



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
MECÁNICA ELÉCTRICA**

Programa de gestión energética en sistema de generación de vapor del  
Hospital alud de Chocope para aumento de eficiencia térmica

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniero Mecánico Electricista

**AUTORES:**

Arroyo Charcape, Juan José (ORCID: 0000-0002-9554-4486)

Cruz Ybañez, Carlos Andrés (ORCID: 0000-0002-0728-4355)

**ASESOR:**

Mg. Paredes Rosario, Raúl Rosalí (ORCID: 0000-0002-3032-3527)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Generación, Transmisión y Distribución de energía

TRUJILLO – PERÚ

2020

## Dedicatoria

La presente tesis la dedicamos en primer lugar a Dios, quien guía nuestros pasos por el buen sendero del camino correcto, en brindarnos las fuerzas necesarias para continuar siempre hacia adelante, conseguir este gran sueño y por estar en cada instante de nuestras vidas.

Los autores queremos agradecer a nuestras familias en especial a nuestros padres por su amor, comprensión, amor y ayuda en los momentos más complicados y por forjar en nosotros una carrera profesional.

## Agradecimiento

Un agradecimiento al Mg. Raúl Rosalí Paredes Rosario, por su dirección como asesor especialista, por su visión crítica en los diferentes aspectos técnicos y metodológicos de la presente tesis.

Agradecimiento a nuestra asesora metodológica Dra. María Elisa Armas Alvarado, por su guía constante y por su rectitud en su profesión como docente, por sus lecciones que contribuyen a la investigación científica.

## Índice

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Página del Jurado.....	iv
Declaración de Autenticidad.....	vi
Índice.....	vii
Índice de Tablas.....	ix
Índice de Figuras.....	x
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xii</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Realidad Problemática.....	2
1.2. Trabajos Previos.....	4
1.3. Teorías Relacionadas al Tema.....	8
1.4. Formulación del Problema.....	14
1.5. Justificación del estudio.....	15
1.6. Hipótesis.....	15
1.7. Objetivos.....	15
<b>II. MÉTODO.....</b>	<b>16</b>
2.1. Tipo y Diseño de Investigación.....	17
2.2. Operacionalización de variables.....	17
2.3. Población y Muestra.....	18
2.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos, Validez y Confiabilidad.....	18
2.5. Procedimiento.....	19
2.6. Métodos de análisis de datos.....	21
2.7. Aspectos éticos.....	21
<b>III. RESULTADOS.....</b>	<b>22</b>
3.1. Análisis energético inicial del caldero pirotubular de 100 BHP del hospital Essalud De Chocope.....	23
3.2. Diseño del programa de gestión energética para el sistema de generación de vapor.....	24
3.3. Análisis ambiental.....	27
3.4. Análisis económico de la gestión energética.....	28
3.5. Evaluación financiera.....	28
<b>IV. DISCUSIÓN.....</b>	<b>29</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>33</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>35</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>37</b>
<b>ANEXOS41</b>	
Anexo 1: Ficha de registro.....	42
Anexo 2: Cuestionario.....	43

Anexo 3: Validación del instrumento.....	44
Anexo 4: Matriz de consistencia.....	47
Anexo 5: Acta de aprobación de originalidad de Tesis.....	48
Anexo 6. Similitud Turnitin.....	50
Anexo 7. Autorización de Publicación de Tesis en Repositorio Institucional UCV.....	51
Anexo 8. Composición del GLP del Perú.....	53
Anexo 9. Tabla de propiedades del aire.....	53
Anexo 10. Propiedades termofísicas del vapor flash.....	54
Anexo 11. Propiedades termofísicas del agua.....	55
Anexo 12. Tabla propiedades termofísicas de los gases residuales.....	56
Anexo 13. Balance energético actual.....	57
Anexo 14. Programa de Gestión Energética.....	66
Anexo 15. Análisis energético en condiciones de mejora.....	70
Anexo 16. Propuesta de cambio de combustible.....	73
Anexo 17. Análisis ambiental.....	75
Anexo 18. Viabilidad económica.....	79
Anexo 19. Fotografías de la planta térmica EsSalud Chocope.....	82

## Índice de Tablas

Tabla 1: Operacionalización de las variables del proyecto.....	17
Tabla 2: Técnicas e instrumentos del proyecto.....	18
Tabla 3. Reducción de gases contaminantes.....	27
Tabla 4: Resultados del análisis financiero.....	28
Tabla 5: Propiedades del vapor a 8 bar@ y temperatura de agua a 82°C.....	57
Tabla 6: composición del GLP en el Perú.....	75
Tabla 7: Evaluación del número de Kmol de cada hidrocarburo.....	75
Tabla 8: Composición másicas del diesel -2.....	76
Tabla 9. Número de moles de los compuestos.....	77
Tabla 10: Costos de mantenimiento de la planta térmica.....	80
Tabla 11: Inversión en activos fijos.....	81

## Índice de Figuras

Figura 1: Procedimiento de la investigación.....	20
Figura 2: Potencias pérdidas actualmente por el caldero de 100BHP.....	23
Figura 3: Porcentaje de pérdidas actualmente por el caldero de 100BHP.....	23
Figura 4: Potencias pérdidas en mejora del caldero de 100BHP.....	24
Figura 5: Porcentaje de pérdidas en mejora del caldero de 100BHP.....	25
Figura 6: Comparativo de costos de generación de vapor saturado.....	26
Figura 7: Comparativo de rendimientos energéticos.....	26
Figura 8: Comparativo Diesel-2 vs GLP.....	26
Figura 9: Instalación de tanque de GLP para el caldero de 100 BHP.....	27
Figura 10: Distribución de temperaturas en el caldero.....	58

## RESUMEN

En este trabajo se presenta un programa de gestión energética en sistema de generación de vapor del hospital Essalud de Chocope para aumento de eficiencia térmica del caldero pirotubular de 100BHP. La gestión energética se fundamentó principalmente las propuestas de cambio de combustible Diésel-2 por gas licuado de petróleo, implementación de recuperador de vapor flash y acciones de mantenimiento. El caldero inicialmente tiene un rendimiento de 80.42%, produciendo un flujo de vapor de 1043.20 Kg/h, flujo de gases 2210.40 Kg/h, flujo de aire 2127.60 Kg/h, flujo de purgas 133.20 Kg/h y flujo de vapor flash 18 Kg/h. Los parámetros energéticos a los cuales opera el caldero conllevan a un costo de 263.65 Soles/TM vapor. Las propuestas planteadas permitieron reducir el consumo de combustible a 64.40 Kg/h con gas licuado de petróleo y el rendimiento incrementó a 84.75%, donde las pérdidas por gases se redujeron a 100KW (10.91%), combustión incompleta 2.25KW (0.25%), hollín 2.41KW (0.26%), purgas 13.40KW (1.46%), convección 12.56KW (1.37%) y radiación 22KW (2.40%) (Pérdida constante). Lo cual permitió que el costo de generación se reduzca a 113.73 Soles/TM. El beneficio útil del proyecto es 127432.71 \$/año, inversión 83856.57 \$ y retorno de la inversión de 8 meses.

**Palabras claves:** Programa de gestión energética, sistema de generación vapor, calderas de vapor, hospital Essalud de Chocope.



## ABSTRACT

This work presents an energy management program in the steam generation system of the Essalud de Chocope hospital to increase the thermal efficiency of the 100BHP firetube boiler. Energy management was based mainly on the proposals to change from Diesel-2 fuel to liquefied petroleum gas, implementation of a flash vapor recovery system and maintenance actions. The upper boiler has a performance of 80.42%, producing a steam flow of 1043.20 Kg / h, gas flow 2210.40 Kg / h, air flow 2127.60 Kg / h, purge flow 133.20 Kg / h and flash steam flow 18 Kg / h. The energy parameters at which the cauldron operates entail a cost of 263.65 Soles / MT steam. The proposed proposals allowed to reduce fuel consumption to 64.40 Kg / h with liquefied petroleum gas and the performance increased to 84.75%, where gas losses were reduced to 100KW (10.91%), incomplete combustion 2.25KW (0.25%), soot 2.41KW (0.26%), purges 13.40KW (1.46%), convection 12.56KW (1.37%) and radiation 22KW (2.40%) (Constant loss). Whatever the cost of generation is reduced to 113.73 Soles / MT. The useful benefit of the project is \$ 127,432.71 / year, investment \$ 83,856.57 and return on investment of 8 months.

**Keywords:** *Energy management program, steam generation system, steam boilers, Essalud de Chocope hospital.*

## **I. INTRODUCCIÓN**

## 1.1. Realidad Problemática

En la actualidad los países de América y el Caribe, reperentan una situación muy variada respecto a la practica de eficiencia energética, dado que solo los países Brasil y México son los únicos con normativas al apoyo a mejorar los sistemas energéticos, mientras que en los demás países incluidos el Perú, dichas políticas se estan empleando lentamente.

Asimismo, en el año 2011 en América Latina y el Caribe se creó el BIEE (Programa Regional Base de Indicadores de Eficiencia Energética), situación que ha mejorado mucho los controles de eficiencia energética, pero aún sigue siendo insufiente porque solo 19 países trabajan en conjunto con visión a permitir medir y evaluar la evolución de distintos programas que carecen muchas veces de herramientas tecnológicas las cuales se van requiriendo durante la aplicación de estos programas.

A nivel nacional, el sector energético esta regulado por la norma DS-064/2010-20140/EM denominado “Política Energética Nacional”, basado en el uso de sistemas energéticos de manera eficiente, seguros y continuos, con miras a promover una mejora continua tecnologica. En el Perú se espera que para el periodo 2040 consiga una autosuficiencia en la generación de energéticos, permitiendo la minimización de los gases contaminantes (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CFC, NO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub>, otros).

Para lo cual se pronóstica que para el año 2040 el Perú logre el acceso universal al suministro de energético con una autosuficiencia en la producción de energéticos, lo cual contribuye a reducir las emisiones de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> y dióxido de azufre SO<sub>2</sub>.

La sensibilización para apoyar la eficiencia energética, comprende la formación de la cultura de eficiencia energética, en todos los niveles educativos, los seminarios y talleres regionales de Eficiencia Energética. Simposio Internacional de Eficiencia Energética Sistema Interactivo de Eficiencia Energética. Se cuenta con la Norma técnica peruana 2009 NTP 350.301 Calderas industriales, la que establece los estándares de eficiencia térmica (combustible/vapor) que deberán cumplir las calderas industriales sin recuperación de calor y las características del etiquetado. Esta Norma Técnica Peruana se aplica a las calderas pirotubulares y de tubos de agua (acuotubulares) sin recuperación de calor que utilizan

combustibles sólidos, gaseosos y líquidos derivados del petróleo, con potencia de 98 a 11772 kw, presión hasta 2069 kPa(300 psig) para calderas piro tubulares y hasta 3103 kPa (450 psig) para calderas acuotubulares, la temperatura del vapor siendo la de saturación. La Norma Técnica Peruana no es aplicable a calderas para generación de potencia. El valor de eficiencia térmica de las calderas será determinado según la NTP 350.300. La determinación de la eficiencia térmica (combustible/vapor) de las calderas se realiza bajo condiciones estándares de temperatura: 25 °C y presión: 101,325 kPa.

Los estándares de eficiencia térmica (combustible/vapor) para las calderas descritas por la NTP 350.300, se han clasificado para los calderos de categoría A de  $>82\%$ , para los B, de  $80 < \eta < 82 \%$ , los de categoría C,  $81 < \eta < 82 \%$ . Lamentablemente, la gran mayoría de empresas industriales que tienen calderas de vapor no cumplen con los estándares de eficiencia porque no tienen un sistema de monitoreo de parámetros y menos un programa actualizado de gestión del vapor, lo que conduce a trabajar con vapor caro, encareciendo el producto final. También se puede indicar que los niveles de eficiencia normados, ya son obsoletos, pues, actualmente tener eficiencia de 86 a 87 % es algo normal, 85% se considera bajo, es decir la normativa debe ser actualizada.

En el hospital Essalud del distrito de Chocope, en la provincia de Ascope, Departamento La Libertad se utiliza como agente térmico principal el vapor de agua, saturado, en baja presión, a 8 bar, absolutos. El vapor es generado en una caldera piro tubular, de 100 BHP de potencia, es decir, de 1544 kg/h de capacidad nominal de generación de vapor. Para tal fin, la caldera quema petróleo Diesel nro. 2, el cual se convierte en gas caliente a una temperatura de 900 a 1000 °C, con la cual ataca a los tubos de intercambio de calor, saliendo por la chimenea a 200 °C, en promedio.

El agua de alimentación que ingresa a la caldera proviene de pozo, es agua dura, con más de 600 ppm de dureza, es tratada en ablandador con resina sintética catiónica, y luego se le aplica sulfitos para reducir la cantidad de oxígeno y gases corrosivos, es decir, básicamente se aplican dos tratamientos: ablandamiento, para eliminar incrustaciones y desaireación, para eliminar el efecto corrosivo que pueda tener el agua y que reduciría el tiempo de vida útil de los tubos. De los análisis preliminares realizados y mediciones, se puede concluir que la eficiencia de la caldera es baja, en promedio 81.25%, muy por debajo

de niveles normales de 87.5%, esto debido a que no se cuenta con un plan o programa de gestión de energía en el hospital Essalud de Chocope. El costo del vapor generado está bordeando los 165 soles por cada 1000 kg de vapor generado, lo cual es muy elevado, pues en las calderas industriales, se tiene valores de 130 a 140 soles por tonelada de vapor, los principales motivos son el costo de combustible y la eficiencia de la caldera. El sistema de vapor de Chocope trabaja durante 8 a 10 horas por día, durante 20 a 22 días por mes y los doce meses por año.

La carga de la caldera se ve aumentada pues no cuentan con adecuados aislamientos térmicos, en algunos casos, como el tanque de almacenamiento de agua para caldera, está desnudo, así como los tubos de retorno de condensado, representando una importante pérdida económica. La planta de tratamiento de agua no cuenta con proceso de desmineralización, ni química, ni térmica, ni hidráulica, por lo que el agua a caldera ingresa con una cantidad considerable de sólidos disueltos en su interior, causando baja calidad de vapor, desgaste de los tubos y encareciendo el proceso. En la caldera Intesa, de 100 BHP, no se cuenta con equipo de recuperación de calor, por gases residuales, se evacúa el gas de chimenea directamente al medio ambiente, conteniendo un gran contenido de calor. Tampoco tiene condensador de gases por mezcla con agua, scrubber.

Por lo expuesto, se propone preparar un programa de eficiencia energética en el sistema de generación de vapor, basado en una auditoría energética para determinar las posibilidades de mejora en el sistema de tratamiento de agua, de combustión, de purga de agua, de evacuación de gases de chimenea, que permita establecer medidas que sostengan las mejoras necesarias y reduzcan el costo de generación de vapor, de modo sostenible.

## **1.2. Trabajos previos**

La vigente investigación sustenta la realidad problemática en los siguientes antecedentes: internacionales, nacionales y locales.

Sánchez, (2015), en su trabajo de tesis sobre dimensionamiento y analisis energetico de una caldera de 30 BHP con un consumo nominal de 469.80 Kg/h para reducir el costo de combustible; reporta que la eficiencia del generador de vapor de 30BHP en condiciones actuales cuando la temperatura de agua de alimentación es 100°C, es: 78%. El investigador

también señala que con aislamiento térmico el tanque de condensado para las nuevas condiciones de operación, obteniendo un espesor de 2pulg de lana mineral, con un total de 6 fardos. Concluye que la inversión es de 25080.00 U\$\$, con un beneficio de 100320.00 U\$\$/año. También concluye que el retorno operacional de la inversión es de 3 meses, con una tasa interna de rentabilidad de 130%.

De la misma manera, Cassiano (2016), en su trabajo de investigación sobre eficiencia energética en caldero de 400 BHP, obtuvo que la caldera pirotubular es la que tiene los valores menores de eficiencia térmica siendo el promedio de 79.15 %, así también el sistema de gestión energético permitió que la caldera reduzca su consumo de combustible a 99 gal/h, donde los gases de chimenea se minimizaron a 324KW (13.80%), combustión incompleta 72.15KW (0.55%), hollín 120 KW (4.62%), purgas 80.22KW (1.05%), convección 132.11KW (4.92%). Consiguiendo minimizar el gasto másico de vapor saturado a 7.87 \$/TM. Asimismo el autor propuso recuperadores de calor, obteniendo el 13.55 % de vapor flash lo cual representa 121Kg/h. El autor especificó que su proyecto tiene una utilidad de 65000.00 \$/año, inversión 112410.00 U\$\$ y periodo de recuperación de 60 días.

También, Purizaca (2015), en su estudio de investigación analizó la situación energética de 5 calderas pirotubulares: (2) 400 BHP, 600 BHP, 700 BHP y 800 BHP, dónde inicialmente el rendimiento energético inicial es de 80.31% debido a las siguientes pérdidas gases residuales se redujeron a 233KW (14.22%), combustión incompleta 43.00KW (0.90%), hollín 51 KW (1.14%), purgas 80KW (3.10%), convección 20.11KW (0.33%), concluyendo que con la mejora de las pérdidas energéticas el rendimiento del caldero es 90.31%, con incremento del 10%, concluyendo que se mejoraron las condiciones de impacto ambiental respecto a los contaminantes de CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, se redujeron a 1791 TM/año y 34.47 TM/año respectivamente, con un gasto de combustible de 35.28 gal/h, recuperando el 84% de condensado en tanque de revaporizado de 15% de vapor flash, donde el proyecto tuvo una inversión de 49082 U\$\$, beneficio 414909 U\$\$/año y tiempo de recuperación de 80 días.

Asimismo el investigador Silva, (2013), en su trabajo de tesis sobre el diseño de un plan de gestión térmica para reducir el costo de producción en la Empresa Inter Quality Food; muestra que la implementación de plan de gestión térmica en la empresa Inter Quality Food

reduciría en un 94% el calor perdido, el cual supone una reducción del 2.5% del costo de producción. Silva Rodríguez menciona que se realizarán las siguientes mejoras: mantenimiento preventivo de la caldera, cambio de quemador de glp, reemplazo de instrumentos de medición, aislamiento de tuberías y capacitación del personal, mejorando la eficiencia en la gestión térmica en un 2 %. concluye que la inversión necesaria es de 48500 soles, la cual se recuperará a partir del 10 mes. Recomienda implementa su plan de gestión, pues el ahorro del primer año será de 15,890 soles y en el segundo año de 74,872.08 soles.

De igual manera, Campos, (2015), en su trabajo de tesis sobre selección de colectores solares para precalentar el agua de reposición de la caldera pirotubular Intesa de 100 BHP para reducir el costo de combustible en el hospital Belén –Trujillo; reportó que la eficiencia del generador de vapor Intensa de 100BHP en condiciones actuales cuando la temperatura de agua de alimentación es 55°C, es: 76%. El investigador también señala que con aislamiento térmico el tanque de condensado para las nuevas condiciones de operación, obteniendo un espesor de 1.87pulg de lana mineral, con un total de 4 fardos. Concluye que la irradiancia solar promedio en Trujillo, con un ángulo de elevación de 25°C, es valor promedio anual en la ciudad de Trujillo, ubicación del Hospital Belen. Tambien concluye Campos Buscene que la superficie necesaria de los colectores solares para calentar el agua de reposición a 86°C, es 17.38 m<sup>2</sup> con un total de 8 colectores solares y los colectores solares a implementar son el modelo OPS-V250, proveedor ibersolar en Perú.

