
Evaluación del cambio de combustible DB5 a GLP para mejorar indicadores energéticos de una caldera de 70 BHP.**Evaluation of the change of fuel DB5 to GLP for improvement of energy indicators of the boiler of 70 BHP.****Avaliação da troca de combustível DB5 a GLP para melhorar os indicadores de energia de uma caldeira de 70 BHP.****Roberto Carlos Chucuya Huallpachoque ¹.**

Resumen

El objetivo de esta investigación es diseñar un sistema alternativo de combustible que opere con gas licuado del petróleo GLP y evaluar la influencia en los indicadores energético económicos y ambientales en la caldera pirotubular de 70 BHP del Hospital Regional Eleazar Guzmán Barrón (EGB). Es una investigación de nivel descriptivo y con una propuesta de diseño, no experimental, transversal. La recopilación de información fue la entrevista con los técnicos operadores y los reportes de operación de las calderas en un periodo de 6 meses. Se determinó en condiciones actuales de operación: el rendimiento de la caldera en 81.56% y los indicadores energético económico y ambiental en 210.7 soles/ton. vapor y 0.227 ton. CO₂/ton. vapor, respectivamente; seguidamente teniendo en cuenta la normatividad peruana vigente para instalación de equipos industriales con GLP, se realizó el dimensionamiento del nuevo quemador, sistemas de alimentación de combustible a la caldera, así como los efectos de este combustible en la emisión de gases de la combustión generados en función al volumen máximo admitido por la cámara de combustión. Se realizó una comparación entre indicadores luego de la conversión de combustible y se obtuvieron mejoras para su indicador económico y ambiental en 191.4 soles/ton. vapor y 0.198 soles/ton. vapor, respectivamente, superando la hipótesis planteada en un 5%.

Palabras clave: BHP, caldera pirotubular, GLP, indicadores energéticos.

Abstract

The objective of this research is to evaluate the design of a system that operates with liquefied petroleum gas LPG to improve the economic and environmental indicators in the fire hydrant boiler of 70 BHP of the Regional Hospital Eleazar Guzmán Barrón (EGB). It is a research level descriptive and with a design proposal, not experimental, transversal. The information gathering was the interview with the technical operators and the boiler operation reports in a period of 6 months. The current performance of the boiler was determined at 81.56% and its current economic and environmental energy indicator at 210.7 soles / ton. steam and 0.227 ton. CO₂/ton. steam, respectively; then taking into account the current Peruvian regulations for the installation of industrial equipment with LPG, the sizing of the new burner is performed, fuel supply systems to the boiler, and the effects of this fuel are evaluated with the emission of combustion gases generated based on the maximum volume admitted by the combustion chamber. A comparison was made between indicators after fuel conversion and improvements were obtained for its economic and environmental indicator in 191.4 soles/ton. steam and 0.198 soles/ton. steam, respectively, exceeding the hypothesis raised by 5%.

Keywords: BHP, firetube boiler, LPG, energy indicators.

Resumo

O objetivo desta pesquisa é avaliar o desenho de um sistema que opera com gás liquefeito de petróleo para melhorar os indicadores econômicos e ambientais na caldeira flamotubulares de 70 BHP do Hospital Regional Eleazar Guzmán Barrón (EGB), é um nível de pesquisa descritivo e com proposta de projeto, não experimental, transversal. A coleta de informações foi a entrevista com os operadores técnicos e os relatórios da operação da caldeira em um período de 6 meses. O desempenho atual da caldeira foi determinado em 81,56% e seu atual indicador de energia econômica e ambiental em 210.7 soles/ton.vapor e 0,227 ton. CO₂/ ton. vapor, respectivamente; em seguida,

¹Escuela de Ingeniería en Energía. Magister. Universidad Nacional del Santa. Chimbote. Perú. roberto_chuya@yahoo.es. <https://orcid.org/0000-0001-9175-5545>

levando em consideração as atuais regulamentações peruanas para a instalação de equipamentos industriais com GLP, o dimensionamento do novo queimador é realizado, sistemas de abastecimento de combustível para a caldeira e os efeitos desse combustível são avaliados com a emissão de gases de combustão gerado com base no volume máximo admitido pela câmara de combustão. Foi feita uma comparação entre os indicadores após a conversão de combustível e as melhorias foram obtidas para seu indicador econômico e ambiental em 191,4 soles / ton. vapor e 0,118 soles / ton. vapor, respectivamente, superando a hipótese aumentada em 5%.

Palabras-chave: BHP, caldeira flamotubulares, GLP, indicadores de energia.

Introducción

La necesidad de encontrar una mejora de los indicadores energéticos del Hospital Regional de Chimbote, se propone el cambio tecnológico de uso de combustible DB5 por GLP en los quemadores de combustible de la caldera Piro-tubular, se justifica por la oportunidad de utilizar un combustible de mejor calidad en lo referente a poder calorífico inferior y generación de emisiones de efecto invernadero, tal como lo es el GLP, el cual tiene por gas generado durante su combustión en su mayoría óxidos de nitrógeno y en menor proporción dióxido de carbono y además no contiene azufre. Al cambiar de DB5 a GLP, le permitirá unos fuertes ahorros en la facturación mensual por consumo de combustible a esta institución de servicios de salud, la cual tiene un presupuesto muchas veces limitado. La reducción de la emisión de los gases de efecto invernadero y de óxidos de azufre al no utilizarse el DB5, con lo cual se contribuye en mitigar la emisión de gases a la atmosfera y sobre todo permitir al personal que labora en la empresa de salud y a la población aledaña mejores condiciones de salubridad en el ambiente, y así mismo contribuye en mejorar la salud de los pacientes internados dentro del hospital. Si se mantienen las instalaciones térmicas en funcionamiento inadecuado con pérdidas energéticas considerables debido a interrupciones, más aún si opera con un exceso de aire fuera del rango permitido para una combustión eficiente, lo que trae consigo pérdidas energéticas y por ende pérdidas económicas para el Hospital Regional por el atraso de las actividades en los diferentes servicios de atenciones a los pacientes usuarios.

