fue posible retornar el 44 % de condensado al sistema, lo que implicó un ahorro sustancial en la cantidad de agua necesaria para reposición de la caldera. Además, se logró un ahorro de 3368 kg de vapor en el calentamiento del agua de reposición.

También indican que al disminuir la presión desde 750 kPa abs a 250 kPa abs, se logró aprovechar 124,8 kJ extras por cada kilogramo de vapor, lo que generó un ahorro de un 6 % en la cantidad de vapor suministrada a cada equipo.

Implementaron la utilización de un sistema de recirculación de gases de combustión para el precalentamiento de aire, ayudando a disminuir la cantidad de emisiones ambientales asociadas. Este tipo de tecnologías no aportan un ahorro económico a la empresa, pero sí un ahorro en cantidad de emisiones atmosféricas, indican que recirculando un 10 % de los gases de chimenea se puede lograr una disminución de un 20 % a un 25 % de la producción de óxidos nitrosos sin afectar la combustión.

Aunque con la implementación de este sistema se vio disminuida la temperatura de la llama por una menor cantidad de oxígeno, el sistema aportó aire caliente aumentando la transferencia de calor por convección, utilizando esta alternativa se lograría ahorrar 8.763,22 kg de CO₂ equivalente al día y 2.628,966 toneladas al año.

Autor: Isenny Yaritza Salas Salgado.

Fecha: 2021.

Institución: Instituto Tecnológico De Costa Rica.

Título: Optimización del consumo energético en una empresa de alimentos aplicando los conceptos de la Norma ISO 50001:2018.

El objetivo principal del estudio desarrollado por Isenny Salas Salgado para optar por el título de ingeniera ambiental, corresponde a establecer propuestas para mejorar el consumo energético de una empresa de alimentos basadas en la Norma ISO 50001:2018.

Este estudio presenta la situación actual de una empresa de alimentos de condimentos salsas y aderezos. Así mismo muestra recomendaciones para mejorar su eficiencia energética según lo que establece la Norma ISO 50 001. Se elaboró una línea de base del año 2019 para el consumo de electricidad y gas licuado de petróleo de la caldera.

El modelo para establecer la línea de base que mejor se ajustó a los datos correspondió a un modelo lineal multivariable, donde se consideró el consumo de energía eléctrica en función de la horas y toneladas de producción total de la organización.

En la organización se registraron 4 fuentes diferentes de energía (diésel, GLP, gasolina y electricidad) para desarrollar sus actividades económicas. Las fuentes que representaron un mayor consumo de energía son la electricidad con un 48% y el GLP de la caldera con un

44%. Además, el estudio demostró que el consumo energético que representa un mayor gasto económico correspondió a la electricidad con un 70%.

Se encontraron oportunidades de mejora en diferentes equipos eléctricos tales como compresores, chiller, aires acondicionados y en la caldera de GLP. Los estudios realizados a estos equipos indican que la empresa podría ahorrarse anualmente ₡89.600.000 al implementar las medidas en los equipos eléctricos y ₡ 12.850.000 al implementar medidas de mejora en la caldera de GLP, en total se lograría un ahorro aproximado del 30%.

Finalmente, se elaboraron 18 propuestas de mejora a los equipos y máquinas que representan un uso significativo de la energía, con el fin de optimizar el consumo en la organización, estimando que el ahorro en la factura eléctrica al implementar la ISO 50001:2018 y trasladarse a la tarifa T-MTb variaría entre un 20% y un 30%.

Autor: Rodrigo Alonso Rojas Johanson.

Fecha: 2021.

Institución: Instituto Tecnológico De Costa Rica.

Título: Diseño de una propuesta de integración de un Sistema de Gestión de la Energía basado en la norma INTE/ISO 50001:2018 para nueve sucursales de la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos R.L.

El proyecto de graduación “Diseño de una propuesta de integración de un Sistema de Gestión de la Energía basado en la norma INTE/ISO 50001:2018 para nueve sucursales de la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos R.L.” se realizó debido al compromiso de la cooperativa con la mejora continua en el desempeño energético y ajustándose a los ejes del Plan de Descarbonización del Gobierno de Costa Rica, buscó mejorar la competitividad y disminuir los costos de la energía eléctrica por medio un sistema de gestión de la energía.

Para ello, plantearon la integración de un diseño de un sistema de gestión de la energía acorde al cumplimiento de la norma INTE/ISO 50001:2018; y una vez certificado con la norma optaron por el incentivo del cambio de tarifa de TMT a TMT-b.

El diseño del sistema de gestión abarcó el desarrollo de un diagnóstico documental, desarrollo de herramientas y documentos que permitieron la implementación de un sistema de gestión de la energía capaz de mantener la mejora continua del desempeño energético.

Se estiman ahorros de 53 millones de colones anuales por implementar y certificar un sistema de gestión de la energía con la norma INTE/ISO 50001:2018 en las sucursales de Dos Pinos, de esta manera, se permite solicitar un cambio de tarifa en media tensión de TMT a la TMT-b y un ahorro en el consumo total de la energía de 831.516 MJ para el primer año aproximadamente con la implementación oportuna de mejora de un sistema de gestión de la energía.

Se estimó que la implementación de la certificación con la norma INTE/ISO 50001:2018 de un sistema de gestión de la energía en las nueve sucursales Dos Pinos obtendría ahorros estimados en el consumo energético de 831.516,84 MJ lo que representa un ahorro de 53.000.000 de colones únicamente por el cambio de tarifa TMT a TMTb, que corresponde a un 14% del costo actual de la energía eléctrica para el primer año.

Limitaciones

Debido a la amplitud de la red de vapor la recolección de información en sectores de uso significativo será una de las principales limitantes del proyecto.

La falta de un registro histórico de la situación de los equipos será una limitante para un análisis más preciso del uso y consumo del vapor en la red.

Proyecciones

En el presente proyecto se busca realizar análisis de la eficiencia energética del sistema de generación de vapor del Hospital San Juan De Dios de la Caja Costarricense del Seguro Social, como resultado de la ejecución de estas acciones, se pretende obtener un diagnóstico del estado actual en el sistema de generación de vapor, que podría reducir los costos directos derivados de la compra de combustible fósil, así como al mejorar la eficiencia en las instalaciones.

También, a la par de estas, se espera reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos, como los Gases de Efecto Invernadero (GEI). Se proyecta colaborarle a la institución a establecer y alcanzar metas y objetivos energéticos, tomando acciones según lo necesite para mejorar su desempeño energético.

Al concluir el mismo se hará entrega de los resultados finales del estudio en un disco compacto al Hospital San Juan de Dios.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Uno de los medios de transmisión de calor más usados en la industria es el vapor de agua, esto debido a la facilidad en su generación, transporte y manejo. Sin embargo, y a pesar de su fácil manejo, su uso llega a presentar ineficiencias, que se traducen en un mayor consumo de combustible y, por ende, en sobre costos en los procesos productivos.

Si sumado a esto se tiene presente que cada día el costo de los combustibles fósiles es cada vez mayor. Entonces el ahorro de la energía toma una relevancia, como una estrategia para reducir sus costos operativos.

Una mayor cantidad de combustible para realizar un mismo servicio o proceso implica una problemática ambiental, ya que con esto cada vez se emiten una mayor cantidad de gases contaminantes a la atmósfera, como son los Gases Efecto Invernadero (GEI). Por esta razón, reducir el consumo de combustibles fósiles sin afectar los volúmenes de producción, ni la calidad del producto, también es una responsabilidad social y ambiental de las instituciones.

Actualmente el realizar un uso responsable de la energía controlando y gestionando los sistemas térmicos, como es el caso de los sistemas de vapor, ayuda a ahorrar dinero y a la vez reduce las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), todo esto se puede implementar sin disminuir la producción ni la calidad del producto.

Vapor y sus características

El vapor de agua¹ es el fluido térmico más utilizado en la industria debido a dos de sus principales características:

- Facilidad de almacenar y entregar energía, tanto térmica, como cinética;
- Simplicidad de transporte y control, ya que únicamente requiere de tuberías que lo conduzcan y elementos que regulen su presión.

Estas dos características, hacen del vapor de agua un fluido muy manejable, ya que, mediante su presión dinámica, éste puede ser conducido con facilidad a grandes distancias, así como en flujos variables (CySTE, 2011).

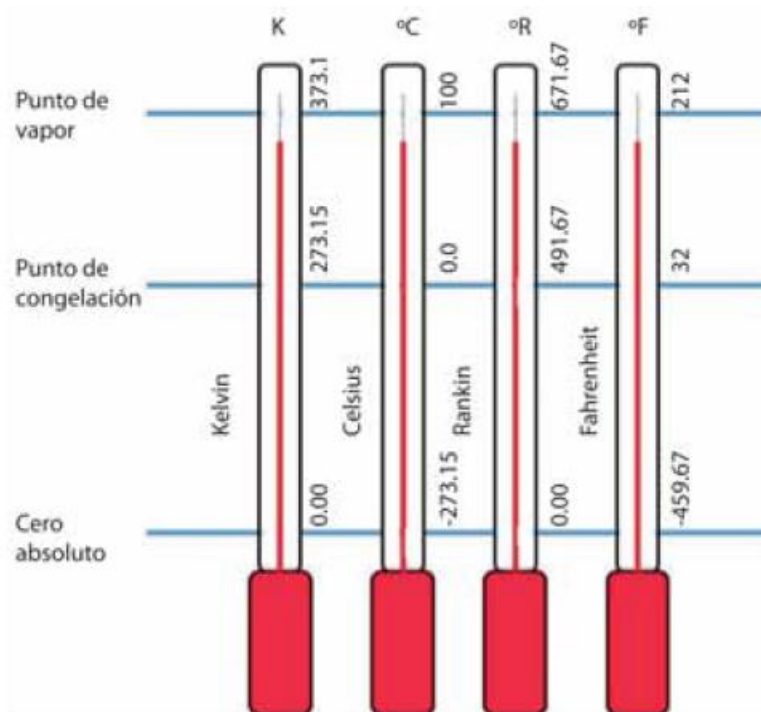
Temperatura

La temperatura es una magnitud física que indica qué tan caliente o frío puede estar un cuerpo sólido, un líquido o un gas, ésta se mide mediante un termómetro. Su funcionamiento se basa en que cuando dos cuerpos están en contacto a distintas temperaturas, después de

cierto tiempo se alcanza la misma temperatura en ambos, registrándose en el termómetro la temperatura del primero (Chemonics International Inc., Consultoría y Servicios en Tecnologías Eficientes y Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, 2011).

En el caso del sistema internacional se utilizan los grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$) y para la temperatura absoluta los grados Kelvin ($^{\circ}\text{K}$). Mientras que, en el sistema inglés, la temperatura es medida en grados Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) y la escala absoluta son los grados Rankin ($^{\circ}\text{R}$).

Ilustración 1. Escalas de Temperatura



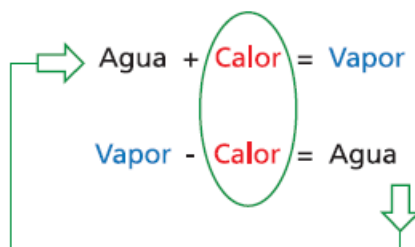
Nota: Tomado de guía de buenas prácticas en eficiencia energética para sistemas de vapor.

En la Ilustración se presentan las 4 escalas para medir la temperatura. En donde se observan tres referencias basadas en el agua y que son la temperatura de evaporación, el punto de congelación y el cero absoluto, que en cada una de las cuatro escalas corresponde a valores diferentes.

Transporte de energía

El vapor empleado como fluido energético se caracteriza por ser capaz de transportar energía calorífica entre dos puntos en forma de entalpía. En una instalación de vapor se producen cambios energéticos caracterizados por ganancia o entrega de energía, la cual se puede medir en términos de variación de entalpía, que va desde agua líquida hasta vapor sobrecalentado, pasando por todos los estados intermedios incluyendo la vaporización.

Ilustración 2. Transferencia de energía



Nota: Imagen tomada de conceptos básicos de termodinámica.

Presión

La presión es la fuerza ejercida por un fluido en la unidad de superficie de las paredes del recipiente que lo contenga. Esta se mide por medio de un manómetro. Las unidades de la presión están dadas en kg/cm², lb/pulg² (psi), bar y atmósfera entre las más usadas.

Los manómetros miden la presión manométrica, es decir, la presión arriba de la presión atmosférica. Para obtener la presión absoluta hay que sumar a la lectura del manómetro, la presión atmosférica. Cabe mencionar que la presión atmosférica debe de ser la del lugar donde se han realizado las mediciones. La presión se mide con un barómetro, o bien, el valor de la presión atmosférica del sitio se lo puede encontrar en los datos locales del servicio meteorológico.

Estados del agua

A la hora de analizar o emplear una instalación de vapor, es importante comprender los diferentes estados en los que puede presentarse el agua en una red de generación y distribución de vapor, así como las características que definen a cada uno de estos estados.

Inicialmente se pueden definir dos estados básicos:

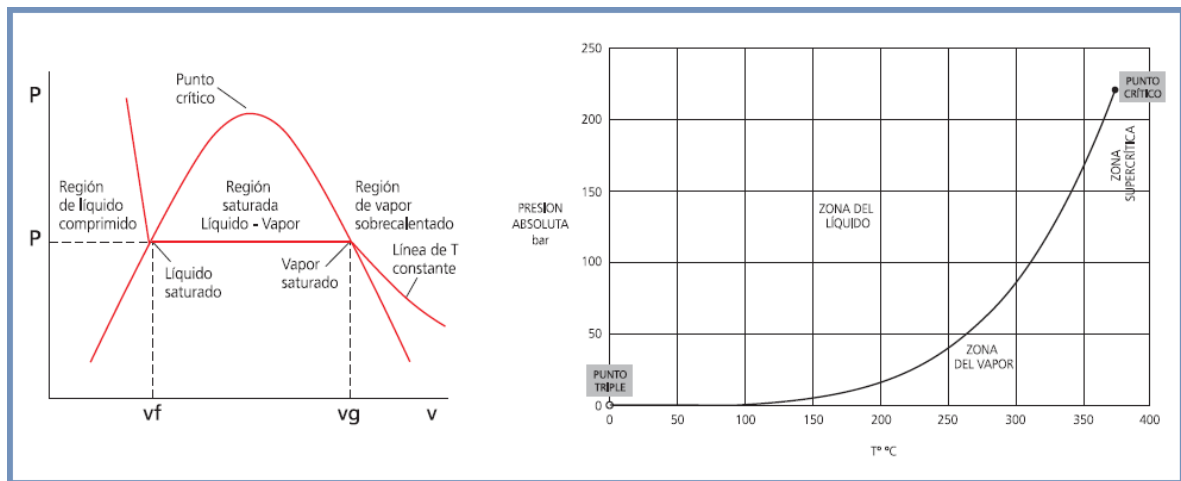
- Líquido
- Vapor

Como menciona CACAME (2020):

En el estado líquido, el agua se puede encontrar por debajo del punto de ebullición -líquido subenfriado- o en el punto de ebullición, conocido como líquido saturado. A su vez el estado vapor puede encontrarse a la temperatura de ebullición -vapor saturado- o puede encontrarse por encima del punto de ebullición -vapor sobrecalentado. El vapor saturado se presenta en un margen muy estrecho y puede encontrarse como vapor seco o húmedo, los distintos grados de humedad se definen por un parámetro denominado título del vapor y que representa el porcentaje de fase vapor frente a la mezcla vapor-agua (p.5).

Estos estados del agua se pueden apreciar de una mejor en la siguiente imagen donde se muestran los diagramas Presión - Temperatura (P-T) y Presión - Volumen (P-v) para el agua.

Ilustración 3. Diagramas P-T y P-v para el agua



Nota: Imagen tomada de Moran & Shapiro; “Termodinámica”.

Los diagramas anteriores ilustran las distintas zonas en función de las dos variables P (presión) y T (temperatura) o P y v (volumen específico), diagramas de fases para el agua. En el diagrama P-v se observa una región saturada que va desde líquido saturado pasando por vapor húmedo con diferentes títulos (x) de 0 a 100%, hasta vapor saturado seco.

La curva del diagrama P-T marca el mismo cambio de fase entre líquido y vapor, denominada línea de equilibrio de fases, en esta se presentan dos puntos característicos:

- **Punto Triple:** En él coexisten las tres fases, sólido, líquido y vapor. Se localiza a 0,01°C y 0,006112 bar de presión absoluta; parámetros muy alejados de la zona de trabajo de una red de vapor.
- **Punto Crítico:** Por encima de la temperatura de este punto, no es posible obtener el cambio de fase mediante la variación de presión a temperatura constante. Se localiza aproximadamente a 374°C y 221 bar de presión absoluta.

Por encima y por debajo de la curva se presentan dos zonas:

- **Zona del líquido:** En esta zona el agua presentará el estado líquido subenfriado.
- **Zona del vapor:** En esta zona encontramos el estado de vapor sobrecalentado.

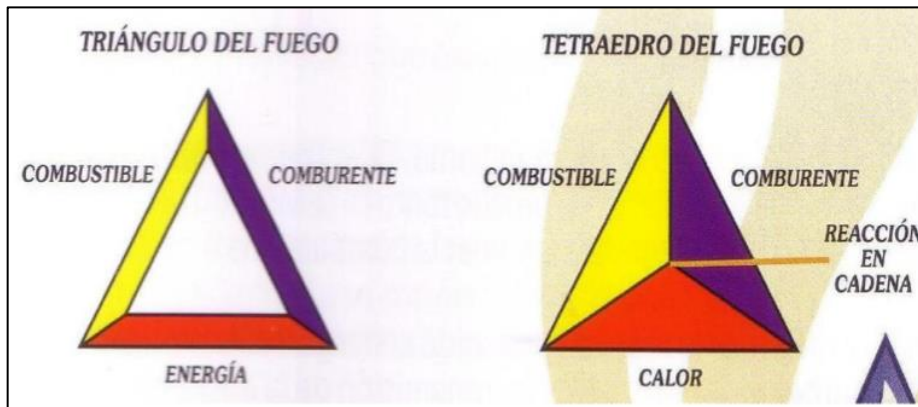
Según CACAME (2020) “El paso de unas zonas a otras puede efectuarse mediante la variación de cualquiera de las dos variables manteniendo la otra constante o mediante variación de ambas al mismo tiempo siempre que la situación esté por debajo del punto crítico” (p.6).

