



UNIVERSIDAD PRIVADA TELESUP

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

TESIS

**EVALUACIÓN DE LOS COMBUSTIBLES PETRÓLEO Y GAS
NATURAL EN EL RENDIMIENTO TERMODINÁMICO Y EL
MANTENIMIENTO EN LOS CALDEROS PIRO TUBULARES PARA
LA PRODUCCIÓN DE VAPOR (2016)**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO INDUSTRIAL

AUTOR:

Bach. OSCAR ESPINOZA CABANILLAS

ASESOR:

Ing. ANGEL NOE QUISPE TALLA.

LIMA – PERÚ.

2017

Asesor de Tesis

Ing. Angel Noe Quispe Talla
Asesor de Tesis

Jurado examinador

Dr. Braulio Jacinto Villegas
Presidente

Mgtr. Edmundo José Barrantes Ríos
Secretario

Dra. Madelaine Bernardo Santiago
Vocal

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios todo poderoso.
A todos aquellos que creyeron en mí.
A mi familia por las fuerzas y apoyo incondicional en todo momento.
A mis padres por los valores inculcados en mí.
A mi asesor de Tesis por ser un excelente guía.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar un agradecimiento muy especial a mi asesor Ing. Angel Quispe Talla por su aporte y participación activa en el desarrollo de esta tesis.

A mi familia por su constante apoyo incondicional y motivacional

A todos mis compañeros de estudios de la Universidad PrivadaTelesup.

Declaratoria de autenticidad.

Yo, OSCAR ESPINOZA CABANILLAS bachiller en Ingeniería Industrial de la Universidad Privada Telesup, identificado con DNI N° 10510661 con la tesis titulada “EVALUACIÓN DE LOS COMBUSTIBLES PETRÓLEO Y GAS NATURAL EN EL RENDIMIENTO TERMODINÁMICO Y EL MANTENIMIENTO EN LOS CALDEROS PIRO TUBULARES PARA LA PRODUCCIÓN DE VAPOR”

DECLARO BAJO JURAMENTO que:

1. La tesis en mención es de autoría propia.
2. He aceptado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por lo tanto, la tesis no ha sido plagiada total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiado es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o un título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados, por lo tanto, los resultados que se presentan en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada. De identificarse la presencia de fraude (datos falsos), plagio (información sin citar a autores), auto plagio (como nuevo algún trabajo de investigación propio que ya ha sido publicado), piratería (uso ilegal de información ajena) o falsificación (representar falsamente las ideas de otros), asumo las consecuencias que de mis acciones se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada Telesup.

Lima, abril 2017

OSCAR ESPINOZA CABANILLAS

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se orientó en analizar el funcionamiento de calderos piro tubulares de 100 BHP a fin de determinar la influencia de la variación de los parámetros de rendimiento y servicios de mantenimiento de dos combustibles de petróleo y gas natural y tener la oportunidad en lo posterior de incorporar procesos útiles en la decisión de compra o venta de estos sistema de producción de vapor para su uso como energía térmica, mecánica o eléctrica.

La investigación permitió analizar el efecto de incidencia de los parámetros de combustión y su efecto sobre la eficiencia, mediante la variación de los parámetros de los combustibles: petróleo y gas natural; con respecto a la hipótesis, se plantearon en base a cuan precisos podemos ser en cuanto a la eficiencia del caldero respecto a un modelo operativo en el rendimiento termodinámico y los servicios de mantenimiento llegándose a las conclusiones siguientes:

El uso de los combustibles petróleo y gas natural, influyen en el rendimiento termodinámico y el mantenimiento en los calderos piro tubular para la producción de vapor saturado siendo mejor el uso de gas natural que se diferencia principalmente en los valores de los servicios de mantenimiento de 21001.5 soles anuales para el gas natural y de 25200.3 soles anuales para el petróleo

El uso de los combustibles petróleo y gas natural, influyen en el rendimiento termodinámico en los calderos piro tubulares para la producción de vapor saturado siendo el rendimiento del petróleo de 83.5 % y del gas natural de 80.0 %.

El uso de los combustibles petróleo y gas natural, influyen en el mantenimiento de los calderos piro tubulares para la producción de vapor saturado siendo más económico el del gas natural con una diferencia de 4 198.8 soles anuales.

En las pruebas empíricas en el funcionamiento de los calderos piro tubulares de 100 BHP se encontró que para la producción en volumen el petróleo mostró un valor de 0.000947 m³/ h x BHP en petróleo y de 0.02001 m³/h x BHP en gas natural

Palabras Claves: Caldero, piro tubular, rendimiento termodinámico.

ABSTRACT

The present research was oriented in analyzing the operation of tubular boilers of 100 BHP in order to determine the influence of the variation of the parameters of performance and services of maintenance of two fuels of oil and natural gas and to have the opportunity in The later of incorporating useful processes in the decision to buy or sell these steam production systems for use as thermal, mechanical or electrical energy.

The investigation allowed to analyze the effect of incidence of the combustion parameters and their effect on the efficiency, through the variation of the parameters of the fuels: oil and natural gas; With respect to the hypothesis, were considered based on how precise we can be in terms of the efficiency of the cauldron with respect to an operational model in thermodynamic performance and maintenance services reaching the following conclusions:

The use of petroleum and natural gas fuels influence the thermodynamic performance and maintenance in the piro tubular boilers for the production of saturated steam being better the uses of natural gas which differs mainly in the values of the maintenance services of 21001.5 soles per year for natural gas and 25200.3 soles per year for oil

In the use of petroleum and natural gas fuels, they influence the thermodynamic performance in pyro-tubular boilers for the production of saturated steam, with oil yield of 83.5% and natural gas of 80.0%.

The use of petroleum and natural gas fuels, influence the maintenance of piro tubular cauldrons for the production of saturated steam, being more economical the natural gas with a difference of 4 198.8 soles per year.

In the empirical tests in the operation of the 100 BHP pyroplast boilers it was found that for the production of BHP in volume the oil showed a value of $0.000947 \text{ m}^3 / \text{h} \times \text{BHP}$ in oil and $0.02001 \text{ m}^3 / \text{h} \times \text{BHP}$ in natural gas

Keywords: Cauldron, tubular pyro, thermodynamic performance.

INDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	i
Asesor de tesis.....	ii
Jurado examinador.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento.....	v
Declaratoria de autenticidad.....	vi
Resumen en español.....	vii
Abstract.....	viii
Índice de contenidos.....	ix
Índice de figuras.....	xii
Índice de tablas.....	xiii
Introducción.....	xiv

CAPITULO I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

1.1. Planteamiento del problema.....	17
1.2. Formulación del problema.....	18
1.2.1. Problema General.....	18
1.2.2. Problemas Específicos.....	19
1.3. Justificación.....	19
1.4. Objetivos.....	21
1.4.1. Objetivo General.....	21
1.4.2. Objetivos específicos.....	21

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema investigar.....	23
2.1.1 Antecedentes Nacionales.....	23
2.1.2 Antecedentes Internacionales.....	34
2.2. Bases teóricas.....	46
2.2.1. Calderos para la producción de vapor.....	46
2.2.2. Clasificación de los calderos.....	48
2.2.3. Calderos piro tubulares.....	50

2.2.4. Comportamiento de los calderos.....	52
2.2.5. Rendimiento de los calderos.....	58
2.2.6. El aire como comburente.....	66
2.2.7. Cálculo del rendimiento energético.....	69
2.2.8. Determinación del rendimiento por el calor útil aportado al Agua (método directo).....	70
2.2.9. Determinación del rendimiento por las pérdidas en caldera y en gases de combustión (método indirecto).....	71
2.2.10. Rendimiento de calderos respecto al aire.....	75
2.3. Definición de términos básicos.....	76

CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Hipótesis.....	80
3.1.1. Hipótesis General.....	80
3.1.2. Hipótesis Específicas.....	80
3.2. Variables de estudio.....	80
3.2.1. Definición conceptual.....	80
3.2.2. Definición operacional.....	82
3.3. Tipo o nivel investigación.....	83
3.4. Diseño de la investigación.....	83
3.5. Población y Muestra.....	84
3.5.1. Población.....	84
3.5.2. Muestra.....	85
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	85
3.7. Método de análisis de datos.....	85

CAPITULO IV. RESULTADOS

4.1. Resultados de la parte experimental características de los calderos.....	88
4.1.1. Características del caldero piro tubular de 100 BHP con combustible de petróleo.....	88
4.1.2. Características del caldero piro tubular de 100 BHP con combustible de gas natural.....	95

4.2. Resultados de la comparación de los combustibles petróleo y gas natural en el rendimiento termodinámico y el mantenimiento en los calderos piro tubulares para la producción de vapor.....	103
4.2.1. Comparación de las variables independientes sobre las dependientes en el rendimiento termodinámico y el mantenimiento en los calderos piro tubulares para la producción de vapor.....	103
4.2.2. Comparación de los valores de servicio de mantenimiento en combustibles de petróleo y gas natural en calderos piro tubulares.....	118
CAPITULO V. DISCUSIÓN	
5.1. Discusión de tratamiento estadístico e interpretación de resultados.....	123
CAPITULO VI. CONCLUSIONES.....	125
CAPITULO VII. RECOMENDACIONES.....	127
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	129
ANEXOS I: MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	134
ANEXOS II: MATRIZ DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES.....	135
ANEXOS III: EVIDENCIAS DE LA INVESTIGACION.....	136

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cámaras de las calderas.....	57
Figura 2. Caldera cleaver-brooks, de cuatro pasos, piro tubular.....	58
Figura 3:Triangulo de la combustión.....	61
Figura 04. Selección de los calderos piro tubulares.....	102
Figura 05. Evaluación de caldero piro tubular de 100 BHP.....	103
Figura 06. Comparación de medias.....	107
Figura 07. Gráficos de cajas y bigotes de las variables sobre el rendimiento del caldero piro tubular.....	110
Figura 08. Graficas de medianas sobre el rendimiento del petróleo del caldero piro tubular.....	111
Figura 09. Comparación de medianas sobre el rendimiento de gas natural.....	114
Figura 10. Gráficos de cajas y bigotes de las variables sobre el rendimiento.....	116
Figura 11. Graficas de medianas sobre el rendimiento del gas natural del caldero piro tubular.....	117
Figura 12. Densidades suavizadas del comportamiento de los servicios de mantenimiento.....	119
Figura 13. Gráfico de la pruebas de T Student para comparación de medias.....	120
Figura 14. Gráfico de cajas y bigotes del gasto por servicio de mantenimiento entre el petróleo y el gas natural.....	121

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de las calderas.....	52
Tabla 2: Combustibles para calderos.....	66
Tabla 3: Aire para combustión de combustibles.....	68
Tabla 4: Calor específico de distintos gases de combustión.....	73
Tabla 5: Definición operacional de las variables de estudio.....	82
Tabla 6: Características de diseño y funcionamiento del caldero piro tubular de 100 BHP de combustible de petróleo D2.....	88
Tabla 7: Resultados de la evaluación de las características de diseño y funcionamiento del caldero piro tubular de 100 BHP de combustible de petróleo D2.....	94
Tabla 8: Características de diseño y funcionamiento del caldero piro tubular de 100 BHP de combustible de gas natural.....	95
Tabla 9: Resultados de la evaluación de las características de diseño y funcionamiento del caldero piro tubular de 100 BHP de Combustible de gas natural.....	101
Tabla 10: Resultados de la comparación de las variables.....	104
Tabla 11: Resumen Estadístico.....	105
Tabla 12: Tabla ANOVA.....	106
Tabla 13: Tabla de Medias con intervalos de confianza del 95.0%.....	106
Tabla 14: Pruebas de Múltiple Rangos.....	108
Tabla 15: Verificación de Varianza.....	109
Tabla 16: Prueba de Kruskal-Wallis.....	110
Tabla 17: Resumen Estadístico.....	112
Tabla 18: Tabla ANOVA.....	113
Tabla 19: Tabla de Medias con intervalos de confianza del 95.0%.....	113
Tabla 20: Pruebas de Múltiple Rangos.....	114
Tabla 21: Verificación de Varianza.....	115
Tabla 22: Prueba de Kruskal-Wallis.....	117
Tabla 23: Comparación de servicios anuales de mantenimiento por petróleo y gas natural.....	118
Tabla 24: Resumen Estadístico.....	118

INTRODUCCION

La industria en el marco de la ingeniería industrial busca permanentemente la mejora de los sistemas de producción desde el uso de las materias primas así como la operatividad de los equipos y maquinarias ya que todos ellos permiten la mejora de la producción y productividad, los equipos de fuerza no escapan a esta tendencia mucho más por la importancia de sus atributos en los sistemas de producción.

Los generadores de energía ya sean mecánica, térmica o eléctrica a partir de la producción de valor como son los calderos tiende a mejorar sus combustibles como se usan normalmente los derivados de petróleo y a partir del su craqueo catalítico hoy la presencia de GLP o también el uso del gas natural como combustibles en la generación de vapor por lo que se tiene que realizar los estudios comparativos de estos combustibles evaluando sus rendimientos en la producción de vapor saturado inicialmente en caldero de mayor usos como son los piro tubulares, y se describen algunos conceptos y temas importantes e indispensables para el desarrollo del estudio, como los rendimiento termodinámico y los tipos de servicios de mantenimiento y la comprobación de sus características de funcionamiento en la puesta en marcha de la caldera, por lo que se ejemplifica este proceso desde la verificación después de la instalación, hasta la operación normal del caldero.

Estas consideraciones se toman en cuenta en el trabajo de investigación a fin de plantear los objetivos siguientes:

Determinar si el uso de los combustibles petróleo y gas natural, influyen en el rendimiento termodinámico y el mantenimiento en los calderos piro tubular para la producción de vapor saturado.

Determinar si el uso de los combustibles petróleo y gas natural, influyen en el rendimiento termodinámico en los calderos piro tubular para la producción de vapor saturado.

Determinar si el uso de los combustibles petróleo y gas natural, influyen en el mantenimiento en los calderos piro tubular para la producción de vapor saturado.

La investigación consta de cinco capítulos, según se indica:

En el capítulo I se presenta el planteamiento del problema, la formulación del problema, los objetivos de la investigación

El capítulo II comprende el marco teórico basado en la teoría base que da rigor científico al trabajo y que guarda relación directa con el objetivo y la hipótesis, así como los antecedentes del estudio y la definición de términos.

En el capítulo III se presenta el estudio de la hipótesis, las variables y la operacionalización de las mismas; tipo y nivel de la investigación, diseño de la investigación, población y muestra de estudio así como las técnicas e instrumentos de recolección de datos, se presentan los métodos de análisis de datos usados en la investigación.

En los capítulos IV, V se presenta los resultados de la investigación en cuadros estadísticos y figuras, de la evaluación de las medidas de tendencia central para la constatación de las hipótesis con la discusión.

En los capítulos V y VII se detalla las conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El manejo de las características y propiedades de los sistemas de fuerza están siendo evaluados constantemente en función a la productividad que cada sistema de producción industrial lo requiere, estos están orientados a los rendimientos físicos y económicos que se hacen a través de los conceptos y principios establecidos por la ingeniería industrial en maquinarias, sus operaciones unitarias y las operaciones por proceso que permiten los cambios en el aspecto físico y químicos respectivamente.

Los sistemas de fuerza en especial los sistemas de producción de vapor que en la industria son los medios para generar energía tanto para el trabajo como para la transferencia de calor son de gran importancia ya que de acuerdo con el Censo 2015, un 87.1% de los sistemas de producción industrial en los parques industriales y las industrias en la capital del Perú usaron combustible líquido y en la actualidad por la distribución del gas natural muchos de sus sistemas han sido reconvertidos al uso del gas natural que el marco de sus procedimientos permite solucionar el problema en forma práctica faltando la obtención de los informes técnicos para su instalación, modificación o ampliación, uso y funcionamiento de establecimientos de gas natural y con respecto a las consideraciones anteriores del uso de combustible líquido como es el petróleo.

Estas evaluaciones permitirán plantear soluciones a problemas de la obtención de informes técnicos favorables para la instalación, modificación o ampliación, uso y funcionamiento de calderos con uso de gas natural en comparación con el petróleo.

Las calderas, en sus generaciones de vapor y agua caliente, están ampliamente extendidas tanto para uso industrial, semi-industrial o doméstico, encontrándose en cometidos tales como, generación de electricidad, procesos químicos, calefacción, agua caliente sanitaria, plantas que realizan calentamiento de fluidos y aire, vaporización, aplicaciones en hospitales, industrias textiles, industria alimenticia, calentamiento de agua para hoteles, piscinas, viviendas, centros de recreación y estéticos (SPA), secadores de hojas, planchas industriales, movimiento de turbinas, este amplio marco de usos permite que también existan diferentes formas de poder evaluar sus rendimientos.

Estudio de métodos y procedimientos, permite evaluar los comportamientos de los procesos, optimizándolo en los rendimientos termodinámicos, sistemas de mantenimiento así como las herramientas de la seguridad industrial.

Cuando se habla de estos procedimientos por lo general se refieren a los análisis de la demanda en función de la oferta dada por los tipos de combustibles así como sus técnicas, térmicas y los usos que estos rendimientos se emplean para las evaluaciones de los calderos.

En la actualidad estos datos se usan para superar los problemas causados por los sistemas de mantenimiento y las reducciones como su consumo de combustible industrial además que las industrias deben hacer uso eficiente de la energía en todos los sistemas que intervengan en sus procesos productivos generados por los calderos piro tubulares.

En Sudamérica los países más desarrollados industrialmente como Brasil, Argentina, Colombia se encuentran cantidad de empresas e industrias relacionadas a la elaboración de calderas de excelente calidad, ya que existe un mayor mercado y difusión sobre la utilización y eficacia de los Calderos, en el Perú existen también y muchas de ellas son de funcionamiento empírico la empresa TERMODINAMICA S.A es una, que permitió la realización del trabajo, evaluación de los combustibles petróleo y gas natural en el rendimiento ya que eso complementa los servicios post venta que la empresa realiza a sus clientes.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General.

¿En qué medida el uso de los combustibles petróleo y gas natural, influyen en el rendimiento termodinámico y el mantenimiento en los calderos piro tubulares para la producción de vapor saturado?

1.2.2. Problemas Específicos.

¿En qué medida el uso de los combustibles petróleo y gas natural, influyen en el rendimiento termodinámico en los calderos piro tubulares para la producción de vapor saturado?

¿En qué medida el uso de los combustibles petróleo y gas natural, influyen en el mantenimiento en los calderos piro tubulares para la producción de vapor saturado?

1.3. Justificación.

Actualmente el mal uso de la energía conlleva a muchos aspectos negativos dentro la empresa y a su entorno a ello se suma que los reportes solo se comparten internamente y están referidos a los costos, algunas veces a los problemas con el medio ambiente por la contaminación por los gases emitidos en los procesos. Es por ello que se ve la necesidad de realizar una evaluación de los combustibles petróleo y gas natural con respecto a su rendimiento termodinámico y a las operaciones de mantenimiento en los sistemas de producción de vapor como son los calderos piro tubulares con el fin de utilizar la mayor eficiencia el calor, y los procedimientos de los servicios de mantenimiento en las empresas para sus procesos de mejora continua de los sistemas eléctricos y térmicos.

Con la evaluación de estos sistemas se tiene la oportunidad de realizar el estudio de las orientaciones posteriormente para sus empleos en los sistemas trigeneración, como es la producción secuencial de energía eléctrica y/o mecánica, de calor y de frío a partir de una misma fuente de energía primaria; por lo tanto son los sistemas mencionados con anterioridad los que serán motivo de estudio, investigación y recopilación de datos que la evaluación de los combustibles de petróleo y gas natural, para calderos piro tubulares y luego proceder a determinar la capacidad de trigeneración de acuerdo a las necesidades de los sistemas de producción.

Por medio de la evaluación y comparación de estos tipos de combustibles permiten los estudios posteriores en la implementación del sistema de trigeneración consiguiendo ahorros significativos para la empresa tales como son: reducción en el costo de la energía, posibles mejoras en la producción y definitivamente reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero que conllevan al calentamiento global al realizar su comparación.

En los sistemas de los calderos piro tubulares son usados para la producción de vapor saturado a partir de un combustible fósil (carbón, gasóleo, gas natural) para producir una energía térmica, la cual es convertida en energía mecánica, algunas veces pero en su mayoría el usos es para la transferencia de calor por la calidad del vapor saturado seco y los sistemas de retorno de condensado que aumenta los rendimientos termodinámicos, estos rendimientos aprovecha el 40% de la energía disponible como calor en el combustible; el resto se descarga a la atmósfera en forma de gases de escape, a través de chimeneas, y en los sistemas de condensación termodinámicos. Dando lugar a un mal consumo de combustibles, baja rentabilidad económica y emisión de gases contaminantes.