Por lo tanto, se plantea la siguiente interrogante: ¿Cómo es el diseño del sistema GLP que mejorara los indicadores energéticos económico y ambiental, de la caldera piro-tubular de 70 BHP del Hospital Regional Eleazar Guzmán Barrón?

León (2013) en su investigación titulada “Influencia del cambio de combustible Petróleo R500 por gas natural en calderos para la reducción de los indicadores energéticos de la empresa Austral Group SAC-2013”, concluye: la empresa pesquera Austral Group cuenta con una sala de calderos con 4 equipos de 900 BHP, cada uno de ellos operando con una presión de 8 bar (120 psi) generando vapor saturado para los procesos de calentamiento en las áreas de cocción y secado. Operando con un rendimiento entre 84.5 a 83.8 % y con un factor de carga entre 77.5 a 70.29 % (operando a $\frac{3}{4}$ de su capacidad). Por ejemplo en el caldero N° 1 el flujo de combustible petróleo R500 es de 198 galones de petróleo R500/hora. Se tiene un Indicador Energético Térmico de IT1 de 39.11 galones de petróleo R500/tonelada de harina producida, así mismo el Indicador Energético de IT2 de 1,383.76 mega calorías/tonelada de harina producida, el Indicador Económico IEE es 164.25 U\$ por facturación de energía/tonelada de harina producida, así mismo se tiene un Indicador Energético Ambiental IEA de 0.444 toneladas de CO₂ emitidas por la combustión del petróleo R500/tonelada de harina producida.

Vacacela (2011) en su investigación titulada “Estudio de parámetros de combustión en un calderín de 2 BHP y su efecto sobre la eficiencia”, concluye: la presión de GLP correspondiente a 1 psi y 2 psi con un caudal de 100%, experimenta el alcance de presión requerida en menor tiempo tomándose un promedio de 34 min, no así con 0.4 PSI y 0.5 PSI cuyo promedio de tiempo fue de 48 min. La variación del flujo de combustible afecta notablemente en cuanto a la eficiencia del calderín, al tener un caudal del 100% se promedia una eficiencia del 56%, mientras que al reducir el flujo al 75%, el promedio de la eficiencia se reduce a un 49% aproximadamente. La disminución del caudal de GLP, influye negativamente en cuanto al tiempo para lograr la presión final del proceso, la diferencia está dada dentro de un rango del 53%.

Vásquez (2008) en su investigación titulada “Análisis de cambio de combustible en calderas a gas”, manifiesta lo siguiente: el uso del gas natural en calderas proporciona una tecnología limpia y eficiente con ahorros muy significativos, reduce el impacto ambiental, disminuye costos de mantenimiento,

mejora el proceso adaptando la tecnología del gas natural. El periodo de retorno de inversión para el cambio de combustible a gas natural es menor a un año. Por ejemplo, para una fuente que opera con R500 y se cambia a gas natural, el ahorro que le significa por unidad de energía consumida es un valor no despreciable si se considera que el consumo anual promedio de energía para las fuentes involucradas en el mecanismo de compensación es mayor.

La caldera es un equipo térmico conformado por un recipiente metálico, cerrado, hermético, presurizado destinado a producir vapor o calentar agua u otro fluido mediante un proceso isobárico, mediante el suministro de una fuente de energía primaria (generalmente un combustible o también a través de una resistencia eléctrica) el cual libera calor el cual es aprovechado de manera indirecta por un fluido. En estas calderas, por el interior de los tubos pasa agua o vapor y los gases calientes se hallan en contacto con las caras exteriores de ellos. Son de pequeño volumen de agua. Las calderas acuotubulares son las empleadas casi exclusivamente cuando interesa obtener elevadas presiones y rendimiento, debido a que los esfuerzos desarrollados en los tubos por las altas presiones se traducen en esfuerzos de tracción en toda su extensión.

Existen varias formas de clasificación de calderas, entre las que se pueden señalar:

Según la presión de trabajo: baja presión (15 psi – 60 psi), media presión (60 psi – 150 psi), alta presión (150 psi – 250 psi) y supercríticas (más de 250 psi)

Según su generación: de agua caliente, de vapor (saturado, recalentado).

Según la circulación del agua y los gases calientes en la zona de tubos de la caldera: pirotubulares y acuotubulares. Se denominan calderas pirotubulares por que los gases calientes procedentes de la combustión de un combustible, circulan por el interior de tubos cuyo exterior esta bañado por el agua de la caldera.

Básicamente son recipientes metálicos, comúnmente de acero, de forma cilíndrica o semicilíndrica, atravesados por grupos de tubos por cuyo interior circulan los gases de combustión. Por problemas de resistencia de materiales, su tamaño es limitado. Sus dimensiones alcanzan a 5 m. de diámetro y 10 m. de largo. Se construyen para Flujos máximos de 20,000 kg/h de vapor y sus presiones de trabajo no superan los 18 Kg/cm². Pueden producir agua caliente o vapor saturado. En el primer caso se les instala un estanque de expansión que permite absorber las dilataciones de agua. En el caso de vapor poseen un nivel de agua a 10 o 20 cm. sobre los tubos superiores. (Castillo, 2008).