Combustión

El proceso de la combustión se lleva a cabo dentro de la caldera, este es el encargado de que el combustible se quemé generando fuego para llevar a cabo al transferencia de calor al agua, al respecto el Comité Argentino del Consejo Mundial de Energía (CACME, 2020) menciona que: “La combustión es una reacción química de oxidación en la que se combinan un elemento combustible con un comburente desprendiendo energía en forma de luz y calor (llama) y productos químicos resultantes de la reacción” (p.10).

El fenómeno de la combustión se ilustrará mediante dos figuras en dos o tres dimensiones. Hablamos entonces del Triángulo del Fuego o del Tetraedro de fuego.

Ilustración 4. Proceso de la combustión



Nota: Si eliminamos cualquier lado del triángulo o cara del tetraedro el fenómeno de la combustión desaparece. Imagen tomada de Junta de Andalucía, s.f.

Para que una combustión tenga lugar deben encontrarse simultáneamente tres elementos, esto es a lo que se denomina como triángulo de la combustión o triángulo del fuego, y se necesita de una cantidad adecuada de combustible, aire y temperatura de ignición para que el proceso se dé una manera satisfactoria.

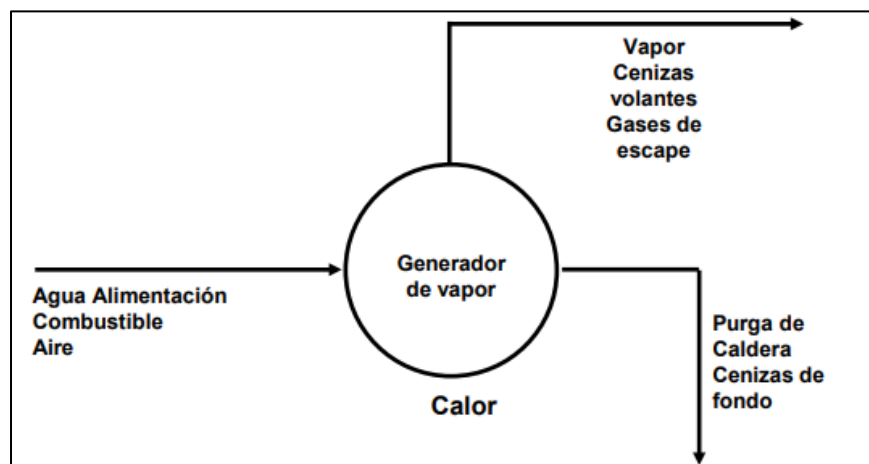
También para que este proceso se mantenga de manera adecuada se debe tomar en cuenta el tetraedro del fuego este concepto explica cómo dicho fuego puede propagarse y tener continuidad, de la misma forma que ocurre en el triángulo del fuego ante la ausencia de cualquiera de los elementos del tetraedro, el fuego se extingue.

El triángulo y el tetraedro del fuego son dos conceptos fundamentales para comprender el proceso de combustión, más concretamente, cómo se produce y cómo se expande.

Generadores de vapor

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

Ilustración 5. Esquema del funcionamiento de un generador de vapor.



Nota: Tomado de Marcano, R, 2006.

Principios y funcionamiento

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

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

La producción de calor depende directamente de factores como:

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

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

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

Calderas

Según el Ministerio de Trabajo y Seguridad (MTSS, 2001), una caldera se define como:

Todo recipiente cerrado en el cual, para cualquier fin excepto el cocimiento doméstico de alimentos, se calienta agua o se genera vapor, generalmente de agua, para ser usado fuera de él, a una presión mayor que la presión atmosférica. Los supercalentadores, recalentadores, economizadores, u otras partes a presión, conectadas directamente a la caldera, sin la intervención de válvulas, serán consideradas como parte de la caldera (p.1).

El vapor se produce, a partir de agua, en un generador o caldera, donde aumenta su entalpía tomando el calor liberado por una combustión o fuente térmica, en estos equipos se realiza una transmisión de calor de los gases de combustión hacia el agua que contiene en su interior para producir el vapor a presión, se calienta el fluido por aplicación directa del calor resultante de la combustión del combustible, luego, en el punto de utilización, libera esta energía cediéndola al medio a calentar.

Las calderas se pueden categorizar de acuerdo con su relación a su capacidad de producción de vapor, según indica el MTSS (2001), se tienen las siguientes categorías:

- **Categoría A:** aquellas calderas que generan más de 7500 kg./ hora de vapor, o que tengan una superficie de calefacción mayor de 200 metros cuadrados, cualquiera de los dos valores que sea mayor.
- **Categoría B:** aquellas calderas que generen más de 2000 kg./hora de vapor y hasta 7500 kg./hora de vapor, o que tengan una superficie de calefacción de más de 60 metros cuadrados y hasta 200 metros cuadrados, cualquiera de los dos valores que sea mayor.
- **Categoría C:** aquellas calderas que generen más de 70 kg. /hora de vapor y hasta 2000 Kg. /hora, o que tengan una superficie de calefacción de más de 2 metros cuadrados y hasta 60 metros cuadrados, cualquiera de los valores que sea mayor.
- **Categoría D:** Aquellas calderas que generen hasta 70 kg. /hora de vapor, o que tengan menos de dos metros cuadrados de superficie de calefacción.

Calderas de combustión

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

- **Cámara de combustión:** es el espacio físico en donde se lleva a cabo la reacción de combustión y dependiendo de la configuración de la caldera puede o no ser parte integral del sistema de transferencia de calor.
- **Sistema de transferencia de calor:** es el encargado de transferir la energía contenida en los gases de combustión al agua.

- Quemador: es el dispositivo encargado de comenzar, mantener y terminar la reacción de combustión de una manera segura y controlada regulando el flujo de los reactivos hacia la cámara de combustión.
- Cámara de agua: es el depósito en donde se contiene el agua que será evaporada.
- Cámara de vapor: es el depósito en donde se almacena el vapor para su distribución.
- Chimenea: es el ducto a través del cual los gases de combustión son liberados a la atmósfera después de haber cedido el calor aprovechable al agua.
- Sistema de monitoreo y control: es el conjunto de elementos encargados de monitorear y controlar las condiciones al interior de la caldera.
- Bomba de alimentación: el dispositivo que suministra el agua a la caldera y repone el líquido evaporado.

Tipos de calderas

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

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

Clasificación de las calderas según disposición de los fluidos

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

Acuotubulares

Según Chemonics International Inc., Consultoría y Servicios en Tecnologías Eficientes y La Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (2011) las calderas acuotubulares:

Son aquellas en las que el agua circula al interior de los tubos, mientras que por el exterior pasan los gases de combustión. Este tipo de calderas es de mayor capacidad que las pirotubulares, ya que se pueden lograr presiones más altas que en las calderas pirotubulares, gracias a que el agua/vapor están contenidos en tubos que pueden soportar altas presiones. Las calderas de este tipo son usadas inclusive en la generación de energía eléctrica. Se caracterizan por trabajar a altas presiones, normalmente a más de 15 kg/cm², aunque también las hay de baja presión (p.7).

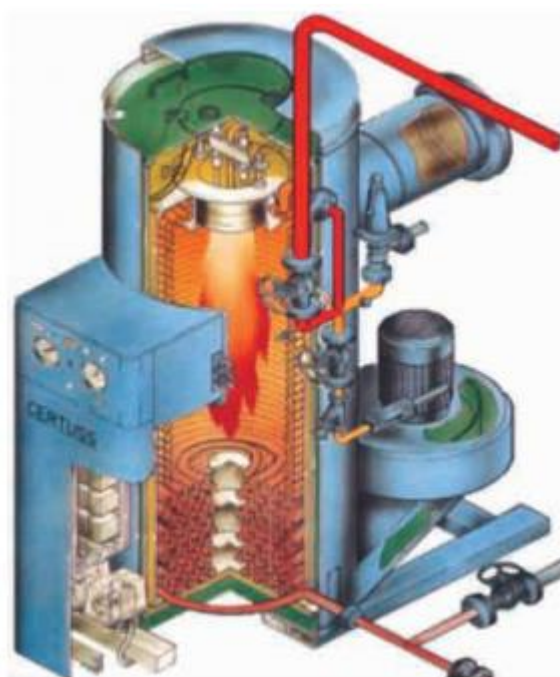
Componentes de una caldera acuotubular

Los componentes de una caldera acuotubular según Loaiza (2020, citando a Garro, s.f.), son las siguientes:

- Sistema de alimentación de combustible: Estos sistemas dependen del tipo de caldera y tipo de combustible, para el caso del búnker está constituido por un tanque de combustible, una bomba y un quemador con boquillas y otro combustible para alimentar el pre llama.
- Parrillas de Combustión: Es donde se realiza la combustión del sistema.
- Domos de vapor: El domo superior es donde se acumula el vapor producido antes de ser recalentado y en la parte inferior contiene agua.
- Domo de Lodos: El domo inferior es para drenar o extraer los lodos y los concentrados de sales por medio de una válvula de purga.
- Sistema de alimentación de agua: Este sistema dentro de la caldera acuotubular cuenta con un tanque de bombeo, equipo de tratamiento de agua, desmineralizador y un tanque de retorno de condensados.
- Sobre calentador: Una vez que el vapor se encuentra en el domo de vapor, su función es llevar el vapor generado (domo superior) a vapor saturado o sobrecalentado.
- Sopladores de hollín: Como lo dice su nombre eliminan el hollín para su expulsión por la chimenea.
- Ventiladores: una caldera acuotubular cuenta con 2 ventiladores, uno de tiro forzado para el airea de combustión y otro de tiro inducido para succionar los gases producto de la combustión.

Las calderas acuotubulares cuentan con sistema de control, chimenea, hogar tubos y paredes de agua, componentes mencionados en el apartado de las partes de la caldera pirotubular.

Ilustración 6. Caldera acuotubular.



Nota: Tomado de Uceda, 2012.

Calderas pirotubulares.

Pirotubulares

De acuerdo con Chemonics International Inc., Consultoría y Servicios en Tecnologías Eficientes y La Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (2011) una caldera pirotubular se define como:

Son aquellas en las que los gases de combustión circulan al interior de los tubos, los cuales se encuentran sumergidos en el agua, la que a su vez se encuentra en un gran recipiente, lo que limita la presión de generación, ya que, a mayor presión de la caldera, más gruesas deberían ser las paredes del recipiente y, por lo tanto, más costosas, lo que las haría inviables económicamente. Existen de dos, tres y cuatro pasos. Por lo general son de

capacidades bajas y medianas, van desde 20 Caballos Caldera (CC) hasta 900 Caballos Caldera (CC) (p.7).

Componentes de una caldera pirotubular

Los componentes de una caldera pirotubular según Loaiza (2020, citando a Garro, s.f.), son las siguientes:

- Casco: Es el cuerpo de la caldera de tubos de humo y en sus extremos se conectan los cabezales.
- Cubierta: Es la parte exterior de la caldera, bajo ella se encuentra el aislante térmico y bajo el aislante térmico se encuentra la superficie del casco.
- Tubos: Son los fluses que se fijan al cabezal por medio de expansión.
- Horno: Es la parte de la caldera donde se realiza el proceso de combustión y se forma la llama para la transferencia de calor.
- Cabezales: Son los que soportan los tubos por los cuales pasan los gases de combustión.
- Cajas de humo: También se conocen como cámaras de humo, su objetivo dentro de una caldera es la recolección de los gases calientes de un paso y enviarlos hacia un segundo paso o retorno.
- Espejo: Los espejos se ubican en la parte posterior de la caldera frente al cabezal y su función es evitar la transmisión de calor de los gases de combustión hacia el aire que rodea la caldera. Recordemos que una caldera no es 100% eficiente, por lo cual puede haber filtraciones e infiltraciones de aire.
- Chimenea: Es la encargada de evacuar los gases de la combustión a la atmósfera.
- Dispositivos de limpieza: Las puertas son para la limpieza de la caldera y se encuentran en las cajas de humo, y se usan para remover el hollín y para cambiar tubos. También se encuentran los registros que su función es la limpieza de sedimentos y lodos, así como para inspección de las partes en contacto con el agua.
- Quemador: Es la parte de la caldera que se encarga de hacer la mezcla para la combustión entre el aire, combustible y la chispa (arco eléctrico o pre llama).
- Columna de agua: Su principal función es mostrar el nivel del agua en la caldera por medio de mirillas de vidrio, además cuentan con boyas conectadas mecánicamente a

interruptores que abren y cierran contactos que activan y desactivan las bombas de agua para alimentación de la caldera.

- Sistema de control: Dentro de estos sistemas se encuentran los presostatos de trabajo y seguridad para regulación de la presión. El control proporcional de presión envía señales al modular y de acuerdo con la señal aumentará o disminuirá la cantidad de aire o combustible. Finalmente, las válvulas de seguridad que están graduadas a una presión determinada que no puede sobrepasar la caldera y la válvula de purga de fondo para descarga agua, lodos que se formen en el fondo, etc.

Ilustración 7. Caldera piro tubular horizontal



Nota: Tomado de Uceda, 2012.

Combustibles de uso industrial

El Búnker es un combustible que normalmente proviene de la primera etapa del proceso de refinación (destilación atmosférica), viscoso y con alto contenido energético, lo cual lo hace apto para ser usado en calderas, hornos y para las plantas de generación eléctrica.

Principales características del Búnker C.

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

Punto de fluidez.

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

Temperatura de inflamación.

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

Poder calórico.

Es la cantidad de energía que potencialmente puede liberar un kilogramo de combustible (Julio/kg) durante el proceso de combustión. Su valor no se especifica en las normas de calidad para el Búnker C, pero es un dato importante para realizar los balances de energía y determinar el costo energético del producto. El Búnker C que distribuye RECOPE tiene un poder calórico neto promedio de 42,2 MJ/kg para el año 2021.

Densidad.

La densidad no tiene una relación directa con las características del búnker, pero, es un dato necesario para los cálculos de balance de energía. Esta propiedad aumenta conforme se incrementa el tamaño de las moléculas que componen el combustible. El promedio para el 2021 fue de 967,3 kg/m³ con un ámbito de variación entre 964,5 y 975,4 kg/m³.

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

Propiedad	Mín	Promedio	Máx	Límite de Especificación	Método
Viscosidad a 50 °C, mm ² /s	230	343	456	Máximo 640	ASTM D-445
Temperatura del punto de fluidez, °C	-22	1,7	12,0	Máximo 15	ASTM D-6749
Temperatura de inflamación, °C	61	94	99	Mínimo 60	ASTM D-93
Fracción masa de ceniza, %	0,00	0,07	0,08	Máximo 0,10	ASTM D-482
Fracción masa residuo carbón Conradson, %	10,3	13,2	16	Máximo 18	ASTM D-4530
Fracción de volumen agua y sedimento, % v/v	0,05	0,4	2	Máximo 2,0	ASTM D-1796
Poder calórico neto, MJ/kg	42,46	42,5	42,8	Reportar	ASTM D-4868
Calor de Combustión bruto, MJ/kg	39,8	42,2	42,9	Reportar	ASTM D-4809
Densidad a 15 °C a muestra, kg/m ³	964,5	967,3	997,4	Reportar	ASTM D-1298
Fracción masa de Azufre, %	1,2	2,5	2,9	Máximo 3	ASTM D-4294
Contenido de Vanadio, mg/kg	25	161	287	Máximo 350	ASTM D-5863
Fracción volumen de agua por destilación, %v/v	0,0	0,2	0,5	Máximo 0,5	ASTM D-95

Nota: Tomado de departamento de Control de Calidad RECOPE y análisis de puerto de carga. (2021)

Eficiencia de la caldera

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

Pérdidas de calor principales.

Pérdida de calor asociada al exceso de aire.

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

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

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

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

Pérdida de calor en la purga.

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

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

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

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

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

Cálculo de la eficiencia.

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

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

Ecuación 1. Cálculo de la eficiencia

Donde:

Q = energía a la salida

q = energía de entrada

Transferencia de energía

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

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

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

Ecuación 2. Transferencia de energía

Trampas de Vapor

Armstrong, Inc (1998), menciona que una trampa de vapor es una válvula automática cuya función es sacar el condensado, aire y CO_2 de un sistema a medida que se acumula y mantener el vapor. Una trampa eficiente se caracteriza por:

- Una pérdida mínima de vapor
- Funciona, aunque exista contrapresión en su tubería de retorno al sistema
- Resistencia a la corrosión, problemas por suciedad

Las trampas de vapor se dividen según su funcionamiento en trampas mecánicas, termostáticas y termodinámicas (Armstrong, Inc, 1998):

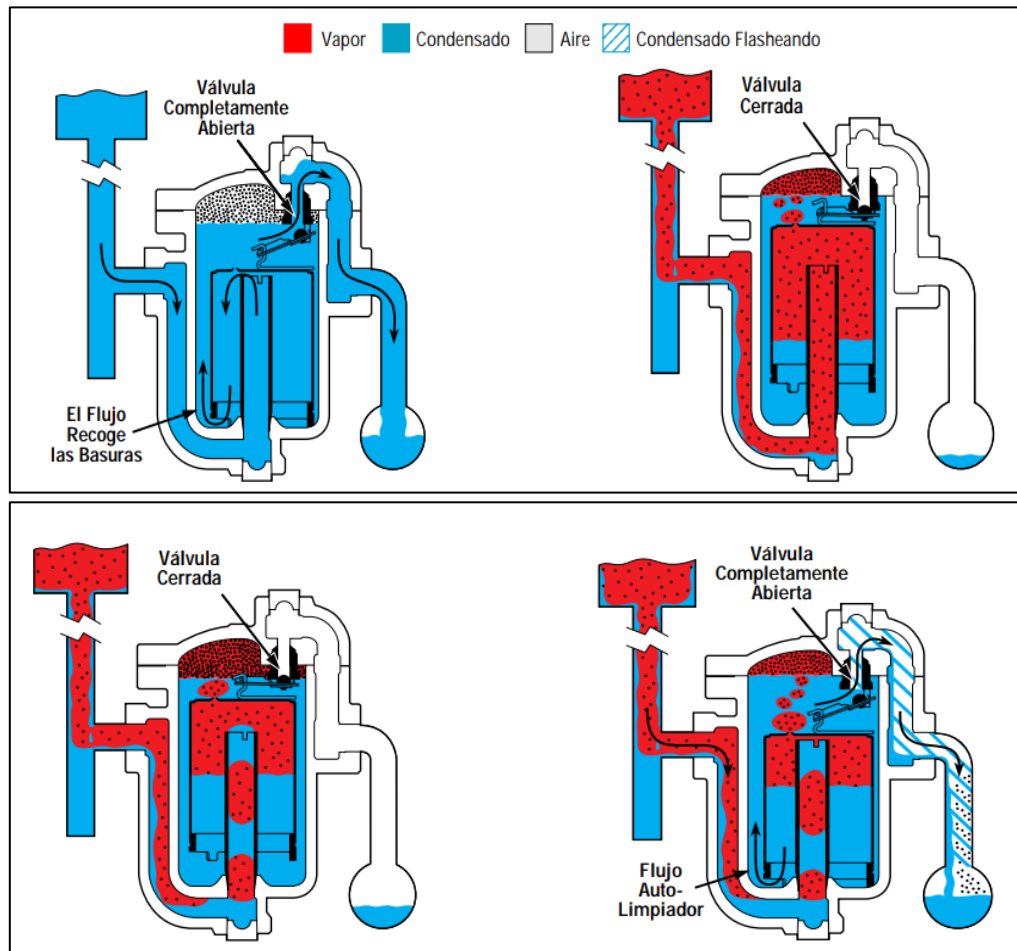
Trampas termostáticas: Su función se basa en la diferencia entre la temperatura del vapor y la del condensado frío y el aire. El vapor incrementa la presión dentro del elemento aumentando la presión y cerrando la trampa.