En la mayoría de procesos industriales y aplicaciones comerciales, requieren de vapor y calor a baja temperatura. Así ellos pueden combinar la producción de electricidad y calor para los procesos, aprovechando la energía que de otra forma se desecharía, como ocurre en las centrales termoeléctricas convencionales; es por ello que se debe buscar un desarrollo de programas de eficiencia energética que promueva la diversificación y la utilización de fuentes alternas y renovables, cuando los calderos son de muy alta capacidad.

Existe un nuevo concepto de aprovechamiento energético es el que realizan las plantas de cogeneración para un mejor rendimiento en las instalaciones de cogeneración y si las necesidades así lo permiten se emplea un sistema de absorción dando lugar así a la trigeneración pero es necesario la evaluación de los tipos de combustibles usados en los calderos.

El presente estudio se justifica ya que es el reflejo y reporte de todos los conocimientos teóricos adquiridos durante la carrera que se ponen ahora en forma práctica sobre la realidad en forma empírica.

Se describen algunos conceptos y temas importantes e indispensables para el desarrollo del estudio, como las fases del agua, tipos de calderas, montaje y la instalación de equipos industriales como calderas o sus equipos secundarios.

Es de mucha importancia el conocimiento del procedimiento para la puesta en marcha de la caldera, por lo que se ejemplifica este proceso desde la verificación después de la instalación, hasta la operación normal de las calderas

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo General.

Determinar si el uso de los combustibles petróleo y gas natural, influyen en el rendimiento termodinámico y el mantenimiento en los calderos puros tubulares para la producción de vapor saturado.

1.4.2. Objetivos Específicos.

Determinar si el uso de los combustibles petróleo y gas natural, influyen en el rendimiento termodinámico en los calderos puros tubulares para la producción de vapor saturado.

Determinar si el uso de los combustibles petróleo y gas natural, influyen en el mantenimiento en los calderos puros tubulares para la producción de vapor saturado.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema a investigar.

2.1.1. Antecedentes Nacionales.

Jara (2007) en su tesis de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos Titulada “Optimización del proceso de otorgamiento de informes técnicos favorables de consumidores directos de gas licuado de petróleo”.

Conclusiones:

Las supervisiones planificadas permitirán un ordenamiento adecuado en la Unidad de Comercialización, reduciendo los tiempos en la obtención de los Informes Técnicos Favorables, formalizando las instalaciones ya existentes.

Se mejorará la seguridad en las Instalaciones de GLP de consumidores Directos de GLP en todo el territorio nacional.

Debería crearse la opción, de permitir el ingreso de los usuarios, vía Internet, a fin de acceder a los documentos de supervisión y de los procedimientos de la Unidad de Comercialización.

Implementar el presente procedimiento, en la Unidad de Comercialización, a fin de que los supervisores procedan en forma ordenada respetando los plazos propuestos.

El personal del OSINERGMIN, o de la Empresa Supervisora, deberá contar con los equipos de protección personal, necesarios para realizar un trabajo seguro, (entre estos podemos mencionar: botas electroestáticas; guantes para el manipuleo de combustibles, filtros para el manipuleo de combustibles y ropa de algodón).

Implementar procedimientos similares para las demás actividades que se supervisan en la Unidad de Comercialización, como Gasocentros, Camiones Cisterna de GLP.

Aguilar (2007) en su tesis de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos Titulada: “Factibilidad de Instalación de una Planta de Generación Distribuida con Gas Natural en el Hospital María Auxiliadora”

Conclusiones:

Según la normatividad vigente en el mercado eléctrico la factibilidad para toda alternativa de generación distribuida, se da como suministro de energía a las empresas de distribución en donde se contempla la venta de energía a precios de barra de generación, sin cargo o peajes por transmisión.

Tanto la normativa aplicable al sector eléctrico, como al mercado del gas natural, permiten la inserción de la generación distribuida, faltando únicamente reglamentar algunos de sus aspectos, sobre todo en lo concerniente a la aplicación de tarifas y peajes

El consumo energético de la situación de referencia para un consumo anual de combustible en las calderas de producción de vapor a 100 PSI es de 4 397.31 MWh/ año (1501.24 x 10⁷ BTU/año) lo que equivale a 108 000 galones de petróleo industrial N° 5.

La generación distribuida tanto tecnológicas, como tarifarias de las cuales al final mostraron los mejores índices técnicos y económicos siguientes:

- 01 Microturbina Pratt & Whitney ST6L – 813 de 848 kW.
- 02 Microturbina Pratt & Whitney ST5 de 395 kW.
- 03 Microturbina a gas Ingersoll Rand de 250 kW.

Las alternativas antes mostradas, necesitaran el apoyo permanente de las calderas existentes, ya que la demanda térmica no es cubierta totalmente debido a las paradas por mantenimiento.

Delgado (2011) en su tesis de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos Titulada:

“Coyuntura del impacto económico del gas natural dentro de un contexto comercial eficiente en el mercado peruano”, resume: que el presente estudio está basado en el tema de la Política de Hidrocarburos en el Perú y el impacto económico de la comercialización eficiente del gas natural desde el punto de vista económico. Toma como referencia para el análisis “las políticas de hidrocarburos”, la nueva política y matriz energética fundamentalmente sobre la masificación del gas natural, se toman aspectos sobre la cadena productiva, producción nacional del gas natural, proyección de la demanda de energía.

En un contexto de crisis petrolera mundial, se justifica un esquema diferente en Perú, sobre la comercialización del gas natural bajo muchos escenarios energéticos y económicos con un beneficio adicional de ahorro en divisas y costos de producción a nivel industrial.

Los escasos instrumentos de planificación sectorial, como en las normas vigentes, intenta reconstruir lo que podrían ser los lineamientos de la política de hidrocarburos en el Perú, vinculando con el desarrollo del proyecto Camisea. Es decir la gesta y desarrollo de las políticas o lineamientos de lo que podría denominarse una política de hidrocarburos, forma parte de una respuesta reactiva a la realidad del descubrimiento del gas natural.

En el Perú no se conoce con certeza la existencia de políticas o lineamientos en materia energética bajo un criterio económico sostenible del gas natural como alternativa comercial a largo plazo, que nos permitan identificar claramente como país; cuál es nuestra visión de largo, mediano y corto plazo en este tema. Sin una “visión país” en estos temas de trascendental importancia. Estos criterios por lo general, responden únicamente a la propuesta presentada en este proyecto de investigación.

Conclusiones:

El cambio sustancial en la matriz energética de nuestro país durante el periodo

2006-2033; así, mientras que en el 2006 la principal fuente de energía procedía del petróleo y sus derivados (71.1% del total) que eran mayormente importados, para el año 2033 la energía del petróleo y sus derivados solamente llegan a representar algo más de ¼ (27.2%) del total del consumo de energía del país.

De otro lado, la energía hidráulica que solamente representaba el 14.9% del total en el 2006, para el 2033 esta fuente de energía alcanza a representar el 41.8% del total del consumo energético del Perú, constituyéndose en la principal fuente energética del país.

Asimismo, se aprecia con mayor nitidez la importancia adquirida por el gas natural dentro de la matriz energética del Perú para el año 2033 en que llega a pesar casi 1/3 del total de la energía consumida en nuestro país (31.1%), sobre todo teniendo en cuenta que solamente pesaba el 14% en el año 2006.

Cabe precisar que esta menor dependencia del petróleo y sus derivados como generadores de energía hace que importemos menos petróleo y sus derivados; a continuación se indica la evolución de la demanda interna de estos hidrocarburos; nótese que el consumo interno de petróleo y sus derivados se estanca en alrededor de los 55 millones de barriles a partir del año 2006 gracias al aporte del gas de Camisea en primer lugar y posteriormente debido a la construcción de las centrales hidroeléctricas.

La nueva política energética y de industrialización del país, teniendo como pilares a la industria petroquímica así como a la industria del aluminio.

La síntesis sobre el uso del gas de Camisea durante el periodo 2006-2033 en 2 alternativas; la primera es la alternativa desarrollada por APOYO Consultores y la segunda es una propuesta estratégica que privilegia el desarrollo de una industria petroquímica en nuestro país, lo cual se complementa con una nueva política energética de

largo plazo que prioriza la generación de energía hidráulica en lugar de la energía termoeléctrica a fin de liberar gas natural para su uso en la naciente industria petroquímica.

Al respecto, el gobierno a través del Ministerio de Energía y Minas (MEM) debe acelerar el programa bonos del chatarreo y crear otros programas con la finalidad de incrementar el número de vehículos que utilicen GNV; asimismo, el Ministerio de Vivienda debería ser más imaginativo, más creativo, para crear programas que aceleren el número de viviendas con redes de gas natural; finalmente, tanto los programas del MEM como los del Ministerio de Vivienda deberían de promover la reducc

ión a menos de la mitad (45.6%) el consumo de gas natural de parte de las plantas termoeléctricas debido a la mayor generación de la energía hidráulica.

El consumo industrial del gas natural es el doble en la alternativa estratégica debido a que se asume el diseño y ejecución de un programa que apoye a las empresas industriales altamente consumidoras de energía como las de cemento, vidrio, mayólicas.

El contrato sobre la venta de gas licuefactivo a México, el monto se reduciría de mutuo acuerdo desde los 600 MMPCD hasta los 500 MMPCD con la finalidad de asegurar los recursos del gas natural para el desarrollo de nuestra industria petroquímica; es por ello que mientras APOYO Consultores solamente asigna 0.67 TPC para esta industria, en nuestra alternativa estratégica se le asigna 2.33 TPC, es decir 3.5 veces más, apuntalados por un plan de marketing público.

Escaso interés del Congreso por la industrialización del gas de Camisea y la creación de una industria petroquímica en nuestro país es el hecho de que recién en diciembre del 2007 se haya aprobado la Ley de Promoción de la Industria Petroquímica luego de más de 1 año de haber sido enviado a dicho poder del Estado por el Ejecutivo.

La empresa Tenneco ubicó el 2007 una reserva gasífera equivalente a 0.016 TPC en el zócalo continental frente a Zorritos que debe apuntalar la industria petroquímica de la costa norte del Perú, especialmente para atender la demanda de los transportistas con GNV.

La estructura porcentual o participación de los distintos usuarios del gas de Camisea según años; nótese que para el año 2033 donde Lima Metropolitana absorbería más de la mitad del gas de Camisea (52%) seguido de su exportación hacia México con el 29%, de su utilización en la industria petroquímica con el 29%.(Delgado 2011.p. 190).

Llallahui (2016) en su tesis de la Pontificia Universidad Católica del Perú titulada: “Aplicación de eco indicadores como herramientas para el diseño de un sistema de gestión ambiental en una empresa metalmecánica” resume: La presente investigación tiene como objetivo elaborar una propuesta de diseño de un sistema de gestión ambiental, basada en indicadores ambientales, para una empresa metalmecánica que no se encuentra certificada por la norma ISO 14001. Cabe recalcar que en el Perú, la conciencia ambiental del sector metalmecánico se muestra débil, pues el Ministerio de la Producción, mediante el Decreto Supremo N° 003-2002, no lo considera dentro de las actividades industriales manufactureras que deben cumplir con obligaciones para prevenir, controlar y mitigar la contaminación.

El estudio inicia con el desarrollo del marco teórico en el que se describe la evolución de la preocupación por el entorno natural en las empresas a nivel mundial y nacional; así mismo, se explica las principales definiciones y normativas ambientales que conciernen al desarrollo de la investigación.

Se muestra información relevante de la empresa en estudio; además, se analiza la situación actual de su estructura de gestión ambiental, lo que permite determinar

oportunidades de mejora con el fin de obtener el liderazgo en el sector con ventajas competitivas eco eficiente.

Una vez analizada la situación actual, se presenta la metodología propuesta con los principales criterios para la aplicación de eco indicadores y la implementación de un sistema de gestión ambiental de acuerdo a las exigencias de la norma ISO 14001:2004.

Se desarrollará el proceso de implementación del sistema diseñado para la empresa en estudio, mediante el uso de indicadores ambientales cualitativos y cuantitativos que ayuden a realizar un Benchmarking con otras organizaciones competidoras, elaborados acorde a la situación de la empresa.

Se establecen las oportunidades de mejora al diseño del sistema de gestión ambiental que ayuden a identificar los aspectos y reduzca los impactos negativos al medio ambiente; finalmente, se realiza una evaluación económica para determinar si dicha implementación contribuye al desarrollo sostenible de la empresa.

Conclusiones:

Debido a que la industria metalmecánica está experimentando un crecimiento en el país y por las exigencias de los clientes porque se integre un factor ambiental a este sector, nace la necesidad de implementar un sistema de gestión ambiental y posterior certificación de la empresa, con la finalidad de responder a la demanda de sus clientes y obtener ventajas frente a sus competidores.

Si bien la industria metalmecánica no está considerada dentro de las actividades industriales manufactureras que indispensablemente deben cumplir con obligaciones para prevenir, controlar y mitigar la contaminación, se ha podido demostrar que obtener la certificación ISO 14001, ayuda a incrementar la actividad de la organización, debido a que su principal cliente es el sector minero y, en la actualidad, cada vez más empresas de este

sector requieren proveedores que cuenten con certificación y estén comprometidos con el cuidado del entorno natural.

En la investigación, se hizo un análisis de la situación ambiental de la compañía, lo que permitió obtener los aspectos e impactos significativos que motivan el desarrollo del sistema ambiental, ya que de esta forma se podrá acercar más el objetivo de convertirse en una organización sostenible que crea valor económico, medioambiental y social.

Se pudo determinar la importancia de los eco indicadores cualitativos y cuantitativos en el diseño del sistema de gestión medioambiental, puesto que ayudan en el proceso de planificación y verificación utilizando valores numéricos, identificando la gravedad y frecuencia de los impactos ambientales, y permitiendo medir el cumplimiento de los objetivos y metas. Asimismo, apoyan en el desarrollo del Benchmarking, pues evalúa el desempeño de la gestión mediante términos cuantitativos.

Al final de la investigación, el desarrollo e implementación del sistema de gestión ambiental en la empresa es económicamente rentable en un horizonte de tres años, ya que se obtuvo un Valor Actual Neto (VAN) de \$ 316.27 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 65%.

Se recomienda a la empresa implementar un Sistema de Gestión Ambiental según la norma ISO 14001, basado en eco indicadores y cumplimiento de las normas y leyes ambientales, puesto que permite a la empresa usar eficientemente los recursos naturales y energéticos empleando tecnologías de punta, minimizando impactos negativos y mejorando su imagen frente a los Stakeholders.

Para el diseño y desarrollo de los indicadores ambientales se propone seguir con el modelo recomendado por la norma ISO 14031 (Selección de potenciales indicadores,

recopilación de datos, evaluación y selección de indicadores definitivos), la cual puede ser modificada si la empresa lo desea.

Al realizar el análisis de los aspectos ambientales, se encontró que se debe controlar la calidad de aire por la presencia de CO₂, PM10 y COV's, al igual que los efluentes, por la concentración de coliformes, DQO y DBO; asimismo, tener especial cuidado con la contaminación auditiva. Por este motivo, se ha propuesto realizar un monitoreo mensual a cada uno de estos aspectos, elaborar un plan de manejo ambiental, desarrollar tecnologías que minimicen el impacto y motivar al personal involucrado para el uso de equipos de protección personal (EPP's).

Para lograr el objetivo de evaluar, verificar y diagnosticar adecuadamente el desempeño de la Gestión Ambiental, se recomienda contar con un Tablero de Indicadores Ambientales que debe ser elaborado por el Técnico de Gestión Ambiental y revisado por el Jefe de Seguridad, Salud y Medio Ambiente. Esto apoyará a la planeación estratégica, a contar con la información actualizada para detectar desviaciones de la planificación y a fortalecer la mejora continua.

Bedón (2012) en su tesis de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos Titulada: "Formulación de una estrategia de marketing social para reemplazar el consumo de combustibles sólidos por gas licuado de petróleo en localidades rurales del Perú", resume: El censo del año 2007 en el Perú nos trajo como realidad que aún en nuestros hogares se cocinan los alimentos con combustibles sólidos tales como carbón, leña, bosta y estiércol. Sumaban 2.5 millones de hogares, el 37.1% de los hogares peruanos, los que presentaban tal característica, ante una política gubernamental ajena a tener en cuenta los efectos

dañinos en la salud de esta práctica, principalmente entre las madres gestantes y los niños menores de 5 años.

La Organización Mundial de la Salud demuestra que la contaminación del aire dentro de las viviendas ha sido responsable de cerca de 1.5 millones de muertes anuales en el mundo, siendo el cocinar con combustibles sólidos el mayor factor de riesgo. Diferentes estudios en los últimos años concurren en señalar a los humos de cocina como un factor de riesgo para las cataratas, tuberculosis, asma y complicaciones del embarazo tales como muerte fetal y el bajo peso de los bebés de madres expuestas durante el embarazo. Existen también pruebas de incidencia en tracoma, cánceres cervicales y nasofaríngeos y enfermedades en los intersticios pulmonares. Otros estudios señalan que la exposición a los humos de cocina sería también causa de enfermedades cardiovasculares en las viviendas de los países en desarrollo.

La matriz energética para cocinar de los hogares rurales peruanos señala que sólo un 3.6% utiliza Gas Licuado de Petróleo (GLP), siendo que éste se constituye en el combustible idóneo para localidades aisladas y dispersas a las que no llegaría la conexión a gasoductos de gas natural y a que en el Perú no se comercializa Kerosene desde septiembre de 2009.

En el Perú tenemos antecedentes de comercialización de GLP desde el año 1960 en que se introdujo para ir reemplazando progresivamente al Kerosene. En el caso de Lima y Callao, luego de los más de 50 años transcurridos, un 84.4% de los hogares cocina con GLP, lo que hace a la opinión pública ajena e indiferente a los problemas de cocinar con combustibles sólidos en otras áreas.

Contamos con el recurso GLP para llegar a las localidades rurales, pero los intentos hechos en los últimos cuatro años, aún con la concretización del Proyecto Camisea, son

hasta ahora bastante tímidos, parciales, orientados a seguir consumiendo leña en “cocinas mejoradas”, otorgando subsidios ciegos a los consumidores que no lo necesitan y sin gestar una administración moderna que empiece por aplicar una estrategia de marketing social que nos permita lograr la toma de conciencia de la población.

Sin este elemento primordial, las autoridades nacionales, regionales y locales seguirían de espaldas al problema, al igual que los medios de prensa y políticos. La respuesta que se daría, sin la sensibilidad proporcionada por el marketing social se orientaría en un sentido economicista o hacia la aletargada esperanza de esperar el tendido de gasoductos físicos o virtuales.

Por estos motivos, la Tesis que presento a consideración de mi alma mater traduce en buena cuenta mi preocupación desde mi egreso del Programa de Maestría en Administración porque en el Perú se sensibilice la necesidad de desterrar el uso de combustibles sólidos para cocinar, habiendo obtenido algunos logros pero faltando aún mucho por hacer.

Hace cuatro años, cuando presentamos nuestro plan de tesis, era muy poco frecuente, enfocarnos en estos temas. Hablar de Marketing Social era quizá una curiosidad científica entre los estudiantes del Post Grado en Administración de la UNMSM. Hoy, la industria ha tomado nota de lo perjudicial que significa vivir a espaldas de la realidad, sin propuestas sociales y sin un marketing especializado que las promueva y soporte.

Nos falta conseguir un esfuerzo mayor del sector público para que pueda lograr recursos y mejorar las condiciones de vida de la población rural, situación que reiteramos, se puede lograr mediante el Marketing Social. De eso trata nuestra tesis, de cómo vender ideas, generar simpatías y afinidades, lograr cambios de hábitos e incluso modificaciones de conductas sin que se tengan que hacer grandes desembolsos.

Conclusiones:

El desarrollo de la presente Tesis ha permitido demostrar que es posible desarrollar una estrategia de Marketing Social para sensibilizar a la población acerca del daño que ocasiona a la salud, principalmente de madres y niños menores de 5 años de edad que habitan en las zonas rurales del Perú, el cocinar con combustibles sólidos despertando el interés de solucionar este grave problema.

Se ha demostrado que el Gas Licuado de Petróleo (GLP), es el combustible idóneo para utilizarse como reemplazo de los combustibles sólidos por su disponibilidad inmediata en las zonas más remotas y tratarse de un combustible no contaminante. En estas zonas no es posible contar con gas natural (Metano).

La revisión de los indicadores de la matriz de consistencia ha determinado que los seis originalmente planteados han sido cumplidos en su totalidad. (Bedón 2012. p.202)

2.1.2. Antecedentes Internacionales.

Murillo (2012) en su tesis de la Universidad Tecnológica Equinocial de Ecuador titulada: “Análisis de los gases combustibles de las plantas Parsons y Universal que actualmente se queman en la tea de rll, mediante pruebas de laboratorio para identificar su utilidad y reemplazar el diesel que utilizan los generadores eléctricos”, resume : su investigación busca dar a conocer las características del gas amargo producido por los procesos de refinación de las plantas Parsons y Universal, así como las leyes impuestas en el Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador decreto RAOH 1215, con el fin de realizar un trabajo conjunto para poder mejorar la calidad de ambiente de las zonas cercanas a la Refinería La Libertad y aprovechar el gas amargo que es quemado en las Plantas Parsons y Universal de dicho complejo industrial para generación de energía eléctrica u otros procesos que no impliquen la quema del mismo.