El autor Hidalgo, (2016), en su trabajo de investigación sobre eficiencia térmica de las calderas de vapor de la ciudad de Loja y su correlación con la contaminación ambiental, reporta que, luego de ser Obtenidas y medidas las emisiones de los gases contaminantes, se concluye que el Monóxido de Carbono con valores desde 0.09 hasta 344.14 ppm y el Dióxido de Carbono con valores de 8.09 a 12.73 %, son los gases de mayor contaminación al ambiente, producto de los procesos de combustión y el Dióxido de Azufre es el contaminante de menor incidencia en las emisiones, con valores minúsculos cercanos a cero, esto se debe a las características del combustible Diésel Premium, que utilizan las calderas para su funcionamiento. Realizó el estudio de la eficiencia térmica de cada caldera y concluye que, la caldera Colmáquinas de la empresa ECOLAC 1 es la que tiene los valores menores de eficiencia térmica siendo el promedio de 63.88 %, así también las calderas de las empresas de ile con 76.559 %, inapesa con 81.238 %, cafrilosa 1 (distral) con 82.769 %, cafrilosa 2

(termicon) con el 86.715%, ecolac 2 (york shipley) con 71.842 %, iess con 79.374 % y con el mayor índice de eficiencia térmica se determinó, la caldera fulton del hospital isidro ayora (hial) con 88.378 %. Asimismo, indica que una vez obtenidos los valores de eficiencia térmica y los datos de emisiones de gases contaminantes, concluyendo que la correlación entre estas variables es demostrable y medible (correlaciones 2 y 4), siendo los parámetros de Factor de similitud de Pearson de -0.94 a -0.99 y de -0.77 a -0.97, debido a que la correlación entre las emisiones de  $CO$  y  $CO_2$ , y las pérdidas de calor con gases de salida y las pérdidas de calor por combustión incompleta es directa (siendo las correlaciones 1 y 3) y su variación calculada mediante el coeficiente de Pearson es de 0.84 a 0.99 y de 0.92 a 0.99.

El investigador Mamani (2018), en su tesis sobre optimización energética del generador de vapor del comedor universitario de la universidad nacional del altiplano de Puno de 150 kg de vapor/hora, Perú, reportan que realizaron el balance térmico y una optimización de 2.96 % de la caldera, realizaron los cálculos y cuantificaron la distribución de la energía o calor liberada por la combustión de una libra de petróleo Diesel 2. Los calores o energías calculados, fueron: calor útil utilizado para calentar el agua hasta la temperatura de ebullición y su evaporación, calor perdido en gases de escape, calor perdido por evaporación del agua de formación, calor perdido por combustión incompleta, calor perdido para calentar la humedad del aire ambiental y calor perdido por radiación, convección y otros aspectos, concluyen que, con lo cálculos realizados para cuantificar la distribución de la energía permitieron calcular la eficiencia de la caldera, la cual se ubica en  $\eta = 66.99\%$ , como promedio. Mamani y Ramos resumen los resultados de los cálculos de ingeniería del balance energético en el diagrama de Sankey, en porcentajes con respecto al 100% de la energía calorífica contenida en una libra de petróleo diesel 2 (19300 BTU/lb combustible). Asimismo, señalan que los porcentajes de los calores o energías perdidas del diagrama de Sankey sirvieron para comparar o contrastar con los valores del funcionamiento eficiente de la caldera, estableciéndose si la energía aprovechada y la pérdida estén entre los porcentajes adecuados. Mamani y Ramos diagnosticaron las siguientes fallas de funcionamiento de la caldera, basado en el análisis comparativo de los % de energías calculados y los recomendados: El sistema de refrigeración de la caldera no refrigera lo necesario, la temperatura de evacuada de gases de escape es excesiva, la superficie de los conductos de gases tiene suciedad lo que imposibilita una buena transmisión de calor, El cuerpo refractario y el aislamiento de la caldera



no es eficiente, El factor de carga de funcionamiento de la caldera es bajo, La combustión de la caldera es deficiente y La temperatura del agua de alimentación es baja.

Asimismo, Huamancayo (2017), realizó un análisis termoeconómico a un caldero de 300 BHP, con un gasto nominal de 4698 Kgv/h, con porcentaje a plena carga de 79%. El análisis comprendió el cambio de Diesel por GLP (Gas Licuado de petróleo) concluyendo que se mejoraron las condiciones de impacto ambiental respecto a los gases contaminantes CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, se redujeron a 896 TM/año (13.80%) y 14.12 TM/año (15.80%) respectivamente, con un gasto de 17 gal/h de combustible, donde el proyecto tuvo una inversión de 12345 US\$, beneficio 22454.00 US\$/año, con un costo beneficio de 2.25 y tasa interna de rentabilidad de 87%. Asimismo, se obtuvo que la caldera pirotubular es la que tiene los valores menores de eficiencia térmica siendo el promedio de 82.08 % y con la implementación del GLP llegó hasta 87.08%, así también el sistema de gestión energético permitió que la caldera reduzca su consumo de combustible a 45.11 gal/h, donde los gases de chimenea se minimizaron a 9%, combustión incompleta 1.10%, hollín 2.15%, purgas 1.05%, convección 0.62%. Obteniendo un gasto de vapor de 6.66 \$/TM vapor.

Finalmente, Bohórquez (2017), detalló el uso eficiente y razonable de las purgas continuas de un caldero pirotubular, para de esta manera recuperar un recurso valioso como el vapor flash en tanques de revaporizado el cual representa el 10.43% del flujo másico de purgas que se evacua, asimismo con el vapor flash se precalentó el agua de alimentación de la caldera de 75°C a 90 °C, permitiendo la reducción del consumo de petróleo industrial N°6 o bunker de 67.28 gal/h a 53 gal/h, aumentando el rendimiento de energético del caldero de 74.23% a 83%, cumpliendo con las normas técnicas peruanas NTP305.301 que exigen un rendimiento para calderas pirotubulares un valor superior o igual al 82%.

### **1.3. Teorías relacionadas al tema**

La investigación fundamenta su ingeniería en base científica extraída de artículos científicos, libros de energía térmica, termodinámica, transferencia de calor, asimismo de textos de análisis económico y financiero para la evaluación del proyecto, por lo consiguiente se consideran las siguientes teorías relacionadas al tema:

La gestión energética tiene como principal objetivo la minimización de los consumos de energía en condiciones de excesos, generando ahorros significativos, traducidos en

reducción de los costos operacionales en una organización. Para lo cual se emplean metodologías basadas en implementación de cambios de viabilidad de combustibles (combustibles renovables), implementación de recuperadores de transmisión de calor, purificadores de reducciones de dureza de agua, otros. Contribuyendo a minimizar los gastos másicos de agua, aire, vapor, combustible y contaminantes ambientales (Chero, 2016).

El balance energético se fundamenta en el balance de materia y energía, los cuales permiten determinar los principales parámetros de operación de un sistema energético sometido a ciertas condiciones de operación. Para el balance de masa y energía se utilizan dos ecuaciones fundamentales:  $\sum \dot{m}_e = \sum \dot{m}_s$  y  $\sum \dot{m}_e * h_e = \sum \dot{m}_s * h_s$  donde  $\dot{m}$  es el flujo másico de entrada y salida del sistema de transferencia en (Kg/s) y  $h$  es la entalpia específica de entrada y salida del sistema de transferencia en (KJ/Kg) (Kenneh y Donald, 2010).

La eficiencia energética es la proporción o fracción del calor total aprovechado (útil) en la combustión de un caldero (reacción de aire y combustible), donde el aprovechamiento del calor de combustión en un caldero se ve limitados por diversas pérdidas como: gases de chimenea, radiación en hogar, purgas, convección al medio ambiente, combustión incompleta y hollín. Para calcular la eficiencia energética se emplea la siguiente ecuación  $\eta_{\text{cald}} = (1 - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6)) * 100\%$  donde  $L_1$  es la disipación de gases y se debe al incremento de los gases evacuados por la chimenea y es la principal pérdida energética en un caldero,  $L_2$  es la disipación del calor por combustión incompleta,  $L_3$  disipación de calor por acumulación de hollín en los tubos de fuego,  $L_4$  es la disipación de calor por la elevada dureza contenida en el agua de alimentación traducido en purgas,  $L_5$  es la disipación de calor por convección perdido por las paredes externas del caldero al medio ambiente y  $L_6$  es la disipación de calor por radiación debido a los efectos de la temperatura de la llama originada en el hogar (Beltrán, 2018).

El calor total es originado por la mezcla de las cargas térmicas de aire y combustible. Para evaluar la potencia térmica del calor total se utiliza la siguiente expresión  $\dot{Q}_t = (\dot{m}_a * C_{p_a} * T_a) + \dot{m}_c * (PCI_c + C_{p_c} * T_c)$  donde  $\dot{Q}_t$  es el calor total de combustión en (KW),  $\dot{m}_a$  es el gasto másico de aire en (Kg/s),  $C_{p_a}$  es la capacidad calorífica del aire en (KJ/Kg°C),  $T_a$  es la temperatura del aire de ingreso al quemador en (°C),  $\dot{m}_c$  es el gasto másico de combustible en (Kg/s),  $C_{p_c}$  es la capacidad calorífica del combustible en (KJ/Kg°C),  $PCI$  es la energía específica del combustible y  $T_c$  es temperatura del combustible en (°C) (Amau, 2015).

La disipación por gases residuales es la pérdida energética más relevante de un caldero, donde el principal causante es la elevada temperatura de los productos de combustión en la chimenea. El porcentaje de disipación de gases residuales se expresa:  $L_1 = \frac{H_1}{\dot{Q}_t}$  donde  $H_1$  es la potencia térmica de gases en (KW) y  $\dot{Q}_t$  es el calor total en (KW). Asimismo la potencia térmica de gases de chimenea se expresa como  $H_1 = \dot{m}_g * C_{p_g} * T_g$  donde  $\dot{m}_g$  es el gasto de gases en (Kg/s),  $C_{p_g}$  es la capacidad calorífica del gas en (KJ/Kg°C) y  $T_g$  es la temperatura de gases en (°C) (Beltrán, 2018).

La disipación por combustible incompleta, se debe a la presencia de los productos de combustión tales como: CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, los cuales se deben a la ineficiencia de la combustión por las partículas de carbono que no se queman. El porcentaje de disipación de combustión incompleta se expresa:  $L_2 = \frac{H_2}{\dot{Q}_t}$  donde  $H_2$  es la potencia térmica de combustión incompleta en (KW) y  $\dot{Q}_t$  es el calor total en (KW). Asimismo la potencia térmica de ineficiencia de combustión se expresa como  $H_2 = \dot{V}_g * r_{co} * PCI_{CO}$  donde  $\dot{V}_g$  es el gasto volumétrico de gases en (m<sup>3</sup>/s),  $r_{co}$  es la concentración de monóxido de carbono (adimensional) y  $PCI_{CO}$  es la capacidad calorífica volumétrica de monóxido de carbono en (KJ/m<sup>3</sup>) (Beltrán, 2018).

La disipación por hollín, se deben a los depósitos de carburo en los tubos de fuego los cuales crean una capa de resistencia en las paredes internas de los tubos, limitando la transmisión del calor de combustión al agua de alimentación acumulada en el caldero. El porcentaje de disipación de hollín se expresa:  $L_3 = \frac{H_3}{\dot{Q}_t}$  donde  $H_3$  es la potencia térmica de hollín en (KW) y  $\dot{Q}_t$  es el calor total en (KW). Asimismo la potencia térmica de hollín se expresa como  $H_3 = \dot{m}_g * g_c * PCI_c$  donde  $\dot{m}_g$  es el gasto másico de gases en (Kg/s),  $g_c$  es la concentración de de carbono (adimensional) y  $PCI_c$  es la capacidad calorífica másica del carbono en (KJ/Kg) (Beltrán, 2018).

La disipación por purgas, se debe a la dureza del agua de alimentación formada por compuestos minerales como sales de calcio y magnesio. El porcentaje de disipación de purgas se expresa:  $L_4 = \frac{H_4}{\dot{Q}_t}$  donde  $H_4$  es la potencia térmica de purgas en (KW) y  $\dot{Q}_t$  es el calor total en (KW). Asimismo la potencia térmica de purgas se expresa como  $H_4 = \dot{m}_p(h_f - h_{agua})$  donde  $\dot{m}_p$  es el gasto másico de purgas en (Kg/s),  $h_f$  es la entalpia específica del liquido saturado en (KJ/Kg) y  $h_{agua}$  es la entalpia específica del agua de alimentación en (KJ/Kg) (Beltrán, 2018). También para calcular el flujo másico de purgas se emplea la ecuación  $\dot{m}_p = \frac{SDT_{agua}}{SDT_{purgas} - SDT_{agua}} * \dot{m}_v$  donde  $SDT_{agua}$  es la concentración de sólidos disueltos totales de agua de alimentación en (ppm),  $SDT_{purgas}$  es la concentración de sólidos disueltos totales de purgas en (ppm) y  $\dot{m}_v$  es el flujo másico de vapor saturado en (Kg/s) (Fernández, 2015).

La disipación por convección, se debe a la elevada temperatura de la superficie exterior del caldero producto del deterioro o mala selección del aislante térmico, dónde el calor es evacuado al medio atmosférico. El porcentaje de disipación de convección se expresa:  $L_5 = \frac{H_5}{\dot{Q}_t}$  donde  $H_5$  es la potencia térmica de convección en (KW) y  $\dot{Q}_t$  es el calor total en (KW). Asimismo la potencia térmica de convección se expresa como  $H_5 = S_{ext-p} * h_{p-\infty} * (T_{ext-p} - T_{\infty})/1000$  donde  $S_{ext-p}$  es la superficie lateral exterior de las paredes del caldero en (m<sup>2</sup>),  $h_{p-\infty}$  es el coeficiente de convección pared – medio ambiente (W/m<sup>2</sup>°C),  $T_{ext-p}$  es la temperatura de la pared exterior del caldero en (°C) y  $T_{\infty}$  es la temperatura del entorno atmosférico (°C) (Beltrán, 2018).

El coeficiente de convección pared – medio ambiente se expresa como:  $h_{p-\infty} = 11.6 + 6.96 * \sqrt{U_{aire}}$  donde  $U_{aire}$  es la velocidad del aire del entorno del caldero en (m/s) (Sánchez, 2015).

La disipación por radiación, se debe a la mala formación de la llama adiabática de combustión, la cual no tiene una temperatura uniforme unidireccional difiriendo con la temperatura de las paredes internas del hogar. El porcentaje de disipación de radiación se expresa:  $L_6 = \frac{H_6}{\dot{Q}_t}$  donde  $H_6$  es la potencia térmica de radiación en (KW) y  $\dot{Q}_t$  es el calor total en (KW). Asimismo la potencia térmica de radiación se expresa como  $H_6 = \epsilon * S_h * \sigma_b * (T_{gc}^4 - T_h^4)/1000$  donde  $\epsilon$  es la emisividad de combustión (adimensional),  $S_h$  es la superficie lateral del hogar ( $m^2$ ),  $\sigma_b$  es la constante de Boltzmann ( $5.67*10^{-8} W/m^2K^4$ ) y  $T_{gc}$  es la temperatura de gases calientes ( $^{\circ}K$ ) y  $T_h$  es la temperatura de las paredes del hogar ( $^{\circ}K$ ) (Beltrán, 2018).

Los tanques de recuperación de vapor vivo o flash, permiten recuperar el calor originado en las purgas continuas evacuadas por un caldero, este valor es utilizado en el precalentamiento del aire de combustión o agua de alimentación, reduciendo el gasto másico de combustible. El porcentaje de recuperación se vapor se calcula mediante la siguiente expresión:  $F = \left( \frac{(h_f)_1 - (h_f)_2}{(h_{fg})_2} \right)$  donde  $(h_f)_1$  es la entalpia específica del líquido saturado a la presión máxima del caldero en (KJ/Kg),  $(h_f)_2$  es la entalpia específica del líquido saturado a la presión del vapor vivo en (KJ/Kg) y  $(h_{fg})_2$  es la entalpia específica de evaporización del vapor vivo en (KJ/Kg) (Fernández, 2015). Asimismo el flujo másico de vapor flash se determina mediante la expresión  $\dot{m}_{vf} = F * \dot{m}_p$  donde  $\dot{m}_{vf}$  es el flujo másico de vapor flash en (Kg/s),  $F$  es el porcentaje de vapor flash (%) y  $\dot{m}_p$  es el gasto másico de purgas en (Kg/s) (Broatch, 2015).

El proceso de combustión completa refiere al suficiente aire en la combustión para producir la oxidación del carbono, hidrógeno y nitrógeno (C, H<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>) (Capcha, 2007). En un balance de combustión completo se emplea la siguiente ecuación:  $a * (O_2 + 3.76 N_2) + \text{Combustible} = XCO_2 + YH_2O + ZN_2$  donde  $a$ , X, Y, Z representan el número de moles del comburente, dióxido de carbono, agua y nitrógeno en (Kg/Kmol) (Casiano, 2015).

La relación aire/combustible en un caldero representa la cantidad de aire en kilogramos que produce un kilogramo de combustible para que el combustible y el comburente se mezclen eficientemente (Capcha, 2007). El ratio de combustión se determina mediante la siguiente expresión  $R_{a-c} = \frac{m_a}{m_c} = \frac{a \cdot a_t \cdot (O_2 + 3.76 N_2)}{m_c}$  donde  $a$  representan el número de moles del comburente en (Kg/Kmol),  $a_t$  es el porcentaje de aire teórico en la combustión,  $m_c$  es la masa de combustible (Kg),  $m_a$  es la masa del comburente (Kg). También mediante la obtención del ratio de combustión se puede determinar el flujo másico de aire y gases de chimenea mediante las siguientes expresiones:  $\dot{m}_a = R_{a-c} * \dot{m}_c$  y  $\dot{m}_g = (R_{a-c} + 1) * \dot{m}_c$  donde  $\dot{m}_a$  y  $\dot{m}_g$  son el flujo másico de aire y gases respectivamente en (Kg/s) (Amau, 2015).

La temperatura de gases calientes, es la temperatura máxima en el ciclo de funcionamiento de un caldero pirotubular, donde la temperatura de las paredes del hogar difieren entre 3 a 5°C menos (Capcha, 2017). La temperatura de los gases calientes se determina mediante la siguiente expresión  $T_g = \frac{\dot{Q}_t}{\dot{m}_g * C_{p_{gc}}}$  donde  $\dot{Q}_t$  es el calor total en (KW),  $\dot{m}_g$  es el gasto de gases en (Kg/s) y  $C_{p_g}$  es la capacidad calorífica del gas caliente en (KJ/Kg°C) (Sánchez, 2015).