Trampas termodinámicas: Su función opera en base al concepto de velocidad, pierden vapor en condiciones de baja carga, el condensado, a temperatura de vapor, produce vapor flash que al salir por el orificio de la válvula causa que la trampa cierre.

Trampas mecánicas: Estas trampas funcionan en base a la densidad y se dividen en trampas de vapor de Balde Invertido y trampas de vapor de flotador y termostática

Trampa de vapor de Balde Invertido: opera basada en las diferencias de densidades entre el vapor y el agua. El vapor entra por el tanque invertido, que está sumergido, lo que causa que este flote y la válvula de descarga cierre. Estas trampas ventean continuamente el aire y dióxido de carbono, a la temperatura de vapor. Al inicio, el flujo de condensado entra en la trampa y fluye por debajo del balde, el condensado sale a través de la válvula y se descarga en la tubería de regreso. Entonces, el vapor entra en la trampa, se eleva y se acumula en la parte superior, lo que provoca la flotación del balde, por lo tanto, la válvula se cierra herméticamente. Cuando el condensado llena el balde, este hala la palanca de la válvula, cuando la fuerza es suficiente para vencer la presión diferencial de la válvula, esta se abre. Al momento que se abre, la fuerza de la presión se reduce y el balde se hunde abriendo la válvula completamente. Primero sale el aire acumulado y después el condensado.

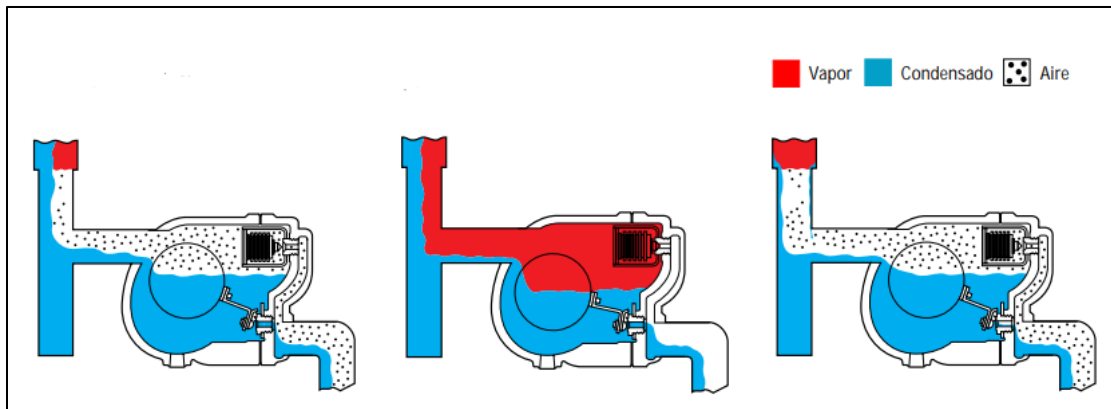
Ilustración 8. Trampa de balde invertido



Fuente: Armstrong, Inc, 1998.

Trampa de vapor de Flotador y termostática: esta trampa opera bajo los conceptos de densidad y temperatura. La válvula flotadora opera por densidad, donde una palanca conecta la bola del flotador a la válvula y su asiento, el flotador se eleva cuando el condensado llega a cierto nivel, abriendo el orificio de la válvula para que se drene el condensado. Cuando la acumulación de aire y gases no-condensables causa un cambio de temperatura significativo, un venteador termostático en la parte superior se abre para descargarlos.

Ilustración 9. Trampa de flotador



Fuente: Armstrong, Inc, 1998.

Normativa y reglamentación.

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

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

Medición de la huella de carbono

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

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

Según la ISO 14067 (2013), la Huella de Carbono es un parámetro utilizado para describir la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas a una empresa, evento, actividad o al ciclo de vida de un producto/servicio para determinar su contribución al cambio climático. Se expresa en toneladas de CO₂ equivalente (p. 14).

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

- Emisiones directas

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

- Emisiones indirectas de la generación de electricidad y de calor

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

- Otras emisiones indirectas

Incluye el resto de emisiones indirectas, son consecuencia de las actividades del sujeto, pero provienen de fuentes que no son poseídas o controladas por el sujeto. Algunos ejemplos de actividades son la extracción y producción de materiales adquiridos, los viajes de trabajo, el transporte de materias primas, de combustibles y de productos (por ejemplo, actividades logísticas) o la utilización de productos o servicios ofrecidos por otros (Comisión Interdepartamental del Cambio Climático, 2011).

Emisiones equivalentes por consumo de energía eléctrica.

Con los datos de consumo eléctrico en kilovatios hora (kWh) por un periodo de tiempo, el cálculo de emisiones de CO₂ mediante el consumo de energía eléctrica se puede realizar mediante siguiente fórmula:

$$\text{Ton CO}_2\text{e} = (\text{kWh} * F_{\text{kWh}}) / 1000 \text{ Kg/ton}$$

Ecuación 3. Emisiones equivalentes por consumo de energía eléctrica

Donde:

- Ton CO₂ e: Emisión de dióxido de carbono equivalente.
- kWh: Kilowatts hora de energía eléctrica consumida.

- F_{kWh} : Factor de emisión oficial del IMN, kilogramos de CO₂ emitido por cada kilowatt hora consumido.
- 1000 kg/ton: Factor de kilogramos a toneladas.

Tabla 2. Factor de emisión en el sector electricidad

Año	Factor de emisión
	kg CO ₂ / kWh
2021	0,0400
2020	0,0282
2019	0,0365
2018	0,0395
2017	0,0490
2016	0,0557
2015	0,0381

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional, 2022.

Emisiones equivalentes procedentes del consumo de búnker

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

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

Ecuación 4. Emisiones equivalentes procedentes del consumo de búnker

Dónde:

- CO₂ e: Emisión de dióxido de carbono equivalente.
- L: Litros de búnker.
- FCO₂: Factor de emisión oficial del IMN, kilogramos de CO₂ emitido por cada litro de búnker.

- FCH₄: Factor de emisión oficial del IMN, gramos de CH₄ emitido por cada litro de búnker.
- FN₂O: Factor de emisión oficial del IMN, gramos de N₂O emitido por cada litro de búnker.
- 21: Potencial de calentamiento global del CH₄ para conversión a CO₂.
- 310: Potencial de calentamiento global del N₂O para conversión a CO₂.
- 1000 kg/ton: Factor de kilogramos a toneladas.

Tabla 3. Factores de emisión por la utilización de búnker

Combustible	Factor de emisión		
	CO ₂ (kg CO ₂ /L combustible)	CH ₄ (g CH ₄ / L Combustible)	N ₂ O (g N ₂ O / L Combustible)
Búnker	3,101	0,138	0,02769

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional, 2022

Tabla 4. Potenciales de calentamiento global

Gas	Potencial de calentamiento
	Horizonte: 100 años
CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional, 2022.

Evaluación financiera y económica-social

Para efectos del planteamiento de la evaluación financiera y económica se toma como referencia la Guía metodológica de proyectos de Instituto Centroamericana de Administración Publico (ICAP) del 2022.

Estudio y evaluación financiera

El análisis de rentabilidad financiera tiene por objeto estudiar la factibilidad del proyecto desde la óptica de sus resultados financieros. Por lo cual, los beneficios y costos del mismo se calculan en términos monetarios, a los precios de mercado vigentes. Esta rentabilidad financiera es calculada mediante el análisis de indicadores financieros.

Con base en ICAP (2022), el contenido mínimo del estudio financiero debe contemplar:

Inversiones: son las adquisiciones necesarias para la ejecución del proyecto, pueden dividirse en inversiones fijas (terrenos, infraestructura, maquinaria y equipamiento, etc), inversiones diferidas (desarrollo de recursos humanos, imprevistos y gastos de Organización) y capital de trabajo (p.38).

Fuentes de financiamiento: corresponde a análisis general de las posibles fuentes de financiamiento en sus diferentes modalidades (p.39).

Costos de operación: se refiere al establecimiento de aquellos costos necesarios para la operación y continuidad de los bienes o servicios, dentro de los que se incluyen: costos administrativos, fabricación y ventas (p.39).

Ingresos o sostenibilidad del proyecto: en el caso de instituciones públicas estos se establecen mediante tarifas diferenciadas y el análisis de sostenibilidad del proyecto estará dado por la sanidad de las finanzas públicas, compatibilización entre el impacto fiscal de los proyectos y las proyecciones de los ingresos públicos (p.41).

Flujo de fondos: corresponde al planteamiento de la diferencia entre los costos y los beneficios incrementales anuales del proyecto, de tal manera que se pueda evaluar su viabilidad (p.42). Se entiende como costos incrementales aquellos costos nuevos que surgen con la implementación del nuevo proyecto.

Indicadores de evaluación financiera: corresponden a aquellos indicadores que permitirán realizar una valoración cuantitativa de la rentabilidad financiera del proyecto, para efectos del presente se utilizan:

Valor Actual Neto

Se define como el valor actualizado de los beneficios menos el valor actualizado de los costos, descontados Para obtener el valor actual neto se utiliza la siguiente fórmula:

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

Ecuación 5. Valor Actual Neto

Donde:

B_t = beneficio del año *t* del proyecto

C_t = costo del año *t* del proyecto

t = año correspondiente a la vida del proyecto, que varía entre 0 y *n*

0 = año inicial del proyecto, en el cual comienza la inversión

r = tasa de descuento a la tasa de descuento convenida.

Tabla 5. Criterios de decisión para valorar el VAN

Resultado	Decisión
Positivo (VAN mayor que cero)	Se acepta
Nulo (VAN igual a cero)	Indiferente
Negativo (VAN menor que cero)	Se rechaza

Fuente: ICAP. 2022

Tasa interna de retorno TIR

Se define como aquella tasa de descuento que hace igual a cero el valor actual de un flujo de beneficios netos, es decir, los beneficios actualizados iguales a los costos actualizados.

Emplea la siguiente formula:

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

Ecuación 6. Tasa interna de retorno TIR

La TIR mide la rentabilidad financiera del proyecto, y emplea los siguientes criterios de decisión:

Tabla 6. Criterios de decisiones para medir la TIR

Resultado	Decisión
Mayor (TIR mayor que tasa social de descuento)	Se acepta
Igual (TIR igual a tasa social de descuento)	Indiferente
Menor (TIR menor que tasa social de descuento)	se rechaza

Fuente: ICAP. 2022

Análisis Beneficio/Costo B/C

Corresponde al coeficiente entre los beneficios actualizados y los costos actualizados.

Se estima utilizando la siguiente fórmula:

$$B = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

Este indicador se analiza en función de los siguientes criterios de decisión:

Tabla 7. Criterios de decisión para valorar la R (C/B)

Resultado	Decisión
Mayor (B/C mayor que uno)	Se acepta
Igual (B/C igual a uno)	Indiferente
Menor /B/C menor que uno)	Se rechaza

Fuente: ICAP. 2022

Evaluación económica-social

Esta corresponde a una evaluación complementaria a la antes definida, evaluación financiera, y permite integrar criterios de beneficio social, valorando los aportes significativos para la sociedad.

Siguiendo con la línea de la evaluación financiera, para el caso de la evaluación económica-social el ICAP plantea una serie de elementos esenciales como:

Cálculo de los precios sociales o de cuenta para el proyecto: para efectos de este apartado implica la conversión de los precios de mercado a precios sociales, los cuales representan el verdadero costo de oportunidad de los bienes para la sociedad.

Los principales rubros que pueden ser ajustados a precios sociales son: Mano de Obra No Calificada (PSMONC), Mano de Obra Calificada (PSMOC), Bienes comercializables y no comercializables (ICAP, p.49-p.50).

Los valores de precios sociales a utilizar corresponden a los dictaminados por parte del Ministerio de Planificación (MIDEPLAN) en el 2019.

Tabla 8. Factores de conversión a precios sociales

Factor	Valor
Mano de obra no calificada	0.858
Mano de obra semi calificada	0.8862
Mano de obra calificada	0.8023
Equipos importados	0.85
Insumos importados	0.87
Factor de Conversión Estándar	0.9694
Factor Social de la Divisa	1.0645
Tasa Social de Descuento	8.31%

Fuente: Adaptado de MIDEPLAN, 2019.

Transformación del flujo financiero a económico: corresponde a la aplicación de los precios sociales sobre los elementos contemplados en el análisis financiero (inversiones, costos de operación e ingresos), es pasar de valores de mercado a precios sociales o precios sombra

Indicadores de evaluación económica: hace referencia al Valor actual neto económico VANE y Tasa interna de retorno económica TIRE; para el cálculo de estos valores se deberán actualizar todos los flujos anuales de acuerdo con la tasa social de descuento que se aplique en ese momento en el país (ver cuadro de factores de conversión a precios sociales).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

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

Método de la investigación

De acuerdo a la naturaleza del estudio, el método de diseño empleado en este trabajo de investigación parte de un enfoque cuantitativo.

Enfoque de la investigación.

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

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

En el presente trabajo final de graduación se desarrollará desde un enfoque cuantitativo, ya que será secuencial, deductivo, probatorio y se utilizará la estadística y se realizarán cálculos para realizar el análisis de la eficiencia energética del sistema de generación de vapor del Hospital San Juan De Dios.

Tipo de investigación.

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

cuales permitirán conocer la eficiencia energética del sistema de generación de vapor del Hospital San Juan De Dios.

Tipo de Muestra

En esta investigación de tipo cuantitativa, la muestra utilizada corresponde a los datos de interés recolectados en el Hospital San Juan de Dios, esta es una muestra no probabilística, “En las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o de quien hace la muestra” (Hernández, 2010, p. 80), los datos recolectados serán datos a conveniencia para poder desarrollar la investigación.

Fuentes de información

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

Dentro de las fuentes primarias, las cuales corresponden a información de primera mano, se cuenta con los datos obtenidos de entrevistas realizadas al personal del departamento de Ingeniería y Mantenimiento del Hospital San Juan de Dios.

Como fuentes secundarias, es decir de información procesada y analizada, se tomó apoyo de bibliotecas digitales, el uso de internet; acceso a información de la página de NFPA, Ministerio de Salud de Costa Rica, CNFL y MINAET.

Unidades de análisis

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

Tabla 9. Operacionalización de variables de objetivos

Objetivo específico 1: Determinar las características de operación del sistema actual de generación de vapor, así como su trasiego y consumo final de vapor para conocer cómo se utiliza el mismo.				
Variable	Indicador	Definición Conceptual	Definición Operacional	Definición Instrumental
Vapor	Consumo de Vapor (Kg/h)	El vapor se produce mediante la acción del calor a una temperatura superior a la de ambiente y presión mayor que la atmosférica, para usarse en procesos industriales de todo tipo.	Tabulando los kg/h de vapor generados según los registros históricos de producción en los equipos para conocer la sumatoria y obtener un consumo total.	Utilización del software de Microsoft Excel para tabular datos.

Nota: Elaboración propia.

Tabla 10. Operacionalización de variables objetivo específico 2

Objetivo específico 2: Evaluar el estado de los equipos y la eficiencia energética de trabajo actual del sistema de generación de vapor.				
Variable	Indicador	Definición Conceptual	Definición Operacional	Definición Instrumental
Eficiencia	Rendimiento	Medición del nivel de ejecución del proceso, se concentran en el cómo se hicieron las cosas y miden el rendimiento de los recursos utilizados por un proceso.	Con las fórmulas correspondientes, los datos tabulados y la utilización de la herramienta de cálculo se encontrará el valor eficiencia.	Utilización del software de Microsoft Excel para tabular los datos.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Operacionalización de variables objetivo específico 3

Objetivo específico 3: Realizar un proceso de búsqueda de oportunidades de conservación de la energía para el sistema de vapor, con el fin de poder minimizar eventuales perdidas en el sistema de generación y trasiego de vapor.				
Variable	Indicador	Definición Conceptual	Definición Operacional	Definición Instrumental
Energía	Julios (J)	Los cuerpos tienen cierta capacidad de realizar un trabajo, que puede tener origen en su constitución, en la posición que ocupan en un campo gravitatorio o eléctrico o en su estado de movimiento. A esta capacidad de realizar trabajo que poseen los cuerpos se le denomina trabajo. (Gonzales, 2009, p. 6).	Con las fórmulas correspondientes, los datos tabulados y la utilización de la herramienta de cálculo se encontrará el valor de energía.	Utilización del software de Microsoft Excel para tabular los datos.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Operacionalización de variables objetivo específico 4

Objetivo específico 4: Realizar el estudio ambiental para obtener el equivalente de toneladas de dióxido de carbono (CO ₂) que produce el sistema de vapor del Hospital San Juan de Dios de acuerdo a las oportunidades de conservación de energía detectadas según el análisis de los consumos de búnker.				
Variable	Indicador	Definición Conceptual	Definición Operacional	Definición Instrumental
Emisiones de CO ₂	CO ₂ /kg de búnker	Las emisiones de dióxido de carbono proceden de la oxidación del carbono de los combustibles durante la combustión. En condiciones de combustión óptimas, el contenido total de carbono de los combustibles debería convertirse en CO ₂ (Manual del sector de la energía quema de combustibles. p.4).	Se solicitarán los reportes de emisiones que se generan la caldera del Hospital San Juan De Dios.	Utilización del software de Microsoft Excel para tabular los datos.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Operacionalización de variables objetivo específico 5

Objetivo específico 5: Realizar el estudio financiero y económico-social para implementación de las oportunidades de conservación de energía detectadas, utilizando la metodología propia de evaluación financiera y económico-social para el sector público.