Para llevar este proyecto a cabo debe tomarse en cuenta los análisis de cromatografía de gases que nos darán los componentes del mismo, para saber si es aprovechable o no en

procesos de generación eléctrica, de ser utilizable deben analizarse los procesos de tratamiento de este gas ya sea por endulzamiento o deshidratación, y con el análisis de estos datos de campo que son obtenidos de la Gerencia de Refinación de EP-PETROECUADOR, proponer un sistema de tratamiento o purificación del gas de refinería; para así poder usarlo como recurso aprovechable en lugar de quemarlo en las teas de la Refinería La Libertad, se espera este proyecto sea una base para el desarrollo no solo de este complejo industrial sino también de otros complejos y campos petroleros que desperdician una cantidad aún mayor de gas que podría ser aprovechado en varios procesos o proyectos diferentes para un mejor desarrollo de nuestro país, respetando la ley ambiental y mejorando la calidad de vida de las personas que rodean estos complejos.

Conclusiones:

En relación a los balances másicos; las 3 plantas de refinación de crudo de la Refinería La Libertad, siendo las más importantes para el desarrollo de este tema las plantas Parsons y Universal; tienen una producción de residuo cercano al 60 % (peso), debido principalmente a que se está procesando un crudo más pesado (27,5 ° API) respecto a la densidad a la cual fue diseñada la refinería.

De acuerdo a los datos obtenidos de los informes otorgados por la Refinería La Libertad, el gas producto de los procesos de destilación atmosférica de las plantas Parsons y Universal, es enviado a quemarse directamente a la tea.

Respecto al gas amargo, que en RLL y Planta Cautivo se produce, este es un 0,7 % (promedio) respecto a la alimentación de crudo. Este gas es enviado en su totalidad directamente a la tea en Refinería La Libertad sin recibir ningún tipo de tratamiento antes de ser combustionado y emitido a la atmósfera, mientras que en la Planta Cautivo se utiliza como combustible para hornos y calderos.

Los datos obtenidos de consumos de vapor corresponden a los días de toma de datos de campo y al informe mensual realizado en Junio del 2012 (TABLA No. 3.10) que corresponden a generación de vapor, generación eléctrica, consumo de químicos y distribución de vapor; debido a la falta de un registro de producción y consumo de vapor en la Planta Cautivo, y a la variabilidad de la cantidad de vapor utilizada durante el proceso en las Plantas Universal y Parsons.

En la Refinería La Libertad ya se utilizaba con anterioridad un método que utilizaba lecho ferroso (Fe_2O_3) para tratamiento del gas amargo producto de los procesos de

refinación como se describe en la figura 4.1, que se encuentra fuera de operación desde hace varios años atrás.

Según los datos obtenidos en la Refinería La Libertad, respecto a la caracterización del gas amargo generado por los procesos de refinación en las plantas Parsons y Universal, el poder calorífico de este gases de 1772,8 BTU/ft³ en relación al poder calorífico del GLP comercial de 2100 BTU/ft³ de tal manera que el gas que se quema en la Tea de RLL, puede ser utilizable y debería suplementar algunas de las necesidades energéticas de este complejo industrial.

De los resultados de los cálculos realizados con la información otorgada por la Gerencia de Refinación de EPPETROECUADOR 35 toneladas de gas quemado en la tea de la Refinería La Libertad, representan 8580,55 galones de diesel, que podrían ser ahorrados si el gas luego de ser debidamente tratado con el proceso de aminas, es utilizado en procesos de generación o co- generación eléctrica.

Según la información proporcionada por ingenieros de la Refinería La Libertad, más los cálculos realizados, se concluye que; de utilizarse el gas amargo de refinería para generación o cogeneración eléctrica se reduciría el consumo diario de diesel, de los 11101,467 galones día que utiliza la Refinería La Libertad, a 2520,917 galones, esto se daría en el caso de que los 8580,55 galones de diesel que representan los 671785,029 ft³/día de gas amargo que es quemado directamente en las teas, fuese utilizado, lo cual representa un ahorro económico significativo, además de evitar la quema de este gas al ambiente.

De acuerdo al decreto RAOH 1215 del reglamento sustitutivo del reglamento ambiental para las operaciones hidrocarburíferas en el Ecuador, la Refinería La Libertad no cumple de manera eficiente con el control de emisiones al ambiente.

También recomienda:

- Si el gas amargo producto de los procesos de refinación de las plantas Parsons y Universal no se utiliza para generación o cogeneración eléctrica en la Refinería La Libertad, podría ser utilizado como combustible para hornos como se lo utiliza en la planta Cautivo o en otros procesos, ya que uno de los propósitos de esta tesis radica en poder aprovechar el gas de refinería en lugar de quemarlo al ambiente, desperdiciando energía que podría utilizarse y afectando el entorno.

- La Refinería La Libertad debe tener medidores de flujo para saber la cantidad de gas en volumen que es quemado en la tea ya que se debe tener un control adecuado del gas disponible para su utilización en procesos para el propio complejo industrial.
- El proceso de tratamiento de gas amargo con lecho ferroso (Fe_2O_3) que se utilizaba con anterioridad en la Refinería La Libertad debería utilizarse de ser posible en conjunto con otro proceso ya sea físico o químico para que el gas pueda cumplir con las normas ambientales dispuestas en el RAOH 1215.
- Hacer conciencia sobre las utilidades que se podría dar al gas amargo (gas de refinería) producto del proceso de destilación atmosférica de las plantas Parsons y Universal, en lugar de quemarlo en tea.
- Se recomienda que se mejoren los equipos para los procesos de refinación de crudo en la Refinería La Libertad, debido principalmente a que se está procesando un crudo más pesado ($27,5^\circ$ API) respecto a la densidad a la cual fue diseñada la refinería ($36,5^\circ$ API) y esto produce aproximadamente 60% de residuo que podría refinarse en este complejo industrial en lugar de exportarse a bajo costo e importar derivados de este residuo más caros.
- Con los resultados obtenidos de los datos otorgados por la Gerencia de Refinación de EPPETROECUADOR se puede concluir que el gas amargo que va a quemarse en la tea de la Refinería La Libertad puede utilizarse, luego de pasar por un proceso de tratamiento con aminas que es el proceso más efectivo y económico del mercado, de esta manera se recomienda, endulzar el gas y utilizarlo en procesos de generación eléctrica, además de complementar este trabajo de graduación con otro en el cual se indique el diseño, costo y selección de un planta de endulzamiento con aminas, para de tal manera poder identificar el tiempo que tomaría en recuperarse la inversión en caso de que se decidiese utilizar el gas combustible que se quema directamente en la tea de la Refinería La Libertad.

Francine y D'Angelo (2008) en su tesis de la Universidad Estatal de Campinas-UNICAMP, de Brasil, titulada: “Análisis Termodinámico de un Sistema de Cogeneración con Gasificación del Licor Negro” resumen: Que el análisis termodinámico de un proceso de cogeneración de energía con gasificación del licor negro, utilizando balances de energía para identificar y cuantificar las principales irreversibilidades presentes.

Se realizó una simulación del proceso de cogeneración con un simulador comercial, a partir de la cual fue posible realizar el balance de energía del sistema. Se evaluó la influencia de la composición de los gases obtenidos en el gasificado sobre las pérdidas energéticas en el proceso.

Las condiciones operacionales del gasificado de licor negro que contribuyen a reducir la concentración de estos compuestos responsables de las pérdidas de energía, son la baja temperatura (700°C) y la baja presión (200 kPa).

El análisis mostró útil para determinar de viabilidad técnica del proceso alternativo de generación de energía a través de la gasificación del licor negro.

Conclusiones:

Se pudo comprobar que la composición de los gases obtenidos en el gasificado influye en las pérdidas energéticas del proceso de cogeneración. Esta composición depende de las condiciones operacionales del gasificado y también de la composición del licor negro utilizado.

La configuración 3, basada en Consonni et al. (1998), presentó las menores pérdidas globales de energía entre las estudiadas. Las turbinas también presentaron pérdidas energéticas significativas, siendo la turbina a gas de baja presión la que generó mayor potencia en relación a las demás configuraciones y la que presentó las mayores tasas de energía disipada en el proceso en todos los casos analizados.

Analizando los equipos, la cámara de combustión fue el componente del sistema de cogeneración con mayores pérdidas en el proceso. Eso se debe a la gran irreversibilidad de las relaciones químicas que ocurren en su interior. Fue realizado un análisis de sensibilidad en las composiciones de la configuración 3, que obtuvo menor pérdida de energía, mostrando una fuerte dependencia de las cantidades de hidrógeno y monóxido de carbono.

El análisis de sensibilidad de la configuración 3 fue realizado con el propósito de identificar si algún componente específico tiene una influencia mayor sobre la cantidad de exergía disipada en el ciclo de cogeneración. El hidrógeno y el monóxido de carbono, cuando están presentes en mayores cantidades, son responsables por grandes pérdidas, mientras que el agua contribuye para reducir las mismas.

En el diseño de futuros gasificadores de licor negro, deben ser escogidas condiciones apropiadas de operación, tales como temperatura, presión y razón aire/licor negro, de modo

que pueda ser obtenida una concentración adecuada de hidrógeno y de monóxido de carbono.

Por otro lado, la reducción del contenido de estos dos componentes implica en la generación de un producto gaseoso con menor poder calorífico; por lo tanto, se deben considerar estos hechos en el diseño de los gasificadores.

Ya que los estudios presentados tratan de sistemas de gasificación utilizando licor negro de pino, futuros trabajos sobre sistemas con otros tipos de licor negro, como los estudios de Cardoso et al. (2006) usando licor negro de eucalipto, son de fundamental importancia.

Loaiza, Ortiz, Solar1 y Farias (2007) en su investigación “Impacto de la eficiencia en el consumo de biomasa en el sector celulosa chileno” indican que: En base a estadísticas oficiales, y datos obtenidos directamente de las empresas del sector celulosa Kraft, se exponen las características de biomasa como desechos energéticos utilizados por el sector. Se identifican volúmenes, fuentes, costos y se obtienen indicadores de Consumo Específico de Energía, por tipo de energía, y el impacto de la eficiencia en la generación de electricidad.

Conclusiones:

Los aspectos más relevantes del estudio reflejan una inadecuada gestión energética e incorporación de tecnología sólo con objetivos de aumento físico de la producción, sin tener en consideración de que toda energía ahorrada en procesos es posible venderla como electricidad.

El impacto de un uso a menores niveles de eficiencia, en el consumo de energía, significó en el año 2002 menores venta de excedentes de electricidad del orden de un 85%.

Rincón, Ruiz y Peña (2002) en su tesis de la Universidad Nacional de Colombia, titulada: “Corrosión en caliente de un acero inoxidable 304h para calderas en presencia de sales fundidas de vanadatos y sulfatos”, resumen: El presente trabajo busca indagar y establecer el tipo de mecanismo de daño que sufre el acero inoxidable 304H en contacto con depósitos de sal fundida, junto con un estudio preliminar de la cinética de la corrosión.

Para ello, se analizarán los depósitos fundidos, la composición química de éstos y se medirá la pérdida de material luego de ser sometido a períodos continuos de ataque, con el uso de la técnica gravimétrica en crisol.

Con esto se pretende conocer las variables que influyen directamente sobre el deterioro del acero 304H, para en un futuro, adoptar medidas predictivas y/o preventivas que incrementen su vida útil, aumentando de ésta manera la eficiencia de las calderas y disminuyendo el tiempo entre paradas programadas.

Conclusiones:

El análisis experimental preliminar sirvió para determinar que las variables más influyentes en el proceso corrosivo por sales fundidas de $V_2O_5Na_2SO_4$, son la temperatura y el tiempo de residencia, igualmente la combinación de su efecto es de gran importancia en el mecanismo de corrosión.

La corrosividad de la mezcla 80% V_2O_5 -20% Na_2SO_4 sobre el acero inoxidable 304H se incrementa con el aumento de la temperatura de exposición, y a igual temperatura, se incrementa con el tiempo de exposición.

Los compuestos de vanadato formados de la mezcla 80% V_2O_5 -20% Na_2SO_4 responsables del ataque químico al acero 304H, luego de someterlos a altas temperaturas son: para temperaturas inferiores al 700 °C es el $Na_2OV_2O_4 \cdot 5V_2O_5$, NaV_6O_{15} del tipo [NV6], a temperaturas superiores a 700 °C es el NaV_3O_8 del tipo [NV3].

Un mecanismo de corrosión directamente responsable del deterioro del acero 304H en contacto con la mezcla de 80% V_2O_5 --20% Na_2SO_4 a las condiciones de ensayo realizadas, fue la disolución del óxido protector Cr_2O_3 , seguido por un empobrecimiento del cromo del substrato.

La reacción prevaleciente entre la película de óxido y la sal fundida fue del tipo ácida, esto es debido al alto porcentaje de vanadio en la ceniza, lo que contribuyó al ataque acelerado del Cr_2O_3 del acero 304H.

García, & et al (2013), reportaron que en su investigación: Se presenta el análisis termo económico de una planta de ciclo combinado integrada con una planta solar de canal parabólico, considerada como una sección de la caldera de recuperación de calor, con el

objetivo de conseguir un diseño óptimo al determinar los parámetros de diseño optimizados para ambos sistemas.

Se aplica una metodología empleada en trabajos previos para la optimización de ciclos combinados, pero ahora con una planta solar. Como resultado, a partir de un análisis de sensibilidad, se obtiene el desempeño de varias configuraciones bajo diferentes condiciones de radiación solar.

En el contexto energético y ambiental actual, la tendencia es instalar centrales de ciclo combinado porque su eficiencia es mucho mayor a la de una central de gas o de vapor aisladas (pueden llegar a alcanzar 60%). Sin embargo, como se muestra en este trabajo, su hibridación con plantas de concentración solar incrementa aún más su eficiencia y disminuye su costo de generación bajo ciertas condiciones atmosféricas.

Así pues, continuar con este tipo de análisis para establecer tendencias en el diseño de los sistemas acoplados con planta solar (isc) será de gran utilidad si se considera además que algunos reportes sugieren que las csp serán viables si se considera la hibridación con centrales térmicas convencionales.

Establecer tendencias en este tipo de sistemas permitirá a los diseñadores y tomadores de decisiones de empresas generadoras de energía tener una idea más clara de hacia dónde deben dirigirse los valores de los parámetros de diseño y qué desempeño y costo se espera tener, previo a la selección de un diseño o a la adquisición de una central llave en mano.

Por ejemplo, en este caso se percibe que para una central de ciclo combinado, acoplada con una planta solar, la tendencia es incrementar el valor de la presión de alta. De esta manera, se puede realizar un análisis con diferentes configuraciones y valores de potencia nominal.

Las plantas solares con concentración tendrán un mayor auge y de acuerdo con la competitividad de la tecnología de plantas de concentración frente a las centrales térmicas convencionales y los sistemas fotovoltaicos dependerá en gran medida de la implementación de sistemas híbridos y con generación directa de vapor (isc) que son los que se analizan.

La optimización de diferentes configuraciones de plantas de ciclo combinado acopladas a una central de canal parabólico. Al realizar este análisis se comprueba que la metodología es aplicable y brinda resultados aceptables.

En cuanto a los resultados obtenidos, se observa que la planta optimizada de ciclo combinado integrada con la planta solar presenta mejores resultados de rendimiento, térmico que la misma configuración de ciclo combinado optimizada al emplear la irradiación directa promedio.

Atlantic Consultin (2009), en su análisis científico sobre el GLP y la calidad del aire local reporta un documento, que trata del GLP y la calidad del aire local, forma parte de una serie de resúmenes para los responsables políticos sobre el GLP en Europa. Otros resúmenes describen la posición del GLP en relación a otros retos políticos relevantes para la Unión Europea, como combatir el calentamiento global, mejorar la seguridad del suministro energético y promover la utilización segura de la energía.

Los resúmenes tienen como objetivo proporcionar a los responsables políticos, a otras partes interesadas en la política energética y medioambiental y a la propia industria del GLP una evaluación autorizada, cuantificada e independiente de la posición del GLP y su posible contribución.

Este documento presenta las conclusiones de una extensa investigación documental y una síntesis de estudios relevantes sobre el GLP y la calidad del aire, basada en las fuentes más fidedignas y actualizadas disponibles.

El GLP es una mezcla de hidrocarburos gaseosos, principalmente propano y butano, derivados durante la extracción de petróleo y gas natural, además de durante el refinado. En condiciones ambientales, el propano es un gas y el butano puede ser un gas o un líquido. El GLP se licua con facilidad a una presión relativamente baja.

El GLP tiene dos propiedades físicas especialmente relevantes para su impacto sobre la calidad del aire local:

- A pesar de que su composición presenta un cierto grado de variación natural, el GLP posee un valor calorífico comparativamente elevado, lo que significa que contiene más energía por kg que la mayoría de los demás combustibles.
- La sencilla estructura molecular del GLP hace que resulte fácilmente combustible y le otorga un perfil de emisiones de contaminantes menor que el de otros combustibles fósiles.

Se han realizado tres estudios que comparan el impacto de los combustibles de calefacción en Europa sobre la calidad del aire local. Los dos estudios de la Agencia

Europea del Medio Ambiente (EEA) y vHK (entidad consultora de la UE) incluyen al GLP en la categoría general de “combustibles gaseosos”.

El estudio Corinair de la EEA trata los combustibles gaseosos, que incluyendo el gas natural y el GLP, mientras que vHK considera explícitamente que el gas es un equivalente del GLP, esto es, se asume que sus impactos (carbono y calidad del aire local) son iguales. El tercer estudio, realizado por Eco Invent, no trata específicamente el GLP en la combustión estacionaria; en lugar de ello, hace referencia al gas en general.

Basándonos en los datos más autorizados y consistentes disponibles, los combustibles gaseosos (el GLP y el gas natural) son, en general, superiores a los combustibles competidores en cuanto a emisiones atmosféricas, excepto la electricidad y algunos tipos de bombas de calor, que suelen generar un nivel de emisiones urbanas más reducido.

En los tres contaminantes prioritarios, los hidrocarburos (HC), los óxidos nitrosos (NOx) y las partículas (PM), así como en el monóxido de carbono (CO), los tóxicos y los metales pesados, el impacto de los combustibles gaseosos es, en general, inferior al de los combustibles líquidos (gasóleo de calefacción y gasóleo para calderas) y considerablemente inferior al de los combustibles sólidos (carbón y madera).

Cuando se utilizan equipos de combustión y control más sofisticados, la ventaja de los combustibles gaseosos disminuye algo pero continúa siendo significativa.

La contaminación del aire a nivel local supone un grave riesgo para la salud. El aire contaminado no solo afecta a los seres humanos a través de afecciones respiratorias y cáncer, sino que también afecta a las plantas, los animales y hasta los edificios (por descomposición ácida y depósitos de hollín, por ejemplo).

La mayor parte de la contaminación del aire local se debe al uso de combustibles en el transporte, la calefacción y la generación de electricidad. La combustión genera una variedad de contaminantes: hidrocarburos, monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), dióxido de azufre, partículas (PM), metales pesados e incluso amoníaco.

Enumerados por categorías, los contaminantes del aire local alcanzan 30-40 tipos diferentes. Entre ellas, los reguladores han determinado las prioridades basándose en la toxicidad y la exposición.

Los actuales contaminantes prioritarios en Europa, determinados por la Organización Mundial de la Salud en un estudio para la Comisión Europea (OMS 2003) son las

partículas, el dióxido de nitrógeno (NO₂) y el ozono (O₃). Sorprendentemente, el NO₂ y el ozono (O₃) no se mencionan como contaminantes generados por la combustión.

Esto se debe a que el dióxido de nitrógeno (en cierta medida) y el ozono se producen indirectamente como resultado de reacciones químicas en la atmósfera. Así, el óxido de nitrógeno tiende a convertirse en dióxido de nitrógeno (al reaccionar con el oxígeno) mientras que el NO_x y los hidrocarburos reaccionan con la luz solar para producir ozono

La respuesta de los reguladores ha consistido en centrar su atención sobre tres contaminantes: Los óxidos de nitrógeno reaccionan en la atmósfera para formar dióxido de nitrógeno (NO₂) que puede tener efectos nocivos para la salud, en especial en las personas con afecciones respiratorias.

Los altos niveles de exposición se relacionan con un aumento de las hospitalizaciones por problemas respiratorios, mientras que la exposición a largo plazo puede afectar a la función pulmonar y aumentar la respuesta a los alérgenos en personas sensibles.

El NO_x contribuye también a la formación de smog y lluvia ácida, daña la vegetación, contribuye a la formación de ozono a nivel del suelo y reacciona en la atmósfera para formar partículas finas ('partículas secundarias').