El coeficiente de transferencia de calor global, es una expresión de transferencia de calor que reúne la transmisión de calor por convección y conducción desde el gas caliente hacia el agua de alimentación usando como medio el espesor de los tubos de fuego del caldero (Esplumas y Chamarro, 2015). El coeficiente de transferencia de calor se calculo mediante la expresión:  $KG = \frac{\dot{Q}_{\text{útil}}}{\Delta T_{ml} * S_{IC}}$  donde  $KG$  es el coeficiente de transferencia de calor global en (W/°C\*m<sup>2</sup>),  $\dot{Q}_{\text{útil}}$  es el calor útil de generación de vapor saturado del caldero en (KW),  $\Delta T_{ml}$  es la variación de temperatura media logarítmica en (°C) y  $S_{IC}$  es la superficie de transferencia de intercambio de calor de los tubos de fuego del caldero (m<sup>2</sup>) (Cengel, 2017).

La variación de temperatura logarítmica, es la temperatura media estadística de los fluidos agua – vapor y gases calientes – gases residuales, (Incropera, 2017). En una caldera

pirotubular por lo general la temperatura logarítmica es de flujo cruzado y se determina mediante la siguiente expresión  $\Delta T_{mL} = \frac{T}{\ln\left(\frac{\Delta T_{max} + \Delta T_{min} + T}{\Delta T_{max} + \Delta T_{min} - T}\right)}$  donde  $\Delta T_{máx.}$  es la variación de temperatura media logarítmica máxima referida a la diferencia de la temperatura de los gases calientes y la temperatura del vapor saturado en ( $^{\circ}C$ ),  $\Delta T_{mín}$  es la variación de temperatura media logarítmica mínima referida a la diferencia de la temperatura de los gases residuales y la temperatura del agua de alimentación en ( $^{\circ}C$ ) y  $T$  es la temperatura media estadística de los fluido  $T = \left((T_{gc} - T_{gr})^2 + (T_{v-sat.} - T_{agua})\right)^{0.5}$  y se mide en ( $^{\circ}C$ ) (Kenneth y Donald, 2011).

El calor útil es la potencia calorífica útil aprovechada en la generación de vapor saturado en un caldero y depende de la presión de servicio y gasto másico de vapor. La potencia útil se determina mediante la siguiente expresión:  $\dot{Q}_{util} = \dot{m}_v * (h_v - h_{agua})$  donde  $\dot{m}_v$  es el gasto másico de vapor producido por el caldero en (Kg/s) y  $h_v, h_{agua}$  son las entalpias de vapor y agua de alimentación respectivamente en (KJ/Kg) (Cengel, 2017).

El costo unitario de generación de vapor expresa el costo producido por cada tonelada métrica de vapor producida. El costo unitario de generación de vapor se determina mediante la expresión:  $C_{unit-Gener-vapor} = \frac{C_c}{\dot{m}_v}$  donde  $C_{unit-Gener-vapor}$  se expresa en (soles/mes),  $C_c$  es el costo de combustible del caldero en (soles/mes) y  $\dot{m}_v$  es el flujo de vapor en (TM/mes) (Muñoz, 2014).

En cuanto a análisis económico, el periodo de retorno de la inversión es el tiempo inicial esperado para la recuperación del valor económico de los activos fijos, (Capcha, 2017), se determina con:  $ROI = \frac{I}{B}$ , siendo  $ROI$  el retorno operacional de la inversión en (años),  $I$  son los costos de activos fijos en (soles) y  $B$  es la utilidad en (soles/año).

#### 1.4. Formulación del Problema

¿En qué medida la aplicación de un Programa de Gestión Energética en el sistema de generación de vapor del hospital Essalud de Chocope, contribuirá a aumentar la eficiencia térmica?

## **1.5. Justificación del estudio**

La justificación técnica es que permitirá establecer un conjunto de medidas técnicas que mejoren la operación de generación de vapor en las calderas del hospital, como resultado de un diagnóstico energético inicial, la justificación económica se basa en que al obtener y sostener el nuevo rendimiento térmico del sistema de generación de vapor, se logrará un menor gasto de combustible, ocasionando un ahorro económico importante para la institución, la justificación laboral se sustenta en que para sostener los nuevos valores de proceso y el rendimiento se deberá aplicar mejores planes de mantenimiento preventivo, debiendo capacitar al personal, mejorar las herramientas, equipos de seguridad, lo que generará un mejor clima laboral y sentar bases para aplicar sistemas mejorados de mantenimiento y la justificación tecnológica resulta en que, del análisis energético inicial se determinará si es necesario renovar la tecnología o aumentar equipos de medición y control, más modernos y precisos que los actuales, para poder gestionar el sistema energético con mayor confiabilidad.

## **1.6. Hipótesis**

La aplicación de un Programa de Gestión Energética en el sistema de generación de vapor del hospital Essalud de Chocope, contribuirá a aumentar la eficiencia térmica

## **1.7. Objetivos**

### **1.7.1. Objetivos general**

Diseñar un Programa de Gestión Energética en el sistema de generación de vapor del hospital Essalud de Chocope, en base a auditoría y normas peruanas de calderas, para aumentar eficiencia y reducción de costos.

### **1.7.2. Objetivos específicos**

- Realizar el diagnóstico energético inicial en caldera pirotubular.
- Diseñar un programa de gestión energética para el sistema de generación de vapor, considerando la Política energética de la institución.
- Realizar un análisis ambiental: flujo de gases CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>.
- Realizar un análisis económico: presupuesto de inversión, beneficios brutos y retorno operacional de la inversión.
- Realizar un análisis financiero: Valor actual neto y Tasa interna de retorno.



## **II. MÉTODO**

## 2.1. Tipo y diseño de investigación

### a. Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada, porque se utilizan los conocimientos de la ingeniería energética para solucionar una problemática, generando un aporte al campo científico.

### b. Diseño de investigación

El estudio es aplicado con diseño pre-experimental, ya que la realidad problemática se centra en dar procedimiento a una problemática específica, dónde el cambio en la variable independiente repercute directamente en la variable dependiente.

## 2.2. Operacionalización de variables

Tabla 1: Operacionalización de las variables del proyecto

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Variable Independiente: Programa de Gestión Energética	Medidas a ser aplicadas por un grupo responsable en el tiempo, con retroalimentación en sistema de generación vapor saturado	Implementación de Política energética para mejorar el sistema de generación de vapor saturado	Programa Parcial Integral	
Variable dependiente 1: Eficiencia de caldera	Porcentaje del calor total que se aprovecha para generar vapor saturado en caldera pirotubular	Resultado de restal del 100 % la relación porcentual entre todas las pérdidas térmicas y el calor total a caldera de vapor sturado	Rendimiento:  Bajo  Mediano  Elevado	De razón  %
Variable dependiente 2: Costo de generación de vapor saturado	Valor monetario de los recursos empleados para generar vapor saturado en caldera	Suma de los costos unitarios de mano de obra, combustible, mantenimiento raportados para generación de vapor saturado	Costo  Bajo  Medio  Alto	De razón  (\$/Ton)
Variable interviniente 1: Variación de PCI del combustible	Variación del PCI del combustible por variación de los componentes del mismo	Reducción del PCI del combustible por aumento de cenizas y humedad	Desviación  Elevada  Moderada  baja	De razón  (kJ/kg)

Variable interviniente 2 : Variación de temperatura del aire	Variación de la temperatura del aire atmosférico por situación climatológica	Variación de la entalpía del aire para combustión debido a la variación de la temperatura	Temperatura  Baja  Media  elevada	De razón  (°C)
--	---	---	---	----------------------

Fuente: Elaborada por los autores

### 2.3. Población y muestra

**2.3.1. Población:** Calderos de vapor saturado pirotubulares de ESSALUD La Libertad.

**2.3.2. Muestra:** Caldero pirotubular de Hospital ESSALUD Chocope.

### 2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Tabla 2: Técnicas e instrumentos del proyecto

Técnica	Instrumento	Objeto	Objetivos
Observación	Fichas de observación	Sistema de generación de vapor saturado en hospital ESSALUD Chocope	Conocer el sistema de generación de vapor y sus variables de proceso
Entrevistas	Fichas de entrevistas	Personal de operación y de mantenimiento del sistema de generación de vapor saturado	Establecer aspectos operacionales, de mantenimiento, de mejoras que permitan detallar con más precisión las características de equipos térmico del sistema de generación de vapor saturado
Encuestas	Fichas de encuestas	Personal ejecutivo de Planta generación vapor saturado	Establecer prioridades y su impacto en las mejoras proyectadas
Mediciones	Fichas de mediciones	Caldera de vapor saturado	Determinar el valor real del rendimiento y pérdidas térmicas en caldera
Análisis documental	Fichas bibliográficas	Sistema de generación de vapor saturado	Determinar ecuaciones para analizar sistema térmico

Fuente: Elaborado por los autores

## 2.5. Procedimiento

El procedimiento analítico de la investigación se fundamentó en los siguientes criterios:

- Se determinó el flujo másico de vapor saturado real mediante un balance de masa y energía al caldero de 100 BHP.
- Se evaluó el porcentaje de carga del caldero (carga de gasto másico de vapor real en relación al gasto másico de vapor nominal).
- Se procedió a calcular el coeficiente de transmisión de calor global, temperatura media logarítmica, superficie total (lateral) de los tubos de fuego y calor útil.
- Se determinaron las 6 pérdidas del caldero: gases de chimenea, convección, radiación, purgas, hollín y combustión incompleta. Y se calculó el rendimiento energético del caldero en condiciones iniciales.
- Se evaluó el costo de generación de vapor con el combustible inicial del caldero (Diésel -2).
- Se realizó un programa de gestión energética para el sistema de generación de vapor, sustentado en el cambio de combustible de Diésel -2 por gas licuado de petróleo, propuesta de recuperador de calor flash y mantenimiento del caldero.
- Estimación de las pérdidas energéticas, rendimiento energético y costo de generación de vapor en condiciones de mejora.
- Evaluación del consumo de combustible con gas licuado de petróleo.
- Cálculo de los gastos másicos de los gases contaminantes: CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>
- Determinación de la utilidad, beneficio y retorno operacional de la inversión
- Determinación de la viabilidad del proyecto, mediante las herramientas financieras: VAN y TIR.

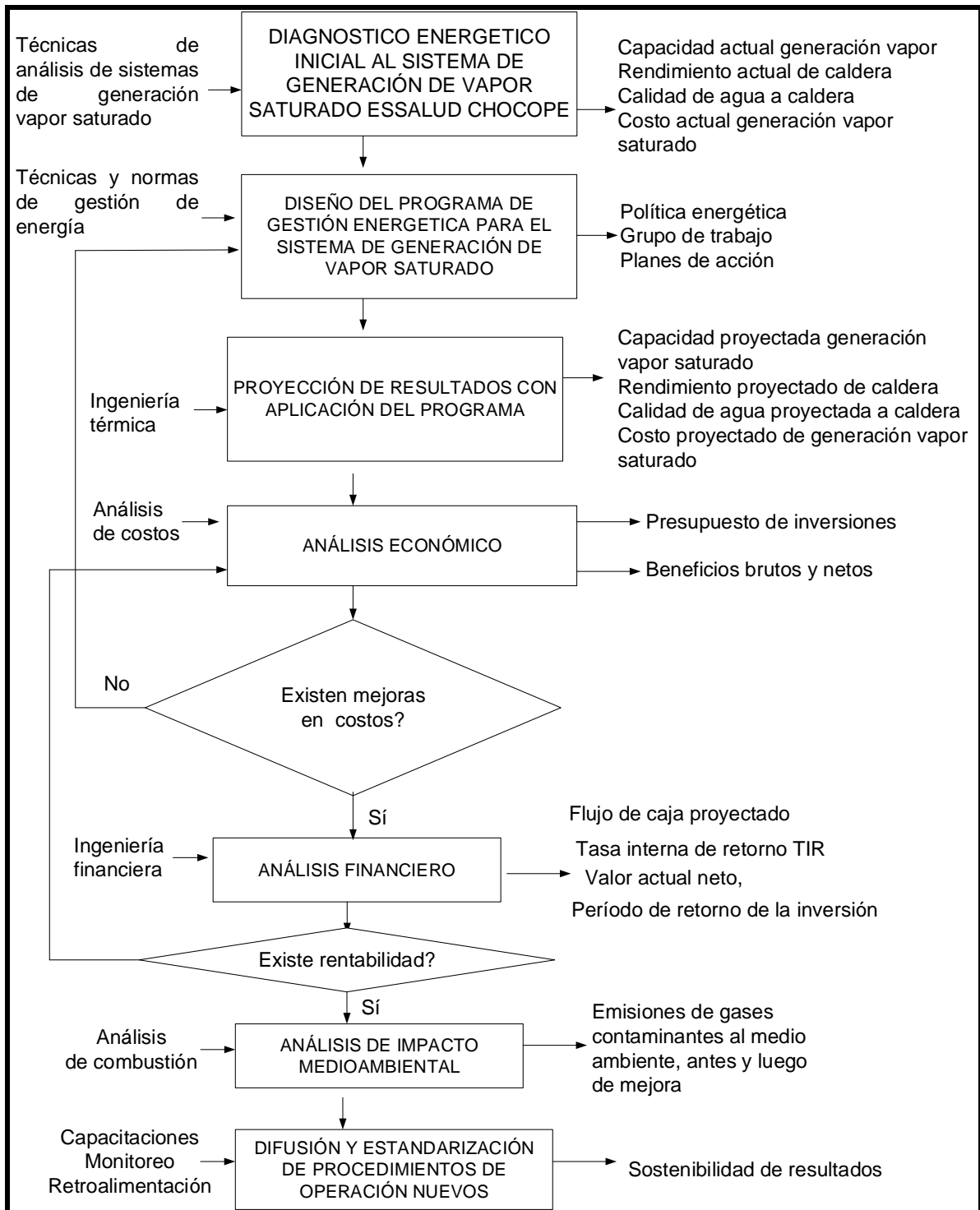


Figura 1: Procedimiento de la investigación

Fuente: Elaboración propia

## **2.6. Métodos de análisis de datos**

Con las fichas de observación, de encuestas y de entrevistas se realizarán evaluaciones analíticas del sistema térmico de generación de vapor saturado del Hospital ESSALUD de Chocope, aplicando los conceptos y fórmulas para todos los sistemas energéticos de la caldera de 100 BHP. Los parámetros de proceso se procesarán con técnicas estadísticas. Con las fichas bibliográficas se determina la producción de vapor, kg/h; se determina la eficiencia actual y proyectada, %; también se determina el costo unitario de generación de vapor, actual y proyectado, en soles/Ton y los indicadores de proceso de generación de vapor. Se establecen los presupuestos de inversión, beneficios económicos brutos y netos, el valor actual neto, VAN; el período de retorno de la inversión, Período de retorno de la inversión. ROI para establecer si hay rentabilidad. De ser necesario, se hará análisis de sensibilidad financiera. Con las fichas bibliográficas se hará análisis de combustión perfecta y real en la situación actual y la proyectada, hallando la reducción de emisiones de gases como CO<sub>2</sub>, CO, SO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, contaminantes a la atmósfera, al reducir el consumo de combustible.

## **2.7. Aspectos éticos**

La investigación es propia, pertenece a los autores, es original desde la observación, tomas de datos, su procesamiento y análisis, es decir, toda la aplicación del método científico que permita definir si es viable encontrar una solución razonable al problema de investigación planteado.

### **III. RESULTADOS**

### 3.1 ANÁLISIS ENERGÉTICO INICIAL DEL CALDERO PIROTUBULAR DE 100 BHP DEL HOSPITAL ESSALUD DE CHOCOPE

En la figura 2, se observa el resultado de las 6 pérdidas disipadas de calor del caldero INTENSA de 100 BHP (Anexo 13), obteniendo que la mayor pérdida significativa es la de gases de chimenea es 117KW.

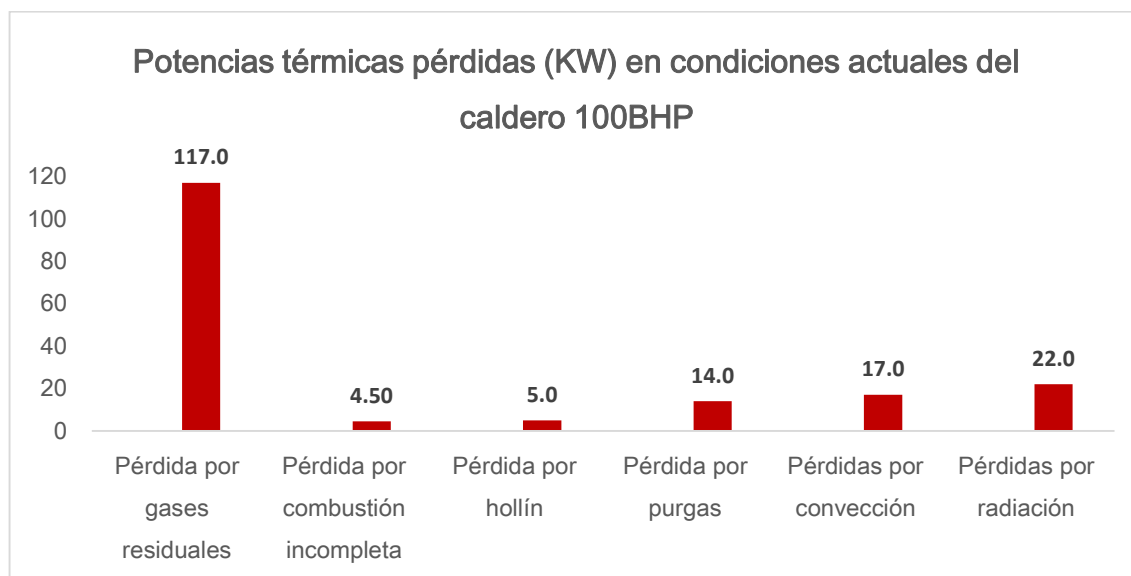


Figura 2: Potencias pérdidas actualmente por el caldero de 100BHP  
Fuente: Elaborado por los autores

En la figura 3, se observan los resultados de los porcentajes de las 6 pérdidas disipadas de calor del caldero INTENSA de 100 BHP respecto del calor total (Anexo 13), obteniendo que la mayor pérdida significativa es la de gases de chimenea con 12.75%.