Variable	Indicador	Definición Conceptual	Definición Operacional	Definición Instrumental
Evaluación financiera	VAN	Estudia la factibilidad del proyecto desde la óptica de sus resultados financieros. Por lo cual, los beneficios y costos del mismo se calculan en términos monetarios, a los precios de mercado vigentes (ICAP, 2022, p.37).	Una vez obtenidos todos los datos de inversiones, ingresos y costos se tabularán los datos y se harán los análisis utilizando Microsoft Excel.	Utilización del software Microsoft Excel.
	TIR			
	R C/B			
Evaluación económica-social	VANES	Evaluación complementaria a la antes definida, evaluación financiera, y permite integrar criterios de beneficio social, valorando los aportes significativos para la sociedad (ICAP, 2022, p.47).	Se convertirán los datos de inversiones, ingresos y costos en precios de mercado hacia precios sociales, se tabularán los datos y se harán los análisis utilizando Microsoft Excel.	Utilización del software Microsoft Excel.
	TIRES			
	E C/B			

Fuente: Elaboración propia

Instrumentos

La recolección de datos cuantitativos se realizará mediante la aplicación del instrumento del cuestionario, a través de la técnica de entrevista personal, aplicada a funcionarios del departamento de Ingeniería y Mantenimiento del Hospital San Juan de Dios. “Un cuestionario consiste en un conjunto de preguntas respecto de una o más variables a medir. Debe ser congruente con el planteamiento del problema e hipótesis” (Hernández, 2010, p.217).

El proceso de planteamiento recolección y análisis

El proceso de planteamiento recolección y análisis del presente estudio se define mediante el desarrollo de cuatro fases:

Fase 1: Definición y planteamiento del estudio

Esta fase contempla el planteamiento del problema, definición de los objetivos tanto general como específicos, indagación de antecedentes, justificación del tema a desarrollar, revisión de literatura y desarrollo del marco teórico, así como, la definición del proceso metodológico a seguir.

Fase 2: Recolección de datos

Como parte de la segunda fase, se recolectarán una serie de datos fundamentales para el análisis las cuales corresponde a la generación de vapor y consumo de energía eléctrica en la planta de calderas del hospital, datos sobre consumo de combustible tipo búnker. Además, de los costos que implican.

Fase 3: Análisis de datos

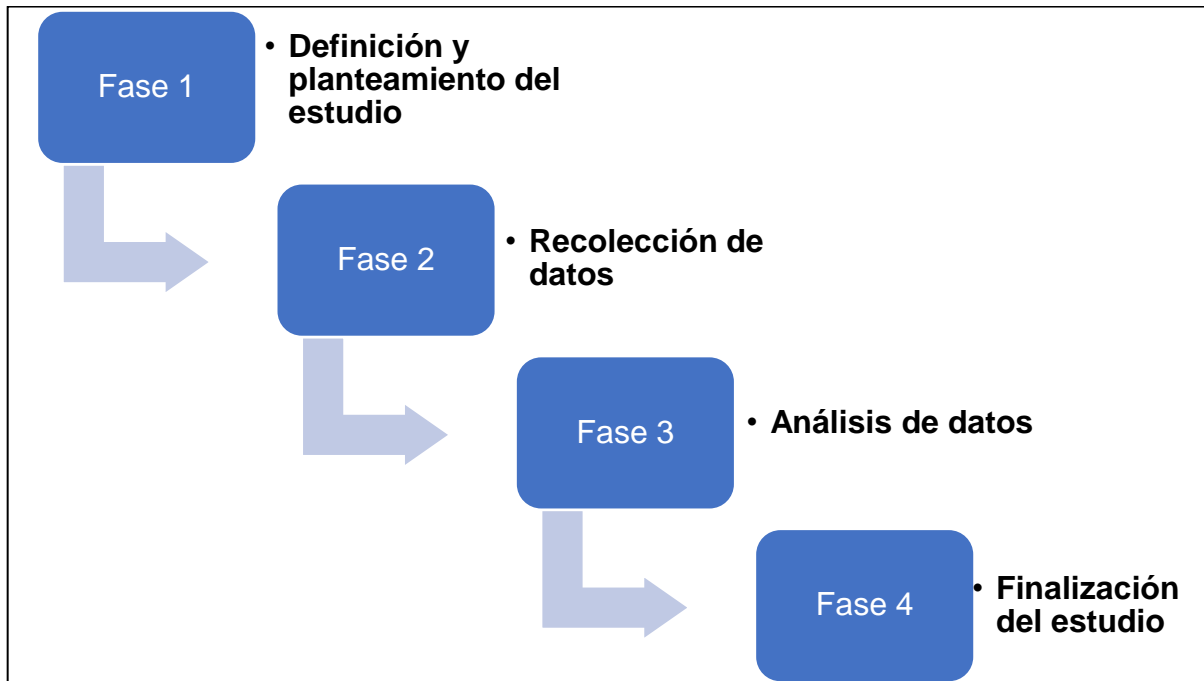
Una vez obtenidos los datos, se procederá con el balance energético del sistema, análisis ambiental por medio de la disminución de gases de efecto invernadero, y el análisis financiero que permitirá determinar posibles ahorros que se puedan generar en la planta.

Fase 4: Finalización del estudio

A partir de los resultados y el análisis de los datos, se establecerán las conclusiones del proyecto en función de los objetivos planteados, así como, las recomendaciones finales.

Estas fases se logran visualizar de mejor manera en la siguiente figura.

Ilustración 10. El proceso de planteamiento recolección y análisis



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV: DESARROLLO

En el presente capítulo se desarrollan la totalidad de los aspectos contemplados como parte de los objetivos planteados del proyecto.

Planta de Calderas

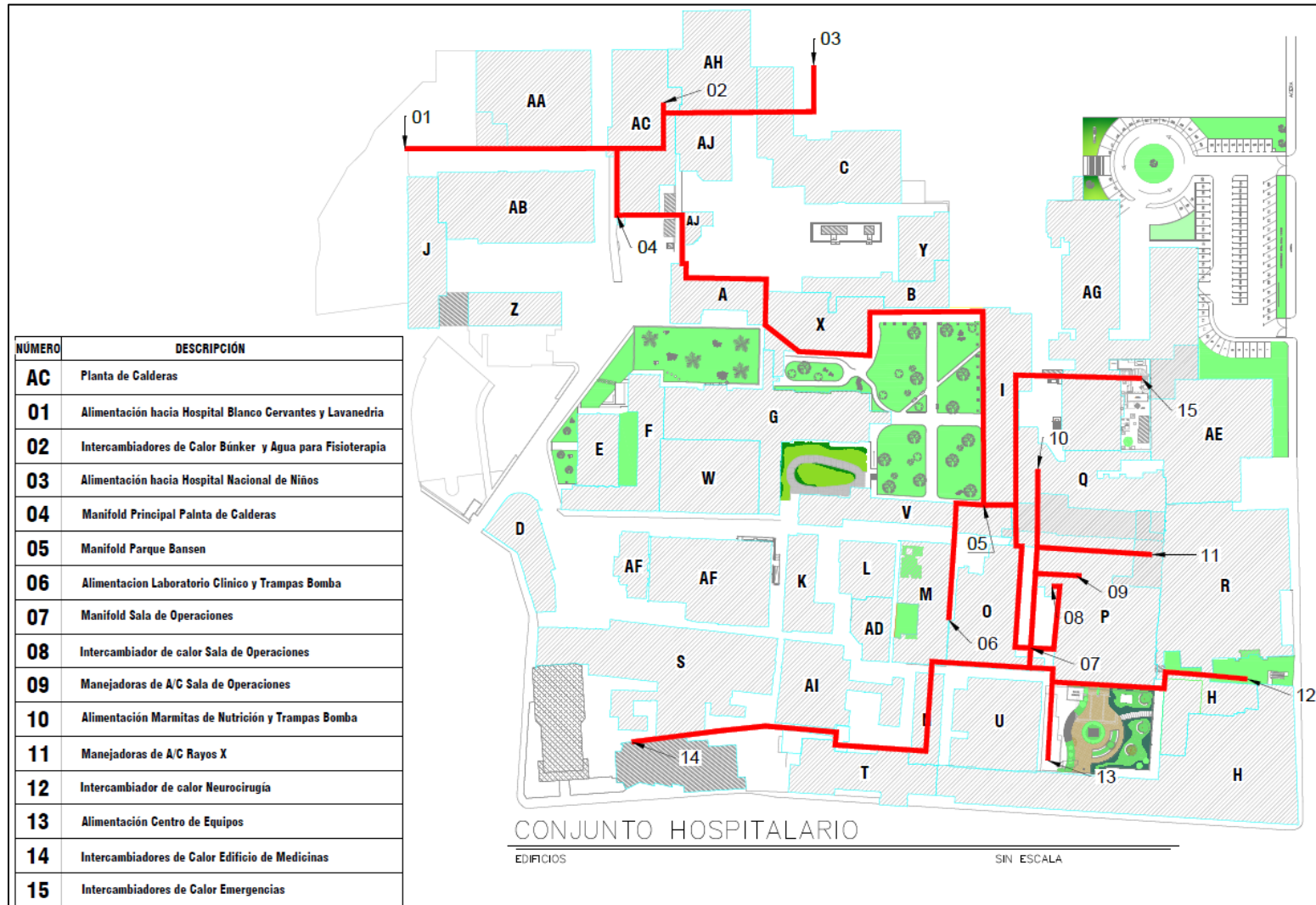
En el Hospital San Juan de Dios, el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento está encargado de velar por todos los recursos necesarios para mantener en buen estado y en una correcta operación este hospital clase A, se encarga de todo el recurso físico, material y presupuestario para que, todo lo que es infraestructura, equipamiento e instalaciones electromecánicas estén en óptimas condiciones.

Este departamento se divide en subdepartamento denominados como talleres, los cuales tienen a cargo un área específica, el taller de calderas es el encargado de velar por el buen funcionamiento del sistema de generación de vapor, dando el mantenimiento a toda la instalación que distribuye vapor a los diferentes equipos o sectores del hospital, el taller de calderas está compuesto por un coordinador de la planta de calderas, un supervisor de la planta y de cinco técnicos en total, los cuales trabajan en turnos rotativos.

Operación del sistema de generación de vapor

La planta de calderas y la red de distribución de vapor fue modificada en un periodo de 6 años hasta que en el 2016 se logró llegar al estado en el que se encuentra actualmente. Para la realización del presente trabajo se hicieron recorridos, logrando realizar inspecciones visuales para determinar el estado de los equipos, las tuberías de trasiego de vapor, comprobando que por tener este pocos años de finalizada se encuentran en buen estado. A continuación, se presenta el detalle de la tubería y los principales componentes del sistema de generación de vapor del HSJD.

Ilustración 11. Distribución de la red de vapor en el HSJD



Nota: Vista en planta de la red de distribución de vapor en el HSJD, y las salidas hacia los distintos equipos. Elaboración propia

Ilustración 12. Edificio AC



Nota: Vista aérea planta de calderas. Elaboración propia.

Ilustración 13. Alimentación hacia blanco Cervantes y lavandería



Nota: Ubicación 01. Alimentación de vapor hacia Hospital Blanco Cervantes (1 tubería, diámetro de 4 pulgadas) y lavandería (4 tuberías, diámetro de 4 pulgadas). Elaboración propia.

Ilustración 14. Intercambiador de calor para búnker



Nota: Ubicación 02. En estos intercambiadores se realiza el precalentado de búnker antes de ser enviado a las calderas para su utilización. Elaboración propia. Elaboración propia.

Ilustración 15. Intercambiador de calor Fisioterapia



Nota: Ubicación 02. Intercambiador de calor para agua caliente del edificio de fisioterapia y sectores cercanos. Elaboración propia.

Ilustración 16. Alimentación Manifold principal planta de caderas



Nota: Ubicación 04. Alimentación de las 4 calderas, de izquierda a derecha, 2 tuberías en diámetros de 6 pulgadas, provenientes de las calderas de 400 BHP y 2 tuberías en diámetro de 4 pulgadas provenientes de las calderas de 300 BHP. Elaboración propia.

Ilustración 17. Manifold principal planta de calderas



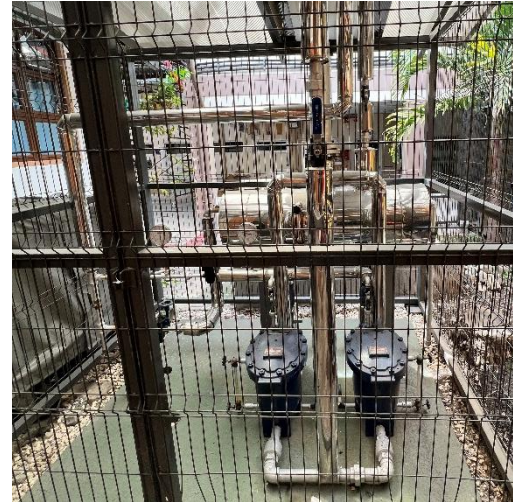
Nota: Ubicación 04. En orden de izquierda a derecha; alimentación hacia HSJD (1 tubería 4 pulgadas de diámetro), Lavandería (4 tuberías 4 pulgadas de diámetro), Blanco Cervantes (1 tubería 4 pulgadas de diámetro), Hospital de Niños (1 tubería 4 pulgadas de diámetro), Planta de calderas (1 tubería 4 pulgadas de diámetro). Elaboración propia.

Ilustración 18. Manifold parque Bansen



Nota: Ubicación 05. De izquierda a derecha; alimentaciones autoclaves de laboratorio clínico, alimentación de vapor al manifold, alimentación intercambiadora de calor emergencias, alimentación equipos de nutrición, alimentación autoclaves cuarto de lavado. Elaboración propia.

Ilustración 19. Trampas Bomba



Nota: Ubicación 06. Trampas bomba en laboratorio clínico.
Elaboración propia

Ilustración 20. Manifold Sala de Operaciones



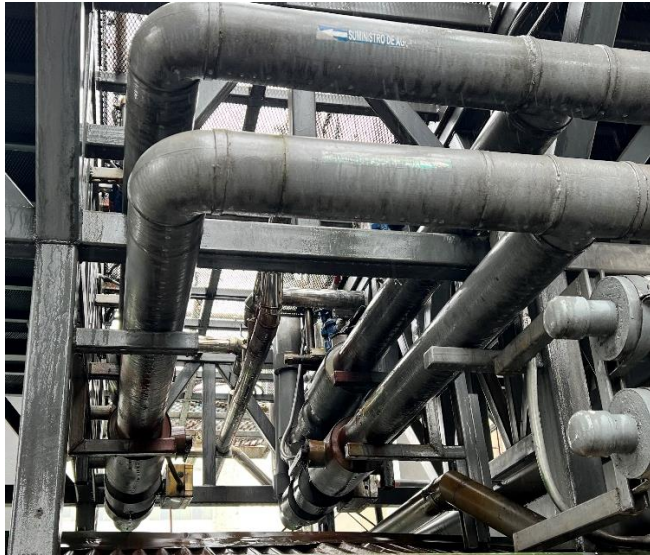
Nota: Ubicación 07. Alimentación de: trampas bomba de nutrición, autoclaves de sala de operaciones, intercambiador de calor de agua caliente sala de operaciones, Centro de quipos y Neurocirugía, manejadoras de aire acondicionado en rayos X. Elaboración propia

Ilustración 21. Intercambiador de calor en sala de operaciones



Nota: Ubicación 08. distribución de agua caliente hacia los servicios: Sala de Operaciones, Nutrición, Rayos X, Centro de Equipos y Neumología. Elaboración propia.

Ilustración 22. Manejadoras de aire acondicionado de Sala de Operaciones



Nota: Ubicación 09. Elaboración propia.

Ilustración 23. Trampas bomba Equipos de nutrición



Nota: Ubicación 10. elaboración propia.

Ilustración 24. Intercambiador de calor y trampas bomba Neurocirugía.



Nota: Ubicación 12. El intercambiador de calor que suministra agua caliente al servicio de Neurocirugía y Ginecología se ubica dentro del cuarto de máquinas. Elaboración Propia.

Ilustración 25. Alimentación autoclaves de centro de equipos



Nota: Ubicación 13. Elaboración propia.

Ilustración 26. Intercambiador de calor y trampas bomba edificio de medicinas



Nota: Ubicación 14. Intercambiador de calor de agua caliente, suministra agua caliente a los servicios de: Medicinas, Unidad Coronaria y Morgue.

Ilustración 27. Intercambiador de calor y trampas bomba de Emergencias.



Nota: Ubicación 15. Intercambiador de calor de agua caliente, suministra agua caliente a los servicios de Emergencia, Radioterapia y Oncologías.

Para la producción de vapor del Hospital San Juan de Dios, la planta de calderas cuenta con 4 calderas de la marca Cleaver Brocks, las cuales se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 14. Calderas Instaladas

Marca	Tipo de Caldera	Modelo	Serie	Potencia (BHP)	Combustible	Categoría	Año de Instalación
Cleaver Brocks	Pirotubular	4WI 700- 400- 150ST	T5789- 1-1	400	Búnker	B	2016
Cleaver Brocks	Pirotubular	4WG 700- 300- 150ST	T5845- 1-1	300	Búnker	B	2016
Cleaver Brocks	Pirotubular	4WI 600- 400- 150ST	T5789- 1-2	400	Búnker	B	2016
Cleaver Brocks	Pirotubular	4WG 700- 300- 150ST	T5789- 2-1	300	Búnker	B	2016

Nota: La tabla presenta las características de las calderas instaladas en la planta de calderas del HSJD. Elaboración propia

Ilustración 28. Calderas



Nota: Ubicación de las cuatro calderas en planta. Elaboración propia.

Las cuatro calderas están clasificadas como calderas Tipo B, este tipo de calderas según indica el MTSS (1998), aquellas calderas que generen más de 2000 kg/hora de vapor y hasta 7500 kg/hora. Estas, alimentan 4 sectores los cuales son; Hospital San Juan de Dios, Hospital, Hospital Nacional de Geriátrica y Gerontología, Hospital Nacional de Niños y la Lavandería Alfonso Zeledón Venegas.