Partículas: las partículas finas pueden tener efectos nocivos para la salud humana, en especial en aquellas personas con problemas respiratorios. Las partículas se asocian con un aumento de las hospitalizaciones por problemas respiratorios y cardiovasculares, que llega a causar la muerte de los que padecen enfermedades respiratorias y reduce la esperanza de vida.

Hidrocarburos: los hidrocarburos contribuyen a la formación de ozono a nivel del suelo, lo que entraña riesgo de daños para el sistema respiratorio humano. Además, algunos tipos de hidrocarburos son cancerígenos y son también gases de efecto invernadero indirecto.

Vacacela (2011) en su tesis de la Universidad Técnica de Ambato de Ecuador titulada: "Estudio de parámetros de combustión en un calderín de 2 bhp y su efecto sobre la eficiencia" resume: que el presente trabajo de investigación se orientó en analizar el funcionamiento de un calderín de 2 BHP y la influencia de la variación de los parámetros de combustión, que para este caso fueron la presión del combustible y el caudal, sobre la eficiencia, y tener la oportunidad en lo posterior de incorporar procesos útiles.

El proyecto tiene como objetivo general, analizar el efecto de incidencia de los parámetros de combustión y su efecto sobre la eficiencia, mediante la variación de los parámetros de combustión, determinar un rango de trabajo óptimo o el más apropiado para el calderín; con respecto a la hipótesis, se plantearon en base a cuan precisos podemos ser en cuanto a la eficiencia del caldero respecto a un modelo operativo o de diseño.

La investigación que comprende este trabajo es de nivel experimental y de tipo exploratorio; dentro de la misma se realizaron ensayos experimentales de variación de presión de GLP y variación de caudal de alimentación de GLP. Los resultados recopilados se encuentran en tablas, entre las que podemos mencionar, Eficiencia vs. Presión de GLP, Eficiencia vs. Entalpia, Presión de proceso vs tiempo, en función de la presión de combustible y la variación de caudal de GLP.

Todas estas representadas gráficamente con puntos de dispersión entre todos los parámetros de estudio, a presiones de combustible bajas entre la cuales fueron de 0.4, 0.5 y 1 PSI, las eficiencias son muy similares entre sí, pero al momento que trabaja con 2 PSI esta varia notablemente mostrando una caída aproximada de un 15%, para los 2 casos como fueron el trabajar con un caudal del 100% y del 75%, en cuanto a su desempeño. Finalmente en el capítulo seis se propone el diseño y la construcción de un calderín de 2 BHP con una eficiencia de diseño del 65% aproximadamente, para lograr llevar a cabo nuestro estudio.

Silva (2013) en su tesis de la Universidad Politécnica de Chimborazo, titulada: “Estudio de la capacidad de trigeneración en la empresa Prolac” donde concluye que: Se realizó un estudio de la capacidad de trigeneración en la empresa “PROLAC”, considerando la demanda, tanto eléctrica como térmica

Se recopiló datos del sistema eléctrico, de vapor y refrigeración mediante la medición de parámetros térmicos y eléctricos, además del cálculo de las eficiencias de refrigeración y de vapor.

Se evaluó la capacidad de trigeneración para la empresa en base a la producción eléctrica, llegando a ser un sistema superior de cogeneración. Se determinó que la tecnología para producir energía eléctrica en la planta recae en un motor de combustión interna, CUMMINS modelo 6CTA8.3 – G2, de cuatro tiempos, para consumir combustible diesel, con un capacidad de 169 kW. (Silva 2013.p.125)

Se dimensionó un sistema de escape respetando la contrapresión del sistema para no alterar sus condiciones de diseño. El sistema presenta 3.95 kPa de contrapresión. Este valor es inferior al límite permisible indicado por el fabricante.

Se determinó que la recuperación de energía de los gases de escape, es factible a través de un intercambiador de calor para gases de escape. Bowman tipo 6- 32 -3741 – 5 para una potencia de 140 kW, el cual permite recuperar 82 kW.

Se determinó que la recuperación de energía del sistema de enfriamiento, es factible a través de un intercambiador de placas, modelo FP 10 x 20 L 50, con un área de transferencia de calor de $63 \text{ fp}^2 = 5.85 \text{ m}^2$ de dimensiones 9.8 W x 20.3H x 4.9D.

Se estableció que las características de funcionamiento del intercambiador de placas (líquido - líquido) modelo, FP 10 x 20 L 50, son las siguientes: por el circuito primario circulará refrigerante (agua) con un flujo de 449 lb/min, con una temperatura de entrada de 100° C y una temperatura de salida de 94 °C, cediendo su energía para calentar agua de 83 °C a 88°C, con un flujo de 550.5 lb/min.

El costo del consumo de energía al año es de USD \$ 47831.74 dólares, este rubro contempla tanto la energía eléctrica como el diesel utilizado para la generación de la energía térmica, siendo el costo específico USD \$ 0.013 dólares por litro de leche.

Se determinó que el excedente de energía generada es de 82 KW-h, desde las 06h00 hasta las 17h00 horas.

Se determinó que el precio por kW - h de la energía generada es de 5.3475 USD/kW-h.

Se determinó que el costo por adquisición de los equipos tiene un valor de USD \$105709 dólares.

Se determinó que los costos variables como: costo ingenieril, utilidad e imprevistos tiene un valor de USD \$ 30772 dólares.

El costo aproximado del proyecto tiene un valor de USD \$ 144741 dólares. El período de recuperación de la inversión es de ocho años y seis meses.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Calderas para la producción de vapor

Las múltiples aplicaciones que tienen las calderas industriales, las condiciones variadas de trabajo y las innumerables exigencias de orden técnico y práctico que deben cumplir para que ofrezcan el máximo de garantías en cuanto a solidez, seguridad en su manejo, durabilidad y economía en su funcionamiento, ha obligado a los fabricantes de estos equipos a un perfeccionamiento constante a fin de encarar los problemas. La búsqueda de soluciones ha originado varios tipos existentes agrupados según sus características más importantes. (Abhamondes 2014.p.56-57).

La definición de la caldera indica que es un recipiente metálico, cerrado, destinado a producir vapor o calentar agua, mediante la acción del calor a una temperatura superior a la del ambiente y presión mayor que la atmosférica. (Abhamondes 2014.p.58).

Los generadores de vapor se llaman así al conjunto o sistema formado por una caldera y sus accesorios en la práctica se habla de “calderas” refiriéndose a todo el conjunto o “generador de vapor”. Por tal razón, en adelante, usaremos indistintamente ambos términos. (Abhamondes 2014.p.58).

Según Abhamondes (2014) las calderas o generadores de vapor son dispositivos cuyo objetivo es:

- ❖ Generar agua caliente para calefacción y uso general.
- ❖ Generar vapor para plantas de fuerza, procesos industriales o calefacción.

Funcionan mediante la transferencia de calor producido generalmente al quemarse un combustible, el que se le entrega al agua contenida o que circula dentro de un recipiente metálico. (Abhamondes 2014.p.58).

En toda caldera se distinguen dos zonas importantes:

a. Zona de liberación de calor u hogar o cámara de combustión: Es el lugar donde se quema el combustible. Puede ser interior o exterior con respecto al recipiente metálico. (Abhamondes 2014.p.62).

❖ **INTERIOR**

El hogar se encuentra dentro del recipiente metálico o rodeado de paredes refrigeradas por agua. (Abhamondes 2014.p.62).

❖ **EXTERIOR**

Hogar construido fuera del recipiente metálico. Está parcialmente rodeado o sin paredes refrigeradas por agua. La transferencia de calor en esta zona se realiza principalmente por radiación (llama - agua). (Abhamondes 2014.p.62).

b. Zona de tubos: Es la zona donde los productos de la combustión (gases o humos) transfieren calor al agua principalmente por convección (gases - agua). Está constituida por tubos dentro de los cuales pueden circular los humos o el agua. (Abhamondes 2014.p.62).

2.2.2. Clasificación de los calderos

Según Abhamondes (2014) la clasificación general de las calderas, de acuerdo al mayor uso en nuestro país, sería la siguiente:

a. Atendiendo a su posición: Horizontales y Verticales (Abhamondes 2014.p.87).

b. Atendiendo a su instalación: Fija o estacionaria y Móviles o portátiles (Abhamondes 2014.p.87).

c. Atendiendo a la ubicación del hogar: De hogar interior y De hogar exterior (Abhamondes 2014.p.87).

d. Atendiendo a la circulación de los gases: Recorrido en un sentido (de un paso), con retorno simple (de dos pasos), con retorno doble (de tres pasos) (Abhamondes 2014.p.87).

e. Con respecto a su forma de calefacción: Cilíndrica sencilla de hogar exterior, Con un tubo hogar (liso o corrugado), Con dos tubos hogares (liso o corrugado), Con tubo Galloway (calderas horizontales o verticales), Con tubos múltiples de humo (igneotubulares o piro tubulares), Con tubos múltiples de agua (hidrotubulares o acuotubulares), Con tubos múltiples de agua y tubos múltiples de humo (acuopiro tubular o mixtas). (Abhamondes 2014.p.87).

f. De acuerdo a la presión del vapor que producen: De baja presión (hasta $2,0 \text{ kg/cm}^2$), De mediana presión (sobre $2,0 \text{ kg/cm}^2$ hasta 10 kg/cm^2), De alta presión (sobre 10 kg/cm^2 hasta 225 kg/cm^2), Supercríticas (sobre 225 kg/cm^2) (Abhamondes 2014.p.87).

g. Con respecto al volumen de agua que contienen en relación con su superficie de calefacción: De gran volumen de agua (más de 150 Ltrs. x m^2 de superficie de calefacción SC), De mediano volumen de agua (entre 70 y 150 Ltrs. x m^2 de SC), De pequeño volumen de agua (menos de 70 Ltrs. x m^2 de SC). (Abhamondes 2014.p.87).

Se entiende por superficie de calefacción (SC): La superficie total de planchas y tubos de la caldera que por un lado están en contacto con los gases y por el otro con el agua que se desea calentar. La superficie de calefacción se mide por el lado de los gases. (Abhamondes 2014.p.87).

h. Según su utilización: De vapor, de agua caliente

i. Según la circulación del agua dentro de la caldera: Circulación natural: El agua

Circula por efecto térmico, Circulación forzada: El agua se hace circular mediante bombas. (Abhamondes 2014,p.92).

j. Según el tipo de combustible: De combustible sólido, De combustible líquido, De combustible gaseoso

Además existen calderas que obtienen el calor necesario de otras fuentes de calor, tales como gases calientes de desperdicios de otras reacciones químicas, de la aplicación de la energía eléctrica o del empleo de la energía nuclear. (Abhamondes 2014.p.92).

2.2.3. Calderas Piro tubulares.

Según Abhamondes (2014), estas calderas son denominadas también igneotubulares o piro tubulares y pueden ser verticales u horizontales. Entre las calderas verticales pueden encontrarse dos tipos con respecto a los tubos:

- De tubos semi sumergidos,
- De tubos totalmente sumergidos.

En el primer caso, el agua no cubre totalmente los tubos; en el segundo, éstos están totalmente cubiertos. Las calderas horizontales con tubos múltiples de humo, hogar interior y retorno simple o doble retorno son las llamadas calderas escocesas y son las de aplicación más frecuente en nuestro país. Estas calderas, como cualquier otro tipo, pueden ser utilizadas con hogar para quemar carbón, leña o bien con quemadores de petróleo. (Abhamondes 2014,p.96).

Según Abhamondes (2014), se encuentran en este grupo de calderas los locomóviles y las locomotoras que se caracterizan principalmente por ser de mediano volumen de agua, tiraje forzado y cuentan con tres partes bien definidas:

a) Una caja de fuego donde va montado el hogar; esta caja puede ser de sección rectangular o cilíndrica; es de doble pared, por lo que el hogar queda rodeado de una masa de agua. Debido a esta doble pared las planchas tienen que reforzarse con tirantes o estayes (pernos o refuerzos con un orificio central para detectar filtraciones cuando se cortan por corrosiones o exceso de tensiones) (Abhamondes 2014.p.96).

b) Un cuerpo cilíndrico atravesado, longitudinalmente, por tubos de pequeño diámetro, por cuyo interior circulan los gases calientes. (Abhamondes 2014.p.96).

c) Una caja de humos, que es la prolongación del cuerpo cilíndrico, a la cual llegan los gases después de pasar por el haz tubular, para salir hacia la chimenea. Estas calderas trabajan, casi siempre, con tiraje forzado, el cual se consigue mediante un chorro de vapor de la misma caldera (vapor vivo) o utilizando vapor de escape de la máquina. (Abhamondes 2014.p.96).

Por problemas de resistencia de materiales, su tamaño es limitado. Sus dimensiones alcanzan a 4,5 metros de diámetro y 10 metros de largo. Se construyen para capacidades máximas de 15.000 kg/h de vapor y sus presiones de trabajo no superan los 18 kg/cm^2 . (Abhamondes 2014.p.96).

Pueden producir agua caliente o vapor saturado. En el primer caso se les instala un estanque de expansión que permite absorber las dilataciones del agua. En el caso de calderas de vapor poseen un nivel de agua a 10 o 20 cm sobre los tubos superiores. (Abhamondes 2014.p.96).

❖ **VENTAJAS:** Menor costo inicial, debido a la simplicidad de diseño en comparación con las acuotubulares de igual capacidad. - Mayor flexibilidad de operación, ya que el gran volumen de agua permite absorber fácilmente las fluctuaciones en la demanda de vapor. - Menores exigencias de pureza en el agua de alimentación, porque las incrustaciones formadas en el exterior de los tubos son más fáciles de atacar y son

eliminadas por las purgas. - Facilidad de inspección, reparación y limpieza. (Abhamondes 2014,p.96).

❖ **DESVENTAJAS:** Mayor tamaño y peso que las acuotubulares de igual capacidad. - Mayor tiempo para subir presión y entrar en funcionamiento. - Gran peligro en caso de explosión o ruptura, debido al gran volumen de agua almacenado. - No son empleadas para altas presiones. (Abhamondes 2014.p.96).

2.2.4. Comportamiento de las calderas.

El comportamiento de una caldera puede expresarse en función de los kilogramos de vapor producido por metro cuadrado de superficie de calefacción y por hora (coeficiente de evaporación). Esta producción de vapor se ha ido elevando en los tiempos modernos. (Abhamondes 2014.p.152).

La intensificación de la producción de vapor se basa principalmente en la circulación de agua en el interior de los tubos, con una velocidad tal, que el vapor que se va formando por el calentamiento de los mismos, va saliendo con la misma corriente del agua que se evapora, porque de no ser así, las burbujas de vapor formadas crearían espacios huecos en el líquido que no podrían absorber el calor transmitido, quemándose el material de los tubos. (Abhamondes 2014.p.152)

Tabla 1: Características de las calderas

TABLA:		CARACTERISTICAS DE CALDERAS			
	TIPPO DE CALDERA	PRESION MAXIMA	PRODUCCION MAX. NOMINAL VAPOR	SUPERFICIE DE CALEFAC. m ²	COEFICIENTE DE EVAPORACION kg/h m ²
	PIROTUBULAR	Hogar exterior	10	3.500	22-230
Escocesa		18	15.000	10-600	18-25
Locomóvil		15	2.500	10-120	17-22
Mixta		10	20.000	700	30-32
Tambores		10	1.600	4-100	15

ACUOTUBULAR	Tubos Rectos Tubos	100	230.000	25-2300	20-100
	Curvos Circulación	225	2.000.000	mayora 100	20-600
	Forzada	225	225.00 y más	-----	hasta 3.000

Fuente: Abhamondes (2014.p.152).

2.2.4.1. Componentes de la caldera piro tubular

Según Abhamondes (2014) en este punto se tratarán sólo aquellas partes generales relevantes propias del diseño de las calderas. Debido a que cada caldera dispone, dependiendo del tipo, de partes características, es muy difícil atribuir a todas ellas un determinado componente. En razón a lo anterior se analizarán las partes principales de las calderas en forma general, especificando en cada caso el tipo de caldera que dispone de dicho elemento. (p160).

a. **HOGAR O FOGON:** Es el espacio donde se produce la combustión. Se le conoce también con el nombre de Cámara de Combustión. (Abhamondes 2014.p.165).

Los hogares se pueden clasificar en:

- ❖ **Según su ubicación.** - Hogar exterior. - Hogar interior.
- ❖ **Según el tipo de combustible.** - Hogar para combustible sólido. - Hogar para combustible gaseoso.
- ❖ **Según su construcción.** - Hogar liso. - Hogar corrugado.

Esta clasificación rige solamente cuando el hogar de la caldera lo compone uno o más tubos a los cuales se les dan el nombre de “Tubo Hogar”. (Abhamondes 2014.p.165).

b. PUERTA HOGAR: Es una pieza metálica, abisagrada, revestida generalmente en su interior con ladrillo refractario o de doble pared, por donde se echa el combustible sólido al hogar y se hacen las operaciones de control del fuego. En las calderas que quemán combustibles líquidos o gaseosos, esta puerta se reemplaza por el quemador. (Abhamondes 2014.p.165).

c. EMPARRILLADO: Son piezas metálicas en forma de rejás, generalmente rectangulares o trapezoidales, que van en el interior del fogón y que sirven de soporte al combustible sólido. Debido a la forma de reja que tienen, permiten el paso del Aire Primario que sirve para que se produzca la combustión. (Abhamondes 2014.p.165).

❖ Las parrillas deben adaptarse al combustible y deben cumplir principalmente los siguientes requisitos:

- Deben permitir convenientemente el paso del aire.
- Deben permitir que caigan las cenizas.
- Deben permitir que se limpien con facilidad y rapidez.
- Deben impedir que se junte escoria.
- Los barrotes de la parrilla deben ser de buena calidad para que no quemén o deformen.
- Deben ser durables.

Algunos diseños de parrillas permiten que por su interior pase agua para refrigerarla y evitar recalentamientos. (Abhamondes 2014.p.165).

Tipos de parrilla: Según su instalación:

- Fijas o estacionarias: Son aquellas que no se muevan durante el trabajo
- Móviles o rotativas: Son aquellas que van girando o avanzando mientras se quema el combustible. (Abhamondes 2014.p.165).

Según su posición:

- Horizontales
- Inclínadas
- Escalonadas.

d.CENICERO: Es el espacio que queda bajo la parrilla y que sirve para recibir las cenizas que caen de ésta. Los residuos acumulados deben retirarse periódicamente para no obstaculizar el paso de aire necesario para la combustión. En algunas calderas el cenicero es un depósito de agua. (Abhamondes 2014.p.165).

e.ALTAR: Es un pequeño muro de ladrillo, refractario, ubicado en el hogar, en el extremo opuesto a la puerta del fogón y al final de la parrilla, debiendo sobrepasar a ésta en aproximadamente 30 cm. Los objetivos del altar son:

- Impedir que caigan de la parrilla residuos o partículas de combustible.
- Ofrecer resistencia a las llamas y gases para que éstos se distribuyan en forma pareja a lo ancho de la parrilla y lograr en esta forma una combustión completa.
- Poner resistencia a los gases calientes en su trayecto hacia la chimenea. Con esto se logra que entreguen todo su calor y salgan a la temperatura adecuada. (Abhamondes 2014.p.165).

f.MAMPOSTERIA: Se llama mampostería a la construcción de ladrillos refractarios o comunes que tienen como objeto:

- Cubrir la caldera para evitar pérdidas de calor.
- Guiar los gases y humos calientes en su recorrido.

Para mejorar la aislación de la mampostería se dispone, a veces, en sus paredes de espacios huecos (capas de aire) que dificultan el paso del calor. En algunos tipos de calderas se ha eliminado totalmente la mampostería de ladrillo, colocándose solamente aislación térmica en el cuerpo principal y cajas de humos. Para este objeto se utilizan materiales aislantes, tales como lana de vidrio recubierta con planchas metálicas y asbestos. (Abhamondes 2014.p.165).

g.CONDUCTOS DE HUMO: Son los espacios por los cuales circulan los humos y

gases calientes de la combustión. De esta forma, se aprovecha el calor entregado por estos para calentar el agua y/o producir vapor. (Abhamondes 2014,p.165).

h. CAJA DE HUMO: Corresponde al espacio de la caldera en el cual se juntan los humos y gases, después de haber entregado su calor y antes de salir por la chimenea. (Abhamondes 2014,p.165).

i. CHIMENEA: Es el conjunto de salida de los gases y humos de la combustión para la atmósfera. Además tiene como función producir el tiro necesario para obtener una adecuada combustión. (Abhamondes 2014,p.165).

j. REGULADOR DE TIRO O TEMPLADOR: Consiste en una compuerta metálica instalada en el conducto de humo que comunica con la chimenea o bien en la chimenea misma. Tiene por objeto dar mayor o mejor paso a la salida de los gases y humos de la combustión. (Abhamondes 2014,p.165).