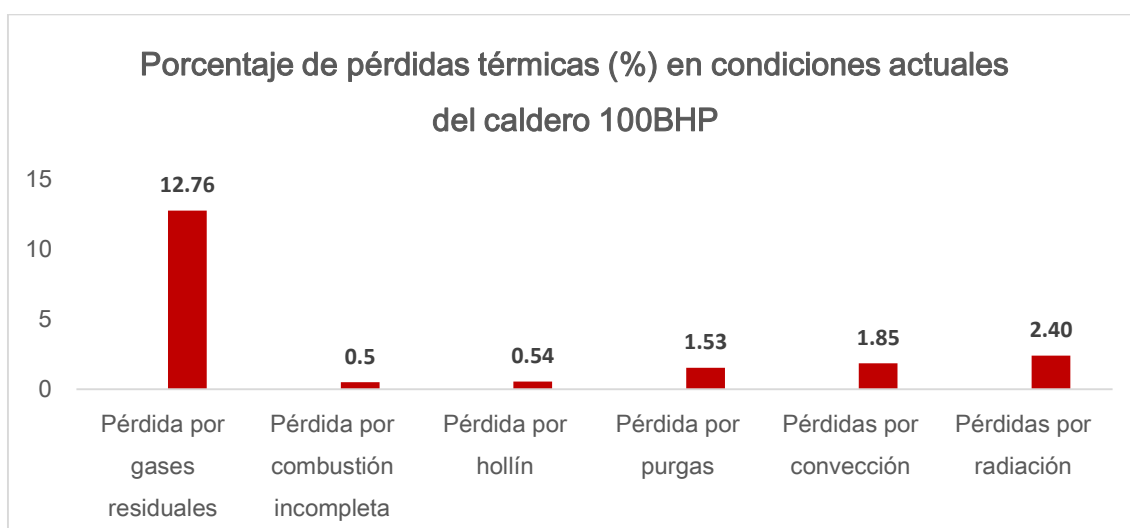


Figura 3: Porcentaje de pérdidas actualmente por el caldero de 100BHP  
Fuente: Elaborado por los autores



Una vez efectuado el análisis de las pérdidas energéticas, determinamos la eficiencia del caldero pirotubular de 100 BHP. Tenemos:

$$\eta_{\text{energ}} = 100\% - (12.76 + 0.50 + 0.54 + 1.53 + 1.85 + 2.40) \%$$

$$\eta_{\text{energ}} = 80.42\%$$

### 3.2.DISEÑO DEL PROGRAMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA PARA EL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR

Se diseñó un Programa de Gestión Energética en Hospital Essalud Chocope (Anexo 14), permitiendo obtener los resultados de las potencias térmicas del caldero en condiciones de mejora (Anexo 15).

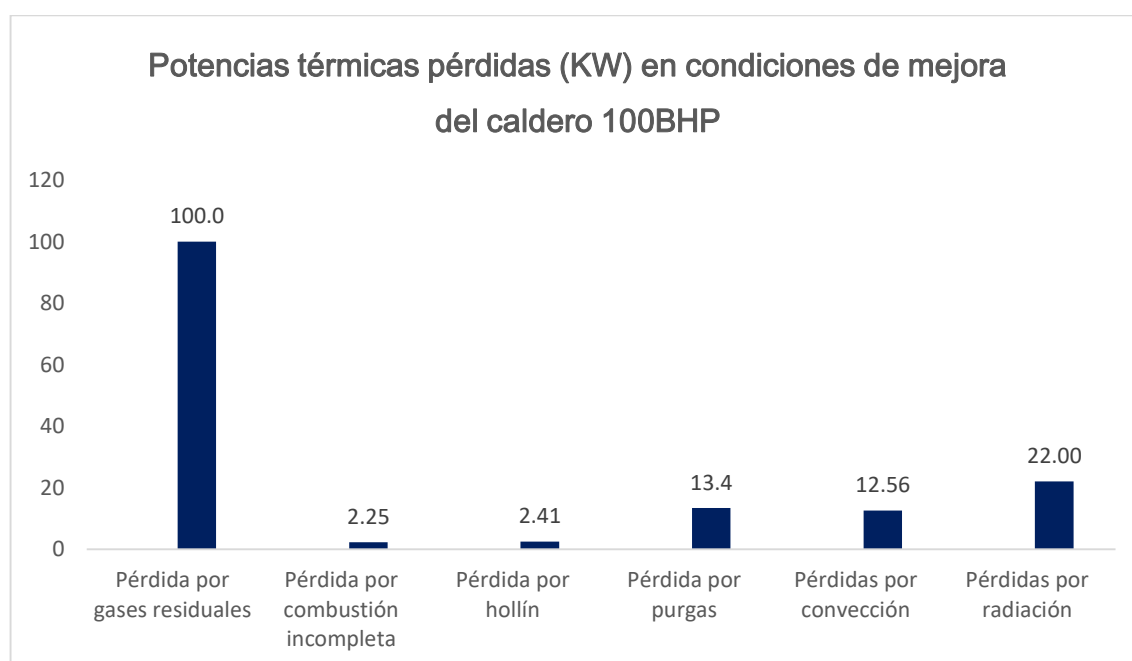


Figura 4: Potencias pérdidas en mejora del caldero de 100BHP  
Fuente: Elaborado por los autores

En la figura 5, se observan los resultados de los porcentajes de las pérdidas energéticas en condiciones de mejora mediante la gestión energética al sistema de generación de vapor (Anexo 15).

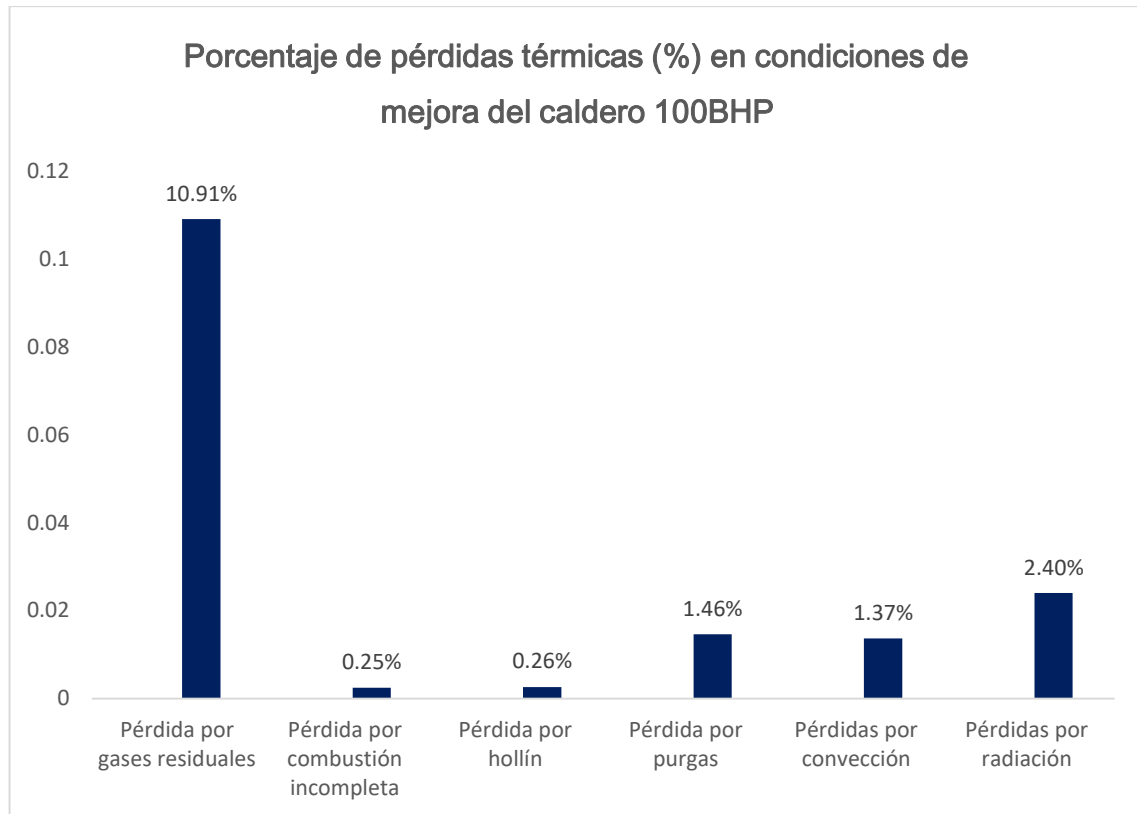


Figura 5: Porcentaje de pérdidas en mejora del caldero de 100BHP  
Fuente: Elaborado por los autores

Tenemos:

Sumatoria porcentual de las perdidas actuales: 19.58%

Potencia de reducción de las perdidas energéticas:  $17 + 2.25 + 2.59 + 13.40 + 4.44 = 39.68$  KW

Reducción de pérdidas de calor en mejora:  $39.68 \text{ KW} / 917 \text{ KW} = 4.33\%$

Con las propuestas de mejora para las distintas pérdidas energéticas la eficiencia del caldero en condiciones de mejora sería:

$$\eta_{\text{energ}} = 100\% - 19.58 + 4.33 \%$$

$$\eta_{\text{energ}} = 84.75\%$$

Se observa que el costo unitario de generación de vapor se reduce drásticamente con la aplicación de medidas de mejora y el cambio de combustible, alcanzando valores de nivel industrial, hasta 113.73 soles/Ton. Asimismo la eficiencia de la caldera aumenta de 80.43% a 84.75%. Dónde el flujo másico Diesel 80.40 Kg/h, a comparación del GLP con un gasto

másico de 64.40 Kg/h (Anexo 15 y Anexo 16).

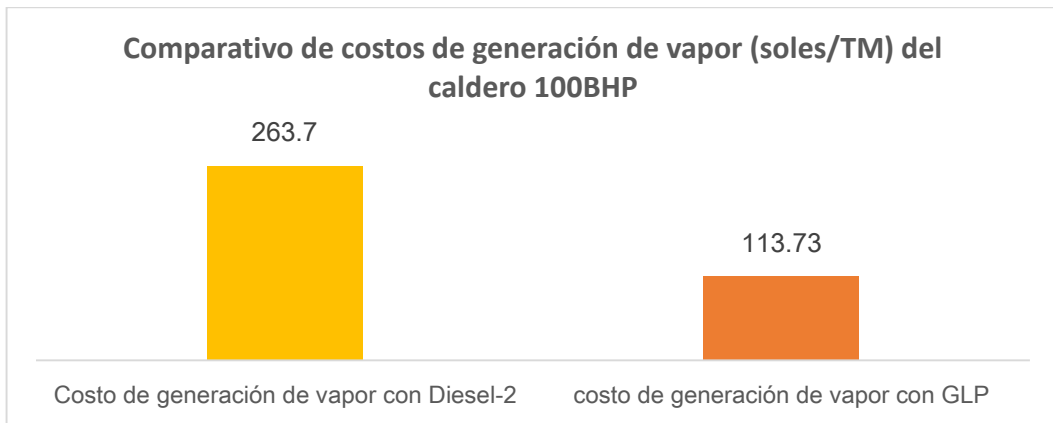


Figura 6: Comparativo de costos de generación de vapor saturado  
Fuente: Elaborado por los autores

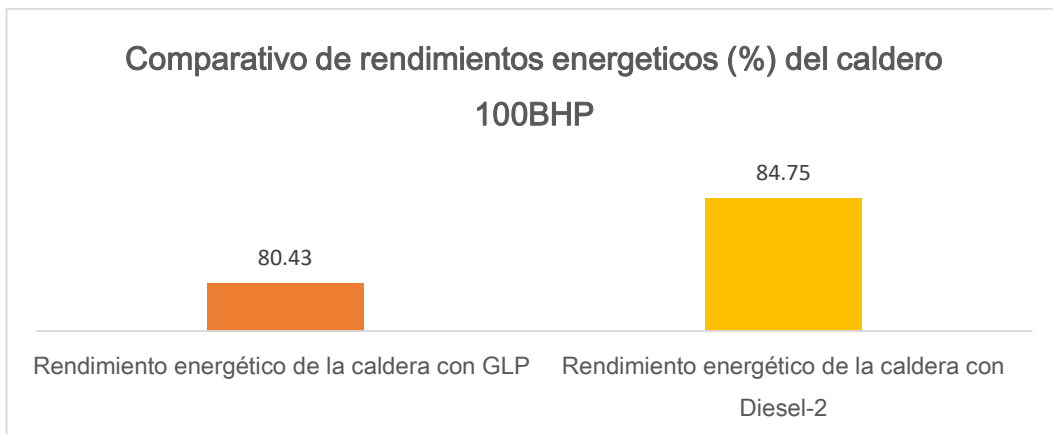


Figura 7: Comparativo de rendimientos energéticos  
Fuente: Elaborado por los autores

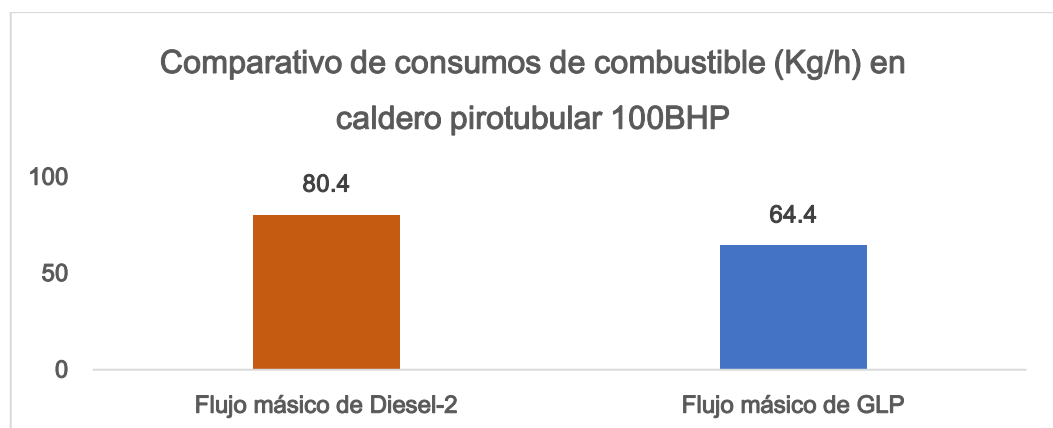


Figura 8: Comparativo Diesel-2 vs GLP  
Fuente: Elaborado por los autores

En la figura 9, se observa la instalación del tanque del gas licuado para el caldero de 100 BHP, así como su instrumentación de operación y seguridad.

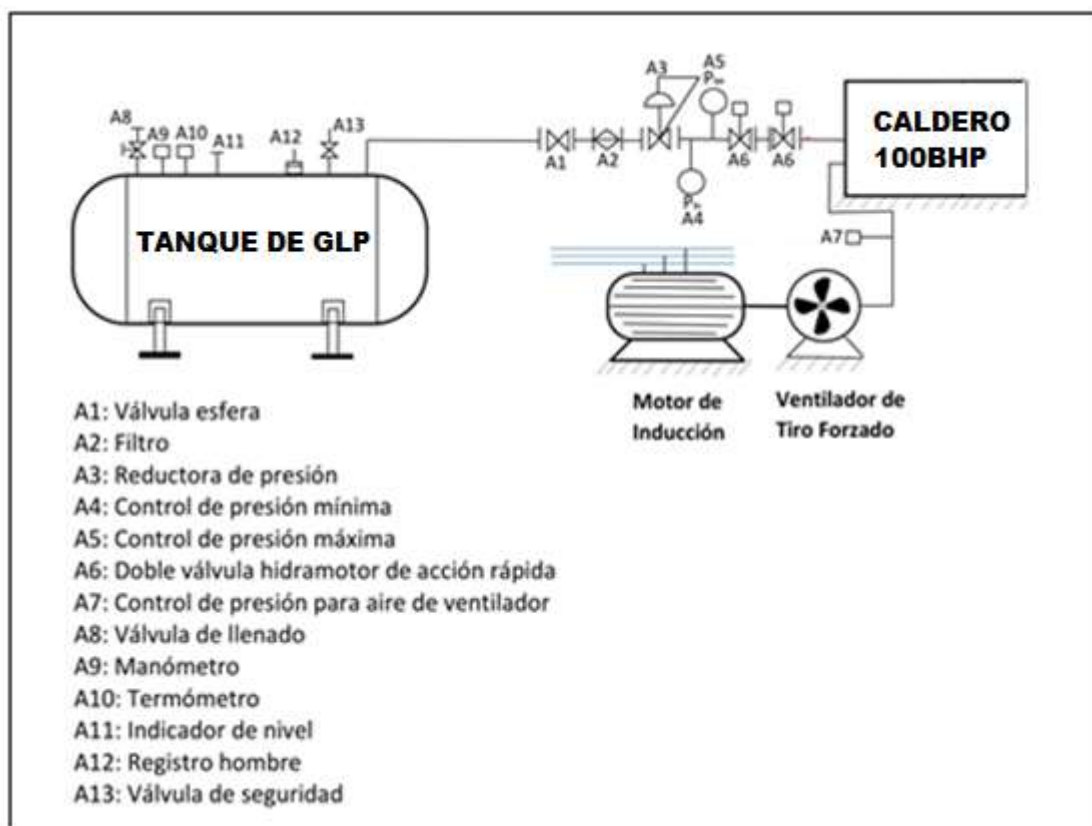


Figura 9: Instalación de tanque de GLP para el caldero de 100 BHP

Fuente: Elaborado por los autores

### 3.3. ANÁLISIS AMBIENTAL.

En la tabla 3, se muestran los resultados del análisis ambiental comparativo entre el combustible Diesel y GLP (Anexo 16 y Anexo 17).

Tabla 3. Reducción de gases contaminantes

COMBUSTIBLE	CO <sub>2</sub> (TM/año)	SO <sub>2</sub> (TM/año)
DIESEL-2	732.50	14.00
GAS LICUADO DE PETRÓLEO	276.43	0
REDUCCIÓN DE GASES CONTAMINANTES	456.07	14.00

Fuente: Elaborado por los autores

### 3.4. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA GESTIÓN ENERGÉTICA.

El proyecto tiene una inversión de **83856.57 \$** y un beneficio útil de **127432.71  $\frac{\$}{\text{año}}$**

(Anexo 18). Por lo tanto el retorno operacional de la inversión sería:

$$\text{PRI} = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Beneficio útil}} = \frac{83856.57 \$}{127432.71 \frac{\$}{\text{año}}}$$

$$\text{PRI} = 0.65 \text{ años} = 8 \text{ meses}$$

### 3.5 EVALUACIÓN FINANCIERA

El análisis financiero se fundamentó en una tasa de interés de 14% y un periodo de préstamo de 15 años (valores promedios de la entidad bancaria BCP), obteniendo un valor actual neto de 698856.54 \$ y una tasa interna de rentabilidad de 152%, valores factibles para la ejecución del estudio.

Tabla 4: Resultados del análisis financiero

Periodos	Movimientos	Utilidades
0	-\$83856.57	Costo Inicial del Proyecto
1	\$127432.71	Utilidad anual
2	\$127432.71	Utilidad anual
3	\$127432.71	Utilidad anual
4	\$127432.71	Utilidad anual
5	\$127432.71	Utilidad anual
6	\$127432.71	Utilidad anual
7	\$127432.71	Utilidad anual
8	\$127432.71	Utilidad anual
9	\$127432.71	Utilidad anual
10	\$127432.71	Utilidad anual
11	\$127432.71	Utilidad anual
12	\$127432.71	Utilidad anual
13	\$127432.71	Utilidad anual
14	\$127432.71	Utilidad anual
15	\$127432.71	Utilidad anual
Total Ingresos	\$1911490.65	
Tasa de Interés:	14.00%	
TIR	152%	Tasa interna de Retorno
VAN	\$ 698856.54	Valor Actual Neto

## **IV. DISCUSIÓN**

**a) Diagnóstico energético inicial en caldera pirotubular**

El diagnóstico inicial al caldero de 100 BHP del hospital EsSalud Chocope se realizó porque se necesitó saber el consumo actual de combustible, consumo de vapor saturado, eficiencia térmica y pérdidas energéticas para poder definir las estrategias energéticas cambio del caldero para reducir sus costos de operación. Este diagnóstico involucro el análisis de muchas variables térmicas como las temperaturas y gastos máxicos de los fluidos: aire, gases, combustible, vapor, purgas, vapor flash, condensado y agua de reposición. En estudios se establece que una caldera pirotubular con petróleo industrial con un consumo de 782 Kg/h y eficiencia de 78.5%, con cambio a GLP consumiría 514 Kg/h incrementando la eficiencia a un valor de 90% precalentando el aire de combustión a 140°C. En comparación con el presente estudio la caldera de 100BHP consume 80.40 Kg/h de combustible diésel con una eficiencia energética de 80.42% y con GLP 64.40 Kg/h con un rendimiento mejorado de 84.75%.