En planta se tiene instalado un total de 1400 BHP de potencia, de estos solo se utilizan 700 BHP a la vez, es decir, se mantienen en funcionamiento simultaneo una caldera de 400 BHP y una de 300 BHP, sin embargo, esta potencia no es utilizada en un 100%, se trabaja con dos calderas a la vez durante 12 horas y al cumplirse las 12 horas entran en funcionamiento las otras dos calderas restantes, en el transcurso de las 12 horas, las dos calderas inactivas se encienden 2 veces durante este periodo de tiempo, para mantener los parámetros de funcionamiento y así mismo también para evitar incrustaciones.

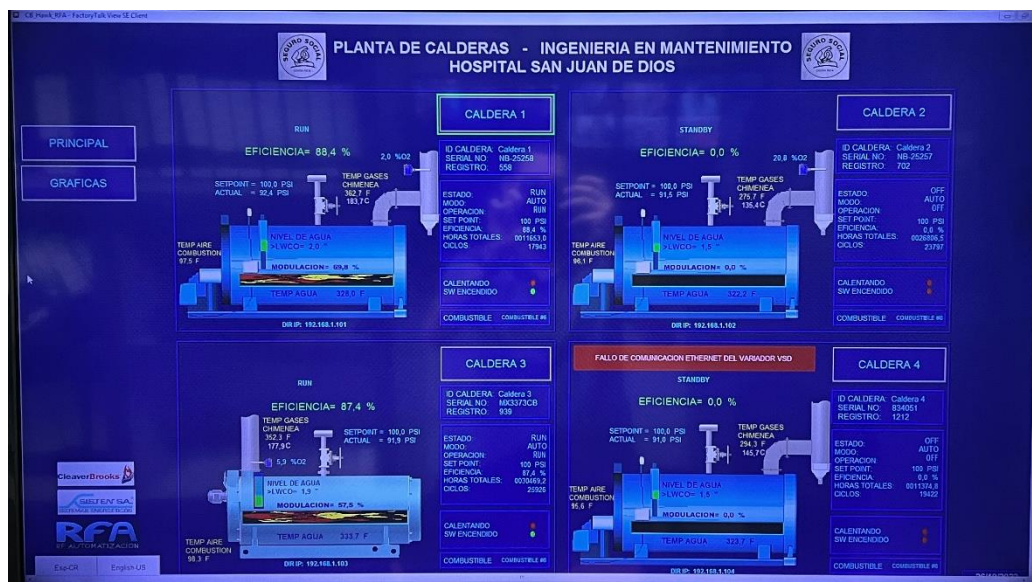
En la planta de calderas se trabajan con turnos rotativos de 8 horas para los técnicos y el supervisor de la planta, mientras que, para el coordinar de la planta mantiene un turno de 9 horas diarias (sábados y domingos libres), durante el turno de 6am a 2pm se encuentra el

técnico, el supervisor y el coordinador de la planta en las instalaciones, y para los turnos de la tarde y noche se mantiene un técnico en el sitio solamente.

Las calderas se controlan mantienen un monitoreo constante mediante el sistema de Adquisición de Datos y Supervisión de Control o SCADA por sus siglas en inglés la cuales significan Supervisory Control And Data Acquisition, esta es una aplicación software de control de producción, que se comunica con los dispositivos de campo y controla el proceso de forma automática desde la pantalla de la computadora, proporciona información del proceso al coordinador de calderas, lo que ayuda a supervisar el control de calidad y mantenimiento de la misma.

Mediante SCADA las mismas registran una eficiencia de trabajo promedio de 85% y una eficiencia de combustión del 84% según el último análisis emisiones de gases, las calderas trabajan a una presión de 100 psi, la caldera mantiene un rango de presiones de trabajo para su modulación, esto quiere decir que al llegar a 110 psi la misma se apaga para mantener la presión de abastecimiento en la tubería en 100 psi y cuando baja a 95 psi la misma vuelve a encender para alcanzar la presión de trabajo normal.

Ilustración 29. Monitoreo de calderas mediante SCADA

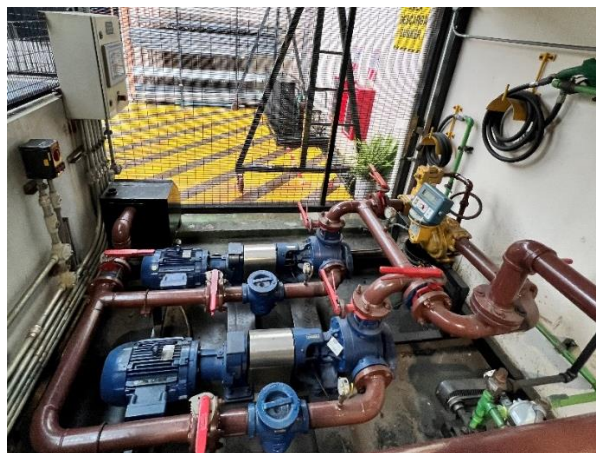


Nota: Sistema de monitoreo de planta de calderas ubicada en oficina del coordinador de calderas, monitoreo de eficiencia, modulación, encendido y apagado de las calderas y presiones de trabajo. Elaboración propia.

Estación de almacenamiento y suministro de búnker

La planta de calderas cuenta con un área de descarga y almacenamiento de búnker tipo C, la estación de almacenamiento se compone de dos tanques para almacenaje de búnker frío los cuales tienen una capacidad de 50.000 litros cada uno, estos se abastecen en promedio de cada seis días, a que esto va a depender de la demanda de vapor que se tenga en la planta.

Ilustración 30. Área de descarga del búnker



Nota: La imagen pertenece al sector donde llega el camión cisterna a descargar el búnker, las dos bombas en la imagen se encargan de impulsarlo hacia los tanques de almacenamiento.

Ilustración 31. Tanques de almacenamiento de búnker frío



Nota: La estación de almacenamiento de búnker frío tiene una capacidad de 100.000 litros.
Elaboración propia.

Además, se tienen dos tanques de almacenamiento de búnker los cuales cuentan con un intercambiador de calor para mantener el búnker caliente a la hora de ser enviado a las calderas, estos tienen una capacidad de almacenamiento de 7.000 litros cada uno.

Ilustración 32. Tanques de almacenamiento de búnker caliente



Nota: Calentadores de búnker se usan para disminuir la viscosidad del combustible antes de ser enviados a las calderas. Elaboración propia.

Una vez el búnker es calentado a una temperatura promedio de 70°C, es impulsado a las calderas mediante un sistema de bombeo, el cual está conformado de 6 bombas que están divididas en dos grupos de tres, cada uno de estos grupos se encarga de alimentar dos calderas, siendo así este sistema de bombeo un sistema redundante en caso de que alguna de estas bombas falle, siempre hay dos más que puedan abastecer de combustible la caldera que lo necesite en el momento.

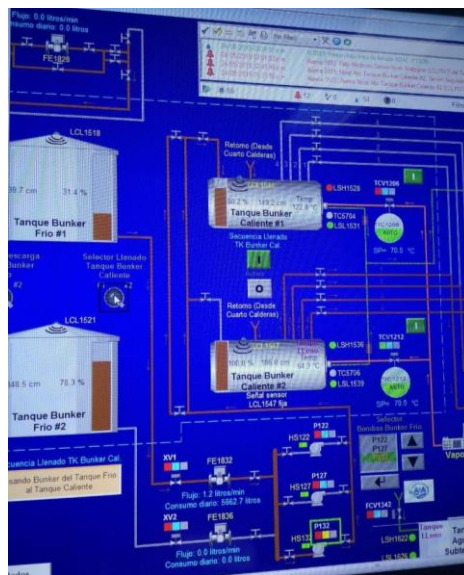
Ilustración 33. Sistema de bombeo de búnker



Nota: Sistema de bombeo encargado de suministrar el búnker con temperatura de 70°C a las calderas. Elaboración propia.

Los cuatros tanques de almacenamiento de búnker, así como las bombas encargadas de suministrar el fluido, se encuentran monitoreadas por el sistema SCADA.

Ilustración 34. Monitoreo tanques de búnker mediante SCADA



Nota: Sistema de monitorio del trasiego de búnker, control de nivel de los tanques y operación de las bombas de búnker. Elaboración propia.

A continuación, se muestra un desglose histórico entre los años 2021 y 2022 del consumo de búnker en litros y el costo de este en colones para la producción de vapor.

Tabla 15. Consumos de Búnker

Mes	Litros	Monto
sep-21	147 516,39	₡ 44 347 852,93
oct-21	147 135,41	₡ 46 699 308,08
nov-21	117 734,95	₡ 41 253 737,88
dic-21	146 794,94	₡ 49 642 572,33
ene-22	117 544,41	₡ 35 311 879,12
feb-22	88 063,81	₡ 31 542 351,52
mar-22	146 603,29	₡ 58 150 195,43
abr-22	87 693,87	₡ 40 750 736,83
may-22	117 240,28	₡ 55 626 112,00
jun-22	87 524,28	₡ 41 804 099,05
jul-22	87 844,24	₡ 41 001 096,10
ago-22	117 148,31	₡ 53 244 716,78
sep-22	88 089,36	₡ 41 443 675,27

Fuente: Elaboración propia.

Almacenamiento y suministro de agua

En la planta de calderas se almacena agua de dos maneras, se cuenta con un tanque subterráneo el cual almacena agua funcionando como un respaldo en caso de falta del suministro de agua potable y alimenta un tanque que se encuentra a nivel de piso, de este es donde luego el agua es impulsada mediante bombas hasta el tanque de condensados, elevando ahí su temperatura a los 55 °C, luego, de igual forma el agua es impulsada hasta el tanque ADAC, aquí en este tanque también recibe el agua proveniente de la fosa de condensados, y con el vapor mediante un intercambiador de calor se hace que la temperatura del agua aumente superando los 100 °C, quedando así el agua a una temperatura elevada para la entrada a la caldera.

Ilustración 37. Tanque de condensados



Nota: En este tanque el agua fría a (20 °C) llega y es almacenada con los condensados que se recolectan de la red de vapor, llegando a alcanzar una temperatura de 54 °C.

Una vez el agua fría y los condensados que retornan en un 95% a la sala de calderas son mezclados, se pasan al tanque ADAC, en el tanque ADAC es donde el agua a 55 °C incrementa la temperatura hasta los 100 °C haciendo el proceso más eficiente, de aquí las bombas se encargan de introducir el fluido en estado líquido en la caldera para reemplazar el volumen de fluido en estado de vapor que ha abandonado la misma.

Para un funcionamiento eficiente, según Barrera (s.f.) este fluido frío debe entrar en la caldera a una temperatura superior a la del ambiente, en las calderas de vapor y agua sobrecalentada, la temperatura ideal del agua de alimentación debe estar comprendida entre 100 y 105 °C y nunca por debajo de 60 °C.

Ilustración 38. Tanque de agua ADAC.



Fuente: Elaboración propia.

Para la elaboración de vapor en la planta de calderas se registran los datos del consumo de agua, los cuales se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 16. Consumo de agua

Mes	Consumo (m ³)	Monto (Por m3)	Monto total
sep-21	1 084,06	₴ 1 700,00	₴ 1 842 894,73
oct-21	1 149,53	₴ 1 635,00	₴ 1 879 485,63
nov-21	1 083,94	₴ 1 635,00	₴ 1 772 245,43
dic-21	999,93	₴ 1 635,00	₴ 1 634 882,41
ene-22	1 000,37	₴ 1 635,00	₴ 1 635 600,35
feb-22	914,32	₴ 1 635,00	₴ 1 494 919,92
mar-22	1 051,47	₴ 1 635,00	₴ 1 719 148,31
abr-22	779,49	₴ 1 635,00	₴ 1 274 466,93
may-22	752,14	₴ 1 635,00	₴ 1 229 749,99
jun-22	691,34	₴ 1 635,00	₴ 1 130 332,93
jul-22	657,75	₴ 1 635,00	₴ 1 075 416,19
ago-22	613,62	₴ 1 635,00	₴ 1 003 268,73
sep-22	620,71	₴ 1 635,00	₴ 1 014 867,28
Total	11 398,66	₴ 21 320,00	₴18 707 278,84

Nota: Se según los datos registrados se logra evidenciar un aumento del consumo de agua donde la pandemia de COVID-19 estuvo en su peor momento, a partir de abril de 2022 se

empieza a dar una reducción del consumo y se logra ver una estabilidad de este. Datos de los costos tomados de ARESEP, dentro de los costos por metro cubico se incluyen los costos de: acueducto, alcantarillado, recurso hídrico e hidrantes. Elaboración propia. (anexo de recibo)

En el HSJD el agua utilizada para la generación de vapor es agua potable, la cual es suministrada por Acueductos y Alcantarillados (AyA), esto hace que se incrementen los costos debido al tratamiento químico que se le debe realizar al agua para generar el vapor, estos costos se detallan más adelante en la Tabla 20.

Esta institución por ser pública no se le aplica el impuesto del valor agregado (IVA), y se le factura bajo una tarifa preferencial por metro cubico para un consumo por bloque mayor a 120 m3, emitidos por la ARESEP. Se dio un aumento en octubre del 2021 que se mantiene a la fecha. En la facturación de consumo de agua se detallan rubros como Consumo de agua (Acueducto), Consumo alcantarillado, Protección del Recurso Hídrico e Hidrantes, los cuales son cobrados según los m3 consumidos mensualmente, y se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 17. Detalle del costo del agua

Mes	Costo Acueducto (por m ³)	Costo Alcantarillado (por m ³)	Costo Protección Recurso Hídrico (por m ³)	Hidrantes (por m ³)
sep-21	Ø840	Ø850	Ø5	Ø26
oct-21	Ø902	Ø850	Ø5	Ø26
nov-21	Ø902	Ø850	Ø5	Ø26
dic-21	Ø902	Ø850	Ø5	Ø26
ene-22	Ø902	Ø850	Ø5	Ø26
feb-22	Ø902	Ø850	Ø5	Ø26
mar-22	Ø902	Ø850	Ø5	Ø26
abr-22	Ø902	Ø850	Ø5	Ø26
may-22	Ø902	Ø850	Ø5	Ø26
jun-22	Ø902	Ø850	Ø5	Ø26
jul-22	Ø902	Ø850	Ø5	Ø26
ago-22	Ø902	Ø850	Ø5	Ø26
sep-22	Ø902	Ø850	Ø5	Ø26

Fuente: Elaboración propia.

Consumo eléctrico

El consumo eléctrico para la producción de vapor representa un costo importante dentro de la planta. El hospital San Juan de Dios es abastecido por la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), y para el área de calderas se cuenta con medidor llamado Calderas, número 818383, el consumo total de energía y potencia reportado por este medidor y los montos facturados para área de calderas que representan los costos eléctricos para la producción de vapor se presenta en la siguiente tabla

Tabla 18. Datos del consumo eléctrico

Mes	Energía (Kw/h)	Demanda (Kw/h)	Monto Energía	Monto Demanda	Monto Total Mensual
sep-21	166 800,00	344,40	¢11 042 160,00	¢3 799 990,00	¢15 004 675,00
oct-21	7 849,00	28,96	¢519 245,00	¢319 250,00	¢882 565,00
nov-21	7 964,00	27,83	¢528 150,00	¢307 575,00	¢883 845,00
dic-21	8 126,00	28,89	¢541 515,00	¢320 925,00	¢916 740,00
ene-22	8 548,00	28,89	¢559 480,00	¢315 110,00	¢926 820,00
feb-22	162 600,00	353,40	¢10 290 955,00	¢3 727 760,00	¢14 177 655,00
mar-22	8 558,00	28,65	¢541 635,00	¢302 155,00	¢889 475,00
abr-22	8 440,00	27,85	¢529 405,00	¢291 105,00	¢864 750,00
may-22	8 545,00	28,09	¢520 135,00	¢284 985,00	¢849 320,00
jun-22	164 400,00	342,60	¢10 007 030,00	¢3 475 710,00	¢13 638 105,00
jul-22	8 572,00	29,07	¢545 105,00	¢308 120,00	¢900 010,00
ago-22	4 646,00	19,25	¢348 125,00	¢240 460,00	¢617 705,00
sep-22	6 052,00	17,45	¢453 475,00	¢217 895,00	¢706 700,00
Total					¢51 258 365,00

Nota: El tipo de tarifa que brinda CNFL al HSJD es Media Tensión (T-MT).

Elaboración propia.

Los datos en la Tabla 17 muestran los registros estadísticos del costo total eléctrico para el área de la planta de calderas, así como los costos de demanda y energía. Se logra evidenciar que existen picos reportado en los meses de setiembre de 2021, febrero de 2022 y junio de 2022, lo que hace que del periodo mostrado se afecta tanto los valores de demanda como de energía y se aumentan los montos promedios que se facturan mensualmente.

Las alzas se logran evidencias únicamente en el consumo eléctrico, no siendo de la misma manera en los consumos de agua y búnker, los cuales, si permanecen estables durante el periodo analizado, al realizar la consulta en el departamento de ingeniería y mantenimiento

del HSJD y la jefatura indica que no se tiene conocimiento a que obedecieron los picos del consumo en los meses indicados.

Generación de Vapor

En la planta de calderas actualmente los medidores de flujo de caudal se encuentran fuera de servicio, por lo que para realizar la estimación del consumo de vapor se partirá de la eficiencia promedio de las calderas monitoreadas por el sistema SCADA, la cual es de 85%, y con esta también se utilizara el consumo de combustible mensual registrado, para esto se utilizara la siguiente ecuación:

$$n = \frac{\dot{Q}_{salida}}{\dot{Q}_{entrada}} = \frac{\dot{Q}_{generado}}{\dot{Q}_{combustible}} = \frac{\dot{m}_{vapor} \cdot (h_g - h_f)}{\dot{m}_{comb} \cdot P_C}$$

Ecuación 7. Eficiencia térmica teórica

Donde:

- n : eficiencia térmica teórica.
- \dot{m}_{vapor} : producción de vapor (kg/h).
- h_g : entalpía de vapor saturado seco (kJ/kg).
- h_f : entalpía de agua líquida saturada (kJ/kg).
- \dot{m}_{comb} : consumo de combustible (kg/h).
- P_C : poder calorífico del búnker (kJ/kg).