Este accesorio es accionado por el operador de la caldera para regular la cantidad de aire en la combustión, al permitir aumentar (al abrir) o disminuir (al cerrar) el caudal. Generalmente, se usa una combinación con la puerta del cenicero. (Abhamondes 2014,p.165).

k. PUERTAS DE EXPLOSION: Son puertas metálicas con contrapeso o resorte, ubicadas generalmente en la caja de humos y que se abren en caso de exceso de presión en la cámara de combustión, permitiendo la salida de los gases y eliminando la presión. Sólo son utilizables en calderas que trabajen con combustible líquido o gaseoso. (Abhamondes 2014 p.165).

l. CAMARA DE AGUA: Es el volumen de la caldera que está ocupado por el agua que contiene y tiene como límite superior un cierto nivel mínimo del que no debe descender nunca el agua durante su funcionamiento. Es el comprendido del nivel mínimo visible en el tubo de nivel hacia abajo. (Abhamondes 2014 p.165).

m. CAMARA DE VAPOR: Es el espacio o volumen que queda sobre el nivel superior máximo de agua y en el cual se almacena el vapor generado por la caldera. Mientras más variable sea el consumo de vapor, tanto mayor debe ser el volumen de esta cámara. En este espacio o cámara, el vapor debe separarse de las partículas de agua que lleva en suspensión. Por esta razón, algunas calderas tienen un pequeño cilindro en la parte superior de esta cámara, llamada “domo”, y que contribuye a mejorar la calidad del vapor (hacerlo más seco). (Abhamondes 2014 p.165).

n. CAMARA DE ALIMENTACION DE AGUA: Es el espacio comprendido entre los niveles máximo y mínimo de agua. Durante el funcionamiento de la cámara, se encuentra ocupada por agua y/o vapor, según sea donde se encuentre el nivel de agua. (Abhamondes 2014 p.165).

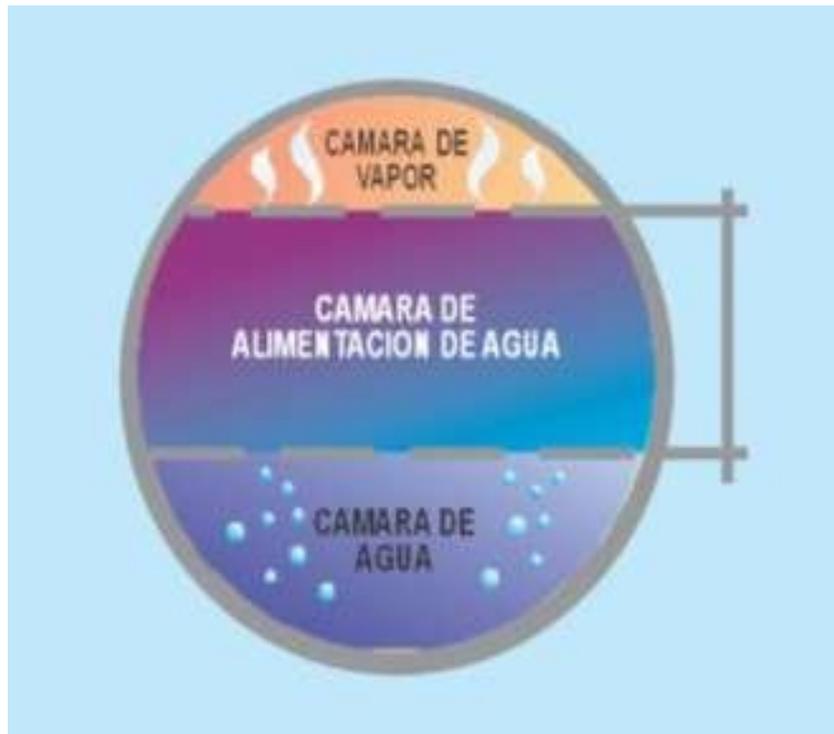


Figura 1. Cámaras de las calderas

Fuente: Abhamondes (2014 p.166).

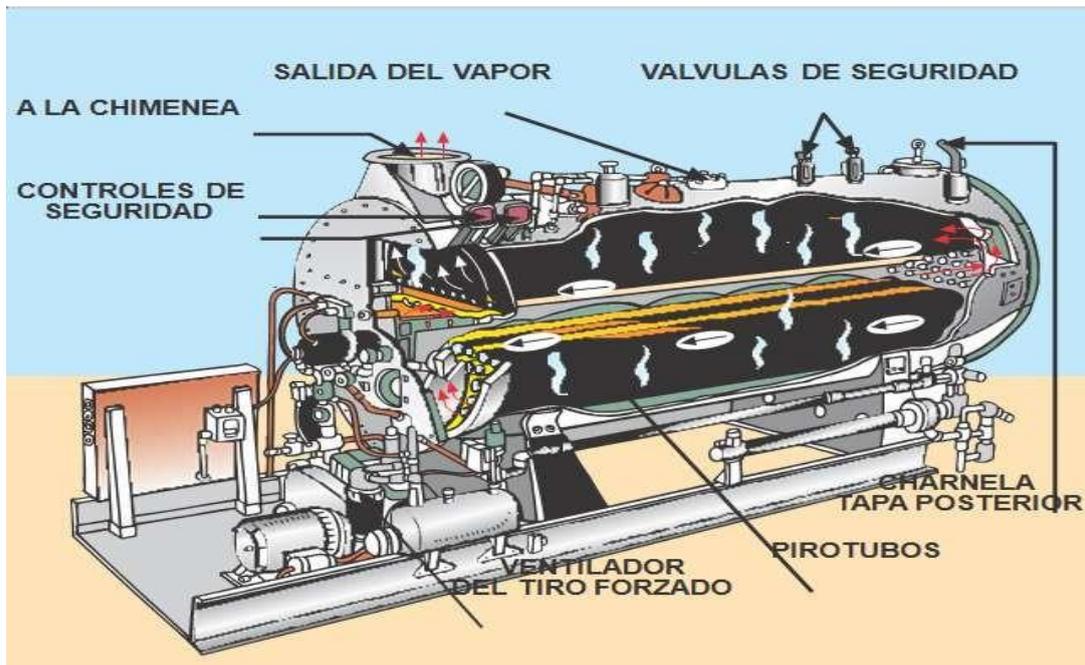


Figura 2. Caldera Cleaver-Brooks, de cuatro pasos, Piro tubular

Fuente: Abhamondes (2014 p.166).

2.2.5. Rendimiento de calderas

2.2.5.1. Fundamentos Teóricos.

El nivel de eficiencia energética de una caldera está en función tanto de la combustión que se genera en su seno como del aparato que conforma la caldera, envuelve la combustión y trata de extraer y transferir hacia el agua la energía que es capaz de generar el combustible antes de que sus gases de combustión salgan por el conducto de evacuación o chimenea. (IDAE 2007.p.72)

A la hora de establecer los criterios para definir el procedimiento de inspección de calderas desde el punto de vista de su eficiencia energética, se debe tener presente que:

- **Combustión y Caldera están íntimamente correlacionados:** la eficiencia de la

transmisión de energía del combustible al agua es función, por un lado, de la calidad de la combustión y, por otro, de la capacidad y efectividad de la caldera como intercambiador de calor. Ambos factores dependen, a su vez, del estado de mantenimiento y conservación de la combustión - por su grado de puesta a punto -, y del nivel de limpieza de la superficie libre de intercambio, afectada por incrustaciones y hollines que puedan aislar su capacidad de transmisión de calor. (IDAE 2007.p.75).

• **Esta correlación alcanza su máxima eficacia si el quemador asociado a la caldera cumple sus distintos cometidos:**

- Proporcionar el combustible a la cámara de combustión en condiciones de ser quemado.
- Aportar el aire necesario a la cámara de combustión.
- Mezclar íntimamente el aire y el combustible.
- Encender, mantener la llama y quemar la mezcla.
- Adaptar la llama a la geometría de la cámara de combustión. (IDAE 2007.p.75).
- Desplazar los productos de la combustión hacia la salida de los humos.

2.2.5.2. COMBUSTIÓN

A continuación se presentarán los aspectos más relevantes de la combustión en calderas y de las pautas para evaluar su eficiencia energética. (IDAE 2007.p.82).

Conocemos por oxidación a la reacción del oxígeno con una sustancia, reacción que se produce por término general con desprendimiento de calor, y utilizamos este término cuando dicha unión se efectúa en un proceso lento como, por ejemplo, la oxidación del hierro o la putrefacción de la madera. En casos como estos el calor se disipa en el medioambiente sin que aumente la temperatura del cuerpo que se oxida. (IDAE 2007.p.86).

Sin embargo, cuando este proceso es rápido, la reacción se produce con un gran aumento de su temperatura llegando incluso al estado de incandescencia, de emisión

de luz, y entonces esa reacción de oxidación se conoce como combustión. (IDAE 2007.p.88).

Existen situaciones que pueden hacer que las sustancias puedan entrar en combustión de forma espontánea: si la oxidación de la sustancia se efectúa de forma tal que el calor generado se disipa a su alrededor más lentamente que como se produce, la temperatura de la sustancia irá aumentando gradualmente hasta alcanzar el valor de su temperatura de inflamación, momento en el que la sustancia arderá espontáneamente. (IDAE 2007.p.89).

Según IDAE (2007) vemos que son tres los requisitos que deben coexistir y combinarse para que se produzca la combustión:

- ❖ La existencia de combustible, como aquella sustancia que tiene gran afinidad para combinarse con el oxígeno.

- ❖ La presencia de aire, y más concretamente del oxígeno contenido en él, como agente que provoca esa reacción exotérmica. Se le suele denominar comburente, como el agente que combinado con un combustible provoca su combustión.

- ❖ La adecuada temperatura, cuyo valor influye de forma directamente proporcional en la velocidad de la reacción de oxidación/combustión.

Estos requisitos están íntimamente correlacionados en toda combustión: para una determinada temperatura de combustión existe una proporción exacta de combustible y comburente que determina la reacción óptima, de tal forma que desviaciones sobre estos valores modifica la calidad de la combustión hasta el extremo de que la ausencia de uno cualquiera de estos tres impide que se produzca la misma. Al analizar la forma de combatir y apagar un incendio, estos tres requisitos definen el denominado triángulo del fuego, que visualiza las vías para reducir o eliminar el área

de fuego que encierra el triángulo. Bastará ir disminuyendo el valor de uno sólo de los lados del triángulo para reducir y extinguir la combustión: (IDAE 2007.p.95).

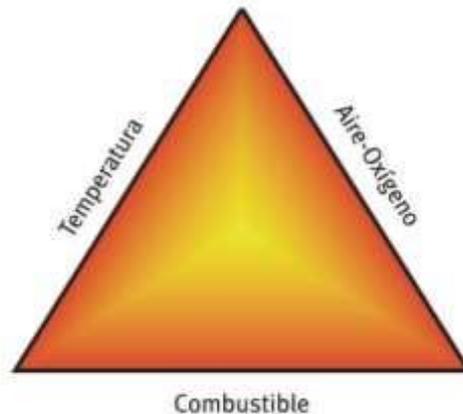


Figura 3: Triángulo de la combustión.

Fuente: IDAE (2007.p.96).

Eliminando el combustible, como se hace cuando impedimos que el fuego avance hacia nuevas sustancias. (IDAE 2007.p.96).

- Eliminando el oxígeno, como se hace ahogando la combustión con arena, una manta o la espuma de un extintor.
- Enfriando las sustancias combustibles, al objeto de ralentizar y detener la reacción de oxidación, como se hace cuando se le arroja agua. (IDAE 2007.p.96).

No todas las sustancias arden o se queman con la misma facilidad. Las hay que necesitan predisponerse mediante precalentamientos o mediante la presencia de otros reactivos que faciliten la combustión; pero para definir un combustible como tal no sólo deberemos analizar su facilidad de combustión, sino añadir otras cualidades que lo habiliten de una forma genérica para su empleo como son:

- La abundancia para su comercialización.

- La facilidad de manipulación que no entrañe riesgos.
- La simplicidad de su composición molecular que minimice el impacto ambiental de sus residuos. (IDAE 2007.p.99).

Por ejemplo, el hidrógeno o el fósforo son extraordinarios combustibles que reaccionan vivamente en presencia del aire, pero su costoso proceso de obtención, elevado riesgo en su trasiego y la toxicidad de los gases de combustión del segundo, hacen inviable su aplicación como combustibles comerciales. (IDAE 2007.p.99).

2.2.5.3. COMBUSTIBLES.

Desde la antigüedad el hombre ha venido utilizando como combustible la madera y los residuos vegetales, e incluso el petróleo en aquellos países donde se conocía, a los que se fueron añadiendo los carbones de origen mineral hasta llegar a los combustibles actuales: los derivados por refinado del petróleo y el gas natural. El nexo de unión de todos estos productos (denominados orgánicos por proceder de la transformación lenta en la naturaleza de la materia orgánica) es la existencia del elemento carbono en su composición, combinado en formas diversas con hidrógeno (hidrocarburo) y otras sustancias que pueden, posteriormente, participar o no en la combustión. (IDAE 2007.p.102).

Los combustibles más representativos por su aplicación en el sector de la edificación son el gas natural, los gases licuados del petróleo (GLP), el gasóleo C, el carbón y la madera- biomasa. (IDAE 2007.p.102).

- El gas natural es una mezcla de gases obtenidos directamente de la naturaleza en yacimientos, donde el metano (CH₄) constituye más del 70% de su composición. Otros gases que pueden estar presentes en proporciones apreciables son el nitrógeno (hasta el 20%) y el etano (C₂H₆, hasta el 10%). (IDAE 2007.p.104).

- Los gases licuados del petróleo (GLP) son mezclas de hidrocarburos en los

que mayoritariamente predominan el propano (C_3H_8) y el butano (C_4H_{10}), obtenidos como primera fracción del refino de petróleo o directamente de yacimiento junto al gas natural, siendo este último el origen más abundante. A temperatura y presión ambiente su estado es gaseoso, pero se pueden licuar a presiones no excesivamente altas, lo que facilita su transporte y almacenamiento en forma líquida a presión. Comercialmente hablando, cuando nos referimos al Propano se trata de una mezcla del 80% de hidrocarburos C_3 y un máximo del 20% en hidrocarburos C_4 , siendo el Butano una mezcla de un 80% de hidrocarburos C_4 y un máximo del 20% de hidrocarburos C_3 . (IDAE 2007.p.105).

- El gasóleo C se impuso en España en el año 1975 como sustitución del consumo de fuelóleo en las ciudades por razones medioambientales. Forma la fracción más pesada de la familia de los gasóleos, obtenidos por craqueo en la destilación fraccionada del petróleo y extraídos en la fracción que se encuentra entre el keroseno y el fuelóleo. El gasóleo C está formado por hidrocarburos de 16 a 25 átomos de carbono, a diferencia de los gasóleos A y B, más ligeros (dodecanos $C_{12}H_{26}$) y destinados para su uso en motores (automoción, agricultura/pesca y cogeneración). (IDAE 2007.p.107).

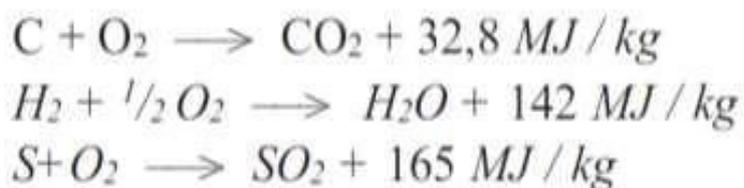
- El carbón que habitualmente conocemos por esta definición es el de origen mineral, a diferencia del de leña o vegetal. Comercialmente, y por razones medioambientales, se utilizan los carbones duros, totalmente carbonizados, tipo antracita, donde el contenido en carbono supera el 70%, frente a los blandos, no totalmente formado, tipo lignitos y turba. El carbón posee en su composición molecular proporciones elevadas de azufre, que se oxida en la combustión a óxidos de azufre (SO_2 y SO_3) que, en presencia del vapor de agua de la combustión, terminan por reaccionar hacia ácido sulfúrico (H_2SO_4), bien en la propia caldera, corroyendo su fondo y el conducto de evacuación de los productos de la combustión o la propia chimenea, bien una vez expulsado a la atmósfera formando con la humedad ambiental la denominada lluvia ácida. Aunque quizás la mayor presión que se ha ejercido por algunas administraciones para sustituir las instalaciones de carbón ha sido por la dificultad de conseguir una combustión completa y limpia, ausente de inquemados y otras materias que son emitidas a la atmósfera en forma de partículas sólidas. (IDAE

2007.p.108).

- La madera como combustible ha evolucionado desde la combustión directa de los productos de la poda - cuando no de la tala de árboles - hacia lo que hoy agrupamos bajo la denominación de biomasa: residuos forestales o de la industria de la madera (serrín, virutas) y agrícolas (residuos procedentes del sector oleícola, cascarilla de arroz, cáscara de almendra), comercializados en forma de pellets o en granulado. Un objetivo de la política energética es que la biomasa experimente un crecimiento muy importante durante los próximos años, en línea con lo establecido en el Plan de Energías Renovables. (IDAE 2007.p.109).

La cualidad energética que diferencia a los distintos combustibles, incluso para su valorización comercial, es su poder calorífico. Cada tipo de combustible tiene una distinta composición molecular, y su reacción con el oxígeno libera distintos niveles de energía térmica, provocando esta cualidad que los distingue. (IDAE 2007.p.109).

Según IDAE (2007) los combustibles utilizados en el sector de la edificación están formados básicamente por carbono e hidrógeno, con posibles trazas de azufre y otros elementos. Las principales reacciones que tienen lugar en la combustión, con la energía térmica producida, son: (IDAE 2007.p.110).



El balance térmico de las reacciones del conjunto de los componentes del combustible constituye su poder calorífico, que se define como la cantidad de calor generado por la combustión completa de una unidad de masa de éste, estando el combustible y el comburente a una temperatura y presión de referencia. (IDAE 2007.p.120).

Puesto que casi todos los combustibles poseen hidrógeno entre sus elementos y, como hemos visto, el resultado de su oxidación es la producción de agua, en función del estado físico en que se disperse este agua hacia el exterior de la caldera, como vapor en

los gases de combustión o como líquido una vez cedido su calor latente de condensación, podremos hablar de Poder Calorífico Superior (PCS) o Poder Calorífico Inferior (PCI) del combustible. Así pues:

- Poder Calorífico Superior, PCS, se define cuando el agua proveniente del combustible o formada durante la combustión se encuentra en su totalidad en estado líquido en los productos de combustión. Incluye por tanto el calor cedido por la condensación del agua contenida en los productos de combustión, que es de 597,2 kcal/kg (2,50 MJ/kg). (IDAE 2007.p.120).

- Poder calorífico Inferior, PCI, se define cuando toda el agua proveniente del combustible o formada durante la combustión se encuentra como vapor en los productos de combustión. (IDAE 2007.p.120).

No comprende el calor de condensación, y su valor, lógicamente, es inferior al PCS. Desde el punto de vista de la combustión, el PCI es el que habitualmente da una idea más real del proceso de combustión, dado que en la mayoría de aplicaciones la temperatura de los humos a la salida de la caldera ($t_h > 100\text{ °C}$) hace que el agua formada en la combustión escape en forma de vapor a la atmósfera. No ocurre así con las calderas de condensación, cuya denominación proviene de hacer enfriar los gases de combustión antes de su expulsión a la atmósfera al objeto de condensar al vapor de agua y recuperar el calor latente de transformación vapor/líquido. (IDAE 2007.p.121).

A continuación, se indican los valores medios de PCI y PCS de los principales combustibles, queriendo destacar que estos valores pueden variar con la mezcla de componentes del combustible que utilizemos en cada momento, dato que puede ser facilitado por el proveedor del mismo. La observación de los valores de las tablas siguientes nos permite apreciar dos aspectos que se han comentado sobre las propiedades de los combustibles: (IDAE 2007.p.122).