**b) Diseño del programa de gestión energética para el sistema de generación de vapor.**

Se elaboró un programa de gestión energética para establecer las medidas de corrección energética para mejorar la eficiencia del caldero, para lo cual se debe tener un gran consenso entre los responsables de su implementación, para obtener la mayor eficacia y eficiencia en el uso de estos recursos. Para el éxito del Programa de Gestión Energética en hospital Essalud Chocope, es imperativo el compromiso de la alta dirección de la Entidad, que implica definir la organización estructural para su implementación, definir metas, compromiso de los recursos humanos, técnicos y financieros necesarios y el apoyo sistemático al programa. Por lo cual es relevante el compromiso de la dirección de Essalud Chocope para cumplir el Programa de Gestión Energética por parte de la alta dirección y de las Unidades Organizativas y define las responsabilidades de la persona o departamento responsable de elaborar, aplicar y controlar el Programa de Gestión Energética en el Sistema de Generación de Vapor en Hospital Essalud Chocope. Para poder aumentar el rendimiento energético del caldero es necesario aumentar la frecuencia de limpieza de tubos a caldera, desde una vez cada tres meses, a una vez cada quince días, con esto se

asegura una mejora en la transferencia de calor a través de los tubos de caldera, ajustar el quemador, para mantener constante la relación aire combustible, independiente de la carga de la caldera, cambiar trimestral de toberas pulverizadoras del combustible cada tres meses, actualmente se cambia cada dos años, totalmente gastadas y regulación de la presión del aire comprimido, desde 4 a 5 bar, para pulverización del combustible, instalar un tanque de recuperación del vapor flash e instalar una capa de aislante térmico de lana mineral, con espesor de una pulgada, para que se pueda obtener la reducción del calor perdido por gases, purgas, convección, radiación, combustión ineficiente y hollín.

En estudios realizados a una caldera de 30 BHP las disipaciones de calor de un generador de vapor de 371 Kg/h de vapor, generaban una eficiencia de 78.14% pero con un plan de gestión energética como la viabilidad de cambio de petróleo bunker por gas licuado e implementación de recuperadores de calor, la eficiencia mejoró en 93% obteniendo una utilidad de 25080.00 \$/año con una recuperación de la inversión de 90 días. En similitud al estudio la caldera INTENSA genera 80.40 Kg vapor/h con una eficiencia actual de 80.42% (disipación en gases 12.76%, convección pared-medio ambiente 1.85%, hollín 0.54%, ineficiencia en la combustión 0.50%, radiación en el hogar 2.40% y purgas por dureza del agua 1.53%), por lo cual se propuso el cambio de Diésel-2 por GLP e implementación de recipientes de recuperación de vapor flash incrementando la eficiencia a 84.75%. Obteniendo una utilidad de 127432.71 \$/año y periodo de retorno de 240 días.

**c) Análisis medioambiental: cálculo de reducción de gases emitidos a la atmósfera**

El análisis ambiental basado en la evaluación de los gases evacuados por la chimenea del caldero de 100 BHP del caldero pirotubular del hospital EsSalud Chocope, se realizó porque es importante evaluar el grado de evacuación del CO<sub>2</sub> dióxido de carbono y SO<sub>2</sub> dióxido de azufre, para determinar si la gestión energética planteada contribuye a la conservación del medio ambiente o se ajusta a las normas ambientales. De lo que resultó que la gestión energética reduce 456 TM al año de CO<sub>2</sub> y 14 TM al año SO<sub>2</sub> contribuyendo satisfactoriamente a la reducción del calentamiento global.



En el estudio realizado a un caldero de 150 BHP mediante el método indirecto se encontró que el rendimiento energético es 79%, donde el agua de alimentación es 105°C, pero con un plan de acción energético ambiental de reducción de masa de gases de chimenea se logra incrementar porcentual la eficiencia a 14.71%, es decir a 93.71%, donde se redujeron 300 TM al año de CO<sub>2</sub> y 17 TM al año SO<sub>2</sub>.

**d) Análisis económico: presupuesto de inversión, beneficios bruto y neto**

En el análisis económico, se consideraron recursos económicos como activos fijos establecidos según el hospital y el mercado local, regional y nacional. Esta evaluación se centra en la inversión de los activos fijos (tanques de revaporizado, intercambiadores de calor, quemador, estructuras, tuberías de vapor y soldadura térmica) porque son los principales gastos que define el plan de gestión energética.

**e) Análisis financiero: VAN, TIR, ROI**

El análisis financiero se determina como opción alternativa, donde si el hospital EsSalud de Chocope no requiere invertir de sus recursos propios, puede recurrir al estado financiero. Pero cabe indicar que si recurre al préstamo a una identidad bancaria el beneficio útil se verá afectado, es decir ya no lo percibirá en su totalidad porque lo compartiría con dicha entidad según la tasa de interés y el periodo de préstamo. Los valores de tasa y periodo establecidos para calcular el VAN y TIR fueron establecidos según la Superintendencia de Banca, Seguros y AFP.

## **V. CONCLUSIONES**

- 5.1.** Se realizó un análisis energético inicial al caldero de 100BHP del hospital Essalud de Chocope donde los gastos máxicos de purgas, gases de chimenea, aire de combustión y vapor flash son: 133.20 Kg/h, 2210.40 Kg/h, 2127.60 Kg/h y 18 Kg/h respectivamente. Obteniendo una eficiencia del caldero de 80.42% donde las disipaciones de calor por gases de chimenea son 117 KW (12.76%), seguido de la pérdida por radiación 22 KW (2.40%), pérdida por convección 17 KW (1.85%), pérdida por purga 14 KW (1.53%), pérdida por hollín 5 KW (0.54%) y pérdida por combustión incompleta 4.50 KW (0.50%). Para tales condiciones se concluye que el costo de generación de vapor es de 263.65 Soles/TM.
- 5.2.** La propuesta de programa energético permitió que el generador de vapor de 100 BHP con cambio de combustible Diesel-2 a GLP consuma 64.40Kg/h, mejorando la eficiencia del caldero a un valor de 84.75%, donde las disipaciones de calor por gases de chimenea se redujeron a 100KW (10.91%), combustión incompleta 2.25KW (0.25%), hollín 2.41KW (0.26%), purgas 13.40KW (1.46%), convección 12.56KW (1.37%) y radiación 22KW (2.40%) (Pérdida constante). Donde el costo de generación de vapor se redujo al valor de 113.73 Soles/TM. Asimismo la propuesta de implementación de recuperadores de purgas permitió recuperar el 13.44 del vapor flash.
- 5.3.** Se realizó un análisis comparativo ambiental de los combustibles Diésel-2 y GLP, obteniendo una reducción de los gases contaminantes de dióxido de carbono de 456 TM/año y en dióxido de azufre 14 TM/año.
- 5.4.** El proyecto tiene un beneficio útil de 127432.71 \$/año, inversión en activos de 83856.57 U\$\$, periodo de recuperación de 8 meses (240 días).
- 5.5.** El proyecto tiene un valor actual neto de 698856.54\$ y tasa interna de rentabilidad de 152% lo cual concluye que es viable su ejecución.

## **VI.RECOMENDACIONES**

- 6.1. Se recomienda implementar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad al caldero INTENSA de 100 BHP para mejorar sus condiciones de operatividad para que no interfieran con la gestión energética. Asimismo se recomienda un plan preventivo para el tanque de revaporizado e intercambiador de calor.
- 6.2. Se recomienda capacitar al personal de mantenimiento del hospital Essalud de Chocope respecto a la gestión energética del sistema de generación de vapor.
- 6.4. Se recomienda controlar los nuevos flujos máxicos de combustible en las calderas pirotubulares, mediante el empleo del sistema automático tipo proporcional y de lógica cableada, el cual controla el ventilador de tiro forzado (entrada de aire) de acuerdo al consumo de combustible.
- 6.5. Para obtener el beneficio útil de la presente investigación, es necesario seguir el procedimiento el programa energético para reducir el consumo energético de la caldera pirotubular de 100 BHP, para lo cual se recomienda en invertir en los principales activos fijos tales como: tanque de GLP, quemador dual, tanque de revaporizado, intercambiador de calor de vapor flash – aire e intercambiador de calor de agua – gases residuales.
- 6.6. Se recomienda elaborar un cronograma de actividades para la gestión energética del sistema de generación de vapor del hospital Essalud de Chocope.

## **REFERENCIAS**

- Alcazar, B., Energy audits in low voltage systems. Estados Unidos: Satori, 2015.
- Amáu, A. (2015). Máquinas Térmicas . Barcelona: McGraw-Hill Interamericana Editores.
- Beltrán, R. (2018). Conversión Térmica de Energía. Bogotá: Uniandes.
- Broath, L. (2015). Máquinas Eléctricas . Lima: San Marcos.
- Capcha, G. (2017). Principios de Economía . Madrid: Ediciones Paraninfo.
- Cengel, Y. (2017). Transferencia de calor y masa. México, D.F: McGraw-Hill.
- Chero, M. (2016). Dimensión y selección de un precalentador de aire por gases residuales para caldero pirotubular de 700 BHP en la empresa pesquera Don Fernando usando combustibles alternativos. Ecuador : Escuela Politécnica Del Litoral .
- Casiano. (2015). Determinación del rendimiento energético real de la caldera pirotubular de vapor saturado con método indirecto con vista a mejora energética en la Empresa DANPER en la ciudad de Trujillo. Perú , Trujillo : Universidad Cesar Vallejo .
- Díaz, Z., Evaluación de un sistema Energético. Lima: Universidad Cesar Vallejo, 2018.
- Espinoza, S., y Pérez, D., Implementación de un sistema de gestión energética para el incremento de la producción y ahorro de energía. Chimbote: Universidad Nacional del Santa, 2016.
- Esplumas, M. & Chamarro, G (2015). Energía Eléctricas y Renovables. Madr: Limusa-Wiley.
- Fernandez, J. (2015). Maquinas Térmicas. Recuperado el 10 de Mayo de 2016, de Poder Calorífico : <http://www.edutecne.utn.edu.ar/>
- Fernández, P. (2015). Termodinámica técnica. Madrid: Universidad de Cantabria.
- Harper, A. (2016). Fundamentos de Circuitos Eléctricos. México : Interamericana Editores, S.A.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, L., Metodología de la Investigación. México: Tusquets, 2014.
- Jimeno, B., Power energy systems. Estados Unidos: Seix Barral, 2016.
- Incropera, W. (2017). Fundamentos de Termodinámica Técnica . Barcelona: Reverté S.A.

- Kenneth, W., & Donald, E. (2001). Termodinámica . Madrid : Concepción Fernández Madrid .
- Llauce, S., Disminución energética aplicando una auditoria energética en la Pilladora San Pedro EIRL. Chiclayo: Universidad Pedro Ruiz Gallo, 2019.
- Martines, J. (2014). Normas de Construcción de Recipientes a Presión . Madrid: Bellisco S.A.
- Moyano, F., & Portillo, W., Principles of basic economics. Net present value: <https://www.investopedia.com/terms/n/npv.asp>, 15 de abril de 2019.
- Muñoz, J. (2014). Balance de materia y energia . Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Novoa, L., & Carbajal, Y., Métodos de Investigación. Lima: Alfaguara, 2017.
- Peña, A., Uso del recurso energético. Chile: Universidad Técnica Federico Santa María, 2018.
- Purizaca, F. (2015). Diseño técnico y económico de un sistema de recuperación de vapor flash de purgas continuas para calentar el agua de alimentación de las calderas de la empresa pesquera Ribaud S.A. Perú , Trujillo : Universidad Cesar Vallejo .
- Sánchez, L. (2015). Auditoria energética de la caldera pirotubular de la planta piloto de producción de azúcar en Senati La Libertad para mejorar su eficiencia y condiciones de operación. Perú , Lima: Universidad Nacional De Ingeniería.
- Sandoval, L., Sistemas de climatización. Lima: Acantilado, 2018.
- Sanjurjo, S., Analysis of power plants. Inglaterra: Oleñeta, 2015.
- Santa, D., Power plant engineering. Estados Unidos: Taschen, 2016.
- Shapiro, M. (2016). Fundamentos de Termodinámica Técnica . Barcelona: Reverté S.A.
- Sowel, G. (2015). Cálculo financiero aplicado: un enfoque profesional. Buenos Aires: La Ley.
- Sowell, T., Analytical economics. Economic analysis in project evaluation: <https://www.hup.harvard.edu/catalog.php?isbn=9780674281639> ,18 de abril de 2019.



Urbano, H., Financial principles. Internal rate of return:  
<https://www.investopedia.com/terms/i/irr.asp> 20 de mayo de 2019.

## **ANEXOS**

### Anexo 1: Ficha de registro

SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR					
Proceso:	Generación de vapor saturado				
Empresa:	Hospital ESSALUD Chocope				
Responsables:	Arroyo Charcape, Juan José. Cruz Ibañez, Carlos Andrés				
Ítem	Variable: Flujo vapor	UM -	Valor	Fecha	Observaciones
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
Parámetros estadísticos descriptivos					
Media aritmética					
Mediana					
Moda					
Rango					
Varianza					
Desviación estándar					

## Anexo 2: Cuestionario

Apellidos y nombres:

Fecha:

Escuela de Mecánica eléctrica, facultad de Ingeniería

1. Considera que el sistema de generación de vapor saturado del Hospital ESSALUD Chocope trabaja con buena capacidad y eficiencia?  
a) Sí      b) No    Explicar la razón
2. Considera que al aumentar la eficiencia de la caldera de vapor saturado del Hospital ESSALUD Chocope se reduce el consumo de combustible?  
a) Sí                      b) No    Explicar la razón
3. Es importante implementar plan de gestión energética en el sistema de generación de vapor del hospital ESSALUD Chocope?  
a) Sí,      b) No
4. Conoce áreas o equipos críticos en los cuales sea necesario mejorar el sistema térmico de generación de vapor en ESSALUD Chocope?  
Sí                      No
- 5) ¿Ha recibido capacitación en eficiencia energética, generación de vapor saturado en los últimos tres años?  
Sí                      No
- 6) Se hace un buen mantenimiento preventivo a los componentes del sistema de generación vapor de ESSALUD Chocope?  
Sí                      No
- 7) ¿Ha participado en pruebas de seguridad en Sistema de generación de vapor ESSALUD Chocope?  
Sí                      No
- 8) Conoce de realización de auditorías energética al sistema de generación d evapor saturado de ESSALUD Chocope ?  
Sí                      No

### Anexo 3: Validación del instrumento

#### CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ÍTEM	CRITERIOS A EVALUAR						Observaciones (Si debe eliminarse o modificarse un ítem por favor indique)	
	Pertinencia <sup>1</sup>		Relevancia <sup>2</sup>		Claridad <sup>3</sup>			
	Si	No	Si	No	Si	No		
1	✓		✓		✓		—	
Aspectos Generales						Si	No	—
El instrumento contiene introducciones claras y precisas para responder el cuestionario						✓		—
Los ítems permiten el logro del objeto de la investigación						✓		—
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir.						✓		—
<b>VALIDEZ</b>								
APLICABLE				NO APLICABLE				
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES								

<sup>1</sup>Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado de la variable y/o dimensión.

<sup>2</sup>Relevancia: El ítem es apropiado para representar el indicador de la dimensión y la variable.

<sup>3</sup>Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

#### DATOS GENERALES DEL EXPERTO

Apellido y nombres: *Yapristan Castillo Roger*

Profesión: *Ingeniero Mecánica*

Especialidad: *Ingeniería de Mantenimiento*

CIP : *161571*



Firma del Experto

**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO**

ÍTEM	CRITERIOS A EVALUAR						Observaciones (Si debe eliminarse o modificarse un ítem por favor indique)
	Pertinencia <sup>1</sup>		Relevancia <sup>2</sup>		Claridad <sup>3</sup>		
	Si	No	Si	No	Si	No	
1	X		X		X		ninguna
<b>Aspectos Generales</b>							
El instrumento contiene introducciones claras y precisas para responder el cuestionario					X		ninguna
Los ítems permiten el logro del objeto de la investigación					X		ninguna
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir.					X		ninguna
<b>VALIDEZ</b>							
APLICABLE				X	NO APLICABLE		
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							

<sup>1</sup>Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado de la variable y/o dimensión.

<sup>2</sup>Relevancia: El ítem es apropiado para representar el indicador de la dimensión y la variable.

<sup>3</sup>Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

**DATOS GENERALES DEL EXPERTO**

Apellido y nombres: *Yance Miliam Alexander Benigno*

Profesión: *Ingeniero Mecánico - CIP 203054*

Especialidad: *Organización Industrial -*

  
 Firma del Experto

**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO**

ITEM	CRITERIOS A EVALUAR						Observaciones (Si debe eliminarse o modificarse un ítem por favor indique)
	Pertinencia <sup>1</sup>		Relevancia <sup>2</sup>		Claridad <sup>3</sup>		
	Si	No	Si	No	Si	No	
1	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		TODO CORRECTO
Aspectos Generales					Si	No	TODO CORRECTO
El instrumento contiene introducciones claras y precisas para responder el cuestionario					<input checked="" type="checkbox"/>		
Los ítems permiten el logro del objeto de la investigación					<input checked="" type="checkbox"/>		
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir.					<input checked="" type="checkbox"/>		
VALIDEZ							
APLICABLE				<input checked="" type="checkbox"/>	NO APLICABLE		
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							

<sup>1</sup>Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado de la variable y/o dimensión.

<sup>2</sup>Relevancia: El ítem es apropiado para representar el indicador de la dimensión y la variable.