Se despeja la ecuación para determinar la producción de vapor a partir de las otras variables, tomando en cuenta el poder calorífico mínimo y asumiendo una eficiencia teórica del 85%.

En condiciones ideales, las entalpías de vapor saturado seco y de agua líquida saturada se pueden obtener ingresando a las tablas de vapor por temperatura, con un valor de 100 °C.

Los valores de entalpía se pueden variar si se considera una temperatura diferente de alimentación de agua menor a 100 °C, y si se considera una presión de operación de vapor más alta (100 – 150 psi), modificando la producción de vapor estimada.

Tabla 19. Datos de producción de vapor

Mes	Producción Vapor (kg/h)	Producción Vapor (kg/mes)
sep-21	3 069,24	92 077,20
oct-21	2 962,56	91 839,36
nov-21	2 449,61	73 488,30
dic-21	2 955,71	91 627,01
ene-22	2 366,75	73 369,25
feb-22	1 963,14	54 967,92
mar-22	2 951,85	91 507,35
abr-22	1 824,57	54 737,10
may-22	2 360,63	73 179,53
jun-22	1 821,57	54 647,10
jul-22	1 768,74	54 830,94
ago-22	2 358,78	73 122,18
sep-22	1 832,80	54 984,00

Fuente: Elaboración propia.

Costos de mantenimiento

Para realizar el cálculo de los costos del mantenimiento que se realizan a las calderas se deben considerar varios aspectos como los análisis de emisiones de gases, los tratamientos químicos del agua, inspección para el trámite de la certificación técnica y renovación de permisos anuales y la mano de obra, todos estos se detallan a continuación:

Tabla 20. Costo de análisis de emisiones de contaminantes atmosféricos

Cantidad	Costo Unitario	Costo Mensual	Costo Anual
8	¢220 000,00	¢146 666,67	¢1 760 000,00

Fuente: elaboración propia.

Los análisis sobre emisiones de contaminantes atmosféricos provenientes de las calderas se realizan de manera semestral, es decir se realizan dos análisis de emisiones para cada caldera durante el año, siendo en total ocho visitas al año para un costo total de ¢ 1 760 000,00.

Las emisiones de contaminantes atmosféricos provenientes desde fuentes fijas, como son las calderas, están reguladas por el Reglamento sobre Emisión de Contaminantes Atmosféricos provenientes de Calderas (DE-30222-S-MINAE). La normativa presente en

este reglamento es aplicable a calderas que pueden utilizar combustibles fósiles o biomásicos (La Gaceta, 2002) e incluye tres contaminantes primarios atmosféricos: el dióxido de azufre (SO₂), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y las partículas totales en suspensión (PTS) (Valdés, 2013).

Las emisiones por el funcionamiento de las calderas pueden afectar de manera significativa la calidad del aire y la salud de las personas en general. Actualmente la cuantificación de las emisiones provenientes de este tipo de fuentes se realiza por parte del Ministerio de Salud, y a través de las mediciones in situ que varios laboratorios nacionales prestan como servicio a la industria nacional.

Con esto se tiene la intención de evaluar el impacto sobre el aire que tiene las emisiones provenientes de fuentes fijas, como lo son las calderas, lo que permite a las autoridades encargadas, con base en los indicadores obtenidos, retroalimentarse en el cumplimiento de la legislación vigente.

El tratamiento químico que se le realiza al agua de la caldera es para la suavización de esta, el agua de alimentación a la caldera debe ser tratada para evitar las incrustaciones que pueden reducir la eficiencia del sistema y dañarlo, por lo que para generar vapor se aplican tratamientos químicos al agua y al búnker.

Tabla 21. Costos de tratamiento químico del agua y de combustión

Cantidad	Costo Unitario	Costo Mensual	Costo Anual
12	¢1 529 008,26	¢1 529 008,26	¢18 348 099,12

Fuente: elaboración propia.

Los costos indicados en la tabla 20 comprenden productos químicos para el búnker, químicos para el agua como suavizantes, también, incluyen reactivos para realizar los análisis diarios del agua en las calderas, el sistema tiene equipos para el tratamiento del agua como:

- Filtros para retención de partículas sólidas en suspensión.
- Deaeración por medio de un sistema de la marca Cleaver Brooks para reducir los gases incondensables disueltos en el agua como lo son el O₂ y CO₂.

- Suavización por medio de 2 tanques verticales que internamente contienen resina de intercambio iónico, para atrapar los iones de calcio y magnesio provenientes del agua de acueductos.

Con esto se logra disminuir las sales en el agua, lo que reduce los químicos antiincrustantes que se le aplica a las calderas como tal. Los tratamientos químicos se utilizan como medio interno anticorrosivo para el tratamiento del agua para las calderas y circuito de alimentación y otra parte para las tuberías de retorno de condensados.

Los antiincrustantes se dividen en dos productos: los fosfatos que reaccionan con el calcio y magnesio que no retuvo el suavizador, y un polímero que reacciona con los sólidos, los dispersa para que no se aglomeran y se mantienen disueltos en el agua de la caldera. Estos productos se aplican constantemente por medio de una bomba dosificadora de acuerdo a los requerimientos del hospital.

Para la habilitación de los permisos de funcionamiento de las calderas se desarrolla una inspección anual por parte de la empresa CIRE, según está estipulado en el capítulo sexto de inspecciones y capítulo séptimo de las pruebas realizadas del Reglamentos de Calderas No 26789-MTSS (2001).

Esto se da debido a que el incumplimiento de la inspección anual es un motivo para la suspensión del permiso de funcionamiento otorgado por el Ministerio de Salud, las inspecciones constan de una inspección ocular de las partes externas, de una inspección ocular de las partes internas, domos y hornos, de una prueba hidrostática y de una prueba de vapor y de los sistemas de seguridad, según se especifica en el Reglamento de Calderas.

Todo esto tiene como principal propósito salvaguardar la seguridad del personal o usuarios del sistema, así como la protección contra pérdidas o daños de las calderas a causa de corrosión, incrustaciones, etc., protección contra condiciones inseguras de operación causadas por cambios en los controles o tuberías o falta de prueba de los accesorios de seguridad.

Los costos se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 22. Costos tramite de inspección anual y renovación de permisos

Cantidad	Costo Unitario	Costo Mensual	Costo Anual
4	¢279 000,00	¢93 000,00	¢1 116 000,00

Nota: Las inspecciones se realizan de manera anual para cada una de las calderas.

Elaboración propia.

Por último, se deben contemplar los costos de mano de obra, los cuales son los salarios de los técnicos, supervisor y coordinador de la planta de calderas, estos se contemplan debido a que este personal se encarga únicamente de tareas exclusivas para la planta de calderas, los mismo se detallan a continuación:

Tabla 23. Costos por mano de obra

Empleado	Costo por Hora	Horas diarias laboradas	Salario Mensual	Costo Anual
Técnico Mañana	¢1 853,77	8	¢467 150,00	¢5 605 800,00
Técnico Tarde	¢2 317,21	8	¢583 937,50	¢7 007 250,00
Técnico Noche	¢3 475,82	8	¢875 906,25	¢10 510 875,00
Supervisor	¢2 036,31	8	¢513 150,00	¢6 157 800,00
Coordinador	¢2 113,69	8	¢532 650,00	¢6 391 800,00
Total			¢2 972 793,75	¢35 673 525,00

Nota: Se realiza estimación de costos por mano de obra según salarios reportados en el índice salarial de la CCSS, Decreto Ejecutivo N° 41972-MTSS-MIDEPLAN-H (2019).

Elaboración Propia.

Para la obtención del rubro de mano de obra para el monto de los salarios se toma el salario base para cada empleado, no se contemplan aumentos ya que en este momento los aumentos a los salarios de los trabajadores de la institución se encuentran congelados por parte del gobierno.

De la tabla 7, tabla 8, tabla 9 y tabla 10, se obtiene el montón total por mantenimiento, el cual se detalla en la siguiente tabla de resumen:

Tabla 24. Costos totales por mantenimiento

Mantenimiento	Costo Mensual	Costo Anual
Emisiones de contaminantes atmosféricos	₡146 666,67	₡1 760 000,00
Tratamiento químico del agua y de combustión	₡1 529 008,26	₡18 348 099,12
Inspección anual y renovación de permisos	₡93 000,00	₡1 116 000,00
Costos por mano de obra	₡2 972 793,75	₡35 673 525,00
Total	₡4 741 468,68	₡56 897 624,12

Nota: Elaboración propia.

De la tabla 15, se tienen los costos fijos de planilla de la institución los cuales asumen un monto de ₡35 673 525,00 anuales, a estos también, se le deben agregar los costos por contratos de mantenimientos brindados por terceros los cuales se encargan de las emisiones de contaminantes atmosféricos por un monto de ₡1 760 000,00 anuales, los insumos para tratamientos químicos por ₡18 348 099,12 anuales y las inspecciones anuales para los permisos de habilitación por ₡1 116 000,00 anuales, teniendo un total de ₡56 897 624,12 anuales y un total de ₡4 741 468,68 mensuales por costos de mantenimiento, sin embargo a estos se deben sumar los costos por combustibles.

Costo total de la producción de vapor

En la siguiente tabla se resumen los costos para la producción de vapor en la planta de calderas del HSJD, detallando el costo total diario de cada mes en análisis y el costo total mensual.

Tabla 25. Costos totales de producción de vapor

Mes	Agua (₡)	Búnker (₡)	Electricidad (₡)	Mantenimiento (₡)	Costo Total Mensual (₡)
sep-21	1 842 894,73	44 347 852,93	15 004 675,00	4 741 468,68	65 936 891,33
oct-21	1 879 485,63	46 699 308,08	882 565,00	4 741 468,68	54 202 827,39
nov-21	1 772 245,43	41 253 737,88	883 845,00	4 741 468,68	48 651 296,99
dic-21	1 634 882,41	49 642 572,33	916 740,00	4 741 468,68	56 935 663,41
ene-22	1 635 600,35	35 311 879,12	926 820,00	4 741 468,68	42 615 768,15
feb-22	1 494 919,92	31 542 351,52	14 177 655,00	4 741 468,68	51 956 395,12
mar-22	1 719 148,31	58 150 195,43	889 475,00	4 741 468,68	65 500 287,42
abr-22	1 274 466,93	40 750 736,83	864 750,00	4 741 468,68	47 631 422,44
may-22	1 229 749,99	55 626 112,00	849 320,00	4 741 468,68	62 446 650,67
jun-22	1 130 332,93	41 804 099,05	13 638 105,00	4 741 468,68	61 314 005,66
jul-22	1 075 416,19	41 001 096,10	900 010,00	4 741 468,68	47 717 990,97
ago-22	1 003 268,73	53 244 716,78	617 705,00	4 741 468,68	59 607 159,19
sep-22	1 014 867,28	41 443 675,27	706 700,00	4 741 468,68	47 906 711,23
Total					712 423 069,95

Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados obtenidos de la tabla 16, se encuentra que, del total de los costos de producción de vapor, el monto más elevado corresponde a los costos por búnker, abarcando un 81,53% del total de costos del periodo analizado, siguiendo después de este los costos por mantenimiento con un 8,65%, costos por electricidad con un 7,19% y por último el costo por agua potable el cual representa un 2,63% del costo total.

Con los datos obtenidos de las tablas 10 y la tabla 16 se logra obtener el costo operativo del sistema de vapor para el HSJD por kg de vapor generado, los datos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 26. Costo operativo del sistema de vapor para el HSJD

Mes	Producción de Vapor (kg/mes)	Costo Total Mensual (¢/mes)	Costo Global del Sistema de Vapor (¢/kg)
sep-21	92 077,20	65 936 891,33	716,10
oct-21	91 839,36	54 202 827,39	590,19
nov-21	73 488,30	48 651 296,99	662,03
dic-21	91 627,01	56 935 663,41	621,39
ene-22	73 369,25	42 615 768,15	580,84
feb-22	54 967,92	51 956 395,12	945,21
mar-22	91 507,35	65 500 287,42	715,79
abr-22	54 737,10	47 631 422,44	870,19
may-22	73 179,53	62 446 650,67	853,33
jun-22	54 647,10	61 314 005,66	122,00
jul-22	54 830,94	47 717 990,97	870,27
ago-22	73 122,18	59 607 159,19	815,17
sep-22	54 984,00	47 906 711,23	871,28
Promedio mensual (¢/kg)			787,22

Fuente: Elaboración propia.

Una vez analizando los datos de producción de vapor y costos totales de producción de vapor, se encuentra que, para mantener el sistema de generación de vapor para el HSJD, el costo promedio de 787,22 ¢/kg de vapor generado, esto debido a todos gastos por salarios internos y gastos por contratos de mantenimiento para poder cumplir con la normativa requerida en el país.

Para obtener los costos totales por toneladas de combustible, se deben convertir los consumos de búnker de litros a metros cúbicos, y obteniendo el dato de la masa de combustible con ayuda de la densidad mínima del búnker, dada por RECOPE tomada de la Tabla 1 la cual es de 964,5 kg/m³, se muestran los datos obtenidos del costo en colones por tonelada de búnker (¢/ton).

Tabla 27. Costos totales por tonelada de búnker

Mes	Búnker (€)	Búnker (L)	Búnker (m ³)	Búnker (Ton)	Búnker (€/Ton)
sep-21	44 347 852,93	147 516,39	147,52	142,28	311 695,18
oct-21	46 699 308,08	147 135,41	147,14	141,91	329 072,06
nov-21	41 253 737,88	117 734,95	117,73	113,56	363 291,88
dic-21	49 642 572,33	146 794,94	146,79	141,58	350 623,44
ene-22	35 311 879,12	117 544,41	117,54	113,37	311 470,29
feb-22	31 542 351,52	88 063,81	88,06	84,94	371 359,36
mar-22	58 150 195,43	146 603,29	146,60	141,40	411 249,35
abr-22	40 750 736,83	87 693,87	87,69	84,58	481 796,88
may-22	55 626 112,00	117 240,28	117,24	113,08	491 925,82
jun-22	41 804 099,05	87 524,28	87,52	84,42	495 208,52
jul-22	41 001 096,10	87 844,24	87,84	84,73	483 927,12
ago-22	53 244 716,78	117 148,31	117,15	112,99	471 235,80
sep-22	41 443 675,27	88 089,36	88,09	84,96	487 789,62
Total	580 818 333,32	1 496 933,54	1 496,93	1 443,79	5 360 645,30

Fuente: Elaboración propia.

Para realizar el cálculo de costo por la energía del combustible según TLV Compañía Especialista en Vapor (2022), y utilizando las características del búnker según la Tabla 1 se recurre a la siguiente formula:

$$C_e = \frac{C_f}{H_f * \eta}$$

Ecuación 8. Costo Unitario de la Energía.

Donde:

- H_f: Poder calorífico del Combustible (Valor Bajo) (MJ/kg)
- C_f: Costo Unitario de Combustible (€/ton)
- η: Eficiencia de la Caldera (%)
- C_e: Costo Unitario de Energía (€/MJ)

Tabla 28. Costo Unitario de la Energía

Mes	Búnker (€/Ton)	Poder Calórico (MJ/kg)	Costo Unitario de Energía (€/MJ)
sep-21	311 695,18	42,46	8,64
oct-21	329 072,06	42,46	9,12
nov-21	363 291,88	42,46	10,07
dic-21	350 623,44	42,46	9,71
ene-22	311 470,29	42,46	8,63
feb-22	371 359,36	42,46	10,29
mar-22	411 249,35	42,46	11,39
abr-22	481 796,88	42,46	13,35
may-22	491 925,82	42,46	13,63
jun-22	495 208,52	42,46	13,72
jul-22	483 927,12	42,46	13,41
ago-22	471 235,80	42,46	13,06
sep-22	487 789,62	42,46	13,52

Fuente: Elaboración propia. Nota: para este cálculo se utiliza el poder calórico inferior.

De esta manera se consigue un costo mensual para la energía, con este dato se puede averiguar el costo que representa cada kilogramo de vapor para el HSJD, según TLV Compañía Especialista en Vapor (2022), se recurre a la siguiente fórmula para este cálculo:

$$C_s = C_e(h_g - h_f)$$

Ecuación 9. Costo Unitario del Vapor

Donde:

- C_e : Costo Unitario de Energía (€/MJ)
- C_s : Costo Unitario del Vapor (€/ton)
- h_g : Entalpía específica del vapor a la presión de caldera (kJ/kg)
- h_f : Entalpía específica del agua de alimentación (kJ/kg)

Tabla 29. Entalpía del agua de alimentación

Tabla Entalpía del agua de alimentación		
Temperatura (°C)	hf (kJ/kg)	hg (kJ/kg)
100	419,10	2675,57

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30. Vapor Saturado por Presión

Tabla de Vapor Saturado por Presión		
Presión (psig)	hf (kJ/kg)	hg (kJ/kg)
100	718,93	2767,83

Fuente: Elaboración propia.

Utilizando las características del búnker según la Tabla 1, y las entalpias de las tablas 28 y 29, se obtiene un costo unitario para el vapor según la siguiente tabla:

Tabla 31. Costo unitario del vapor

Mes	Costo unitario de energía (¢/MJ)	Entalpía específica del vapor a la presión de caldera (kJ/kg)	Entalpía específica del agua de alimentación (kJ/kg)	Costo Unitario del Vapor (¢/Kg)
sep-21	8,64	2767,83	419,10	20,28
oct-21	9,12	2767,83	419,10	21,42
nov-21	10,07	2767,83	419,10	23,64
dic-21	9,71	2767,83	419,10	22,82
ene-22	8,63	2767,83	419,10	20,27
feb-22	10,29	2767,83	419,10	24,17
mar-22	11,39	2767,83	419,10	26,76
abr-22	13,35	2767,83	419,10	31,35
may-22	13,63	2767,83	419,10	32,01
jun-22	13,72	2767,83	419,10	32,23
jul-22	13,41	2767,83	419,10	31,49
ago-22	13,06	2767,83	419,10	30,67
sep-22	13,52	2767,83	419,10	31,74
Promedio				26,84

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anterior se logra demostrar los datos de los costos mensuales de producción de vapor, dados en ¢/kg. Se logra comprobar como a medida que se avanza el año 2022 el calor del costo unitario va incrementando, lo que obedece al alza de los precios en los combustibles por toda la situación que se vive a nivel mundial hoy en día.