Tabla 2: Combustibles para calderos

COMBUSTIBLES SÓLIDOS						
	Densidad kg/m ³	kcal/kg	kWh/kg	PCI te/kg	MJ/kg	PCS MJ/kg
Antracita	875 ⁽¹⁾	8.194	9,53	8,19	34,30	34,70
Madera seca	s.d	4.539	5,28	4,54	19,00	s.d
Madera húmeda	s.d	3.440	4,00	3,44	14,40	s.d

(1) Carbón desmenuzado

COMBUSTIBLES LÍQUIDOS						
	Densidad kg/m ³	kcal/kg	kWh/kg	PCI te/kg	MJ/kg	PCS MJ/kg
GLP Propano	506 ⁽¹⁾	11.073	12,88	11,07	46,35	50,45
GLP Butano	580 ⁽¹⁾	10.939	12,72	10,94	45,79	49,68
Queroseno	780	10.368	12,06	10,37	43,40	46,50
Gasóleo C	850	10.099	11,74	10,10	42,28	43,12
Fuelóleo nº 1	944	9.699	11,28	9,70	40,60	42,70

(1) Densidad en estado líquido a 20 °C

COMBUSTIBLES GASEOSOS						
	Densidad RELATIVA ⁽²⁾	kcal/m ³	kWh/m ³	PCI te/m ³	MJ/m ³	PCS MJ/m ³
Gas natural	0,63 ⁽²⁾	9.228	10,73	9,23	38,63	42,92
Gas ciudad	0,65	4.037	4,69	4,04	16,90	18,20
Propano	1,85 ⁽³⁾	20.484	23,8	20,5	85,7	93,3
Butano	2,41 ⁽³⁾	26.253	30,5	26,3	109,9	119,2

(1) Densidad relativa en función de la del aire. Para obtener la densidad real multiplicar por 1,29 kg/m³ en condiciones normales, o por 1,19 kg/m³ a 20 °C

(2) Variable para cada yacimiento, entre 0,58 y 0,66 en condiciones normales

(3) Densidad relativa a 20 °C

Fuente: IDAE (2007.p.123)

A medida que la estructura molecular es más compleja aparecen cadenas alifáticas con dobles y triples enlaces e, incluso, cadenas aromáticas, lo que representa tener mayor contenido de carbono en detrimento del hidrógeno. Eso se traduce, por un lado, en una mayor densidad del combustible y, por otro, en un menor poder calorífico por unidad de peso. (IDAE 2007.p.123).

Esta misma cualidad hace que la relación PCS/PCI vaya disminuyendo cuando la estructura va siendo más compleja (menos hidrógeno > menos agua > menor PCS), lo cual nos va a permitir predefinir qué tipo de combustible tiene más opciones de rentabilidad energética y económica en la condensación de los gases de combustión: el gas natural. (IDAE 2007.p.123).

2.2.6. EL AIRE COMO COMBURENTE

El oxígeno necesario para la combustión se obtiene normalmente del aire, que es una mezcla de oxígeno, nitrógeno y pequeñas cantidades de otros componentes. A efectos

de cálculo de los procesos de combustión es suficiente considerar que la composición del aire seco es, en volumen, de un 20,95% de oxígeno y un 79,05% de inertes (nitrógeno, argón, etc.) y expresado en peso, de un 23,15% de oxígeno y un 76,85% de inertes. (IDAE 2007.p.124).

Con esta relación, por cada unidad de oxígeno que haya que suministrar a la combustión se necesitarán $100/20,95 = 4,77$ unidades de aire en volumen, o $100/23,15 = 4,32$ unidades de aire en peso. (IDAE 2007.p.124).

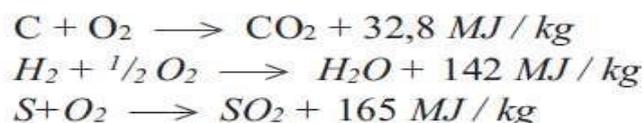
Se considera que el nitrógeno no tiene reacciones durante el proceso de combustión: es inerte. Sin embargo, este elemento sometido a temperaturas por encima de 1.000 °C, como ocurre en algunas cámaras de combustión, reacciona con el oxígeno formando pequeñas cantidades de óxidos de nitrógeno NOx. (IDAE 2007.p.124).

A la presión atmosférica (1 bar ó 101.325 kPa a nivel del mar) y a la temperatura de 273 °K (0 °C) una masa de 1 kg mol de un gas ocupa 22,41 m³, de acuerdo con la ecuación de los gases perfectos. La variación de temperatura hace que este volumen varíe, de acuerdo a la misma ecuación ($V=22,41 \cdot T/273$), hacia los siguientes valores: (IDAE 2007.p.125).

Temperatura 0 °C 5 °C 10 °C 15 °C 20 °C 25 °C

Volumen m³ 22,41 22,81 23,22 23,63 24,04 24,45

La cantidad exacta de aire que hace falta para conseguir una combustión completa se denomina aire estequiométrico. Retomando las fórmulas de las reacciones de combustión expuestas anteriormente: (IDAE 2007.p.125).



De esta forma podemos conocer:

Cuánto oxígeno se necesita para que se desarrolle una combustión completa, que lo podremos convertir en unidades de aire con las proporciones anteriores. (IDAE 2007.p.126).

La cuantía de los productos de la combustión, como suma de la cuantía de los elementos que participan de forma proporcionada en la reacción. Esta es la forma de determinar, por ejemplo, el impacto en CO₂ de una combustión en la atmósfera. Para este caso de combustión completa, por cada kg de carbono que contenga un combustible se emitirán a la atmósfera $44/12 = 3,67$ kg de CO₂. (IDAE 2007.p.126).

Los cálculos de combustión para combustibles sólidos y líquidos suelen hacerse empleando las masas, mientras que para los combustibles gaseosos se suelen emplear los volúmenes. (IDAE 2007.p.126).

Los requerimientos de oxígeno y aire en régimen de combustión estequiométrica para algunos combustibles elementales son los que se relacionan en el siguiente cuadro:

Tabla: 3. Aire para combustión de combustibles

Sustancia	Reacción	Relaciones estequiométricas			
		en peso ⁽¹⁾		en volumen ⁽²⁾	
		oxígeno	aire	oxígeno	aire
Carbono	$C + 0,5 O_2 > CO$	1,33	5,75	-(3)-	-(3)-
Carbono	$C + O_2 > CO_2$	2,66	11,51	-(3)-	-(3)-
Hidrógeno	$H_2 + 0,5 O_2 > H_2O$	7,94	34,30	0,50	2,39
Metano	$CH_4 + 2 O_2 > CO_2 + 2 H_2O$	3,99	17,24	2,00	9,57
Etano	$C_2H_6 + 3,5 O_2 > 2 CO_2 + 3 H_2O$	3,72	16,07	3,50	16,75
Propano	$C_3H_8 + 5 O_2 > 3 CO_2 + 4 H_2O$	3,63	15,68	5,00	23,95
Butano	$C_4H_{10} + 6,5 O_2 > 4 CO_2 + 5 H_2O$	3,58	15,46	6,50	31,14
Acetileno	$C_2H_2 + 2,5 O_2 > 2 CO_2 + H_2O$	3,07	13,26	2,50	11,96
Azufre	$S + O_2 > SO_2$	1,00	4,32	-(3)-	-(3)-
Azufre	$S + 1,5 O_2 > SO_3$	1,50	6,48	-(3)-	-(3)-

(1) kg de comburente por kg de combustible

(2) m³ de comburente por m³ de combustible

(3) El combustible está en estado sólido en las condiciones consideradas

Fuente: IDAE (2007.p.132)

2.2.7. El cálculo del rendimiento energético

- Para exponer la forma de determinar el rendimiento energético de una caldera recurrimos al símil del intercambiador de calor entre dos venas o flujos de materia que es, en definitiva, este generador de calor: IDAE (2007.p.133)

- Una vena la compone el flujo del combustible que introducimos y reacciona en la cámara de combustión de la caldera, produciendo calor, para escapar el resultado de la combustión en forma de humos por la chimenea. IDAE (2007.p.135)

La otra vena la compone el flujo de agua que transita por la caldera, bañando y refrigerando el lado exterior de las superficies de la cámara de combustión y de los pasos de humos mediante la captación del calor de la combustión, lo que origina su elevación de temperatura. IDAE (2007.p.135).

El rendimiento energético de este proceso de intercambio será la relación entre la cuantía del calor que ha captado el agua (calor útil) respecto al que poseía el combustible utilizado. IDAE (2007.p.135).

Existen dos formas de efectuar el balance energético para determinar este rendimiento:

El método directo que, como su nombre indica, se obtiene por la medición, por un lado, del calor contenido en la vena de agua antes y después de su entrada en la caldera y, por otro, la determinación de la energía del combustible, producto de la cuantía empleada por su poder calorífico. (IDAE 2007.p.135).

Este es el procedimiento que se utiliza, por ejemplo, para la determinación en laboratorio de la acreditación de rendimiento de las calderas para ser marcadas con la identificación relativa a los requisitos mínimos de rendimiento para las calderas nuevas de agua caliente alimentadas con combustibles líquidos o gaseosos. (IDAE 2007.p.135).

La dificultad de su aplicación práctica en la medición del rendimiento energético de calderas en servicio estriba en la dificultad de la medición del caudal de agua que circula por la caldera. Salvo que la misma tenga instalado un caudalímetro, esta medición sólo podría realizarse, de forma no destructiva, con equipos de ultrasonidos, de alto coste y difícil utilización por cuanto exige aplicarse en tramos rectilíneos de tubería desnuda (desmontar el aislamiento térmico). (IDAE 2007.p.137).

El método indirecto que, como su nombre indica, se basa en razonar que aquel calor que introducimos con el combustible y no escapa con los humos por el conducto de evacuación o la chimenea, habrá sido captado por el agua. (IDAE 2007.p.137).

Este es el procedimiento que se utiliza de forma práctica en las calderas no equipadas con calorímetros en sus circuitos de agua, lo que obliga a efectuar un balance energético de la energía producida por la combustión. Para cualquiera de estos dos procedimientos debemos indicar que los rendimientos obtenidos son referidos al Poder Calorífico Inferior PCI del combustible, a pesar de que en las calderas de condensación se aprovecha también parte del calor latente de los humos. Por esta razón, el rendimiento de las calderas de condensación, definido sobre PCI, puede ser superior a la unidad (o al 100%), mientras que sería siempre inferior a la unidad si fuera referido al PCS. (IDAE 2007.p.137).

2.2.8. DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO POR EL CALOR ÚTIL APORTADO AL AGUA (Método directo)

Este procedimiento exige medir el caudal de agua que circula por la caldera, y su temperatura a la entrada y a la salida de la misma. El rendimiento vendrá definido por la siguiente ecuación: IDAE (2007.p.140).

$$\eta = \frac{\dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T}{F \cdot PCI}$$

donde:

η : Rendimiento (%)

\dot{m} : Caudal de agua en la caldera (kg/s)

c_p : Calor específico del agua (kJ/kg °C)

$\Delta T = T_s - T_e$ (°C)

T_s : Temperatura del agua a la salida de la caldera (°C)

T_e : Temperatura del agua a la entrada de la caldera (°C)

F: Consumo de combustible (kg/h)

PCI: Poder calorífico inferior del combustible (kJ/kg)

2.2.9. DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO POR LAS PÉRDIDAS EN CALDERA Y EN GASES DE COMBUSTIÓN (Método indirecto)

❖ Pérdidas a través del cuerpo de la caldera

Las pérdidas de calor a través del cuerpo de la caldera tienen lugar siempre por conducción, convección y radiación. Las pérdidas por conducción se producen en los apoyos de la caldera. Normalmente no se toman en consideración debido a su escasa entidad. (IDAE 2007.p.150).

Las pérdidas por convección y radiación se producen a través de la envolvente de la caldera y dependen de los siguientes factores:

- La temperatura media del agua en la caldera.
- La temperatura del aire de la sala de máquinas, en cuanto que afecta a las pérdidas por convección. (IDAE 2007.p.152).
- La temperatura de los cerramientos de la sala de máquinas, que afecta

a las pérdidas por radiación.

- Las características de la caldera en lo referente al espesor y conductividad térmica del material aislante del cuerpo y la superficie del mismo.

El valor instantáneo de estas pérdidas se determina por vía experimental. A una temperatura constante e igual a 80 °C, en calderas estándar este valor de pérdidas está entre el 1,5 y el 5%, y en calderas de baja temperatura y condensación entre un 0,5 y un 2%. En ambos casos el desplazamiento por el intervalo dado es inversamente proporcional a la potencia de la caldera, es decir, el valor de las pérdidas por convección y radiación disminuye al aumentar la potencia de la caldera. (IDAE 2007.p.160).

❖ **Pérdidas de calor sensible en los humos**

Estas pérdidas dependen fundamentalmente de los siguientes factores:

- La temperatura de los humos, o mejor dicho, la diferencia de temperatura entre la de los humos y la del aire comburente.
- El calor específico de los humos.

El exceso de aire empleado en la combustión, que se manifiesta en el porcentaje de CO₂ en los humos y afecta al caudal másico o volumétrico de los mismos. (IDAE 2007.p.165).

Estas pérdidas suelen estar comprendidas entre el 6 y el 10% de la potencia nominal, incrementándose notablemente este valor en caso de mantenimiento deficiente. (IDAE 2007.p.165).

El cálculo de estas pérdidas puede efectuarse según IDAE (2007.p.165) con una de estas ecuaciones:

$$P_h = \frac{\dot{m} \cdot c_{pm} \cdot \Delta T}{F \cdot PCI} \quad \text{o} \quad P_h = \frac{\dot{V} \cdot c_{pv} \cdot \Delta T}{F \cdot PCI}$$

donde:

Ph : Pérdidas en humos (%)

\dot{m} : Caudal másico de los humos (kg/s)

\dot{V} : Volumen másico de los humos (m³/s)

c_{pm} : Calor específico de los humos (kJ/kg °C)

c_{pv} : Calor específico de los humos (kJ/m³ °C)

$\Delta T = T_h - T_a$ (°C)

T_h : Temperatura de los humos a la salida de la caldera (°C)

T_a : Temperatura del aire ambiente de la sala de calderas (°C)

F: Consumo de combustible (kg/h)

PCI: Poder calorífico inferior del combustible (kJ/kg)

En estas fórmulas se ve la importancia que tiene la temperatura de los humos en el valor de las pérdidas. Ello justifica que las calderas de baja temperatura y condensación mejoren entre un 2 y un 3% el rendimiento instantáneo frente a las estándar por la menor temperatura de salida de sus humos. A continuación se reproducen los valores del calor específico medio de los distintos gases de la combustión a diferentes temperaturas. (IDAE 2007.p.168)

Tabla 4. Calor específico de distintos gases de combustión

Calor específico de distintos gases de combustión (kJ/m ³ °C)					
Temperatura °C	O ₂	CO ₂	N ₂	H ₂ O	SO ₂
100	1,2156	1,7376	1,2742	1,5706	1,7414
200	1,2910	1,8389	1,2809	1,5811	1,7849
300	1,3408	1,9139	1,2931	1,5936	1,8276
400	1,3764	1,9741	0,8837	1,6079	1,8695
500	1,4036	2,0256	1,3115	1,6233	1,9101

Fuente: Fuente: IDAE (2007.p.170)

❖ Pérdidas por inquemados

Estas pérdidas son debidas fundamentalmente a la presencia de monóxido de carbono CO en los gases y en la práctica, si la combustión es correcta, son muy pequeñas. Su

valor suele estar muy por debajo del 0,5% de la potencia útil de la caldera con combustibles gaseosos. (IDAE 2007.p.171)

El cálculo se puede llevar a cabo con la ecuación: (IDEA 2007.p.171)

$$p_i = \frac{PC_{CO}}{PCI} \cdot CO$$

donde:

CO: es el contenido de monóxido de carbono, en %

PC_{CO}: es el poder calorífico del monóxido de carbono y PCI el del combustible (ambos deberán estar en las mismas unidades)

En los combustibles líquidos y sólidos la producción de inquemados suele ser visible por la aparición de humos negros. (IDAE 2007.p.172). Para estos combustibles también es de aplicación el método BACHARACH que permite la detección de los inquemados sólidos: la muestra de gases se hace pasar por un dispositivo donde los inquemados “manchan” un patrón cuyo nivel de ennegrecimiento comparado en una escala aporta la cantidad de inquemados contenidos en los humos. Si bien este procedimiento no permite cuantificar energéticamente las pérdidas por inquemados, a continuación se indica una estimación obtenida por procedimientos experimentales:

Índice de BACHARACH	1	2	3	4	5	6
% de pérdidas sobre el combustible	0,7	1,3	2,4	3,5	4,7	6

Con todo ello, el rendimiento energético de la caldera vendrá definido por la expresión:

$$\eta = 100 - (P_{rad+conv} + P_h + P_i)$$

En la práctica, en el sector de la edificación se suele determinar el rendimiento de la combustión en lugar del rendimiento de la caldera, es decir, se obvia en los cálculos las pérdidas por el cuerpo de la caldera (radiación y convección) dada la dificultad de su medición y la baja incidencia respecto a los parámetros que interesa controlar y que son la cuantía de las distintas materias contenidas en los humos y su temperatura. (IDAE 2007.p.188).

2.2.10. Rendimiento de calderos respecto al aire.

Entre las alternativas disponibles para incrementar la eficiencia energética en procesos de combustión se encuentra la combustión con aire enriquecido con oxígeno, la cual consiste en aumentar la concentración de oxígeno en el aire atmosférico hasta llegar a niveles de hasta el 100%. En el presente estudio se realiza una revisión de la fenomenología del proceso de combustión con aire enriquecido, haciendo énfasis en aspectos termodinámicos, químicos y cinéticos. Así mismo, se presentan los métodos de obtención de aire enriquecido con oxígeno más aplicado hasta el momento, como la adsorción por presiones oscilantes en tamices moleculares y destilación criogénica, y los que se encuentran en estado de desarrollo, como las membranas de separación. Finalmente, se revisan las aplicaciones más comunes de la combustión con aire enriquecido, como procesos industriales de alta temperatura, captura y secuestro de CO₂, y motores de combustión interna, al igual que los avances en investigación. (Cacua y Herrera 2013.p. 65).

La combustión con aire enriquecido ha demostrado ser una técnica eficiente de aprovechamiento de la energía de combustibles fósiles y alternativos de bajo poder calorífico. Esta técnica genera cambios considerables en los fenómenos cinéticos y termodinámicos de la combustión, los cuales repercuten en la variación de los patrones de transferencia de calor y formación de especies químicas contaminantes. (Cacua y Herrera 2013.p.75)

Actualmente existen distintas tecnologías para la producción del oxígeno que se emplea en la combustión con aire enriquecido, a partir de la separación de aire; la

destilación criogénica es la tecnología más madura. Sin embargo, las membranas poliméricas para separación de aire representan la mejor opción para el enriquecimiento a bajas concentraciones de O₂ a mediana y pequeña escalas, por lo que es conveniente avanzar en investigaciones de desarrollo de materiales que permitan mayor selectividad y menores costos de fabricación e implementación de esta tecnología. (Cacua y Herrera 2013.p.82).

La aplicación de la combustión con aire enriquecido se ha extendido principalmente a los procesos industriales de alta temperatura, en los cuales se han alcanzado altos niveles de eficiencia y aumento de la calidad en los productos. A su vez, esta técnica de combustión ha mostrado importantes mejoras en emisiones contaminantes y eficiencia térmica en los motores de combustión interna. También, se ha mostrado cómo la combinación de la combustión con aire enriquecido y la recirculación de gases de combustión (combustión oxicomcombustible) han favorecido en los últimos años la reducción de costos en los procesos de captura y secuestro de CO₂. (Cacua y Herrera 2013.p.85)

En Colombia se han dado avances importantes en la investigación y la implementación de la combustión con aire enriquecido en las industrias de alta temperatura. No obstante, se requiere avanzar en el desarrollo de materiales compatibles con alta temperatura, la integración eficiente de las membranas de separación en procesos industriales y una mayor difusión de las características y ventajas de esta técnica en el ahorro energético y la reducción de emisiones contaminantes. (Cacua y Herrera 2013.p.88).

2.3. Definición de términos básicos

Combustible: es cualquier material que es plausible de liberar energía una vez que se oxida de manera violenta y con desprendimiento de calor. Normalmente, el combustible liberará energía de su estado potencial a un estado utilizable, ya sea de modo directo o mecánicamente, produciendo como residuo el calor. Es decir, los combustibles son sustancias susceptibles de ser quemadas o que tienden a quemarse. (IDAE 2007.p.79)

Combustible de Petróleo: La palabra petróleo deriva de los vocablos petro (piedra) y óleum (aceite); es decir, “aceite de piedra”. Conocido también como “crudo” o “petróleo crudo”, es una mezcla compleja de hidrocarburos líquidos, compuesto en mayor medida de carbono e hidrógeno; con pequeñas cantidades de nitrógeno, oxígeno y azufre, formado por la descomposición y transformación de restos animales y plantas que han estado enterrados a grandes profundidades durante varios siglos. La presencia en diversas cantidades de cada uno de los elementos químicos (orgánicos e inorgánicos) que componen el petróleo, determinan sus características particulares como el color, densidad, viscosidad entre otras. (IDAE 2007.p.81)

Gas natural: es una mezcla de hidrocarburos livianos en estado gaseoso, que en su mayor parte está compuesta por metano y etano, y en menor proporción por propano, butanos, pentanos e hidrocarburos más pesados. Si el contenido de hidrocarburos de orden superior al metano es alto se le denomina gas rico, de lo contrario se conoce como gas seco. Las principales impurezas que puede contener la mezcla son vapor de agua, gas carbónico, nitrógeno, sulfuro de hidrógeno y helio, entre otros. (IDAE 2007.p.91)

Rendimiento termodinámico: es un concepto asociado al trabajo realizado por las máquinas. Todo el mundo sabe que obtener un buen rendimiento supone obtener buenos y esperados resultados con poco trabajo. Este concepto se define como el cociente entre el trabajo útil o el calor (energía) que realiza una máquina en un intervalo de tiempo determinado y el trabajo total entregado a la máquina en ese intervalo, estableciéndose las relaciones de trabajo útil /trabajo total también, Potencia útil / potencia total. (IDAE 2007.p.102).