Entre sus características se pueden mencionar su sencillez de construcción, gran peso, facilidad de inspección, reparación y limpieza, lenta puesta en marcha, gran peligro en caso de explosión o ruptura debido al gran volumen de agua almacenada. Entre las ventajas podemos mencionar: menor costo inicial debido a la simplicidad de su diseño, mayor flexibilidad de operación a través de su automatización, menores exigencias de pureza en el agua de alimentación y son pequeñas y eficientes. Entre las desventajas indicamos: mayor tiempo para subir presión y entrar en funcionamiento, no se deben usar para altas presiones y requieren mayores equipos de control para su operación.

Eficiencia de una caldera, también denominado rendimiento permite determinar el grado de aprovechamiento del calor suministrado por el combustible, y el calor útil disponible aprovechado por el agua para transformarse en vapor saturado. Para las calderas pirotubulares la máxima eficiencia varía entre 85-87%. Existen dos formas de medir la eficiencia térmica de las calderas el Método Directo y Método Indirecto.

Método directo. Conocido como el método de entrada y salida de la caldera debido al hecho que esto necesita sólo la salida útil (el vapor) y la entrada o suministro de calor a través de una fuente de energía primaria (p. ej. el combustible) para evaluar la eficiencia. Refleja la influencia de la variación del estado de operación de la caldera incluyendo los arranques y paradas del quemador, así como las purgas de la caldera.

Método indirecto. Llamada también como el método de las pérdidas de calor. Las desventajas del método directo pueden ser vencidas por este método, que calcula varias pérdidas de calor asociadas con la caldera. La eficiencia puede ser llegada, restando las fracciones de pérdida de calor de 100. Una ventaja importante de este método consiste en que los errores en la medida no hacen el cambio significativo de la eficiencia.

Las pérdidas en una caldera se detectarán en los gases calientes descargados por la chimenea. Si la combustión es buena, habrá sólo una pequeña cantidad de exceso de aire, en este caso se considera entre 10 a 15 % de exceso de aire para combustibles gaseosos y entre 20 a 30 % para combustibles líquidos. Los gases de la combustión contendrán un porcentaje relativamente grande de dióxido de carbono y sólo una cantidad pequeña de oxígeno. También, si las superficies caloríficas están limpias, se extraerá un porcentaje alto de calor y la temperatura de los gases de la combustión será baja. (Castillo, 2012).

Si la combustión es pobre, con mucho exceso de aire, entonces aumentará el peso de los gases de la combustión que contendrán un porcentaje reducido de dióxido de carbono y la cantidad superior de oxígeno. Si la velocidad de combustión es alta o las superficies caloríficas están sucias, no será posible extraer un porcentaje alto de calor y la temperatura de los gases de la combustión aumentará.

Combustibles. El Diésel B5 es un combustible constituido por una mezcla de Diésel N° 2 (95%) y de Biodiesel (B100) (5%); a su vez el Diésel N°2 es una mezcla compleja de hidrocarburos en el rango aproximado de C₉ a C₃₀ y el Biodiesel B100 se compone principalmente de ésteres mono-alquílicos de ácidos grasos de cadena larga. A partir del 01 enero 2011 se inició la comercialización de este combustible, en reemplazo del Diésel B2. Diésel N°2: combustible derivado de hidrocarburos, destilado medio, obtenido de procesos de refinación. Biodiesel (B100): combustible Diésel derivado de recursos renovables, puede ser obtenido a partir de aceites vegetales o grasas animales. Cumple con las especificaciones de calidad establecidas en la norma nacional e internacional. Este combustible prácticamente no contiene azufre.

El gas licuado de petróleo es la mezcla de gases licuados, sobre todo propanos y butanos. La fuente de obtención de este combustible son las refinerías y las plantas de proceso de gas natural las cuales aportan alrededor del 25% y 75% respectivamente. En condiciones normales de presión y temperatura ambiente (1 atmósfera y 20°C), el GLP se encuentra en estado gaseoso, sin embargo, para facilitar su almacenamiento y transporte, se licua y se vaporiza para emplearlo como combustible de calderas y motores. Para obtener líquido a presión atmosférica, la temperatura del butano debe ser inferior a -0,5°C y la del propano a -42°C. En cambio, para obtener líquido a temperatura ambiente, se debe someter al GLP a mayor presión. Para el butano, la presión debe ser de más de 2 atmósferas. Para el propano, la presión debe ser de más de 8 atmósferas. (Valdeiglesias, 2006).

Dimensionamiento del sistema de GLP.

Potencia térmica suministrada a la caldera, se determina con la siguiente ecuación:

$$Q = m * P.C.I \dots \dots \dots (1)$$

Dónde:

Q: Consumo de energía mensual de la caldera. [kJ/s]

PCI: Poder Calorífico Inferior del combustible [kJ/kg]

m: Flujo másico del combustible [kg/s].

Para determinar el volumen total del depósito en función a la autonomía que se le quiera dar al sistema se sabe:

V_t: Volumen total del depósito, expresado en [m³].

C_u: Capacidad útil o consumo nominal, expresada en [kg].

V_u: Volumen útil de almacenamiento, expresado en [m³].