Oportunidades de conservación de energía

Para verificar el estado actual del sistema de generación de vapor se realizó una inspección visual a lo largo de toda la red que abastece el HSJD, dado que el sistema fue remodelado en el año 2016, los equipos en su mayoría son relativamente nuevos y por ende se encuentran en un buen estado y funcionamiento óptimo.

A lo largo de la red de distribución la cual tiene una extensión de 900m se logró comprobar que todas las tuberías cuentan con su respectivo material aislante en fibra de vidrio con un espesor de 1 pulgada, las tuberías instaladas varían entre las 4 pulgadas y 2 pulgadas de diámetro, en material de hierro negro cedula 40.

Ilustración 39. Tuberías de vapor y agua caliente con material aislante



Fuente: Elaboración propia.

Del total de la tubería, existe únicamente un tramo de 15m de longitud sin material aislante el cual fue realizado por mano de obra local, sin embargo, no se cuenta con material para aislar la tubería, este trayecto representa un 1,66% del total de la red de vapor, por lo que se considera como despreciable a para los alcances de este proyecto.

Ilustración 40. Tramo de tubería sin material aislante



Fuente: Elaboración propia.

Para sistema de vapor existe una correcta red de trampeo, según datos del departamento de caldera se logra retornar un 95% de total de condensador de la red de vapor, lo cual es porcentaje elevado, únicamente se desechan los condensados de las autoclaves, ya que por el proceso de desinfección que realizan estas, estos condensados se encuentran contaminados para volver a utilizarlos. También, se cuentan con distintas estaciones de trampas bombas las que realizan el envío de los condensados hasta la planta de calderas.

Ilustración 41. Trampas bomba sector de medicinas



Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un levantamiento de las trampas de vapor de la red del HSJD, el cual se muestra en la tabla 23, según las inspecciones visuales que se realizaron el sistema de retorno de condensados cuenta con más de 50 trampas de vapor, de las que destacan de tipo de balde invertido de la marca Armstrong, a continuación, se detallan las trampas localizadas en la red tuberías.

Tabla 32. Trampas bomba del sistema de generación de vapor

Numero	Ubicación	Modelo	Marca	Tipo	Presión de entrada (PSI)
1	Oncología	PT-206	Armstrong	Pump Tramp	40
2					40
3		811		Balde Invertido	40
4		FT43V	Spirax Sarco	Flotador	
5					40
6	Nutrición	811	Armstrong	Balde Invertido	40
7					40
8		849	Spirax Sarco		-
9		849	Spirax Sarco		-
10					40
11					40
12					40
13					40
14					40
15					40
16			40		
17	Estación de Búnker	849	Spirax Sarco	Balde Invertido	40
18					40
19		811	Armstrong		40
20	Rehabilitación	FT43V	Spirax Sarco	Flotador	40
21					40
22	Calderas	849	Spirax Sarco	Balde Invertido	
23					40
24					40
25					40
26	Laboratorio Clínico	811	Armstrong	Balde Invertido	40
27		PT-206		Pump Tramp	40
28				40	
29	Neurología	811	Armstrong	Balde Invertido	40
30				40	
31		FT43V	Spirax Sarco	Flotador	40
32					40
33		PT-206	Armstrong	Pump Tramp	40
34					40
35	Medicinas	811	Armstrong	Balde Invertido	40
36		PT-206			40

37				Pump Tramp	40
38					40
39		FT43V	Spirax Sarco	Flotador	40
40					
41					40
42	Centro de Equipos	811	Armstrong	Balde Invertido	40
43					40
44					40
45					40
46					40
47	Sectores Varios	811	Armstrong	Balde Invertido	40
48					40
49					40
50					40
51					40
52					40

Nota: Datos brindados por el departamento de calderas del HSJD.

Realizando la inspección de las trampas de vapor indicadas en la lista, se logró comprobar el correcto funcionamiento de la mayoría de las trampas de vapor, se realizó la verificación del manómetro para comprobar la presión de funcionamiento, y también, dentro de las que fue posible se realizó la apertura para comprobar el flujo de vapor.

Sin embargo, en la inspección se encontraron cuatro las cuales no se encuentran en buen estado, estas se detallan a continuación.

Tabla 33. Trampas de condensados en mal estado

Numero	Ubicación	Modelo	Marca	Tipo	Falla
8	Nutrición	849	Spirax Sarco	Balde Invertido	Trampa Caliente y sin descarga
9	Nutrición	849	Spirax Sarco	Balde Invertido	Presenta Fugas
22	Calderas	849	Spirax Sarco	Balde Invertido	Trampa Caliente y sin descarga
40	Centro de equipos	811	Armstrong	Balde Invertido	Trampa Fría y sin descarga

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se indican las trampas de vapor que se encontraron defectuosas, y las características, a estas estar fuera de servicio no eliminan el aire que se puede encontrar en las tuberías, lo que ocasiona que pueden ocurrir bloqueos en el flujo de las tuberías, estos

condensados dentro de las tuberías generan golpes de ariete, por esto se recomienda realizar el reemplazo de estas.

Debido al mal funcionamiento de estas se están ocasionando perdidas de condensados, esto se traduce en dinero a la hora de producir el vapor, ya que estos condensados a la hora de retornar a la caldera requieren de menos energía para volver a convertirse en vapor.

Basado en los resultados hallados se va a cuantificar las pérdidas de vapor que genera cada una de las trampas dadas, para realizar el cálculo de pérdidas se procede a utilizar la siguiente fórmula:

$$P_v = \frac{A * P}{70} * \frac{3600 \left(\frac{S}{h}\right)}{2.205 \left(\frac{lb}{kg}\right)}$$

Ecuación 10. Fórmula de Napier (Armstrong, 1998)

Donde:

- P_v = Pérdidas de vapor (kg/h)
- A_o = Área del orificio (in²)
- P = Presión de trabajo (psia)

Tabla 34. Costo económico de las pérdidas de vapor por trampas en mal estado

Número de Trampa	Presión de trabajo (psi)	Diámetro	Pérdida de Vapor (kg/h)	Costo Económico (¢/h)	Costo Económico (¢/mes)
8	40	2	29,31	786,66	566 396,73
9	40	3/4	4,12	110,62	79 649,54
22	40	3/4	4,12	110,62	79 649,54
40	40	3/4	4,12	110,62	79 649,54
Total			41,67	1 118,54	805 345,35

Fuente: Elaboración propia.

Para la consideración del costo económico por perdidas de vapor por cada trampa dañada se va a utilizar únicamente el dato promediado de la tabla 30, que está basado en el costo de la generación de vapor, siendo este un promedio para el costo de vapor de 26,84 ¢/Kg, valor utilizado para realizar el cálculo de costo económico que representa el tener las 4 trampas de vapor en mal estado dentro del sistema, dando este un costo total de 1 118,54 ¢/h.

Estudio ambiental para obtener el equivalente de toneladas de dióxido de carbono (CO₂)

En este apartado se realizará el análisis ambiental en respuesta a las oportunidades de conservación de energía que se detectaron en el sistema de generación de vapor, la producción de energía a un nivel bajo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se basa en una buena gestión del uso de las fuentes, disminuir los aumentos en el consumo de combustibles fósiles optimizando los procesos, realizando una buena gestión de mantenimiento.

La huella de carbono es un certificado en el que miden las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) que se realizan en la cadena de producción de bienes, desde la obtención de materias primas hasta el tratamiento de desperdicios, pasando por la manufacturación y el transporte. Por lo que la huella de CO₂ es la medida del impacto que provocan las actividades del ser humano en el medio ambiente y se determina según la cantidad de gases GEI producidos, medidos en unidades de dióxido de carbono.

Con la huella de CO₂, se pretende que las empresas puedan reducir los niveles de contaminación mediante un cálculo estandarizado de las emisiones que tienen lugar durante los procesos productivos.

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

Con las oportunidades de conservación de energía detectadas en el sistema de generación de vapor en la gestión de las trampas de vapor, de la tabla 33 se encuentran un gasto de 41,67 kg/h de vapor.

Para proceder a realizar el cálculo de los litros de búnker destinados a la producción de vapor que está siendo desperdiciado por trampas de vapor en mal estado se utiliza la siguiente fórmula.

$$\eta = \frac{Prod.Vapor (kg/h) \times (Entalpía vapor - Entalpía agua entrada)[KJ/kg]}{[(poder calorífico del búnker)[KJ/kg] \times consumo de búnker[Kg/h]}$$

Ecuación 11. Eficiencia de la caldera. Miranda, Y. (2014).

De aquí se obtiene que para los 41,67 kg/h es necesario un consumo de 2,61 L/h de búnker, con este dato y utilizando la ecuación 4, se obtiene un equivalente de 0,01 ton CO₂ eq /hora, lo que sería un total de 71,16 ton CO₂ eq /anuales.

Una manera de mitigar el impacto de CO₂ en el ambiente es por medio de los árboles, estos son de gran importancia en la absorción de CO₂ que es uno de los principales GEI producidos en los procesos de generación de energía por combustibles fósiles. Cada árbol tiene distinta capacidad para poder absorber el CO₂, que varían según la localización, tamaño, y otros factores. De acuerdo con Arias (2018) un estudio desarrollado en Chile por la establece estándares sobre la cantidad de CO₂ que pueden absorber especies de árboles; por ejemplo, el eucalipto presenta la mayor capacidad de absorber con 29,9 toneladas por hectárea cultivada al año.

$$\text{Hectarea de eucalito} = \frac{\sum \text{Ton CO2 anuales}}{29,9 \frac{\text{Ton CO2 anuales}}{\text{ha}}}$$

Ecuación 12. Calculo hectáreas de eucalipto (Miranda, 2014)

Con base en la ecuación 12, se obtiene que para 71,16 ton CO₂ eq /anuales es necesario plantar un total de 2,38 ha de árboles de eucalipto para poder llegar a absorber las emisiones de CO₂ emitidas al ambiente por trampas de vapor en mal estado.

Evaluación financiera

Con el objetivo de identificar la rentabilidad del proyecto a partir los resultados financieros se plantea la incorporación y análisis de variables como inversiones, ingresos, costos que se generan con la implementación del proyecto planteado

Inversiones

Las mejoras sobre el sistema de generación de vapor que se plantea en este trabajo únicamente requieren de un tipo de inversión, inversión fija, correspondiente a la compra de las trampas de vapor que se requieren sustituir en la red.

Seguido se detallan las especificaciones del total de las inversiones requeridas:

Tabla 35. Inversiones del proyecto en colones

Inversión	Valor en colones
Spirax Sarco 849 2"	363 908,26
Spirax Sarco 849 3/4"	65 662,91
Spirax Sarco 849 3/4"	65 662,91
Armstrong 811 3/4"	161 853,11
Total	657087,19

Fuente: Elaboración propia

Costos de operación

Los costos de operación incluyen todos aquellos conceptos administrativos, de ventas y de fabricación, sin embargo, este proyecto no supone costos nuevos de ningún tipo, únicamente los regulares que ya son asumidos por parte de la institución. Es decir, se carece de costos incrementales.

Ingresos o sostenibilidad del proyecto

Al ser una institución pública, de carácter no lucrativa, no se recibe ningún tipo de ingreso de tipo financiero o económico. Por lo cual el concepto de ingresos del proyecto corresponde a cero colones.

Fuentes de financiamiento

El financiamiento del presente se realizará bajo una única modalidad, aporte institucional, con el presupuesto asignado para el año en curso al mantenimiento de la red de vapor del HSJD.

Flujo financiero

A partir de la información previa se plantea la elaboración del flujo financiero, el cual dará paso al análisis de los indicadores financieros del proyecto, el mismo se plantea a 5 años. Sin embargo, como se puede visualizar el mismo se maneja en ceros debido a que no reporta ningún ingreso como tal, y a nivel de costos incrementales las mejoras propuestas no implican incurrir en ningún gasto adicional a los ya cubiertos.

Tabla 36. Flujo financiero

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
INVERSION	657,087.19	0	0	0	0	0
Insumos importados	657,087.19					
Spirax Sarco 849 2"	363,908.26					
Spirax Sarco 849 3/4"	65,662.91					
Spirax Sarco 849 3/4"	65,662.91					
Armstrong 811 3/4"	161,853.11					
INGRESOS		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
EGRESOS		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FNE	-657,087.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Indicadores financieros

Con base en los resultados obtenidos producto del flujo financiero y los criterios de decisión de los indicadores financieros, se identifica un VAN menor a 1, por lo cual financieramente no es aceptable, y una R B/C) de cero, que representa es indiferente. Al obtener un flujo de efectivo de cero, no ingresos ni gastos, no se logra estimar el TIR. Lo anterior, da paso al planteamiento de la evaluación económica-social, ya que, a pesar no en términos financieros no se logra identificar su rentabilidad, la transformación a precios sociales evidenciará la sostenibilidad del proyecto por sus grandes aportes en función de los ahorros en operación.

INDICADOR	VALOR
VAN	-657,087
TIR	No se logra calcular por flujo de efectivo en "cero"
R(B/C)	0

Evaluación económica-social

Entendiendo la evaluación económica social complementaria a la evaluación financiera, se plantea la incorporación de criterios de beneficio social e impacto macroeconómico en función del análisis de la eficiencia energética del sistema de generación de vapor del Hospital San Juan de Dios.

El cual por la naturaleza de la institución y del proyecto como tal, no puede quedar simplemente en una evaluación financiera, debe valorarse los beneficios de este desde una óptica de ahorro para la institución y su operación.

Ya que, si bien es cierto, al no existir ingresos financieros no resulta tener una rentabilidad mínima, sin embargo, los aportes en cuanto ahorros por reparación de las trampas de vapor en la cadena, si representan un aporte significativo desde el valor económico social.

A partir de lo anterior se incorporan dentro de este apartado los factores de conversión de precios de mercado a precios sociales, la conversión del flujo financiero a económico y el análisis de sus respectivos indicadores producto de este, así como los beneficios que surgen a partir del proyecto.

Factores de Conversión a Precios Sociales

Como parte de la evaluación económico-social se da la transformación de los precios de mercado a los precios sociales tanto en las inversiones, como en los ingresos (beneficios-ahorros) y en los costos incrementales identificados como parte del proyecto generación de vapor.

Para lo anterior, se utilizan de referencia los factores de conversión de los precios sociales establecidos por MIDEPLAN (ver tabla 8, factores de conversión a precios sociales).

Inversiones a precio social

Como parte de las inversiones necesarias para dar inicio con el proyecto se contemplan aquellas relacionadas con las trampas de vapor que se requieren sustituir en la red.

Tabla 37. Conversión de inversiones totales a precios sociales en colones

INVERSIONES	Valor financiero o de mercado	Factor de conversión a precio social	Valor a precio social
Insumos importados			
Spirax Sarco 849 2"	363 908,26	0.87	316,600.19
Spirax Sarco 849 3/4"	65 662,91	0.87	57,126.73
Spirax Sarco 849 3/4"	65 662,91	0.87	57,126.73
Armstrong 811 3/4"	161 853,11	0.87	140,812.21
TOTAL	657087,19	-	571,665.86

Fuente: Elaboración propia

Costos Sociales

Con base en la teoría este rubro toma en cuenta únicamente los costos incrementales, es decir, aquellos costos que surgen a partir del inicio de la operación del proyecto, sin embargo, para efectos del presente proyecto no se incurrirán en costos nuevos, se mantienen los mismos costos ya cubiertos por parte del HSHD, por ende, no se incluye ningún dato para convertir a precios sociales.

Beneficios Sociales

A continuación, se presentan los beneficios sociales tangibles monetariamente a partir de los ingresos considerados para el proyecto.

Tabla 38. Beneficios anuales a precios sociales en colones

Beneficios sociales	Valor financiero o de mercado (₡)	Factor de conversión a precio social	Valor a precio social (₡)	Ahorro de vapor (Kg)
Ahorro por pérdida de vapor en trampa de vapor 8	6 796 760,76	0.9694	6 588 779,88	256 749,64
Ahorro por pérdida de vapor en trampa de vapor 9	955 794,48	0.9694	926 547,17	36 105,42
Ahorro por pérdida de vapor en trampa de vapor 22	955 794,48	0.9694	926 547,17	36 105,42
Ahorro por pérdida de vapor en trampa de vapor 40	955 794,48	0.9694	926 547,17	36 105,42
Total, de beneficios	9 664 144,20		9 397 668,70	365 065,89

Fuente: Elaboración propia

Flujo de caja económico social

A partir del flujo financiero elaborado en la evaluación financiera, se realiza la transformación de este en términos de evaluación económica-social, lo cual, permite visualizar los valores en función de los aportes a la institución, cabe destacar que se realiza una proyección a 5 años.

Tabla 39. Flujo de caja económico social

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
INVERSION	571,665.86	0	0	0	0	0
Insumos importados	571,665.86					
Spirax Sarco 849 2"	316,600.19					
Spirax Sarco 849 3/4"	57,126.73					
Spirax Sarco 849 3/4"	57,126.73					
Armstrong 811 3/4"	140,812.21					
INGRESOS		9 397 668,70	9 397 668,70	9 397 668,70	9 397 668,70	9 397 668,70
Ahorro por pérdida de vapor en trampa de vapor 8	0	6 588 779,88	6 588 779,88	6 588 779,88	6 588 779,88	6 588 779,88
Ahorro por pérdida de vapor en trampa de vapor 9	0	926 547,17	926 547,17	926 547,17	926 547,17	926 547,17
Ahorro por pérdida de vapor en trampa de vapor 22	0	926 547,17	926 547,17	926 547,17	926 547,17	926 547,17
Ahorro por pérdida de vapor en trampa de vapor 40	0	955 794,48	955 794,48	955 794,48	955 794,48	955 794,48
EGRESOS		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FNE	-571,665.86	9 397 668,70	9 397 668,70	9 397 668,70	9 397 668,70	9 397 668,70

Fuente: Elaboración propia

Indicadores económicos sociales

A partir de totales obtenidos se procede al cálculo y análisis de indicadores económicos-sociales que permiten determinar si la implementación del proyecto es sostenible y provee un beneficio para la institución.

En este caso, aplicado los criterios de decisión se identifica un VAN mayor a 1, por lo cual es aceptable, un TIR mayor que la tasa social de descuento (8.31%) que significa es aceptable y, por último, una R B/C) mayor que uno, que de igual manera evidencia un proyecto aceptable.