<sup>3</sup>Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

**DATOS GENERALES DEL EXPERTO**

Apellido y nombres: **CORONADO JUAREZ GEANCARLOS**

Profesión: **INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA**

Especialidad: **INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y AHORRO ENERGÉTICO**

  
 .....  
 Firma del Experto  
 CIP= 201723

#### Anexo 4: Matriz de consistencia

<b>AUTOR:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- JUAN JOSÉ ARROYO CHARCAPE</li> <li>- CARLOS ANDRÉS CRUZ YBAÑEZ</li> </ul>			
<b>TITULO:</b>	“PROGRAMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA EN SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR DEL HOSPITAL ESSALUD DE CHOCOPE PARA AUMENTO DE EFICIENCIA TÉRMICA”			
<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPOTESIS</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>METODOLOGIA</b>
<b>FORMULACION DEL PROBLEMA:</b> ¿En qué medida la aplicación de un Programa de Gestión Energética en el sistema de generación de vapor del hospital Essalud de Chocope, contribuirá a aumentar la eficiencia térmica?	<b>OBJETIVO GENERAL:</b> Diseñar un Programa de Gestión Energética en el sistema de generación de vapor del hospital Essalud de Chocope, en base a auditoría y normas peruanas de calderas, para aumentar eficiencia y reducción de costos.  <b>OBJETIVO ESPECIFICOS:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Realizar el diagnóstico energético inicial en caldera pirotubular.</li> <li>▪ Diseñar un programa de gestión energética para el sistema de generación de vapor, considerando la Política energética de la institución.</li> <li>▪ Realizar un análisis ambiental: flujo de gases CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>.</li> <li>▪ Realizar un análisis económico: presupuesto de inversión, beneficios brutos y retorno operacional de la inversión.</li> <li>▪ Realizar un análisis financiero: Valor actual neto y Tasa interna de retorno.</li> </ul>	La aplicación de un Programa de Gestión Energética en el sistema de generación de vapor del hospital Essalud de Chocope, contribuirá a aumentar la eficiencia térmica	<b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b> Programa de Gestión Energética  <b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b> - Eficiencia de caldera - Costo de generación de vapor saturado	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>TIPO DE INVESTIGACION:</b> Investigación Aplicada</li> <li>2. <b>DISEÑO DE LA INVESTIGACION:</b> Pre Experimental</li> <li>3. <b>POBLACIÓN:</b> Calderos de vapor saturado pirotubulares de ESSALUD La Libertad.</li> <li>4. <b>MUESTRA:</b></li> <li>5. Caldero pirotubular de Hospital ESSALUD Chocope</li> <li>6. <b>TECNICAS:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis documental</li> <li>- Encuesta</li> <li>- Análisis fisicoquímico</li> </ul> </li> <li>7. <b>INSTRUMENTOS:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fichas de Registro</li> <li>- Cuestionario</li> </ul> </li> </ol>



## Anexo 8. Composición del GLP del Perú.

Componente	Nomenclatura(%)	Composición	Estado Natural
<b>Metano</b>	(CH <sub>4</sub> )	95,08	gas
Etano	(C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	2,14	gas
Propano	(C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	0,29	gas licuable
Butano	(C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	0,11	gas licuable
Pentano	(C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> )	0,04	líquido
Hexano	(C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> )	0,01	líquido
Nitrógeno	(N <sub>2</sub> )	1,94	gas
Gas carbónico	(CO <sub>2</sub> )	0,39	gas

Impurezas: helio, oxígeno, vapor de agua, H<sub>2</sub>S  
 Cp (presión Cte) : 8,57 cal/mol.°C

## Anexo 9. Tabla de propiedades del aire

Temp., T, °C	Densidad, ρ, kg/m <sup>3</sup>	Calor específico, c <sub>p</sub> , J/kg · K	Conductividad térmica, k, W/m · K	Difusividad térmica, α, m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	Viscosidad dinámica, μ, kg/m · s	Viscosidad cinemática, ν, m <sup>2</sup> /s	Número de Prandtl Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158 × 10 <sup>-6</sup>	8.636 × 10 <sup>-6</sup>	3.013 × 10 <sup>-6</sup>	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036 × 10 <sup>-6</sup>	1.189 × 10 <sup>-5</sup>	5.837 × 10 <sup>-6</sup>	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252 × 10 <sup>-5</sup>	1.474 × 10 <sup>-5</sup>	9.319 × 10 <sup>-6</sup>	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	1.356 × 10 <sup>-5</sup>	1.527 × 10 <sup>-5</sup>	1.008 × 10 <sup>-5</sup>	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	1.465 × 10 <sup>-5</sup>	1.579 × 10 <sup>-5</sup>	1.087 × 10 <sup>-5</sup>	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	1.578 × 10 <sup>-5</sup>	1.630 × 10 <sup>-5</sup>	1.169 × 10 <sup>-5</sup>	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	1.696 × 10 <sup>-5</sup>	1.680 × 10 <sup>-5</sup>	1.252 × 10 <sup>-5</sup>	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818 × 10 <sup>-5</sup>	1.729 × 10 <sup>-5</sup>	1.338 × 10 <sup>-5</sup>	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	1.880 × 10 <sup>-5</sup>	1.754 × 10 <sup>-5</sup>	1.382 × 10 <sup>-5</sup>	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944 × 10 <sup>-5</sup>	1.778 × 10 <sup>-5</sup>	1.426 × 10 <sup>-5</sup>	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009 × 10 <sup>-5</sup>	1.802 × 10 <sup>-5</sup>	1.470 × 10 <sup>-5</sup>	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074 × 10 <sup>-5</sup>	1.825 × 10 <sup>-5</sup>	1.516 × 10 <sup>-5</sup>	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	2.141 × 10 <sup>-5</sup>	1.849 × 10 <sup>-5</sup>	1.562 × 10 <sup>-5</sup>	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	2.208 × 10 <sup>-5</sup>	1.872 × 10 <sup>-5</sup>	1.608 × 10 <sup>-5</sup>	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	2.277 × 10 <sup>-5</sup>	1.895 × 10 <sup>-5</sup>	1.655 × 10 <sup>-5</sup>	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	2.346 × 10 <sup>-5</sup>	1.918 × 10 <sup>-5</sup>	1.702 × 10 <sup>-5</sup>	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	2.416 × 10 <sup>-5</sup>	1.941 × 10 <sup>-5</sup>	1.750 × 10 <sup>-5</sup>	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	2.487 × 10 <sup>-5</sup>	1.963 × 10 <sup>-5</sup>	1.798 × 10 <sup>-5</sup>	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632 × 10 <sup>-5</sup>	2.008 × 10 <sup>-5</sup>	1.896 × 10 <sup>-5</sup>	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	2.780 × 10 <sup>-5</sup>	2.052 × 10 <sup>-5</sup>	1.995 × 10 <sup>-5</sup>	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	2.931 × 10 <sup>-5</sup>	2.096 × 10 <sup>-5</sup>	2.097 × 10 <sup>-5</sup>	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	3.086 × 10 <sup>-5</sup>	2.139 × 10 <sup>-5</sup>	2.201 × 10 <sup>-5</sup>	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	3.243 × 10 <sup>-5</sup>	2.181 × 10 <sup>-5</sup>	2.306 × 10 <sup>-5</sup>	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	3.565 × 10 <sup>-5</sup>	2.264 × 10 <sup>-5</sup>	2.522 × 10 <sup>-5</sup>	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	3.898 × 10 <sup>-5</sup>	2.345 × 10 <sup>-5</sup>	2.745 × 10 <sup>-5</sup>	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	4.241 × 10 <sup>-5</sup>	2.420 × 10 <sup>-5</sup>	2.975 × 10 <sup>-5</sup>	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	4.593 × 10 <sup>-5</sup>	2.504 × 10 <sup>-5</sup>	3.212 × 10 <sup>-5</sup>	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	4.954 × 10 <sup>-5</sup>	2.577 × 10 <sup>-5</sup>	3.455 × 10 <sup>-5</sup>	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	5.890 × 10 <sup>-5</sup>	2.760 × 10 <sup>-5</sup>	4.091 × 10 <sup>-5</sup>	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	6.871 × 10 <sup>-5</sup>	2.934 × 10 <sup>-5</sup>	4.765 × 10 <sup>-5</sup>	0.6935

## Anexo 10. Propiedades termofísicas del vapor flash.

ChemicaLogic SteamTab Companion

About Saturated Superheated/Subcooled Constants

Independent Variable:  
 Temperature  
 Pressure Value, bar

Units:  
 Metric/SI  
 English

Phase:  
 Vapor  Liquid  Two-phase

Property	Value	Unit
Pressure	1	bar
Steam quality	100	%
Volume	1.69393	m <sup>3</sup> /kg
Density	0.590344	kg/m <sup>3</sup>
Compressibility factor	0.984649	dimensionless
Enthalpy	2674.95	kJ/kg
Entropy	7.35885	kJ/(kg.°C)
Helmoltz free energy	-237.5	kJ/kg
Internal energy	2505.55	kJ/kg
Gibbs free energy	-68.1069	kJ/kg
Heat capacity at constant volume	1.5548	kJ/(kg.°C)
Heat capacity at constant pressure	2.07845	kJ/(kg.°C)

ChemicaLogic Corporation, 8 Cedar St. Ste 56, Woburn, MA 01801 Tel: 781-938-1151  
 Copyright © 1999 ChemicaLogic Corporation. All rights reserved.

ChemicaLogic SteamTab Companion

About Saturated Superheated/Subcooled Constants

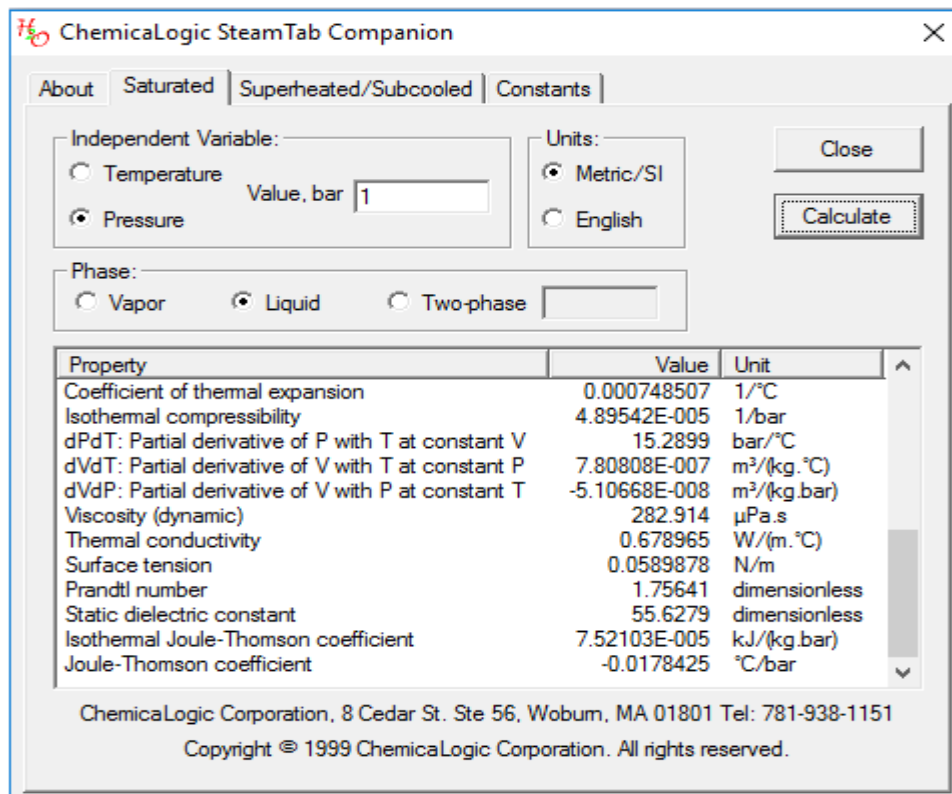
Independent Variable:  
 Temperature  
 Pressure Value, bar

Units:  
 Metric/SI  
 English

Phase:  
 Vapor  Liquid  Two-phase

Property	Value	Unit
Temperature	99.6059	°C
Pressure	1	bar
Steam quality	0	%
Volume	0.00104315	m <sup>3</sup> /kg
Density	958.632	kg/m <sup>3</sup>
Compressibility factor	0.000606366	dimensionless
Enthalpy	417.504	kJ/kg
Entropy	1.30276	kJ/(kg.°C)
Helmoltz free energy	-68.2112	kJ/kg
Internal energy	417.4	kJ/kg
Gibbs free energy	-68.1069	kJ/kg
Heat capacity at constant volume	3.77021	kJ/(kg.°C)
Heat capacity at constant pressure	4.21533	kJ/(kg.°C)

ChemicaLogic Corporation, 8 Cedar St. Ste 56, Woburn, MA 01801 Tel: 781-938-1151  
 Copyright © 1999 ChemicaLogic Corporation. All rights reserved.



## Anexo 11. Propiedades termofísicas del agua.

### AGUA

Temperatur °C	Densidad $\rho$ (Kg/m³)	Calor especifico $c_p$ J/Kg°C	Conductiv. térmica "k" W/m°C	Dif. térmica $\alpha \cdot 10^6$ (m²/seg)	Visc. dinám. $\eta \cdot 10^6$ N.seg/m²	Visc. cinem. $\nu \cdot 10^6$ (m²/seg)	Nº de Prandtl Pr	$\frac{\beta}{\nu^2} \cdot 10^{-9}$
0	999,9	4226	0,558	0,131	1794	1,789	13,7	
20	998,2	4182	0,597	0,143	1004	1,006	7,02	2,035
40	992,3	4178	0,633	0,151	653,0	0,658	4,34	8,833
60	983,2	4181	0,658	0,155	470,0	0,478	3,02	22,75
80	971,8	4194	0,673	0,165	353,7	0,364	2,22	46,68
100	958,4	4211	0,682	0,169	281,0	0,294	1,75	85,09
120	943,1	4245	0,685	0,171	233,0	0,247	1,45	
140	926,1	4279	0,687	0,172	198,2	0,214	1,24	
160	907,6	4338	0,682	0,173	171,5	0,189	1,10	
180	887,0	4413	0,678	0,172	153,5	0,173	1,00	
200	864,8	4501	0,665	0,170	129,0	0,160	0,94	517,2
220	840,5	4606	0,656	0,168	126,0	0,150	0,89	
240	812,2	4752	0,639	0,164	116,0	0,143	0,87	
260	784,0	4944	0,614	0,157	107,5	0,137	0,87	
280	750,8	5204	0,583	0,150	101,4	0,135	0,92	
300	712,5	6594	0,543	0,132	94,1	0,132	1,02	1766

**Anexo 12. Tabla propiedades termofísicas de los gases residuales.**

T[°C]	$\rho$ [ $\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ ]	$C_p$ [ $\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}}$ ]	$K * 10^2$ [ $\frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}}$ ]	$a * 10^2$ [ $\frac{\text{m}^2}{\text{h}}$ ]	$\mu * 10^6$ [ $\frac{\text{N.s}}{\text{m}^2}$ ]	$\nu * 10^6$ [ $\frac{\text{m}^2}{\text{seg}}$ ]	Pr –
0	1,295	1,045	2,2794	6,08	15,7842	12,2	0,72
100	0,95	1,0676	3,1284	11,10	20,3949	21,54	0,69
200	0,748	1,0969	4,0123	17,60	24,4955	32,80	0,67
300	0,617	1,1221	4,8380	25,16	28,2331	45,81	0,65
400	0,525	1,1514	5,6987	35,04	31,6863	60,38	0,64
500	0,457	1,1849	6,5593	43,61	43,8549	76,30	0,63
600	0,405	1,2142	7,4199	54,32	37,8666	93,61	0,62
700	0,363	1,2393	8,2689	66,17	40,6918	112,10	0,61
800	0,329	1,2644	9,1528	79,09	43,3798	131,80	0,60
900	0,301	1,2895	10,0134	92,87	45,9108	152,50	0,59
1000	0,275	1,3063	10,8973	109,21	48,3633	174,30	0,58
1110	0,257	1,3230	11,7463	124,37	50,7078	197,10	0,57
1200	0,24	1,3398	12,6185	141,27	52,9936	221,0	0,56

*Nota: son equivalentes;  $\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}} = \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}$  y  $\frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}} = \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}$*

### Anexo 13. Balance energético actual

Producción real de vapor saturado del caldero pirotubular

El caldero de Essalud de Chocope tiene una capacidad nominal de 100 BHP es cual es equivalente a 1566 Kg/h (1BHP =15.66 Kg/h), por lo cual es necesario determinar el flujo másico de vapor real al cual está trabajando el caldero, para lo especificado se utilizará la siguiente formulación:

$$\dot{m}_v = \frac{\dot{V}_c * PCI_c * \eta_{cald}}{h_v - h_{ag}}$$

Dónde: Valores reales en funcionamiento del caldero

$\dot{V}_c$ : Flujo volumétrico de combustible (Diesel 2) →  $\dot{V}_c = 22.20$  galones/h

$PCI_c$ : Poder calorífico inferior del combustible (Diesel -2) →  $PCI_c = 140200$  KJ/galón

$\eta_{cald}$ : Rendimiento del caldero (medido por analizador de gases) →  $\eta_{cald} = 81.25\%$

Asimismo, el caldero pirotubular produce vapor saturado seco a una presión de 8 bares absolutos con agua de alimentación a 82°C, con las siguientes propiedades termodinámicas:

Tabla 5: Propiedades del vapor a 8 bar@ y temperatura de agua a 82°C

Steam Table (Complete Range) Saturation Zone Diagrams About											
P (bar)	T (°C)	x	v (m³/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg°C)	v' (m³/kg)	h' (kJ/kg)	s' (kJ/kg°C)	v'' (m³/kg)	h'' (kJ/kg)	s'' (kJ/kg°C)
8	170.414					0.001115	720.9	2.04571	0.24025	2767.5	6.65960
0.5133	82					0.00103	343.3	1.09895	3.1616	2647.1	7.58579

Fuente: Software Steam Table (the 1976 IFC Formulation), 2019.

En la tabla 5, podemos indicar que las entalpías del vapor y del agua son:

$h_v$ : Entalpia de vapor saturado →  $h_v = 2767.50$  KJ/Kg

$h_{ag}$ : Entalpia del agua de alimentación →  $h_{ag} = 343.30$  KJ/Kg

Sustituyendo, el flujo de vapor real producido por el caldero seria:

$$\dot{m}_v = \frac{22.20 \frac{\text{galones}}{\text{h}} * 140200 \frac{\text{KJ}}{\text{galón}} * 0.8125}{2767.50 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} - 343.30 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}$$

$$\dot{m}_v = 1043.20 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

Por lo consiguiente, el porcentaje de carga de vapor al cual esta trabajando el caldero, es:

$$\% \text{ carga: } \frac{m_{v\text{-operación}}}{m_{v\text{-nominal}}} = \frac{1043.20 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}}{1566 \frac{\text{kg}}{\text{h}}} * 100 = 66.62 \%$$

Coefficiente de transferencia de calor global de la caldera

Es muy relevante la determinación del coeficiente global de transferencia de calor, para evaluar la capacidad de generación de vapor de 1°C en 1 m<sup>2</sup> de superficie de tubería para producir 1 Watts de potencia de vapor.

En la figura La caldera tiene la siguiente distribución de temperaturas: Los gases calientes en el caldero se encuentran a 900°C y la temperatura de gases residuales a 200°C (valores obtenidos del analizador de gases)

Asimismo, el agua de alimentación ingresa al caldero a 82°C, con una temperatura de saturación de 170.414°C (Ver tabla 5).