Se considera la masa en volumen o densidad del propano comercial en fase líquida 506.09 kg/m³ que para los cálculos se puede tomar 500 kg/m³.

$$V_u = 0.65 * V_t (m^3)$$

$$C_u = \rho * V_u = \rho \left(\frac{Kg}{m^3} \right) * 0.65 * V_t (m^3)$$

$$V_t = \frac{C_u}{325} (m^3) \dots \dots \dots (2)$$

Para determinar el caudal que un depósito puede vaporizar de forma natural, se utiliza la siguiente fórmula:

$$V_{ap} = p * s * k * \frac{T_e - T_g}{CLV} \dots \dots \dots (3)$$

Dónde:

V_{ap} : Capacidad o flujo másico de vaporización, expresado en [kg/h].

p : Superficie mojada, es la superficie del depósito en contacto con el líquido, calculado un valor de 0.336 para cuando el depósito está a un 20% lleno. (Fuente: Instalaciones de GLP, Cepsa Ed. 2001)

S : Superficie del depósito, expresada en [m²], es la superficie exterior total del depósito y viene indicada por el fabricante.

k : Coeficiente de transmisión de calor, es el coeficiente de transmisión de calor a través de las paredes del depósito, cuyo valor de $k = 0.014 \text{ kW/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$, para situación normal y viento en calma. (Fuente: Instalaciones de GLP, Cepsa Ed. 2001)

T_e : Temperatura exterior mínima del ambiente, se estima $13 \text{ }^\circ\text{C}$ para la ciudad de Chimbote.

T_g : Temperatura de equilibrio líquido-gas, es la temperatura del gas en el interior del depósito, depende de la temperatura de vaporización y la presión de trabajo o de servicio en la red, es decir, la presión de salida del regulador situado a la salida del depósito, según NTP la presión máxima de trabajo será de 1.73 MPa, a la que corresponde una $T_g = -20 \text{ }^\circ\text{C}$.

CLV : Calor latente de vaporización, del propano comercial, se considera un valor de [0.11 kW h/kg] ó [94 kcal/kg].

Indicadores energéticos, son aquellos que permiten comparar las unidades de energía consumida con un parámetro relevante de la empresa o planta consumidora de energía.

Indicador Energético Técnico

$$IE = \frac{\text{Consumo de Combustibles/mes}}{\text{Toneladas de Vapor/mes}} \dots \dots \dots (4)$$

Indicador Energético Económico, está asociado al costo o facturación mensual que se realiza al consumir los diversos insumos energéticos durante la actividad productiva o de servicios de una empresa.

$$IEE = \frac{\text{Facturacion del consumo de combustible/mes}}{\text{Toneladas de vapor /mes}} \dots \dots \dots (5)$$

Indicador Energético Ambiental, permiten comparar las emisiones de dióxido de carbono emitidos a la atmosfera por el consumo de combustible fósiles como fuente de energía primaria por cada tonelada de insumo generado. (Guevara, 2013)

$$IEA = \frac{\text{Ton de CO}_2 \text{ emitido por consumo de combustible/mes}}{\text{Toneladas de vapor generado/mes}} \dots (6)$$

Material y método

Es una investigación de diseño no experimental, de nivel descriptivo con corte transversal, el cual incluye una propuesta de mejora; se describe la situación actual cómo se encuentra operando la caldera pirotubular de 70 BHP existente en la casa de fuerza del hospital regional, en base a ello se realiza las evaluaciones necesarias para elaborar una propuesta de cambio en el sistema de combustible a GLP el cual se pretende para mejorar los indicadores energéticos de la caldera.

La población y muestra son únicas, para este estudio está dada por los dueños del problema que están involucrados en el área de evaluación: cinco técnicos operadores de calderas generadoras de vapor. En

el caso de la observación, se utiliza instrumentos de medida como analizador de gases, termocupla, termómetro, anemómetro, etc.; los mismos que cumplen ciertos estándares de calibración garantizado por los fabricantes. El procesamiento de los datos se realizó con herramientas computacionales Word, Excel, y el análisis de la información serán con tablas, gráficos, etc.

Resultados

Balance de energía de la caldera pirotubular de 70 BHP con DB5

En la Tabla 1, se indican los datos de entrada y salida de la caldera de 70 BHP INTESA, características del combustible y los resultados obtenidos con el analizador de gases para la determinación de la eficiencia, asimismo en la figura 1 se observa el equipo motivo de evaluación.

Tabla 1

Valores de entrada y salida a la caldera

Variable	Unidad	Valor
Consumo de Petróleo DB5	Gal/día	66
Poder Calorífico Inferior del DB5	Kcal/galón	33,048.00
Temperatura de Petróleo DB5	°C	20
Presión de Vapor	psi	100
Temperatura agua de alimentación	°C	60
Exceso de aire	%	75
CO ₂ (según analizador TESTO 320)	%	9
O ₂ (según analizador TESTO 320)	%	9.3
Temperatura de gases de la combustión (según analizador TESTO 320)	°C	213
Temperatura del medio ambiente	°C	20

Nota. Elaboración propia.



Figura 1. Caldera pirotubular INTESA de Hospital EGB.

Nota. Información propia.