Calderos: es un recipiente metálico, cerrado, destinado a producir vapor o calentar agua, mediante la acción del calor a una temperatura superior a la del ambiente y presión mayor que la atmosférica. A la combinación de una caldera y un sobrecalentado se le conoce como generador de vapor. El principio básico de funcionamiento de las calderas consiste en una cámara donde se produce la combustión, con la ayuda del aire

comburente y a través de una superficie de intercambio se realiza la transferencia de calor. (IDAE 2007.p.130).

Caldero piro tubular: Como su nombre lo indica, en esta caldera el humo y los gases calientes circulan por el interior de los tubos y el agua se encuentra por el exterior. Estas calderas también son denominadas también igneotubulares o piro tubulares y pueden ser verticales u horizontales. (IDAE 2007.p.62)

Vapor: uno de los usos más populares del término permite dar cuenta que el vapor es el estado gaseoso que adquieren los fluidos como consecuencia de la acción del calor. Fluido gaseoso cuya temperatura es inferior a su temperatura crítica. Su presión no aumenta al ser comprimido, sino que se transforma parcialmente en líquido. (IDAE 2007.p.81)

Vapor de agua: es el gas obtenido a partir de la ebullición (el proceso físico por el cual la totalidad de la masa de un líquido se convierte al estado gaseoso) o de la evaporación (el mismo proceso, pero que puede concretarse a una temperatura indistinta y sin que toda la masa del líquido llegue a su punto de ebullición) del agua líquida o de la sublimación (el cambio del estado sólido al gaseoso) del hielo. Este vapor no tiene olor ni color. (IDAE 2007.p.120)

Sistema de trigeneración: La trigeneración es un procedimiento similar a la cogeneración en el que se consigue frío, además de energía eléctrica y calor, típicos de la cogeneración, todo a partir de unos mismos combustible o una misma fuente de energía primaria. **Wu (2006)**. La aparición de los sistemas de tri generación tienen su origen en la llamada generación distribuida descentralizada, que consiste en localizar el sistema de generación en el mismo lugar donde se encuentran los usuarios finales, o muy cerca de ellos (Wu, 2006.p.49)

La forma tradicional de obtener estos productos energéticos es por separado: consumir la electricidad de la red, producir el calor mediante calderas de combustible fósil y el frío a partir de ciclos de refrigeración por compresión, que consumen energía eléctrica.

CAPITULO III
MARCO METODOLÓGICO.

3.1. Hipótesis de la Investigación.

3.1.1. Hipótesis General.

El uso del gas natural presenta mayor rendimiento termodinámico y facilita el mantenimiento en los calderos piro tubulares para la producción de vapor saturado en comparación con el petróleo.

3.1.2. Hipótesis Específicas.

El uso del gas natural presenta mayor rendimiento termodinámico en los calderos piro tubulares para la producción de vapor saturado, en comparación con el petróleo.

El uso del gas natural facilita el mantenimiento en los calderos piro tubulares para la producción de vapor saturado en comparación con el petróleo.

3.2. Variables de estudio.

Variables Independientes: Uso de combustible petróleo y gas natural para calderos piro tubulares.

Variables Dependientes: Rendimiento termodinámico y Factor de mantenimiento

3.2.1. Definición conceptual.

a. Poder Calórico.

❖ **Volumen de Combustible líquido:** El valor másico del combustible se cuantificara a través de su poder calórico establecido por la unidad de volumen el que se cuantifica: Para una densidad: $0,85 \text{ g/cm}^3$ y un poder calórico de 10100 kcal/kg .

❖ **Volumen de combustible gaseoso:** El poder calorífico de un gas es la cantidad de calor desprendido en la combustión completa de una unidad de volumen de dicho gas en condiciones normales de presión y temperatura (0 °C y 1 atm); en este sentido podemos diferenciar el Poder Calorífico Superior (PCS) y el Poder Calorífico Inferior (PCI). Si bien el PCS del gas nos indica el calor total obtenido en su combustión completa aunque no todo ese calor es directamente aprovechable en el aparato de consumo. El PCI nos indica el calor que realmente podemos utilizar ya que una parte del calor total producido se emplea en mantener en estado vapor el agua que forma parte de los productos de la combustión. Gas natural 44000 kJ/kg.

b. Rendimiento

❖ **Rendimiento termodinámico**

La energía producida o energía salida del sistema (E_{sal}) es siempre menor que la energía suministrada o energía entrada al sistema (E_{ent}). Dependiendo del tipo de máquina térmica, la transferencia de estas energías se realizará en forma de calor, Q , o de trabajo, W .

❖ **Rendimiento en calderos**

El calor producido al quemarse un combustible en una caldera no se transmite íntegramente al agua de calefacción, se producen unas pérdidas que serán de mayor o menor magnitud dependiendo del diseño de la caldera y de la regulación de la combustión. El rendimiento útil de una caldera será:

$$\eta_u = \frac{P_u}{P_c} \cdot 100 \text{ en } \%$$

siendo:

P_u = Potencia útil de la caldera.

P_c = Potencia calorífica obtenida al quemar un combustible.

❖ **Factor de mantenimiento.**

Esta variable está compuesta por los servicios de mantenimiento que el sistema de caladero piro tubular necesita entre estos aspecto esta variable se cuantificará anualmente en soles y los rubros a evaluar son:

- ❖ Mantenimiento mecánico
- ❖ Mantenimiento eléctrico.
- ❖ Protocolo de simulación de fallas
- ❖ Análisis de combustión de gases.

3.2.2. Definición operacional

La definición operacional de las variables se presenta en el cuadro 5.

Tabla 5: Definición operacional de las variables del estudio

DEFINICIÓN DE VARIABLES		
Variables Independientes	Indicadores	Unidades
Combustible petróleo y gas natural para calderos piro tubulares	Volumen	m ³ /h x BHP
	Poder Calorico de petróleo Poder Calorico de gas natural	10.931 kcal/kg 12.474 kcal/kg
Variables Dependientes	Indicadores	Unidades
Rendimiento termodinámico Factor de mantenimiento	Rendimiento	Porcentaje
	Servicio de mantenimiento	Soles / año

3.3. Tipo y Nivel de la investigación

El tipo de investigación cuantitativa y aplicada, porque está orientado a resolver un problema práctico del fenómeno industrial. (Gomero, 2012.p.32). De acuerdo a las características del problema de investigación, se trata de un estudio de tipo aplicada porque está “orientada a demostrar la validez de ciertas técnicas bajo las cuales se aplican principios científicos que demuestran su eficacia en la modificación o transformación de un hecho o fenómeno” (Sánchez y Reyes, 1998).

Sigue un control riguroso y se acudirá a la estadística para procesar sus datos, se seguirá la lógica del método científico: problema, hipótesis, contrastación y conclusiones. (Gomero, 2012.p.36).

El enfoque de la investigación es cuantitativo, porque es secuencial y probatorio. Prueba la hipótesis, mide las variables y hace un análisis de causa - efecto. (Gomero, 2012.p.37).

De nivel explicativa, porque se investiga sobre los componentes de los hechos o fenómenos ya que se investiga para buscar soluciones sobre hechos facticos encontrados en la realidad (Gomero, 2012.p.37).

3.4. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación que se aplicó ha sido el experimental. Se utilizará el diseño Experimental, con un grupo experimental con un caldero piro tubular con dos tipos de combustibles petróleo y gas natural, donde los datos van hacer tratado con la estadística descriptiva y estadística inferencial, las variables mediante sus tratamiento se analizarán sobre la variable dependiente y que efectos a ocasionará la variable independiente.

En la investigación se realizaron los procesamientos de los datos y sus síntesis mediante los programas estadísticos: SPSS Statistics V.17, MINITAB V. 14 y STATGRAPHICS

Centurión X V. II en el marco de la estadística descriptiva y la estadística inferencial como lo recomienda Calzada (1970.p.72) para los análisis estadísticos para hacer las estimaciones de las medidas de tendencia central para la comparación de las muestras de los resultado de los instrumentos a fin de la verificación de las hipótesis planteadas en la investigación en las distribución subyacente de donde se obtuvieron las observaciones de su tendencia normal para el uso de la estadística paramétrica y realizar las pruebas y sobre los métodos de análisis estadístico de los siguientes temas de intervalos de confianza, principios de las pruebas de significancia, comparación de dos medias o proporciones muestrales, T Student y análisis de variancia.

Se utilizó los siguientes estadígrafos:

- La estadística descriptiva: Media, mediana, moda y media aritmética.
- La estadística inferencial, para la prueba de hipótesis se utilizó la “t” de Student, medidas de dispersión, desviación estándar, la varianza y la regresión estándar.
- Los análisis se realizaron con un nivel de significancia estadística del 95%.
- Prueba de normalidad de Kolmogorov- Smirnov.

3.5. Población y Muestra

3.5.1. Población

La población está compuesta por todos los calderos piro tubulares que tienen como combustibles liquido como es el petróleo y combustible gaseoso como es el gas natural con las mismas características tecnológicas de funcionamiento que permiten hacer la comparación del uso de los combustibles indicados. De otro lado, nuestro diseño experimental requerirá este tipo de estudio, pues en el experimento no nos interesó tanto una representatividad absoluta o exacta de los calderos sujetos de una población, sino una cuidadosa selección de las maquinarias seleccionadas aleatoriamente de una población de 40 calderos de la empresa TERMODINAMICA S.A.

3.5.2. Muestra

La muestra estuvo constituida por dos calderos piro tubulares uno con uso de combustible líquido y otro caldero piro tubular con combustible gaseoso gas natural al ser la población pequeña se seleccionó en forma aleatoria (Ary, Jacobs y Razabieh ,1993.p.59), se trabajó con la muestra poblacional conformada por estos dos equipos.

La muestra se dividió en dos grupos un caldero piro tubular que usara combustible líquido: Petróleo y otro caldero piro tubular que usará combustible gaseoso gas natural, facilitados por la empresa TERMODINAMICA S.A.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la recopilación de datos durante el proceso de investigación, se han elaborado las siguientes técnicas:

- a. **La observación:** Percepción orientada en la obtención de la información
- b. **Examen** de los rendimientos termodinámicos y de los calderos.
- c. **Fichaje:** Se utilizó esta técnica para recoger información teórica, para elaborar el trabajo de investigación y el marco teórico, que se expresa a través de las fichas bibliográficas y técnicas para el control de los factores de mantenimientos y servicios.

Los instrumentos que se utilizaron fueron:

- a. **Lista de cotejo** permitió recoger información sobre los rendimientos y servicios a fin de realizar la comparación en función de las variables e hipótesis planteadas.

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Los tratamientos estadísticos usarán los siguientes estadígrafos:

❖ La estadística descriptiva: Media, mediana, moda y media aritmética.

❖ La estadística inferencial, para la prueba de hipótesis se utilizó la “t” de Student, medidas de dispersión, desviación estándar, la varianza y la regresión estándar así como la comparación de muestras mediante el Statgraphics, también se realizó la optimización de los valores comparativos

❖ Los análisis se realizaron con un nivel de significancia estadística del 95%.

❖ Prueba de normalidad de Kolmogorov- Smirnov.

Cabe mencionar que se usó el software SPSS Statistical Program for Social Science (versión 22), para el procesamiento de la información.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. Resultados de la parte experimental características de los calderos

Se realizaron las prácticas experimentales para observar el comportamiento de los calderos piro tubulares de diferentes combustibles de petróleo y de gas natural que seguidamente se reportan en su manipulación de los parámetros de combustión, el cual para nuestro caso fue la variación de consumo de combustible volumen: m³ /h. rendimiento Kcal/ h, y servicios de mantenimientos de los calderos piro tubulares.

4.1.1. Características del caldero piro tubular de 100 BHP con combustible de petróleo.

Tabla 6. Características de diseño y funcionamiento del caldero piro tubular de 100 BHP con combustible de petróleo D₂

Características	Valores
Capacidad	100 BHP
Operación	Modulada
Producción de vapor	3450 Libras/Hora
Presión de diseño	150 Psig
Presión de prueba hidrostática	225 Psig
Combustible	Combustible No. 2
Piloto	Combustible No. 2
Atomización (ACPM)	Por presión
Número de pasos	Tres pasos
Características eléctricas	: 220 voltios Para motores y 110 voltios 1/60 Para controles

La caldera es totalmente automática para producción de vapor, consistente de tubos de fuego de tres pasos y que produce 3450 Libras de vapor por hora desde y hasta 212°F, para trabajar a la altura y condiciones ambientales establecidas por el cliente.

a. Tamaño, Capacidad y Eficiencia

La caldera será de tipo horizontal piro tubular, con capacidad de salida de 100 BHP, diseñada para una presión de trabajo máxima de 150 Psig. La caldera tendrá capacidad para producir continuamente 3450 Libras de vapor/hora desde y hasta 212°F. Se garantiza un vapor de 99.7% seco.

Se garantiza para producir su capacidad nominal en forma permanente y para mantener una eficiencia térmica mínima del 80% cuando se trabaja con Gas natural como combustible y del 83% cuando se trabaja con combustible No. 2.

b. Diseño

Se comprobó que el caldero piro tubular de 100 BHP de combustible de petróleo, tiene una cámara de combustión y tubos de retorno distribuidos en forma pareja, y dispuestos de tal manera que permiten la libre circulación de agua y un flujo uniforme de gases de combustión en las placas trasera y delantera y en los tubos de retorno.

Los orificios de inspección fueron de tamaño y cantidad adecuada para permitir un fácil acceso a la parte del agua de la caldera.

Presentó una tapa de inspección en la parte más baja de la placa tubular delantera que facilitó la limpieza del fondo de la caldera.

Se comprobó que la caldera posee las puertas embisagradas en el frente y en la parte posterior para proporcionar acceso total a la cámara posterior y a los tubos de retorno, sin necesidad de remover refractarios o particiones y dando facilidad para limpieza, mantenimiento o cambio de cualquiera de los tubos desde la parte delantera o desde la posterior, sin necesidad de remover quemadores o aparatos de control.

Las puertas están provistas de empaques de fibra de vidrio para evitar escapes de gases y su diseño permitió manipular por una sola persona; por el tesista.

Se comprobó que la caldera estará libre de deflectores o refractarios interiores los cuales son necesario remover y tener acceso a su interior, pero aquellos que forman parte integrante de las puertas o quemadores y se desplazaron simultáneamente con ellos lo que permitió que la puerta trasera disponga de una mirilla de observación la cual dará una visión de la combustión cuando el quemador empezó a funcionar operando.

Se determinó que la caldera estuvo cubierta con aislamiento de manta mineral de 2" de espesor, protegida con lámina C.R. calibre 20 y opcionalmente con lámina galvanizada o con lámina de acero inoxidable.

c. Materiales de Construcción.

El vaso de presión de la caldera se comprobó que estuvo fabricado con lámina de acero de Calidad Certificada de las siguientes características:

□ **Cilindro exterior:** Lámina de acero al carbono en Calidad Certificada ASTM A 285 grado C o ASTM A 515 Grado 70.

□ **Placatubos:** Lámina de acero al carbono en calidad ASTM A 285 grado C o 515 grado 70.

□ **Cámara de combustión:** Corrugada tipo Morrison en lámina de acero al carbono en calidad ASTM A 285 grado C.

□ **Tubos de Humo:** Tubos sin costura, de 2-1/2" de diámetro exterior en calidad certifica ASTM A 192.

□ **Accesorios:** Las uniones y accesorios en el cuerpo de presión de la caldera se comprobó que fueron de clase 3.000 según las normas del Código ASME.

□ **Fabricación:** Se determinó que el cuerpo de presión de la caldera fue totalmente soldado por fusión eléctrica de penetración completa. Las soldaduras se sometieron a inspección radiográfica de acuerdo con lo ordenado por el Código ASME en sus secciones

pertinentes y se comprobó que esta soldado íntegramente el cuerpo de presión y fue sometido a tratamiento térmico de normalización para eliminar los esfuerzos residuales producidos durante la soldadura, se observó que los tubos se fijaron y sellaron sobre sus respectivos placa tubos mediante expandido y rebordeado.

d. Evaluación de las normas de fabricación

En la evaluación de las calderas se observó que son fabricadas con el cumplimiento de las normas de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos ASME vigente con sus respectivos adendas actualizadas hasta la fecha de iniciación de la construcción de la caldera. Cumple además con el Código Eléctrico Americano, NEMA y las normas de la Underwriters Laboratories, salvo por los elementos de construcción europea tales como motores, contactores, etc., que serán de marca Siemens, Telemecanique, o similar y que cumplen con normas europeas reconocidas. Adicionalmente Calderas Continental Ltda. Cuenta con la certificación ISO 9001 para fabricación de calderas de vapor y equipos de calentamiento de agua.

e. Evaluación del quemador y Accesorios de manejo de combustible

Se comprobó que la caldera está equipada con una unidad de combustión con ACPM, el suministro también incluye los siguientes accesorios para trabajo con ACPM.

- Boquilla principal de flujo variable, marca DELAVAN.
- Bomba para combustible, marca VIKING.
 - Válvulas solenoides para piloto y principal, marca ASCO, DANFOSS.
- Válvula reguladora de flujo de combustible.
- Switch detector de aire de combustión, marca CLEVELAND.
- Válvula de alivio de presión de combustible, marca TECVAL.
 - Filtro de combustible

f. Evaluación de los controles del quemador.

En la evaluación se comprobó que los controles del quemador fueron de tipo Modulados e incluyen:

- Control de límite de presión para arrancar y detener la operación del quemador en forma automática. Marca HONEYWELL.

- Control potenciómetro actuado por presión de vapor, para variar la operación del quemador en relación con la demanda, marca HONEYWELL

- Control dual de cierre por bajo nivel de agua para apagar la caldera cuando el nivel descienda a un mínimo seguro. Marca Mc. DONELL MILLER 157.

- Control adicional por medio de electrodo sumergido marca WARRICK.

- Control de combustión tipo electrónico marca FIREYE o HONEYWELL con unidad programadora de ciclos de pre purga y de post-purga, con protección contra falla de la llama. Las interrupciones de seguridad requerirán de rearme manual.

- Control para el motor del quemador con protección térmica contra sobrecarga y bajo voltaje.

- Interruptor magnético para el circuito de controles, luces para indicar fuerza conectada, llama apagada y nivel bajo de agua.

Se determinó que todos los controles estuvieron montados en un tablero localizado en un costado de la caldera, facilitando el servicio del quemador y la caldera, protegido contra posibles daños por agua, combustible o calor de los gases de combustión.

g. Evaluación de los otros accesorios y controles

En la evaluación se encontró los accesorios y controles siguientes:

Válvulas de seguridad americanas, de conformidad con el Código ASME. Marca KUNKLE

Una columna de agua Mc. Donnell & Miller la cual incluye también el cierre primario por bajo nivel de agua para detener automáticamente la operación del quemador cuando el nivel descienda a un mínimo predeterminado.

Manómetro de presión de vapor que estará montado al frente de la caldera, con tubo de sifón, grifo de cierre y conexión de purga.

Una válvula de cierre de alimentación de agua y válvula check instaladas a la entrada de agua de la caldera.

Un termómetro para gases de salida, montado en la conexión de la chimenea de la caldera.

Conjunto de válvulas para desfogue inferior compuesto por dos (2) válvulas de cierre rápido tipo cuatro tornillos y una válvula de cierre lento tipo globo.

Switch detector de presión de aire en el plenum que evita que la caldera se encienda mientras no exista suficiente flujo de aire.

4.1.1.1. Pruebas sobre el caldero piro tubular de 100 BHP con combustible de petróleo.

Se presenta seguidamente las pruebas de evaluación de su funcionamiento

Prueba hidrostática de conformidad con el Código ASME, en presencia del Interventor o su delegado con un valor de 225 Psig y se firmó el acta correspondiente.

Se realizaron los análisis radiográficos realizados en el cuerpo de las calderas, certificados de calidad de la lámina y constancia de normalización térmica de las mismas.

Las pruebas de funcionamiento en presencia del Interventor incluirá los siguientes ajustes:

- Ajuste operacional de controles
- Revisión y verificación de los controles de seguridad
- Registro de temperatura de la chimenea, la cual no excederá en 125°F la temperatura de vapor a la presión de prueba.
- Análisis de los gases de salida de la chimenea que certifiquen una adecuada combustión y una eficiencia garantizada.

Se comprobó todos los datos establecidos en el cuadro siguiente.