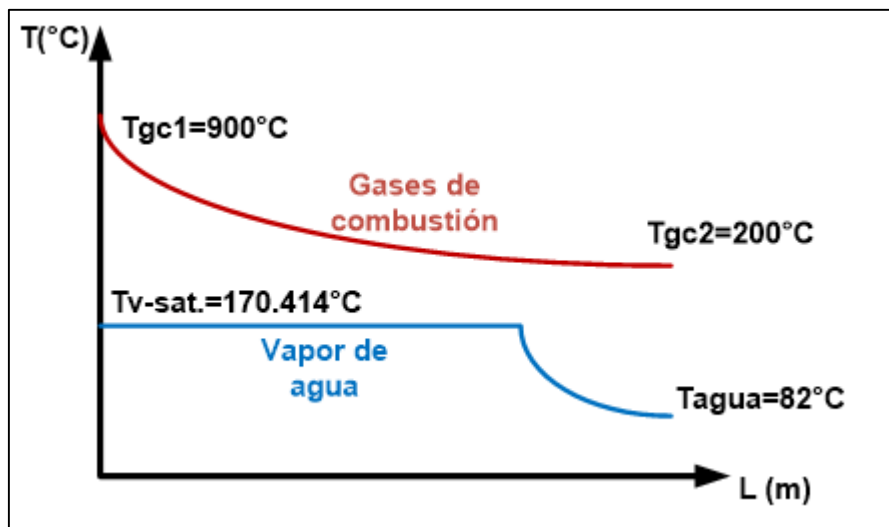


Figura 10: Distribución de temperaturas en el caldero  
Fuente: Elaborado por los autores

a) Variación de temperatura media logarítmica

$$\Delta T_m = \frac{T}{\ln \frac{\Delta T_{m\acute{a}x} + \Delta T_{m\acute{i}n} + T}{\Delta T_{m\acute{a}x} + \Delta T_{m\acute{i}n} - T}}$$

Dónde:

$\Delta T_{m\acute{a}x}$ : Variación de temperatura máxima

$$\Delta T_{\text{máx}} = T_{\text{gc1}} - T_{\text{v}} - \text{sat.} = 900^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C} = 700^{\circ}\text{C}$$

$\Delta T_{\text{mín}}$ : Variación de temperatura mínima

$$\Delta T_{\text{mín}} = T_{\text{gc2}} - T_{\text{agua}} = 200^{\circ}\text{C} - 82^{\circ}\text{C} = 118^{\circ}\text{C}$$

T: Temperatura media cuadrática

$$T = \sqrt{(T_{\text{gc1}} - T_{\text{gc2}})^2 + (T_{\text{v}} - \text{sat.} - T_{\text{agua}})^2}$$

$$T = \sqrt{(950^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C})^2 + (170.414^{\circ}\text{C} - 82^{\circ}\text{C})^2} = 755.20^{\circ}\text{C}$$

La variación de temperatura media logaritmica seria:

$$\Delta T_{\text{m}} = \frac{755.20}{\ln \frac{700^{\circ}\text{C} + 118^{\circ}\text{C} + 755.20^{\circ}\text{C}}{700^{\circ}\text{C} + 118^{\circ}\text{C} - 755.20^{\circ}\text{C}}}$$

$$\Delta T_{\text{m}} = 234.50^{\circ}\text{C}$$

b) Calor útil del caldero:

Para la evaluación del calor útil del caldero se requieren los siguientes datos, ya determinados:

$$\text{Flujo másico de vapor: } \dot{m}_{\text{v}} = 1043.20 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} = 0.29 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$\text{Entalpia de vapor saturado: } h_{\text{v}} = 2767.50 \text{ KJ/Kg}$$

$$\text{Entalpia de agua de alimentación: } h_{\text{ag}} = 343.30 \text{ KJ/Kg}$$

Tenemos:

$$\dot{Q}_{\text{u-oper}} = \dot{m}_{\text{v}} * (h_{\text{v}} - h_{\text{ag}})$$

$$\dot{Q}_{\text{u-oper}} = 0.29 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * \left( 2767.50 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} - 343.30 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right)$$

$$\dot{Q}_{\text{u-oper}} = 703 \text{ KW}$$

El coeficiente de transmisión de calor global, se determina por la siguiente formulación:

$$K_{\text{G}} = \frac{\dot{Q}_{\text{u-oper}}}{\Delta T_{\text{m}} * S_{\text{IC}}}$$

Dónde:

$$\dot{Q}_{\text{u-oper}}: \text{Calor util de operación del caldero} \rightarrow \dot{Q}_{\text{u-oper}} = 703 \text{ KW}$$

$$\Delta T_{\text{m}}: \text{Variación de temperatura media logaritmica} \rightarrow \Delta T_{\text{m}} = 234.50^{\circ}\text{C}$$

$S_{\text{IC}}$ : Superficie de intercambio de calor  $\rightarrow S_{\text{IC}} = 10.20 \text{ m}^2$  (Valor obtenido de los datos de diseño del caldero)

Sustituyendo:

$$K_G = \frac{703 * 10^3 W}{234.50^\circ C * 10.20 m^2}$$
$$K_G = 294 \frac{KW}{^\circ C * m^2}$$

Potencias de calor pérdidas en el caldero:

El caldero tiene un gasto nominal de vapor de 0.435 kg/s (1566 Kg/h), con una dureza del agua de alimentación de 120ppm y dureza en las purgas de 2100ppm.

$$\dot{m}_{purgas} = \left( \frac{120 ppm}{3500ppm - 2100ppm} \right) * 0.435 \frac{Kg}{s} = 0.037 \frac{Kg}{s}$$

Gasto másico de gases de chimenea.

El caldero tiene una relación aire/combustible de 26.5 y gasto másico de Diésel-2 de 0.02232 Kg/s.

$$\dot{m}_{GR} = (26.5 + 1) * 0.02232 \frac{Kg}{s} = 0.614 \frac{Kg}{s}$$

Gasto másico de aire de combustión.

El caldero tiene una relación aire/combustible de 26.5 y gasto másico de Diésel-2 de 0.02232 Kg/s.

$$\dot{m}_a = 26.5 * 0.02232 \frac{Kg}{s} = 0.591 \frac{Kg}{s}$$

Gasto másico de vapor vivo.

Las purgas evacuadas por el caldero se originan a la presión de 8 bar absolutos con una entalpia de líquido de 720.9 KJ/Kg. Asimismo el vapor vivo o flash se genera a condiciones ambientales de 1 bar con una entalpia de vapor de 2675.5 KJ/Kg y liquido de 417.5 KJ/Kg.

$$F = \left[ \frac{720.9 - 417.5}{2675.4 - 417.5} \right] * 100 = 13.44\%$$

La caldera produce un gasto másico de purgas de 0.037 Kg/s, por lo consiguiente el porcentaje de vapor vivo sería:



$$\dot{m}_{v.F} = 0.037 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * \frac{13.44}{100} = 5 * 10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

Rendimiento energético en condiciones actuales.

Para evaluar la eficiencia energética del caldero, se debe evaluar la capacidad calorífica del combustible Diesel-2 el cual tiene una gravedad °API de 11.5.

$$\text{PCI} = 17290 + 40 * (^\circ\text{API} - 10)$$

$$\text{PCI} = 17290 + 40 * (11.50 - 10)$$

$$\text{PCI} = 17350 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} = 40353.3 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Una vez determinado el PCI del Diésel-2, se procede a evaluar el calor total de la combustión en el caldero, con los siguientes datos: flujo de comburente 0.591 Kg/s, gasto másico de Diésel-2 0.02232 Kg/s, temperatura de aire 20°C, capacidad calorífica del aire 1.007 KJ/Kg°C, capacidad calorífica del combustible 40353.3 KJ/Kg y temperatura del combustible 65°C.

$$H_T = \left( 0.591 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * 1.007 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} * 20^\circ\text{C} \right) + 0.02232 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * \left( 40353.3 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} + 3 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} * 65^\circ\text{C} \right)$$

$$H_T = 917 \text{ KW}$$

Disipación por gases de chimenea.

El gasto másico de gases de chimenea es 0.614 Kg/s, capacidad calorífica promedio de los gases 1.057 KJ/Kg°C, temperatura de gases de chimenea 200°C y temperatura del entorno atmosférico 20°C.

$$H_1 = 0.614 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * 1.057 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} * (200 - 20)^\circ\text{C}$$

$$H_1 = 117 \text{ KW}$$

Tenemos:

$$L_1 = \frac{117 \text{ KW}}{917 \text{ KW}} * 100 = 12.76\%$$

Disipación de calor por combustión incompleta.

Mediante el análisis de participación volumétrica se tiene que el monóxido de carbono tiene un porcentaje de 0.04%, flujo volumétrico de gases de chimenea de 0.614 Kg/s y densidad media de gases de 0.6956 Kg/m<sup>3</sup>.

$$\dot{V}_{wg} = \frac{0.614 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}}{0.6956 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = 0.883 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

La potencia térmica por combustión incompleta:

$$H_2 = 0.883 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \frac{0.04}{100} * 12720 \frac{\text{KJ}}{\text{m}^3}$$

$$H_2 = 4.50 \text{ KW}$$

Tenemos:

$$L_2 = \frac{4.50 \text{ KW}}{917 \text{ KW}} * 100 = 0.50\%$$

Disipación de calor por Hollín.

El análisis de gases indica que el caldero tiene una concentración másica de carbono de 0.025%, con una capacidad calorífica 32714.7 KJ/Kg y un gasto de gases de chimenea de 0.614 Kg/s.

$$H_3 = 0.614 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * \frac{0.025}{100} * 32714.7 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$H_3 = 5 \text{ KW}$$

Tenemos:

$$L_3 = \frac{5 \text{ KW}}{917 \text{ KW}} * 100 = 0.54\%$$

Disipación de calor por purgas.

Las purgas a la presión de 8 bar absolutos tienen una entalpia de líquido de 720.90 KJ/Kg, con un flujo de purgas generado de 0.037 Kg/s. Asimismo la entalpia del agua de alimentación es 343.30 KJ/Kg.

$$H_4 = 0.037 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * \left( 720.90 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} - 343.30 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right)$$

$$H_4 = 14 \text{ KW}$$

Tenemos:

$$L_4 = \frac{14 \text{ KW}}{917 \text{ KW}} * 100 = 1.53\%$$

Disipación de calor por convección.

El caldero pirotubular de 100 BHP, tiene un longitud total de 3.40 m y una circunferencia diametral de 2.42 m, donde la superficie de transferencia de calor exterior sería:

$$S_b = \pi * 2.42 \text{ m} * 3.40 \text{ m} = 25.85 \text{ m}^2$$

Asimismo la velocidad del entorno del caldero pirotubular en promedio es 3.33 m/s, por lo consiguiente el coeficiente de convección sería:

$$h_{p \rightarrow \infty} = 11.6 + 6.96 * 3.33^{0.5} = 24.30 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Mediante la utilización de un pirómetro se determinó que la temperatura de las paredes exteriores del caldero es 47°C, donde el medio atmosférico tiene una temperatura media de 20°C. La potencia térmica por disipación de convección sería:

$$H_5 = \frac{25.85 \text{ m}^2 * 24.30 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} * (47 - 20) ^\circ\text{C}}{1000}$$

$$H_5 = 17 \text{ KW}$$

Tenemos:

$$L_5 = \frac{17 \text{ KW}}{917 \text{ KW}} * 100 = 1.85\%$$

Disipación de calor por radiación.

Las pérdidas por disipación de calor por purgas, se deben a la variación de la temperatura de los gases calientes respecto a la temperatura de la pared del hogar.

El calor total de combustión es 917KW, con un gasto de gases de chimenea de 0.614 Kg/s y una capacidad calorífica promedio de 1.320 KJ/Kg, por lo consiguiente la temperatura de gases calientes sería:

$$T_{GC} = \frac{917 \text{ KW}}{0.614 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * 1.32 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}} = 1131^{\circ}\text{C} = 1404^{\circ}\text{K}$$

La temperatura del hogar difiere máximo 5°C respecto a la temperatura de gases caliente, por lo tanto:

$$T_h = 1131^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C} = 1126^{\circ}\text{C} = 1399^{\circ}\text{K}$$

El Diésel-2 tiene una característica de emisividad de 0.65, donde la circunferencia del hogar es 1.15m, con una longitud de 3 m y superficie lateral de transmisión del hogar de 10.84m<sup>2</sup>.

$$H_6 = \frac{0.65 * 5.67 * 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} * 10.83 \text{m}^2 * (1404^4 - 1399^4) \cdot \text{K}^4}{1000}$$

$$H_6 = 22 \text{ KW}$$

Tenemos:

$$L_6 = \frac{22 \text{ KW}}{917 \text{ KW}} * 100 = 2.40\%$$

Costos de generación de vapor saturado en condiciones actuales.

El cálculo se basa en registro del Hospital, en base a un mes.

Tiempo promedio de operación: 215 h/mes (26 días/mes, 8 h/día)

Generación de vapor, Ton: 255.85

Consumo de combustible: 60618.10 soles (4,773 Galones de D2)

Insumos químicos:

Ablandamiento de agua: 2457 soles (1950 kg de sal por mes)

Tratamiento contra corrosión: 1350 soles (sulfito de sodio)

Mano de obra operación de caldera: 1200 soles/mes

Mantenimiento: 1833 soles/mes

Total, gastos en generación de vapor: 67457.10 soles/mes

Costo unitario actual, de generación de vapor:

$$C_{\text{unit-Gener-Vapor}} = \frac{C_{\text{mens}} \left[ \frac{\text{soles}}{\text{mes}} \right]}{m_{\text{vapor}} \left( \frac{\text{Ton}}{\text{mes}} \right)} = \frac{67457.10 \frac{\text{soles}}{\text{mes}}}{255.85 \frac{\text{ton}}{\text{mes}}}$$
$$C_{\text{unit-Gener-Vapor}} = 263.65 \frac{\text{soles}}{\text{Ton}}$$

Se observa que el costo unitario de generación de vapor es bastante elevado, 263.65 soles/Ton, muy superior al vapor generado en plantas industriales: 130...150 soles/Ton, esto es debido al uso de combustible Diesel 2, que es bastante caro, en relación al combustible utilizado en plantas industriales, como el petróleo residual nr. 6, G.L.P. y el Gas Natural.

## **Anexo 14. Programa de Gestión Energética**

Al elaborar y poner en ejecución el Programa de Gestión Energética en Hospital Essalud Chocope, se debe tener un gran consenso entre los responsables de su implementación, para obtener la mayor eficacia y eficiencia en el uso de estos recursos. Para el éxito del Programa de Gestión Energética en hospital Essalud Chocope, es imperativo el compromiso de la alta dirección de la Entidad, que implica definir la organización estructural para su implementación, definir metas, compromiso de los recursos humanos, técnicos y financieros necesarios y el apoyo sistemático al programa.

Estructura del Programa de Gestión Energética en Hospital Essalud Chocope

Declaración de autoridad: Establece el compromiso de la dirección de Essalud Chocope para cumplir el Programa de Gestión Energética por parte de la alta dirección y de las Unidades Organizativas y define las responsabilidades de la persona o departamento responsable de elaborar, aplicar y controlar el Programa de Gestión Energética en el Sistema de Generación de Vapor en Hospital Essalud Chocope

Términos y definiciones: Se definen los términos fundamentales empleados en el Programa de Gestión Energética.

Programa de Gestión Energética: Expone los principios generales para elaborar y aplicar el Programa de Eficiencia Energética en Hospital de Essalud Chocope

Control de la documentación: Establece los principios para una adecuada preparación, distribución y uso de los documentos del Programa de Eficiencia Energética en Hospital Essalud Chocope.

Organización: Desarrollará los principios a ser aplicados en la definición de funciones y establecimiento de responsabilidades para lograr la Eficiencia Energética en Sistema de Generación de vapor del Hospital Essalud Chocope

Recursos humanos:

Especificará los principios a considerar en la selección, capacitación y atención a los trabajadores que realizan los trabajos para el aumento de la Eficiencia Energética en Hospital Essalud Chocope

Normas de consumo:

Se establecerán los principios para definir y gestionar los indicadores de consumo de energía térmica en Hospital Essalud Chocope

Depósitos, equipos e instalaciones:

Enlista los aspectos a considerar para controlar los depósitos de combustibles, equipos e instalaciones consumidoras de energía térmica en Hospital Essalud Chocope

Producción y/o prestación de servicios:

El Departamento de Producción, en este caso, los consumidores de energía aportarán con la explicación de los principios a ser considerados en el proceso productivo o de servicio para lograr la Eficiencia Energética en el Sistema de Generación de vapor del Hospital Essalud Chocope

Mantenimiento:

Los responsables del Departamento de Mantenimiento establecerán los principios a considerar en la organización, ejecución y control del programa de mantenimiento de los equipos e instalaciones que influyen en la Eficiencia Energética en Hospital Essalud Chocope.

Fuentes renovables de energía:

En el Programa de Gestión energética, se deberán considerar los principios para la aplicación de las potencialidades de las Fuentes renovables de Energía, de los logros de la ciencia y la técnica para contribuir en el aumento de la eficiencia del sistema de Generación de vapor en el Hospital Essalud Chocope.

Metrología:

El Departamento de Instrumentación deberá señalar los principios para asegurar que todos los instrumentos de medición y control que incidan en la Eficiencia Energética del Sistema

de Generación de Vapor del Hospital Essalud Chocope, estén en estado de calibración confiable y funcionando dentro de sus respectivas normas metrológicas.

Economía energética:

Se debe considerar los principios y métodos para el análisis económico de la Política Energética en el Hospital Essalud Chocope, para justificar las inversiones a ser realizadas.

Control de la eficiencia energética:

Se consideran los términos para conocer si las actividades que realiza Hospital Essalud Chocope se logran con un consumo energético proyectado o si hay sobreconsumos sin respaldo de prestación de servicio, desvíos o pérdidas de combustibles, realizar las correcciones necesarias.

Estudio del impacto medioambiental:

Se toman en cuenta los principios para la protección medio ambiental, durante el diseño o adquisición de equipos energéticos y en los procesos de transporte, almacenamiento y utilización de los Combustibles en Hospital Essalud Chocope

Mejora en la eficiencia energética:

Se establecen los principios y métodos generales para elaborar, ejecutar y controlar el Programa Anual de Mejora de la Eficiencia Energética en el Sistema de Generación de Vapor del Hospital Essalud Chocope

Auditoría energética:

Se enuncian los principios a considerar para realizar Auditorías Energéticas por parte de la Dirección de la Entidad a las actividades que inciden en la Eficiencia Energética del Sistema de Generación de Vapor del Hospital Essalud Chocope.

Por lo consiguiente, se propone:

- Aumentar la frecuencia de limpieza de tubos a caldera, desde una vez cada tres meses, a una vez cada quince días, con esto se asegura una mejora en la transferencia de calor a través de los tubos de caldera.
- Ajuste de quemador, para mantener constante la relación aire combustible, independiente de la carga de la caldera



- Cambio trimestral de toberas pulverizadoras del combustible cada tres meses, actualmente se cambia cada dos años, totalmente gastadas y regulación de la presión del aire comprimido, desde 4 a 5 bar, para pulverización del combustible
- Instalación de tanque de recuperación del vapor flash
- Instalación de una capa de aislante térmico de lana mineral, con espesor de una pulgada

## **Anexo 15. Análisis energético en condiciones de mejora**

Análisis energético en condiciones de mejora del caldero pirotubular de 100 BHP del hospital Essalud de Chocope

Disipación por gases residuales.