Se determinó la eficiencia de caldera mediante el Método Indirecto, donde las pérdidas alcanzan el 18.44% y una eficiencia 81.56% en el balance de energía de la caldera pirotubular en estudio, el resultado se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2

Resultados de las pérdidas para caldera de 70 BHP

Item	Descripción de Pérdidas	% Pérdidas
P1	Por entalpia de gases de escape secos.	11.36
P2	Por entalpia del vapor de agua en los gases.	0.08
P3	Por inquemados gaseosos.	0.23
P4	Por inquemados sólidos.	1.27
P5	Por convección.	4.42
P6	Pérdidas por radiación.	1.08
	Total de Perdidas	18.44
	Eficiencia de la Caldera: 100-18.44 =	81.56%

Nota. Elaboración propia

En donde la principal pérdida son aquellos relacionados a la entalpia de los gases de escape secos con un valor de 11.36 %, básicamente debido a la temperatura de los gases de la combustión y al exceso de aire, seguido por las pérdidas por convección de 4.42 %.

Se determinó el flujo másico del vapor producido, utilizando el método directo, que asciende a $\dot{m}_v = 2,963.0 \text{ kg/día}$, o 2.963 toneladas de vapor saturado/día, para el abastecimiento de vapor en los 3 centros de consumo del hospital (nutrición, lavandería y central de esterilización), teniendo como referencia la fuente de energía primaria (el combustible DB5); utilizando el método directo, según lo estipula la NTP, los valores encontrados se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3

Resultado del flujo másico de vapor producido

Para el Petróleo DB5	Unidad	Valor
\dot{m}_c : Flujo Másico del Combustible	gal/día	66.0
PCI : Poder Calorífico Inferior	kcal/gal	33,048.0
Potencia Calorífica Suministrada	kJ/día	9'117,282.0
Eficiencia del caldero	%	81.56
Energía o Potencia Calorífica Útil	kJ/día	7'436,055.0
Para el Vapor Producido		
Energía o Potencia Calorífica Útil	kJ/día	7'436,055.0
h_1 : Entalpia de Vapor Saturado a 100 psi	kJ/kg	2,760.8
h_2 : Entalpia del agua de alimentación a la caldera a 100 psi y 60 °C	kJ/kg	251.6
\dot{m}_v : Flujo másico de vapor producido.	kg/ día	2,963.0
	Ton/día	2.96

Nota. Elaboración propia

Se determinaron los indicadores energéticos iniciales, de la unidad de contabilidad se tiene un precio de S/. 9.45 el galón DB5, con lo cual se determinan los indicadores energéticos iniciales para la caldera de 70 BHP. Se toma en cuenta los indicadores de emisiones establecidos en el balance de energía del año 2012 del Ministerio de Energía y Minas del Perú para el Biodiesel: Emisiones de Carbono (EC) 20.2 tC/TJ y Factor de Conversión (FC) 36.4 TJ/10³ m³. También se toma en cuenta los pesos moleculares del carbono y del dióxido de carbono. El resumen de los resultados obtenidos se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4

Indicadores energéticos, utilizando combustible D-B.

	Descripción	Unidad	Valor
	Precio DB5	Soles/Gal.	9.45
IET	Indicador Energético Técnico	Gal. DB5/ton. vapor	22.29
IEE	Indicador Energético Económico	Soles/Ton. vapor	210.70
IEA	Indicador Energético Ambiental		
	Equivalente másico	1m ³ = 264.172 gl. EU m ³ /día	0.2495
	Carbono emitido	tC/día	0.1834
	Dióxido de carbono (CO ₂) equivalente emitido	tCO ₂ /día	0.6726
	Indicador Energético Ambiental	tCO ₂ /Ton Vapor	0.227

Nota. Elaboración propia

Se determinó el Flujo de GLP necesario, tomando las características de operación de la caldera INTESA de 70 BHP, se determina la potencia térmica suministrada por el combustible Diésel B5 según la ecuación 1, así mismo se determina la potencia térmica suministrada del GLP, para luego calcular flujo necesario del mismo y los parámetros encontrados se indican en la Tabla 5.

Tabla 51

Determinación del flujo del GLP necesario

Variable	Unidad	Valor
Potencia térmica que suministra el D-B5	kJ/día	9'117,282.00
Potencia térmica que suministra el GLP	kcal/día	2'181,167.95
Flujo GLP requerido	kg/día	196.82

Nota. Elaboración propia

Se determinó el flujo de gases de la combustión, para ello se tienen los siguientes parámetros de combustión óptima para el GLP, así como la relación aire/combustible estequiometria: 17.2 kg aire/kg del combustible; relación aire/combustible real = 17.2*1.1 = [18.92 kg aire/kg], luego se determina el flujo másico del aire [\dot{m}_a], así como también el flujo másico total de los gases de la combustión [\dot{m}_g] formados, que ingresarán a la cámara de combustión, por consecuencia consideramos la densidad promedio de los gases de la combustión [0.753 kg/m³] y finalmente determinar el volumen de gases de la combustión contenido en la cámara de combustión es de 0.059 m³/s y en la Tabla 6 se presenta los parámetros encontrados.

Tabla 6

Determinación del flujo de gases de la combustión del GLP

Variable	Unidad	Valor
Relación aire/combustible estequiometria.	kg aire/kg	17.2
Relación aire/combustible real.	kg aire/kg	18.92
Flujo GLP necesario.	kg/día	196.82
Flujo másico del aire.	kg/día de aire	3,723.83
Flujo másico total de gases de combustión.	kg/día de gases	3,920.65
	kg/seg de gases	0.045
Densidad promedio de gases de combustión.	kg/m ³	0.753
Volumen de gases de la combustión contenido en la cámara de combustión.	m ³ /seg	0.059

Nota. Elaboración propia

Se determinó las características del quemador de GLP, teniendo en cuenta la caldera Intesa de 70 BHP, cuya máxima demanda es 196.82 kg de GLP/día, dándole un margen de seguridad del 25 %, se tiene un flujo de 246.0 kg de GLP/día, considerando para el GLP una densidad de 2.095 kg/m³; determinamos un caudal de 4.89 m³ hora por hora promedio, para concluir con el cálculo de la potencia del quemador en 132 kW. El quemador es uno de los componentes críticos de una caldera de vapor, considerando principalmente del punto de vista de las emisiones contaminantes; la tecnología actual permite seleccionar un quemador que facilite un elevado rendimiento de la caldera, reduciendo las emisiones y brinde seguridad en el funcionamiento del sistema. Para cumplir con este principio debemos manifestar que se comprobó la correcta selección del quemador dual instalado por el fabricante de calderas Intesa.