INDICADOR	VALOR
VANES	36 645 916
TIRES	1 434.91%
R(B/C)	65,10

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

Las principales conclusiones obtenidas del desarrollo del presente proyecto se encausan en:

- Se logró determinar que entre las características de operación del sistema de generación de vapor instalado en el Hospital San Juan de Dios es que este también alimenta los hospitales Raúl Blanco Cervantes, Hospital Nacional de Niños y la lavandería Alfonso Zeledón Venegas. Su distribución y trasiego de vapor dentro del Hospital San Juan de Dios comprende una red de tubería de una longitud de 900m, abasteciendo equipos como intercambiadores de calor y trampas bomba para condensados, según se evidencia en la ilustración 21 e ilustración 23.

De acuerdo al recorrido en sitio y la red de distribución de vapor que se puede observar en la ilustración 11 se logra comprobar y se concluye con base a las inspecciones visuales realizadas que el sistema se encuentra en buen estado; no existen fugas en los equipos y la red de tubería cuenta con el respectivo aislante térmico para su funcionamiento óptimo esto a razón de su instalación en 2016 y los equipos que lo componen trabajan en condiciones óptimas.

- La eficiencia energética de trabajo actual del sistema de generación de vapor se mantiene en un promedio del 85% según el sistema SCADA el cual es un sistema de supervisión y control de datos utilizado por el hospital para garantizar el buen funcionamiento del equipo.
- Una vez entendido el funcionamiento del sistema, conociendo las rutas de tuberías y sus distintos componentes mostrados desde la ilustración 11 hasta la ilustración 27 únicamente fueron encontradas oportunidades de conservación de energía en lo que fueron las trampas de vapor indicadas en la tabla 32, generando estas una pérdida de 41,67 kg/h de vapor lo que se traduce a un monto económico de 1.118,53 ¢/h según tabla 33.
- Según el estudio ambiental aplicado a las oportunidades de conservación de energía se obtiene que para los 41,67 kg/h se consumen 2,61 L/h de búnker, lo que en términos de generación de gases de efecto invernadero equivale a un total de 71,16 ton CO₂ eq /anuales por lo que es necesario plantar un total de 2,38 ha de árboles de

eucalipto para poder llegar a absorber las emisiones de CO2 emitidas al ambiente por trampas de vapor en mal estado.

- El análisis financiero determina la utilidad o beneficio monetario que percibe la institución que opera el proyecto, en este caso propiamente, los indicadores financieros evidencian números negativos, lo cual se debe a que no hay flujo de ingresos ni de gastos incrementales por la naturaleza del proyecto, únicamente una inversión inicial. Sin embargo, el análisis económico-social mide el efecto que ejerce en función de beneficios sociales, que para el caso están representado por los ahorros. El análisis económico social brinda resultados de indicadores aceptables (VAN= 36 645 916, TIR= 1 434.91%%, R B/C= 65,10)

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

A partir de los análisis desarrollados a lo largo del presente documento, se identifican algunas recomendaciones:

- Se recomienda realizar la sustitución de los flujómetros de las calderas para poder así tener un control certero de la producción de vapor. Además de una adecuada gestión de mantenimiento para garantizar un correcto funcionamiento y alargar la vida útil de los mismos.
- Es importante mantener una adecuada gestión del control de históricos de consumo de agua y búnker para poder mantener la correcta trazabilidad del proceso y de los gastos asociados a la producción de vapor.
- Realizar informes acerca del mantenimiento de manera más eficaz para tener un historial de las intervenciones que han tenido los equipos, esto permite tener un mejor control del mantenimiento del sistema de generación de vapor.
- Mantener un levantamiento actualizado de los equipos que componen el sistema de generación de vapor que permita una adecuada y ordenada gestión del mantenimiento.
- Al existir picos de consumo eléctrico no identificados, se recomienda realizar un monitoreo de la acometida de calderas con un analizador de calidad de energía para obtener datos detallados del consumo eléctrico y poder identificar la causa de estos altos picos de consumo.
- Se insta a realizar un estudio en busca de un fuente de agua no potable para la generación de vapor, ya que esto ayudaría a reducir costos en la producción de vapor.

CAPÍTULO VII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afranchi, A. (2020). Guía de Eficiencia Energética en Sistemas de vapor. Comité Argentino del Consejo Mundial de Energía.
- Armstrong, Inc. (1998). Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados. Evaluación y selección de Trampas de Vapor. Armstrong International, Inc. Recuperado de: <https://www.armstronginternational.com/sites/default/files/resources/documents/n101spanish.pdf>
- Agencia Internacional de Energía. (2016). Indicadores de eficiencia Energética: Fundamentos Estadísticos. IEA: Paris, Francia.
- Barrera, C., Betoret, N., Castelló, M., Pérez, E. (2018). Aspectos básicos relacionados con el funcionamiento de una caldera. Universidad Politécnica de Valencia.
- Decreto N 26789 Reglamento de Calderas (16 de febrero de 1998). Diario La Gaceta, del 16 de febrero de 1998.
- Instituto Centroamericano de Administración Pública (2022). Guías para elaborar el documento de proyecto. Fase de preinversión formulación y evaluación del proyecto [pdf].
- Instituto Meteorológico Nacional. (2022). Factores de emisión de gases de efecto invernadero. 12 edición. Recuperado de <http://cglobal.imn.ac.cr/wp-content/uploads/2022/07/FactoresEmision-GEI-2022-1.pdf>
- MIDEPLAN (2019). Precios sociales en Costa Rica. <https://www.mideplan.go.cr/precios-sociales>

- Mendoza, S. (2020). Eficiencia energética en calderas. Comisión Nacional para el uso eficiente de la Energía, México.
- Ministerio de Ambiente y Energía. (2015). VII Plan Nacional de Energía 2015-2030. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo: San José, Costa Rica.
- Palacios, J. (2009). Auditoría energética de la caldera y el sistema de distribución de vapor de la planta de elaborados y embutidos de PRONACA. [Tesis de grado]. Escuela Politécnica Nacional.
- Refinadora Costarricense de Petróleo. (2021). Poder calórico. RECOPE. Recuperado de: <https://www.recope.go.cr/productos/calidad-y-seguridad-de-productos/poder-calorico/>
- Refinadora Costarricense de Petróleo. (2022). Manual de productos. RECOPE. Recuperado de: <https://www.recope.go.cr/productos/>
- Rosas, R. (2010). Auditorías Energéticas. Organización Latinoamericana de Energía.
- Uceda, J. (2013). Calderas. En Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (Ed), Guía Básica de Calderas Industriales eficientes. (pp 71-95). Gráficas Arias Montano S.A.
- Valdés, J., Esquivel, G., Sibaja, J., López, J. (2013). Emisiones de contaminantes atmosféricos provenientes de calderas. Universidad Nacional: Herida, Costa Rica. Recuperado de: http://www.una.ac.cr/observatorio_ambiental/index.php?option=com_booklibrary&task=view&id=31&catid=46&Itemid=37

Vega, S., Arze, C., Botello, M., Demillón, R. Lino, M. et al. (2011). Guía de buenas prácticas en eficiencia energética para sistemas de vapor. Chemonics International Inc.

CAPÍTULO VIII: ANEXOS

Anexo 1. Precio de trampa de balde invertido united 849 1/2" 5-50 PSI



Anexo 2. Precio Armstrong 811 Inverted Bucket Trap 3/4"NPT 125 PSI 1/8"Orifice C5297.27

Armstrong 811 Inverted Bucket Trap 3/4" NPT
125 PSI 1/8" Orifice C5297-27

SKU: AN1084 PART NUMBER: C5297-27

Online Price: \$265.52

Anexo 3. Ejemplo de informe anual de inspección de calderas



Consultores en Ingeniería de los Recursos Energéticos, S.A.

INFORME ANUAL DE INSPECCIÓN DE CALDERAS

Cumplimiento del Reglamento de Calderas N° 26789-MTSS

No. de Informe: 22LFC071		Activo: 162553	
Fecha de inspección:	01/04/2022	Fecha de elaboración del informe:	01/04/2022

1. Datos de la empresa

Empresa:	Hospital San Juan de Dios		Código CIU:
Actividad:	Servicios hospitalarios		
Número de Permiso Sanitario de Funcionamiento o Certificado Veterinario de Operación:	391-2020	Rige:	10/08/2020
		Vence:	10/08/2025
Teléfono:	2539-0000	Correo electrónico:	jdgarro@ccss.sa.cr
Provincia:	San José	Cantón:	San José
		Distrito:	Hospital
Dirección exacta:	San José, Avenida Segunda entre calles 5 y 7		
Frecuencia de presentación de reportes operacionales de emisiones atmosféricas:	<input type="checkbox"/> Anual <input type="checkbox"/> No aplica <input checked="" type="checkbox"/> Semestral		
Fecha del último reporte operacional de emisiones atmosféricas presentado:	21/07/2021		
N° del análisis físico químico:	AT-21/003276	Realizado por:	Lambda
Representante legal:	María Eugenia Villalta Bonilla		
Teléfono:	2539-0000	Correo electrónico:	jdgarro@ccss.sa.cr
Nombre del Responsable de Evaluación de Calderas:	Ing. Luis Fernando Chanto Jarquin		
N° de Registro del Responsable de Evaluación de Calderas:	DSA-UNAS-REC-001-2017		
Teléfono:	2253-3123	Correo electrónico:	Lfchanto@cirecr.com

2. Datos de la caldera

Número de Autorización de Operación de Calderas:	DPAH-UASSAH-AOC-134-2017	Emisión:	25/05/2018
		Vencimiento:	25/05/2023
Número de Registro o Placa:	558	Nombre con que se conoce en el establecimiento del solicitante: Caldera # 1	
Marca:	Cleaver Brooks	Número de serie o fábrica:	T5789-1-1
Año de fabricación:	2016	Año de instalación:	2016
Categoría:	B	Presión de trabajo:	689.4 kPa (100 psi)
Presión Válvula de Seguridad N°1:	861.8 kPa (125 psi)	Presión máxima de trabajo:	1034.2 kPa (150 psi)
Presión Válvula de Seguridad N°2:	861.8 kPa (125 psi)		
Tipo de caldera:	<input type="checkbox"/> Acuatubular <input checked="" type="checkbox"/> Igneotubular <input type="checkbox"/> Eléctrica		
Fluido calentado:	<input checked="" type="checkbox"/> Agua <input type="checkbox"/> Fluido térmico		
Combustible:	Búnker	Consumo de combustible:	283.5 kg/h
Capacidad:	4694.6 kg/h	Horario de operación:	12 Horas/día 7 Dias/semana
Nombre del operador de la caldera:	Pablo Lizano		

Otras descripciones:	Caldera de paquete igneotubular, cuatro pasos, espalda húmeda, posición horizontal, sistema automático para el control de nivel, para lo cual cuenta con una bomba y otra de respaldo. El quemador es controlado por un programador al que llegan todas las señales de control y de seguridad.
----------------------	---

Inspección General	Cumple	Observ.
Cuartos y compartimientos de calderas		
Salidas de emergencia libres de obstáculos. (Art. 17, a)	SI	
Iluminación adecuada mediante fuentes de iluminación independientes y seguras (Art. 17,b)	SI	
Cuenta con linternas de mano para uso operadores. (Art.17, b)	SI	
Ventilación adecuada (uso combustibles gaseosos) (Art. 17, c)	SI	
Presenta áreas aseadas libres de derrames u objetos que obstruyan el paso (Art. 17, d)	SI	
La caldera se encuentra a mas de 3 m del tanque principal de combustible y otro tipo de sustancias inflamables. (Art. 18)	SI	
Se cuenta con plataforma, escalera y pasajes con barandilla adecuadas (Art. 19 calderas A y B a juicio inspector)	SI	
De los tanques diarios para combustible (Art. 22)	SI	
De los tanques principales para combustible (Art. 22)	SI	
Dispositivos mínimos operación y seguridad (Art. 23 y 24)	SI	
De las válvulas de seguridad (Art. 25)	SI	
De los indicadores y controles de nivel (Art. 26)	SI	
Del sistema de alimentación de agua y tanq. retorno conden. (Art. 27)	SI	
De los manómetros (Art. 28)	SI	
De los sistemas de control de presión (Art. 29)	SI	
De las válvulas, tuberías e interruptores (Art. 30 al 33)	SI	
De la operación y conservación (Art. 34 al 40)	SI	
De los extintores (Art. 41)	SI	
Libro de bitácora (Art. 42)	SI	

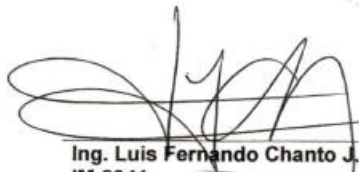
Inspección Externa	Cumple	Observ.
Los domos o tubos se encuentran libres de fugas y corrosión. (Art. 64 ¹ tubos de agua)	NA	Caldera igneotubular
Las cubrejuntas y cabezas de remache se encuentran libres de fugas o desgastes. (Art. 65 ¹ tubos de agua)	NA	Caldera soldada
¿Soportes de acero, tirantes y varillas de sujeción se encuentran en buen estado? (Art. 67 ¹)	SI	
Las tuberías se encuentran libres de fugas por esfuerzos de expansión contracción. (Art. 68 ¹)	SI	
Las líneas de purga están libres de corrosión (Art. 71 ¹)	SI	
Los tubos indicadores de nivel, grifos de prueba, columnas de agua, controles nivel de agua, alarmas y cortadores de alto y bajo nivel, válvulas de purga, manómetros, alimentación y válvulas de no retorno, se encuentran en buen estado. (Art. 73, 74 y 75 ¹)	SI	

Inspección Interna	Cumple	Observ.
¿Cuenta con reparaciones efectuadas previamente? (Art. 79 ¹) En caso de ser afirmativo especifique en las observaciones.	SI	No cuenta con reparaciones
No presenta fugas por corrosión o agrietamiento (Art. 80 ¹)	SI	
Se aplica un lavado mecánico o químico en caso de presencia de sedimentos e incrustaciones. (Art. 81 ¹)	SI	No requerido
Se encuentra libre de deformaciones, pandeo o abombamiento, que debiliten seriamente las placas o tubos y con esto comprometer el funcionamiento de la caldera. (Art. 82 ¹)	SI	
Para calderas acuatubulares		
El interior de los tubos cuenta con un espacio adecuado que permita la circulación. (Art.84 ¹)	NA	Caldera Igneotubular
Los tubos se encuentran libres de abombamientos, grietas o cualquier evidencia de soldaduras defectuosas, o erosión por el choque de partículas de combustible y cenizas. (Art. 85 ¹)	NA	Caldera Igneotubular
Los registros y sus placas de refuerzo, así como boquillas y demás conexiones de unión a la caldera por bridas o roscas a la caldera, tanto interior como exteriormente no están rotas o deformadas. (Art. 86 ¹)	NA	Caldera Igneotubular
Para calderas igneotubulares		
La tubería de alimentación y sus uniones se encuentra libre de conexiones flojas y empaques dañados o perdidos. (Art. 88 ¹)	SI	
Cuenta con mamparas y estas se encuentran en un lugar adecuado (Art. 89 acuatubular)	NA	
En caso de emplear sopladores de hollín, estos se encuentran libres de cortes y erosión. (Art. 90 acuatubulares)	NA	
Los extremos de los tubos no presentan desgaste del metal, fragilidad y/o acortamiento en los mismos. (Art. 91 ¹)	SI	

Prueba Hidrostática:				
Hora de Inicio:	8:00am	Hora de Finalización:	8:10am	
Criterio	Valor Obtenido	Cumple	Observ.	
Presión Regulada	861.8 kPa (125 psi)	SI		
Presión a la que se sometió la caldera	1292.7 kPa (187.5 psi)	SI		
Temperatura del agua al momento de la prueba (Mínimo 21°C y Máximo 71°C)	40 °C	SI		
Porcentaje de caída de presión (No mayor al 10% en 10 minutos de duración.)	0 %	SI		
Inspección cámara de agua				
Del lado del agua la caldera se observó libre de corrosión y de incrustación que pudiera comprometer la seguridad de la caldera.				

Prueba de Vapor		Cumple	Observ.
El encendido y apagado del quemador o sistema de alimentación de energía funciona correctamente en función de la presión de la caldera. (Art. 102, a ¹)		SI	
El encendido y apagado del sistema de alimentación de agua enciende funciona correctamente en función del nivel del agua dentro de la caldera. (Art. 102, b ¹)		SI	
La secuencia y señalizaciones de emergencia del sistema de protección por bajo nivel del agua dentro de la caldera funciona correctamente. (Art. 102, c ¹)		SI	
Las secuencias de encendido y apagado del sistema de combustión funcionan correctamente. (Art. 102, d ¹)		SI	
Todos los orificios de la válvula o válvulas de seguridad, sus conexiones a la caldera, tubería de escape, drenajes y soportes deberán de estar libres y limpios. (Art. 103 ¹)		SI	
No presenta fugas de vapor o de agua especialmente provenientes de la envolvente, domo o un tubo o junta de tubería. (Art. 104 ¹)		SI	
Temperatura del combustible:	100 °C		
Temperatura de los gases en la chimenea:	Fuego Bajo	Fuego Medio	Fuego Alto
	190 °C	215 °C	230 °C
Tratamiento químico del agua. (Art. 105 al 107)	La empresa responsable del tratamiento químico de la caldera deberá presentar al Usuario CERTIFICACIÓN DE TRATAMIENTO QUÍMICO con respecto al estado de corrosión o incrustación.		

Sistema de control y seguridad Calderas	Condición		Observac.
Presión modulación	689.4 kPa (100 psi)		
Control de presión de trabajo (pare 1)	758.4 kPa (110 psi)		
Control de presión seguridad (pare 2)	799.7 kPa (116 psi)		
Apertura válvula de seguridad # 1	861.8 kPa (125 psi)		
Apertura válvula de seguridad # 2	861.8 kPa (125 psi)		
Columna derecha (bomba / quemador y alarma)	BUENA	BUENA	
Columna izquierda (bomba / quemador y alarma)	BUENA	BUENA	
Fotocelda	BUENA		
Programador	BUENO		
Interruptor aire abanico (secundario)	BUENO		
Interruptor aire compresor (primario)	BUENO		
Interruptor temperatura combustible	BUENO		
Interruptor baja presión combustible	BUENO		
Interruptor alta presión combustible	NA		
Bloqueo arranque en frío	BUENO		



Ing. Luis Fernando Chanto J.
IM-2941
Profesional Responsable de
Evaluación de Calderas

Representante legal