Medidas a ser aplicadas: aumento de frecuencia de limpieza de tubos a caldera, desde una vez cada tres meses, a una vez cada quince días, con esto se asegura una mejora en la transferencia de calor a través de los tubos de caldera.

Datos:

Flujo de gases de chimenea: 0.614 Kg/s

Capacidad Calorífica de los gases promedio: 1.05KJ/Kg°C

Temperatura de gases residuales proyectada: 175°C (con gas licuado de petróleo)

Temperatura del entorno ambiental: 20°C

Tenemos:

$$H_1 = 0.614 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * 1.05 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} * (175 - 20)^\circ\text{C}$$

$$H_1 = 100 \text{ KW}$$

Reducción de calor perdido en gases de chimenea: 117 – 100 = 17 KW

Disipación de calor por combustión incompleta.

Medida a aplicar: Ajuste de quemador, para mantener constante la relación aire combustible, independiente de la carga de la caldera.

Datos:

Flujo volumétrico de los gases de chimenea: 0.883 m<sup>3</sup>/s

Capacidad Calorífica de los gases promedio: 1.05KJ/Kg°C

Capacidad calorífica inferior del monóxido de carbono: 12720 KJ/m<sup>3</sup>

Participación volumétrica del monóxido de carbono proyectada 0.02% (con gas licuado de petróleo).

Tenemos:

$$H_2 = 0.883 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \frac{0.02}{100} * 12720 \frac{\text{KJ}}{\text{m}^3}$$

$$H_2 = 2.25 \text{ KW}$$

Reducción de la pérdida de calor por combustión incompleta será:  $4.50 - 2.25 = 2.25 \text{ KW}$

Disipación de calor por Hollín.

Medidas a aplicar:

- Cambio trimestral de toberas pulverizadoras del combustible cada tres meses, actualmente se cambia cada dos años, totalmente gastadas.
- Regulación de la presión del aire comprimido, desde 4 a 5 bar, para pulverización del combustible

Datos:

Flujo de gases de chimenea: 0.614 Kg/s

Participación másica de carbono proyectada: 0.012%

Capacidad calorífica inferior del carbono: 32714.7 KJ/Kg.

Tenemos:

$$H_3 = 0.614 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * \frac{0.012}{100} * 32714.7 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$H_3 = 2.41 \text{ KW}$$

Reducción de la pérdida de calor por hollín:  $5 - 2.41 = 2.59 \text{ KW}$

Disipación de calor por purgas.

Medida a aplicar:

Instalación de tanque de recuperación del vapor flash.

La caldera genera un gasto másico de purgas de 0.037 Kg/s y trabaja a una presión de 8 bar absolutos donde la entalpia del vapor saturado es 2767.50 KJ/Kg. Donde el porcentaje de recuperación de vapor flash es 13.44% lo que conduce a tener un flujo másico de vapor flash de 0.005 Kg/s

Calor recuperable en el vapor flash:

$$Q_{\text{recup-vapor flash}} = 0.005 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * 2675.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 13.40 \text{ KW}$$

Disipación de calor por convección.

Medida a aplicar: Instalación de una capa de aislante térmico de lana mineral, con espesor de una pulgada.

El caldero pirotubular de 100 BHP, tiene un longitud total de 3.40 m y una circunferencia diametral de 2.42 m, donde la superficie de transferencia de calor exterior sería:

$$S_b = \pi * 2.42 \text{ m} * 3.40 \text{ m} = 25.85 \text{ m}^2$$

Asimismo la velocidad del entorno del caldero pirotubular en promedio es 3.33 m/s, por lo consiguiente el coeficiente de convección sería:

$$h_{p \rightarrow \infty} = 11.6 + 6.96 * 3.33^{0.5} = 24.30 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Datos:

Temperatura del entorno ambiental: 20°C

Temperatura proyectada de la pared exterior del caldero: 40°C (con aislamiento fibra de vidrio).

$$H_5 = \frac{25.85 \text{ m}^2 * 24.30 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} * (40 - 20) ^\circ\text{C}}{1000}$$

$$H_5 = 12.56 \text{ KW}$$

La reducción de la pérdida de calor por convección en la caldera es: 17 – 12.56 = 4.44 KW

Pérdida de calor por radiación.

En este caso, no es posible reducir la pérdida de calor por radiación en el hogar de la caldera, pues se deberá mantener constante la temperatura de combustión, de 1131°C.

## Anexo 16. Propuesta de cambio de combustible

Se propone cambiar el combustible actual, Diesel nr. 2 por G.L.P., debido a su menor costo, buen PCI y disponibilidad.

Poder calorífico inferior del G.L.P.

Se empeará GLP con 60 % de propano, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> y 40 % de butano, C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>

$$PCI_{GLP} = 0.6 * PCI_{C_3H_8} + 0.4 * PCI_{C_4H_{10}} \left( \frac{kJ}{kg} \right)$$

Se determina el PCI del propano y del butano:

$$PCH_{Hidrocarburo\ gas} = \frac{\sum_{i=1}^m n_i * M_i * PCI_i}{\sum_{i=1}^m g_i * M_i} \left( \frac{kJ}{kg} \right)$$

$$PCI_{C_3H_8} = \frac{3 * 12 * 33900 + 8 * 120120}{3 * 12 + 8 * 1} = 49576.36 \frac{kJ}{kg}$$

$$PCI_{C_4H_{10}} = \frac{4 * 12 * 33900 + 10 * 120120}{4 * 12 + 10 * 1} = 48765.52 \frac{kJ}{kg}$$

Resulta:

$$PCI_{GLP} = 0.6 * 49576.36 + 0.4 * 48765.52 = 49252 \left( \frac{kJ}{kg} \right)$$

Cálculo del consumo proyectado de GLP con mejoras en caldera

$$m_{GLP} = \frac{m_v \left( \frac{kg}{h} \right) * \left( h_v \left( \frac{kJ}{kg} \right) - h_{ag-alim} \left( \frac{kJ}{kg} \right) \right)}{PCI_{GLP} \left( \frac{kJ}{kg} \right) * \eta_{cald}} = \left( \frac{kg}{h} \right)$$

Reemplazando y procesando:

$$m_{GLP} = \frac{1119.85 \left( \frac{kg}{h} \right) * (2767.50 - 343.30) \left( \frac{kJ}{kg} \right)}{49765.52 \left( \frac{kJ}{kg} \right) * 0.8475} = 64.40 \left( \frac{kg}{h} \right)$$

Cálculo del costo actual de generación de vapor saturado

El cálculo se basa en registro del Hospital, en base a un mes.

Tiempo promedio de operación: 215 h/mes (26 días/mes, 8 h/día)

- Generación de vapor, Ton: 255.85
- Consumo de combustible: 29098.63 soles (13534.25 kg de GLP)
- Costo unitario del GLP: 2.15 soles/kg
- Costo del consumo de combustible:
- Insumos químicos:
- Ablandamiento de agua: 2457 soles (1950 kg de sal por mes)
- Tratamiento contra corrosión: 1350 soles (sulfito de sodio)
- Mano de obra operación de caldera: 1200 soles/mes
- Mantenimiento: 1833 soles/mes

Total, gastos en generación de vapor: 67457.10 soles/mes

Costo unitario actual, de generación de vapor:

$$\begin{aligned}
 C_{\text{unit-Gener-Vapor}} &= \frac{C_{\text{mens}} \left[ \frac{\text{soles}}{\text{mes}} \right]}{m_{\text{vapor}} \left( \frac{\text{Ton}}{\text{mes}} \right)} = \\
 &= \frac{29098.63 \frac{\text{soles}}{\text{mes}}}{255.85 \frac{\text{ton}}{\text{mes}}} = 113.73 \frac{\text{soles}}{\text{Ton}}
 \end{aligned}$$

## Anexo 17. Análisis ambiental

Análisis ambiental del GLP:

Composición del GLP en Perú.

El GLP del Perú, está compuesto por metano y propano. El Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinermin), establece la siguiente composición:

Tabla 6: composición del GLP en el Perú

Composición	Fórmula	Participación en masa (%)
Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	40
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	60

Fuente: Osinermin, 2017

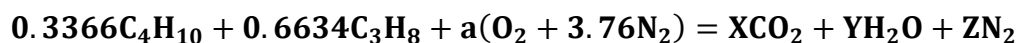
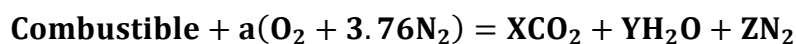
Análisis de combustión con GLP.

En la tabla 7, se observa el número de moles de todos los componentes del gas licuado de petróleo en base a 100 Kg de combustible.

Tabla 7: Evaluación del número de Kmol de cada hidrocarburo

HC	M <sub>C<sub>n</sub>H<sub>m</sub></sub> (Kg/Kmol)	g <sub>i</sub> = m (Kg)	n = $\frac{m}{M_{C_nH_m}}$ (Kmol)	n (%)
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44	60	1.36	66.34
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58	40	0.69	33.66
		100	2.05	100

Combustión completa.



Balance de carbonos:

$$0.3366 * 4 + 0.6634 * 3 = X$$

$$X = 3.34 \text{ Kmol}$$

Balance de hidrógenos:

$$0.3366 * 10 + 0.6634 * 8 = 2(Y)$$

$$Y = 4.34 \text{ Kmol}$$

Balance de oxígenos:

$$2a = 2X + Y$$

$$2a = 2(3.34) + 4.34$$

$$a = 5.51 \text{ Kmol}$$

Balance de nitrógenos:

$$3.76a = Z$$

$$Z = 3.76 * 5.51 = 20.72 \text{ Kmol}$$

Tenemos:

$$R_{\text{aire cble}}^{\text{aire}} = \frac{a * a_t * (O_2 + 3.76N_2)}{\text{Combustible}}$$

El gas licuado de petróleo tiene un porcentaje de aire teórico de 2.435 por lo tanto:

$$R_{\text{aire cble}}^{\text{aire}} = \frac{5.51 * 2.435 * (32 + 3.76 * 28)}{100 \text{ Kg}}$$

$$R_{\text{aire cble}}^{\text{aire}} = 18.42 \frac{\text{Kg aire}}{\text{Kg combustible}}$$

Del análisis de combustión realizado con GLP se determinó:

$$R_{\text{comb.}}^{\text{CO}_2} = \frac{m_{\text{CO}_2}}{m_c} = \frac{3.34\text{CO}_2}{m_c} = \frac{3.34 * 44}{100} = 1.47 \frac{\text{KgCO}_2}{\text{Kgcombustible}}$$

Por lo consiguiente, la masa de gases de dióxido de carbono, evacuados con GLP, es:

$$\dot{m}_{\text{CO}_2} = R_{\text{comb}}^{\text{CO}_2} * \dot{m}_c$$

$$\dot{m}_{\text{CO}_2} = 1.47 \frac{\text{KgSO}_2}{\text{Kgcomb}} * 64.40 \frac{\text{Kgcomb}}{\text{h}} * 2920 \frac{\text{h}}{\text{año}} * \frac{1\text{TM}}{1000} = 276.43 \frac{\text{TM}}{\text{año}}$$

Análisis de impacto ambiental con Diesel-2

Tabla 8: Composición másicas del diesel -2

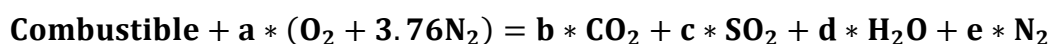
Componente	Nomenclatura	Participación másica (%)
Carbono	C	85
Azufre	S	3
Hidrogeno	H2	10
Oxigeno	O2	2



Tabla 9. Número de moles de los compuestos

Nomenclatura	Masa (Kg)	Peso Molar $\left(\frac{\text{Kg}}{\text{Kmol}}\right)$	Numero de Kmol $n = \frac{m}{M}$
C	85	12	7.0833
S	3	32	0.0938
H <sub>2</sub>	10	2	5
O <sub>2</sub>	2	32	0.0625

Análisis de combustión.



$$7.0833\text{C} + 0.0938\text{S} + 5\text{H}_2 + 0.0625\text{O}_2 + a * (\text{O}_2 + 3.76\text{N}_2) \\ = b * \text{CO}_2 + c * \text{SO}_2 + d * \text{H}_2\text{O} + e * \text{N}_2$$

Balance de carbonos: **b = 7.0833 Kmol**

Balance de hidrógenos: **d = 5 Kmol**

Balance de azufres: **c = 0.0938 Kmol**

Balance de oxígenos **a = 9.6146 Kmol**

Balance de nitrógenos: **e = 36.15 Kmol**

Relación CO<sub>2</sub>/combustible.

$$R_{\text{comb. CO}_2} = \frac{m_{\text{CO}_2}}{m_c} = \frac{b\text{CO}_2}{m_c} = \frac{7.0833 * 44}{100} = 3.12 \frac{\text{KgCO}_2}{\text{Kgcombustible}}$$

Relación SO<sub>2</sub>/combustible.

$$R_{\text{comb. SO}_2} = \frac{m_{\text{SO}_2}}{m_c} = \frac{c\text{SO}_2}{m_c} = \frac{0.0938 * 64}{100} = 0.06 \frac{\text{KgSO}_2}{\text{Kgcombustible}}$$

Flujo másico CO<sub>2</sub>.

$$\dot{m}_{\text{CO}_2} = R_{\text{comb. CO}_2} * \dot{m}_c$$

$$\dot{m}_{\text{CO}_2} = 3.12 \frac{\text{KgSO}_2}{\text{Kgcomb}} * 80.40 \frac{\text{Kgcomb}}{\text{h}} * 2920 \frac{\text{h}}{\text{año}} * \frac{1\text{TM}}{1000} = 732.50 \frac{\text{TM}}{\text{año}}$$

Flujo másico SO<sub>2</sub>.

$$\dot{m}_{\text{SO}_2} = R_{\text{SO}_2} * \dot{m}_{\text{c}}_{\text{comb}}$$

$$\dot{m}_{\text{SO}_2} = 0.06 \frac{\text{KgCO}_2}{\text{Kgcomb}} * 80.40 \frac{\text{Kgcomb}}{\text{h}} * 2920 \frac{\text{h}}{\text{año}} * \frac{1\text{TM}}{1000} = 14 \frac{\text{TM}}{\text{año}}$$

## Anexo 18. Viabilidad económica

Reducción de costos de combustible:

- Con combustible diesel-2: La caldera consume 64824 gal/año (22.20 gal/h\*2920h/año)  
Diesel-2 a un costo unitario de 2.6 \$/galón.

$$C_{\text{diesel}} = 64824 \frac{\text{gal}}{\text{año}} * 2.6 \frac{\$}{\text{galón}} = 168542,40 \frac{\$}{\text{año}}$$

- Con consumo de GLP: El generador de vapor consumiría 64.40 Kg/h de GLP (188048 Kg/año) a un costo unitario de 0.175 \$/Kg.

$$C_{\text{GLP}} = 188048 \frac{\text{Kg}}{\text{año}} * 0.175 \frac{\$}{\text{Kg}} = 32908.40 \frac{\$}{\text{año}}$$

La utilidad en ahorro de combustible sería:

$$B_c = 168542.40 \frac{\$}{\text{año}} - 32908.40 \frac{\$}{\text{año}} = 135634 \frac{\$}{\text{año}}$$

Reducción de costos de agua de alimentación:

Se recuperará un gasto másico de vapor flash equivalente a 18 Kg/h (52560 Kg/año), con una densidad media de 958.632 Kg/m<sup>3</sup> correspondiente a un caudal de 54.83 m<sup>3</sup>/año, donde el costo unitario del agua es 1.8 \$/m<sup>3</sup>.

La utilidad en ahorro de agua sería:

$$B_c = 54.84 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} * 1.8 \frac{\$}{\text{m}^3} = 98.71 \frac{\$}{\text{año}}$$

Beneficio total del proyecto:

Es la suma del beneficio por combustible y ahorro de condensado:

$$B_b = 135634 \frac{\$}{\text{año}} + 98.71 \frac{\$}{\text{año}} = 135732.71 \frac{\$}{\text{año}}$$

Costos de mantenimiento.

Tabla 10: Costos de mantenimiento de la planta térmica

Equipo/sistema	Costo anual (U\$\$/año)
Generador de vapor (caldero de 100 BHP)	2500.00
Recipiente de GLP	300.00
Equipo de tratamiento de SDT	1000.00
Tuberías de vapor y agua	1000.00
Tuberías de GLP	500.00
Equipos eléctricos	1000.00
Equipos térmicos	1000.00
Recipiente de vapor flash	1000.00
Total	8300.00

Beneficio útil del proyecto:

Es la resta del beneficio total y los costos generados por mantenimiento de equipos, tenemos:

$$B_{\text{útil}} = 135732.71 \frac{\$}{\text{año}} - 8300 \frac{\$}{\text{año}} = 127432.71 \frac{\$}{\text{año}}$$

Inversión de activos para la gestión energética.

Se consideraron precios de acuerdo al mercado industrial del departamento de La Libertad.

Y según registros de compra del hospital Essalud de Chocope.

Tabla 11: Inversión en activos fijos

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (dólares)	PRECIO TOTAL (dólares)
IMPLEMENTACIÓN DE CAMBIO DE COMBUSTIBLE			51865.71
Quemador tipo dual Baltur de 60Hz, 1500 KW	1	38571.43	38571.43
Recipiente de gas licuado de petróleo ASTM A-36, diámetro de 100 in y longitud de 300 in, con espesor de 3/8 in.	1	12857.14	12857.14
Aislamiento de fibra de vidrio, de espesor de 2 in	1	437.14	437.14
IMPLEMENTACIÓN DE RECUPERACIÓN DE VAPOR FLASH			1257.14
Recipiente de revaporizado de 18 Kg/h de vapor flash, presión de servicio de 1bar.	1	1257.14	1257.14
IMPLEMENTACIÓN DE INTERCAMBIADOR DE CALOR DE VAPOR FLASH			21990.86
Tubos y coraza ASTM A-36, diámetro de 500 mm, longitud de 1000mm y espesor de 1/8 in (Incluye aislamiento, placas frontales, pernos y estructura)	1	21990.86	21990.86
MANO DE OBRA Y ACCESORIOS ELÉCTRICOS Y TÉRMICOS			8742.86
Mano de obra (Instalación de quemador, recipiente de gas licuado de petróleo, aislamiento térmico, recipiente de revaporizado, intercambiador de calor, otros)	1	7314.29	7314.29
Accesorios eléctricos y térmicos (conductores eléctricos, termómetros, válvulas de fluidos, manómetros, y conductos de agua, aire y vapor)	1	1428.57	1428.57
			Soles
			293498.00
			Dólares
			83856.57

**Anexo 19. Fotografías de la planta térmica EsSalud Chocope**