Asimismo, podemos verificar la segunda alternativa del quemador de GLP, según los cálculos realizados, se ajusta a las características técnicas descritas en la Tabla 7.

Tabla 7

Características técnicas del quemador de GLP

Parámetro	Característica
Marca	Ecoflam.
Modelo	BLUE 350.1 para bajas emisiones de bajo NOx. (Óxido de Nitrógeno).
Tipo	Quemador estático presurizado con aire.
Material	Fundición de acero.
Operación	Modulante.
Capacidad	De 100 KW a 350 KW.
Presión	De 17 a 500 mbar (0.25 a 7.25 psi).
Motor	0.3 KW a 220 Voltios.

Nota. Elaboración propia

Se dimensiono la instalación con GLP, para ello determinamos el volumen del tanque y estimación de la autonomía del sistema. Según la NTP 321.123-2012 un depósito no puede ser llenado más del 85 % de su volumen total y de igual forma no puede ser vaciado más del 20 % de dicho volumen, por lo que se considera como volumen útil a la diferencia de estos dos porcentuales, es decir el 65 % del volumen geométrico total del depósito, que es [22.70 m³], por tanto se selecciona un tanque de [25 m³], según muestra en la Tabla 8.

Tabla 8

Volumen del tanque para el GLP

Descripción	Unidad	Valor
Consumo diario de GLP	kg/día	246.0
Autonomía del sistema	días	30
Densidad del propano liquido	kg/m ³	500.0
Capacidad Útil	kg/mes	7,380.0
Volumen total del depósito	m ³	22.7
Selección de tanque GLP	m ³	25.0

Nota. Elaboración propia

Se determinó la vaporización del depósito, debido a que en el tanque estacionario, coexisten dos fases, es decir la de líquido y vapor. Cuando del depósito se va extrayendo gas para su consumo, se va reduciendo la presión de la fase vapor rompiéndose el equilibrio entre las dos fases. Como consecuencia de ello se produce la vaporización de la fase líquida para tender a recuperar el equilibrio perdido y facilitar el consumo de gas subsiguiente. De este modo, bajo las condiciones recomendadas anteriormente y descritas en la Tabla N° 11, de mantener la toma del gas moderadamente y realizado

los cálculos, el tanque estacionario de GLP de 25 m³, vaporizará de forma natural el caudal requerido de [77.14 kg/h], para abastecer el consumo mensual al sistema de instalación centralizada, de tal forma que sea eficiente y logre la autonomía (30 días).

Tabla 9

Flujo másico de vaporización del depósito.

	Descripción	Unidad	Valor
p	Superficie de depósito mojada al 20% lleno.		0.336
S	Superficie exterior total del depósito viene indicada por el fabricante.	m ²	54.66
K	Coefficiente transmisión de calor a través de las paredes del depósito.	kW/m ² °C	0.014
Te	Temperatura mínima del ambiente.	°C	13
Tg	Temperatura de equilibrio liquido-gas del depósito a presión de trabajo 1.73 MPa.	°C	-20
CLV	Calor latente de vaporización del propano comercial.	kWh/kg	0.11
Vap	Capacidad o flujo másico de vaporización del caudal requerido.	kg/h	77.14

Nota. Elaboración propia

Se determinó el diámetro de la tubería de conducción y comprobación de condiciones para la ecuación de Renouard, para determinar el diámetro de la tubería de transporte del GLP, se deben considerar los parámetros descritos en la Tabla N° 17 que son recomendados por la NTP 321.123-2012 y las ecuaciones de Instalaciones de GLP editado por REPSOL; resolviendo la ecuación N° 4 se obtiene un diámetro de [D = 31.3 mm]. Así mismo el uso de la fórmula de Renouard debe cumplir ciertas condiciones, que nos permiten determinar las pérdidas de carga, o el diámetro de la tubería y para nuestro caso realizado los cálculos cumple estas condiciones exigidas y recomendadas.

Tabla 10

Calculo de tuberías de conducción del GLP

Descripción	Unidad	Valor
Presión inicial.	bar	0.7
Perdida de carga (10% de Pi).	bar	0.07
Densidad ficticia-propano comercial		1.54
Longitud real de tubería.	m	37.35
Factor de multiplicación.		1.2
Longitud total. (1.2 * L _r).	m	44.82
Diámetro interior de tubería.	mm	31.3

Nota. Elaboración propia

De esta forma el diámetro estimado para la tubería matriz o de línea de distribución a media presión se obtiene de la Tabla 11, en donde podemos observar los diámetros existentes de la tubería de cobre tipo "L" sin costura. Al observar la tabla siguiente, a criterio podemos estimar y considerar usar para la tubería matriz un diámetro nominal de 1½ pulgada.

Tabla 11

Tuberías de cobre

CAÑERIAS DE COBRE TIPO "L" y "K"		
Designación comercial	Tipo "L" Diámetro interior cm	Tipo "K" Diámetro interior cm
3/8"	1,092	1,022
1/2"	1,384	1,340
3/4"	1,994	1,892
1"	2,604	2,528
1 1/4"	3,212	3,162
1 1/2"	3,824	3,762
2"	5,042	4,976
2 1/2"	6,262	6,186
3"	7,480	7,384
4"	9,920	8,598

Nota. Catálogo de Pro-cobre.

Se determinó la velocidad de circulación del GLP, se consideró que no debe sobrepasar los 15 m/s, considerando los parámetros en la Tabla 12, resulta una $v = 14.06 \text{ m/s}$ y cumple con el valor recomendado en las Instalaciones de GLP editado por REPSOL.

Tabla12

Cálculo de velocidad de circulación del GLP

	Descripción	Unidad	Valor
Q	Caudal medido en condiciones normales.	m ³ /h	24.521
P	Presión absoluta al final del tramo.	bar	0.9*0.7= 0.63
D	Diámetro interior del tubo.	mm	31.3
v	Velocidad de circulación del GLP	m/s	14.06

Nota. Elaboración propia

A continuación en la Figura 2 se presentan los detalles del sistema de almacenamiento del combustible GLP con sus respectivos accesorios que será proyectado en nuestra investigación.

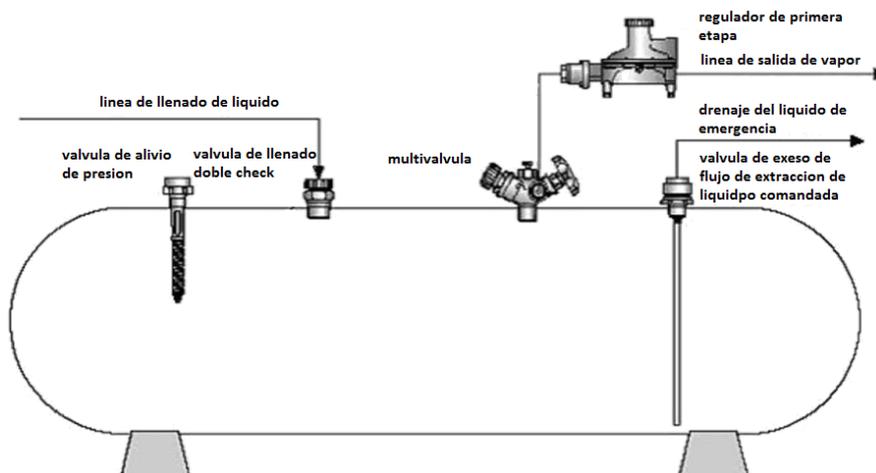


Figura 2: Tanque de Almacenamiento de Combustible GLP

Nota. Catalogo de Costa Gas.

Discusión

Con relación al trabajo de León (2013), los indicadores fueron para la empresa pesquera Austral Group operando el caldero entre 84.5 a 83.8 %, se tiene un Indicador Energético Térmico de IT1 de 39.11 galones de petróleo R500/Tonelada de harina producida, el Indicador Energético Económico es 164.25 U\$ por facturación de energía/Tonelada de harina producida, así mismo se tiene un Indicador Energético Ambiental de 0.444 Toneladas de CO₂ emitidas por la combustión del petróleo R500/Tonelada de harina producida, en este último caso con respecto al petróleo DB5 y GLP obtuvimos indicadores iguales a 0.227 y 0.198 Toneladas de CO₂ emitidas por la combustión del petróleo DB5 y GLP respectivamente por cada tonelada de vapor generado, siendo estos últimos combustibles menos contaminantes que el petróleo R500. Es importante resaltar que el rendimiento de la caldera al cual opera nuestra caldera también se encuentra entre los valores obtenidos por este trabajo.

Además en el trabajo de Vacacela (2011), la presión de GLP correspondiente a 1 psi y 2 psi con un caudal de 100%. La variación del flujo de combustible afecta notablemente en cuanto a la eficiencia del calderín. Para nuestro caso, se ha dimensionado un quemador estático para GLP que tiene la posibilidad de poder operar entre un rango de presión de 17 a 500 mbar, según fabricante que corresponde a 0.25 a 7251.9 psi, sin afectar al servicio del caldero.

Según Vásquez (2008), en su informe de investigación indica que el uso del gas natural en calderas proporciona una tecnología limpia y eficiente con ahorros muy significativos, reduce el impacto ambiental, disminuye costos de mantenimiento, mejora el proceso adaptando la tecnología del Gas Natural. A diferencia de la evaluación económica obtenida en el presente informe en el cual el TIR es menor al 50.0 % y el Pay Back promedio a 1.10 años, con un VAN positivo igual a 3,542.11 US\$, lo que indica que es un proyecto rentable económicamente.

En lo que respecta a la evaluación económica tomando como referencia los Indicadores Energéticos Eficientes el VAN es positivo y el valor del TIR supera al valor de la tasa de interés del mercado por lo que el proyecto es rentable y más aún el Pay Back o recuperación de la inversión con los ahorros es menor a un año, por lo cual al ser una empresa de servicios, es recomendable realizar la reconversión tecnológica de combustible, por representar lo siguiente: se optaría por un combustible menos contaminante y más barato, con la opción de que si a futuro la caldera de vapor incrementa su producción, entonces los parámetros de rentabilidad se mejorarían aún más, así como los Indicadores Energéticos.

Conclusiones

Con referencia al objetivo general, se ha diseñado el sistema de GLP para la mejora de los indicadores energéticos, superando el valor de la hipótesis planteada del 5 %, en este caso el Indicador Energético Económico tiene una mejora de 9.16 % y el Indicador Energético Ambiental es de 12.78 %, mientras que el Indicador Energético Técnico permanece constante, para una producción de 2.963 Toneladas de vapor/día.

Se ha dimensionado el quemador de GLP para la mejora de los indicadores energéticos, optándose por un quemador BLU 350.1 de bajas emisiones de NO_x de marca ECOFLAM, modulante con una capacidad de 100 a 350 KW, rango en donde puede operar la capacidad actual del caldero el cual es de 132 KW y con un rango de presiones para operar ente 17 a 500 mbar; que se constata la adecuada selección del actual quemador instalado, que utiliza combustible dual (D2 y GLP/GN).

Se ha dimensionado el sistema de alimentación de GLP para una autonomía de 1 mes, con un tanque de 25 m³ de capacidad de almacenamiento y un consumo de diseño de 246.00 kg de GLP/día, diámetro de tubería de cobre tipo L de 31.3 mm (1 ¼”), velocidad de circulación de 14.06 m/s y con una seguridad de vaporización de 77.14 kg/h.

Se ha verificado el rango del flujo de gases de la combustión emitidos a la atmosfera por el GLP, el cual es de 3,920 kg de gases de la combustión al día, operando con un exceso de aire del 10 %, valor inferior a lo máximo que puede verter el petróleo con un exceso de aire del 70%. Con lo cual no existen problemas de sobresaturación de gases de la combustión en la caldera.

Referencias bibliográficas

- Aranda, A. (2010). *Eficiencia energética en instalaciones y equipamiento de edificios*. España: Editorial de la Universidad de Zaragoza.
- Benavides, A. (2010). Proyecto técnico de reforma de sala de calderas con gas natural e instalaciones. Universidad de Salamanca. Recuperado de <http://www0.usal.es/webusal/files/ExpedientesContratacion/PROYECTO%20DE%20GAS%20Y%20CALEFACCI%C3%93N%20FARMACIA.pdf>
- Carbajal J. H. (2012). *Diagnóstico energético en la empresa pesquera Cantabria (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional del Santa. Chimbote. Perú
- Cengel, Y. (2012). *Termodinámica*. España: Editorial Mc Graw Hill.
- Cepsa. *Manual de instalaciones de GLP*. España: Editorial CEPESA.
- Chavez, Á. (2005). Proyecto de conversión industrial al consumo de gas natural en una planta textil (Tesis de pregrado). Recuperada de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/889/1/chavez_na.pdf
- Guevara, R. (2005). *Manual de auditorías energéticas*. De uso exclusivo en la Universidad Nacional del Santa.
- Guevara, R. F. (2013). *Manual de calderas de vapor*. Chimbote: Universidad Nacional del Santa.
- Hermógenes, G. (2009). Proyecto de instalación de una planta de GLP en la localidad de Tingo María (Tesis de grado). Recuperada de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/918/1/diaz_gh.pdf
- Indecopi. *NTP 321-123-2012 para gas licuado de petróleo para instalaciones industriales*. Perú. 2012. [Consulta: 02 de junio del 2017]. Disponible en: <https://www.google.com.pe/search?q=NTP+GLP+instalaciones+industriales&oq=nt&aqs=chrome.2.69i59j69i57j69i59j0l3.3113j0j8&sourceid=chrome&ie=UTF-8>.
- León, C. (2013). *Influencia del cambio de combustible petróleo R500 por gas natural en calderas para la reducción de los indicadores energéticos de la Empresa Austral GROUP SAC-2013* (Tesis de grado). Universidad Nacional del Santa. Chimbote.
- Márquez, M. (2005). *Combustión y quemadores*. España: Editorial Marcombo.
- Meléndez, S. A. (2006). Conversión a gas natural seco de una caldera pirotubular con potencia de 500 BHP que trabaja con Diésel-2 (Tesis de grado). Recuperada de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/406/1/melendez_gs.pdf.
- Meza, J. (2012). *Reconversión para calderas a gas natural*.
- Pérez, P. C. (2010). *Propuesta de conversión del parque automotor de Lima y Callao para el uso de Gas Natural*. Lima.
- Robles, H. (2006). *Migración de combustibles tradicionales a gas natural en la industria alimentaria*.
- Petroperú. *Gas licuado de petróleo*. Perú. 2016. [Consulta: 30 de mayo del 2017]. Disponible en: <http://www.petroperu.com.pe/portalweb/archivos/HojaDatosSeguridadGLP-2014.pdf>
- Repsol. *Gas Licuado de Petróleo*. Perú. 2016. [Consulta: 30 de mayo del 2016]. Disponible en: https://imagenes.repsol.com/pe_es/CUADRO%20ESPEC_GLP_tcm18-618698.pdf
- Repsol. *Instalaciones de GLP con especificaciones técnicas de Repsol*. Perú. 2013. [Consulta: 29 de mayo del 2016]. Disponible en: <http://www.e-zigurat.com/noticias/tutorial-instalacion-glp-especificaciones-repsol/>
- Vacacela, W. M. (2011). *Estudio de parámetros de combustión en un calderín de 2 BHP y su efecto sobre la eficiencia*. Ambato-Ecuador.

Vásquez, H. J., Palacion, J., Olortegui, T. T., & Cóndor, J. L. (2010). *Análisis de cambio de combustible en calderas a gas*. Lima-Perú