Tabla 7. Resultados de la evaluación de las características de diseño y funcionamiento del caldero piro tubular de 100 BHP con combustible de petróleo D₂

Características	Valores
Capacidad	100 BHP
Operación	Modulada
Producción de vapor	3450 Libras/Hora
Presión de diseño	150 Psig
Presión de prueba hidrostática	225 Psig
Combustible	Combustible No. 2
Piloto	Combustible No. 2
Atomización (ACPM)	Por presión
Número de pasos	Tres pasos
Características eléctricas	: 220 voltios Para motores y 110 voltios 1/60 Para controles

4.1.1.2. Evaluación del sistema de alimentación de agua

Se comprobó que el sistema tiene un tanque de retorno de condensados metálico tipo dúplex, cilíndrico horizontal de galones de capacidad provisto de conexiones para retorno de alta presión, retorno de baja presión ventilación, rebose, limpieza, succión de las bombas, control de nivel de agua de tipo flotador montado sobre tapa de inspección, nivel visible de vidrio con sus correspondientes registros y termómetro.

El tanque estará montado sobre bases de apoyo metálicas y será construido con lámina de acero HR de 3/16" de espesor para el cuerpo y de 1/4" de espesor para las tapas. Se observó que está pintado exteriormente con esmalte de acabado.

En el trabajo en conjunto con la caldera, se determinó que existe una motobomba para agua caliente, para inyección de la caldera, marca HIDROMAC o similar con capacidad mínima de 25 GPM para una presión de 150 Psig, accionadas por motores eléctricos trifásicos estándar marca SIEMENS o similar. El conjunto bomba, motor y acople estará

montado en una base unitaria. El suministro incluye los siguientes elementos para la motobomba:

- Conjunto de accesorios tales como filtro y válvula de compuerta en la succión de la bomba
- Arrancador termo magnético con protección para sobrecarga y bajo voltaje, el cual estará integrado al tablero general de controles de la caldera.

4.1.2. Características del caldero piro tubular de 100 BHP con combustible de gas natural.

Tabla 8. Características de diseño y funcionamiento del caldero piro tubular de 100 BHP con combustible de gas natural

Características	Valores
Capacidad	100 BHP
Operación	Modulada
Producción de vapor	3450 Libras/Hora
Presión de diseño	150 Psig
Presión de prueba hidrostática	225 Psig
Combustible	Gas natural
Piloto	Quemador de gas natural
Atomización (ACPM)	Por presión
Número de pasos	Tres pasos
Características eléctricas	: 220 voltios Para motores y 110 voltios 1/60 Para controles

La caldera es totalmente automática para producción de vapor, consistente de tubos de fuego de tres pasos y que produce 3450 Libras de vapor por hora desde y hasta 212°F, para trabajar a la altura y condiciones ambientales establecidas por el cliente.

h. Tamaño, Capacidad y Eficiencia

La caldera será de tipo horizontal piro tubular, con capacidad de salida de 150 BHP, diseñada para una presión de trabajo máxima de 150 Psig. La caldera tendrá capacidad para producir continuamente 3450 Libras de vapor/hora desde y hasta 212°F. Se garantiza un vapor de 99.9% seco.

Se garantiza para producir su capacidad nominal en forma permanente y para mantener una eficiencia térmica mínima del 80% cuando se trabaja con Gas natural como combustible y del 83% cuando se trabaja con combustible D₂.

i. Diseño

Se comprobó que el caldero piro tubular de 100 BHP de combustible de gas natural, tiene una cámara de combustión con un quemador de gas y tubos de retorno distribuidos en forma pareja, y dispuestos de tal manera que permiten la libre circulación de agua y un flujo uniforme de gases de combustión en las placas trasera y delantera y en los tubos de retorno.

Los orificios de inspección fueron de tamaño y cantidad adecuada para permitir un fácil acceso a la parte del agua de la caldera.

Presentó una tapa de inspección en la parte más baja de la placa tubular delantera que facilito la limpieza del fondo de la caldera.

Se comprobó que la caldera posee las puertas embisagradas en el frente y en la parte posterior para proporcionar acceso total a la cámara posterior y a los tubos de retorno, sin necesidad de remover refractarios o particiones y dando facilidad para limpieza, mantenimiento o cambio de cualquiera de los tubos desde la parte delantera o desde la posterior, sin necesidad de remover quemadores o aparatos de control.

Las puertas están provistas de empaques de asbesto para evitar escapes de gases y su diseño permitió manipular por una sola persona; por el tesista.

Se comprobó que la caldera estará libre de deflectores o refractarios interiores los cuales son necesario remover y tener acceso a su interior, pero aquellos que forman parte integrante de las puertas o quemadores y se desplazaron simultáneamente con ellos lo que permitió que la puerta trasera disponga de una mirilla de observación la cual dará una visión de la combustión cuando el quemador empezó a funcionar operando.

Se determinó que la caldera estuvo cubierta con aislamiento de manta mineral de 2" de espesor, protegida con lámina C.R. calibre 20 y opcionalmente con lámina galvanizada o con lámina de acero inoxidable.

j. Materiales de Construcción.

El vaso de presión de la caldera se comprobó que estuvo fabricado con lámina de acero de Calidad Certificada de las siguientes características:

□ **Cilindro exterior:** Lámina de acero al carbono en Calidad Certificada ASTM A 285 grado C o ASTM A 515 Grado 70.

□ **Placatubos:** Lámina de acero al carbono en calidad ASTM A 285 grado C o 515 grado 70.

□ **Cámara de combustión:** Corrugada tipo Morrison en lámina de acero al carbono en calidad ASTM A 285 grado C.

□ **Tubos de Humo:** Tubos sin costura, de 2-1/2" de diámetro exterior en calidad certifica ASTM A 192.

□ **Accesorios:** Las uniones y accesorios en el cuerpo de presión de la caldera se comprobó que fueron de clase 3000 según las normas del Código ASME.

□ **Fabricación:** Se determinó que el cuerpo de presión de la caldera fue totalmente soldado por fusión eléctrica de penetración completa. Las soldaduras se sometieron a inspección radiográfica de acuerdo con lo ordenado por el Código ASME en sus secciones

pertinentes y se comprobó que esta soldado íntegramente el cuerpo de presión y fue sometido a tratamiento térmico de normalización para eliminar los esfuerzos residuales producidos durante la soldadura, se observó que los tubos se fijaron y sellaron sobre sus respectivos placa tubos mediante expandido y rebordeado.

k. Evaluación de las normas de fabricación

En la evaluación de las calderas se observó que son fabricadas con el cumplimiento de las normas de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos ASME vigente con sus respectivos adendas actualizadas hasta la fecha de iniciación de la construcción de la caldera. Cumple además con el Código Eléctrico Americano, NEMA y las normas de la Underwriters Laboratories, salvo por los elementos de construcción europea tales como motores, contactores, etc., que serán de marca Siemens, Telemecanique, o similar y que cumplen con normas europeas reconocidas. Adicionalmente Calderas Continental Ltda. Cuenta con la certificación ISO 9001 para fabricación de calderas de vapor y equipos de calentamiento de agua.

l. Evaluación del quemador y Accesorios de manejo de combustible

Se comprobó que la caldera está equipada con una unidad de combustión con ACPM, el suministro también incluye los siguientes accesorios para trabajo con ACPM.

- Boquilla principal de flujo variable, marca DELAVAN.
- Bomba para combustible, marca VIKING.
 - Válvulas solenoides para piloto y principal, marca ASCO, DANFOSS.
- Válvula reguladora de flujo de combustible.
- Switch detector de aire de combustión, marca CLEVELAND.
- Válvula de alivio de presión de combustible, marca TECVAL.
 - Filtro de combustible

m. Evaluación de los controles del quemador.

En la evaluación se comprobó que los controles del quemador fueron de tipo Modulados e incluyen:

- Control de límite de presión para arrancar y detener la operación del quemador en forma automática. Marca HONEYWELL.

- Control potenciómetro actuado por presión de vapor, para variar la operación del quemador en relación con la demanda, marca HONEYWELL

- Control dual de cierre por bajo nivel de agua para apagar la caldera cuando el nivel descienda a un mínimo seguro. Marca Mc. DONELL MILLER 157.

- Control adicional por medio de electrodo sumergido marca WARRICK.

- Control de combustión tipo electrónico marca FIREYE o HONEYWELL con unidad programadora de ciclos de pre purga y de post-purga, con protección contra falla de la llama. Las interrupciones de seguridad requerirán de rearme manual.

- Control para el motor del quemador con protección térmica contra sobrecarga y bajo voltaje.

- Interruptor magnético para el circuito de controles, luces para indicar fuerza conectada, llama apagada y nivel bajo de agua.

Se determinó que todos los controles estuvieron montados en un tablero localizado en un costado de la caldera, facilitando el servicio del quemador y la caldera, protegido contra posibles daños por agua, combustible o calor de los gases de combustión.

n. Evaluación de los otros accesorios y controles

En la evaluación se encontró los accesorios y controles siguientes:

Válvulas de seguridad americanas, de conformidad con el Código ASME. Marca KUNKLE

Una columna de agua Mc. Donnell & Miller la cual incluye también el cierre primario por bajo nivel de agua para detener automáticamente la operación del quemador cuando el nivel descienda a un mínimo predeterminado.

Manómetro de presión de vapor que estará montado al frente de la caldera, con tubo de sifón, grifo de cierre y conexión de purga.

Una válvula de cierre de alimentación de agua y válvula cheque instaladas a la entrada de agua de la caldera.

Un termómetro para gases de salida, montado en la conexión de la chimenea de la caldera.

Conjunto de válvulas para desfogue inferior compuesto por dos (2) válvulas de cierre rápido tipo cuatro tornillos y una válvula de cierre lento tipo globo.

Switch detector de presión de aire en el plenum que evita que la caldera se encienda mientras no exista suficiente flujo de aire.

4.1.2.1. Pruebas sobre el de caldero piro tubular de 100 BHP de combustible de petróleo.

Se presenta seguidamente las pruebas de evaluación de su funcionamiento

Prueba hidrostática de conformidad con el Código ASME, en presencia del Interventor o su delegado con un valor de 225 Psig y se firmó el acta correspondiente.

Se realizaron los análisis radiográficos realizados en el cuerpo de las calderas, certificados de calidad de la lámina y constancia de normalización térmica de las mismas.

Las pruebas de funcionamiento en presencia del Interventor incluirá los siguientes ajustes:

- Ajuste operacional de controles
- Revisión y verificación de los controles de seguridad
- Registro de temperatura de la chimenea, la cual no excederá en 125°F la temperatura de vapor a la presión de prueba.
- Análisis de los gases de salida de la chimenea que certifiquen una adecuada combustión y una eficiencia garantizada.

Se comprobó todos los datos establecidos en el cuadro siguiente.

Tabla 9. Resultados de la evaluación de las características de diseño y funcionamiento del caldero piro tubular de 100 BHP con combustible de gas natural.

Características	Valores
Capacidad	100 BHP
Operación	Modulada
Producción de vapor	3450 Libras/Hora
Presión de diseño	150 Psig
Presión de prueba hidrostática	225 Psig
Combustible	Gas natural
Piloto	Quemador de gas natural
Atomización (ACPM)	Por presión
Número de pasos	Tres pasos
Características eléctricas	: 220 voltios Para motores y 110 voltios 1/60 Para controles

4.1.2.2. Evaluación del sistema de alimentación de agua

Se comprobó que el sistema tiene un tanque de retorno de condensados metálico tipo dúplex, cilíndrico horizontal de galones de capacidad provisto de conexiones para retorno de alta presión, retorno de baja presión, ventilación, rebose, limpieza, succión de las bombas, control de nivel de agua de tipo flotador montado sobre tapa de inspección, nivel visible de vidrio con sus correspondientes registros y termómetro.

El tanque estará montado sobre bases de apoyo metálicas y será construido con lámina de acero HR de 3/16" de espesor para el cuerpo y de 1/4" de espesor para las tapas. Se observó que está pintado exteriormente con esmalte de acabado.

En el trabajo en conjunto con la caldera, se determinó que existe una motobomba para agua caliente, para inyección de la caldera, marca HIDROMAC o similar con capacidad mínima de 25 GPM para una presión de 150 Psig, accionadas por motores eléctricos trifásicos estándar marca SIEMENS o similar. El conjunto bomba, motor y acople estará

montado en una base unitaria. El suministro incluye los siguientes elementos para la motobomba:

- Conjunto de accesorios tales como filtro y válvula de compuerta en la succión de la bomba
- Arrancador termo magnético con protección para sobrecarga y bajo voltaje, el cual estará integrado al tablero general de controles de la caldera.



Figura 04. Selección de los calderos piro tubulares



Figura 05. Evaluación del caldero piro tubular de 100 BHP

4.2. Resultados de la comparación de los combustibles petróleo y gas natural en el rendimiento termodinámico y el mantenimiento en los calderos piro tubulares para la producción de vapor.

4.2.1. Comparación de las variables independientes sobre las dependientes en el rendimiento termodinámico y el mantenimiento en los calderos piro tubulares para la producción de vapor.

En el cuadro siguiente se determinó los valores para la comparación de los combustibles petróleo y gas natural en el rendimiento termodinámico y el mantenimiento en los calderos piro tubulares para la producción de vapor.

Tabla 10: Resultados de la comparación de las variables

Resultados de las variables		
Variables Independientes	Indicadores	Unidades
Combustible petróleo y gas natural para calderos piro tubulares	Volumen de petróleo	0.0009475 m ³ /h x BHP
	Volumen de gas natural	0.02001m ³ /h x BHP
	Poder Calorico de petróleo	10.931 kcal/kg
	Poder Calorico de gas natural	12.474 kcal/kg
Variables Dependientes	Indicadores	Unidades
Rendimiento termodinámico Factor de mantenimiento	Rendimiento de petróleo	83. 5%
	Rendimiento de gas Natural	80.0 %
	Servicio de mantenimiento petróleo	25 200Soles / año
	Servicio de mantenimiento gas natural	21 000Soles / año

a. Comparación para el petróleo en función de su rendimiento.

Muestra 1: Poder Calorico de petróleo

Muestra 2: Volumen de petróleo

Muestra 3: Servicio de petróleo

Selección de la Variable: Rendimiento de petróleo

Muestra 1: 10 valores en el rango de 10.931 a 10.931

Muestra 2: 10 valores en el rango de 0.0009475 a 0.0009475

Muestra 3: 10 valores en el rango de 25190.0 a 25206.0

En este análisis estadístico se procedió a comparar los datos en 3 columnas del archivo de datos actual lo que permitió realizar varias pruebas estadísticas y gráficas para comparar las muestras.

❖ **Resumen estadístico**

Tabla 11. Resumen Estadístico

	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coficiente de Variación</i>
Poder Calorico de petróleo	10	10.931	0	0%
Volumen de petróleo	10	0.0009475	0	0%
Servicio de petróleo	10	25200.3	4.27005	0.0169444%
Total	30	8403.74	12080.0	143.745%

	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>	<i>Sesgo Estandarizado</i>	<i>Curtosis Estandarizada</i>
Poder Calorico de petróleo	10.931	10.931	0		
Volumen de petróleo	0.0009475	0.0009475	0	-1.53093	-1.65985
Servicio de petróleo	25190.0	25206.0	16.0	-1.84	2.62618
Total	0.0009475	25206.0	25206.0	1.6656	-1.73695

En la tabla 11 se calculó varios estadísticos para cada una de las 3 columnas de datos. Para probar diferencias significativas entre las medias de las columnas; hay una diferencia de más de 3 a 1 entre la desviación estándar más pequeña y la más grande, el sesgo

estandarizado y la curtosis estandarizada se encuentran fuera del rango de -2 a +2 para 1 columnas por lo que se indica algo de no normalidad significativa en los datos por lo que se procedió a utilizar la prueba de Kruskal-Wallis para comparar las medianas en lugar de las medias.

○ **Análisis de variancia**

Tabla 12. Tabla ANOVA

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>C l</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	4.23187E9	2	2.11593E9	348142459.5	0.0000
Intra grupos	164.1	2	6.07778	3	
Total	4.23187E9	7			
		2			
		9			

En la tabla 12 presenta la tabla ANOVA donde se descompuso la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 3.48142E8, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

❖ **Comparación de medias**

Tabla13. Tabla de Medias con intervalos de confianza del 95.0%

	<i>Cas os</i>	<i>Medi a</i>	<i>Error Est. (s agrupada)</i>	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>
Poder Calórico de petróleo	10	10.9	0.7796	9.7999	12.0621
Volumen de petróleo	10	0.00	0.7796	-1.13015	1.13204
Servicio de petróleo	10	2520	0.7796	25199.2	25201.4
Total	30	8403	.74		

En la tabla 13 se determinó la tabla que muestra la media para cada columna de datos y se calculó el error estándar de cada media, el cual es una medida de la variabilidad del muestreo el error estándar es el resultado de dividir la desviación estándar mancomunada entre el número de observaciones en cada nivel.

También se calculó un intervalo alrededor de cada media los intervalos mostrados actualmente están basados en el procedimiento de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher, fueron contruidos de tal manera que, si dos medias son iguales, sus intervalos se traslaparán un 95.0% de las veces, las que se graficaron en la gráfica de medias indicada en la figura siguiente

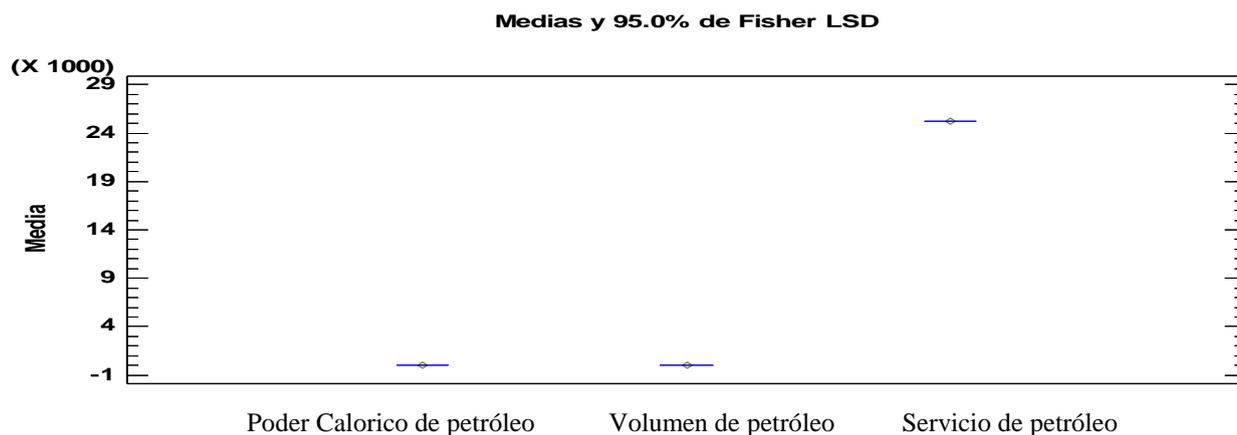


Figura 06. Comparación de medias

❖ Pruebas de Múltiple Rangos

Tabla 14: Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95.0 porcentaje LSD

	<i>C</i> <i>asos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos</i> <i>Homogéneos</i>
Volumen de petróleo	10	0.0009 475	X
Poder Calorico de petróleo	10	10.931	X
Servicio de petróleo	10	25200. 3	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Poder Calorico de petróleo - Volumen de petróleo	*	10.9301	2.26219
Poder Calorico de petróleo - Servicio de petróleo	*	-25189.4	2.26219
Volumen de petróleo - Servicio de petróleo	*	-25200.3	2.26219

* indica una diferencia significativa

En la tabla 14 se construyó la tabla que aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras; se observa que la mitad inferior muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias determinándose que el asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza.

❖ **Verificación de Varianza**

Tabla 15. Verificación de Varianza

	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>			
	<i>Leven</i>	4.247	0.024905		
	<i>e's</i>	1			

<i>Comparación</i>	<i>Sigma</i>	<i>Sigm</i>	<i>F-</i>	<i>P-</i>
	<i>1</i>	<i>a2</i>	<i>Ratio</i>	<i>Valor</i>
Poder Calorico de petróleo / Volumen de petróleo	0	0	0	0.000
Poder Calorico de petróleo / Servicio de petróleo	0	4.270	0	0.000
Volumen de petróleo / Servicio de petróleo	0	4.270	0	0.000

En la tabla 15 se calculó los estadísticos mostrados, en esta tabla se evalúa la hipótesis nula de las desviaciones estándar dentro de cada una de las 3 columnas las cuales son iguales. De particular interés es el valor-P. Puesto que el valor-P es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95.0% de confianza por lo que se rechaza la hipótesis nula.

H₁: El uso del gas natural presenta mayor rendimiento termodinámico en los calderos piro tubulares para la producción de vapor saturado, en comparación con el petróleo.

H₀: El uso del gas natural no presenta mayor rendimiento termodinámico en los calderos piro tubulares para la producción de vapor saturado, en comparación con el petróleo.

En la tabla 15 también muestra una comparación de las desviaciones típicas para cada par de muestras. P-valores por debajo de 0.05, de los cuales hay 3, indican una diferencia estadísticamente significativa entre las dos sigmas al 5% de nivel de significación lo que se

demuestra en el gráfico de cajas y bigotes dando un valor de mayor significancia al servicio de mantenimiento del petróleo como se indica en el gráfico.

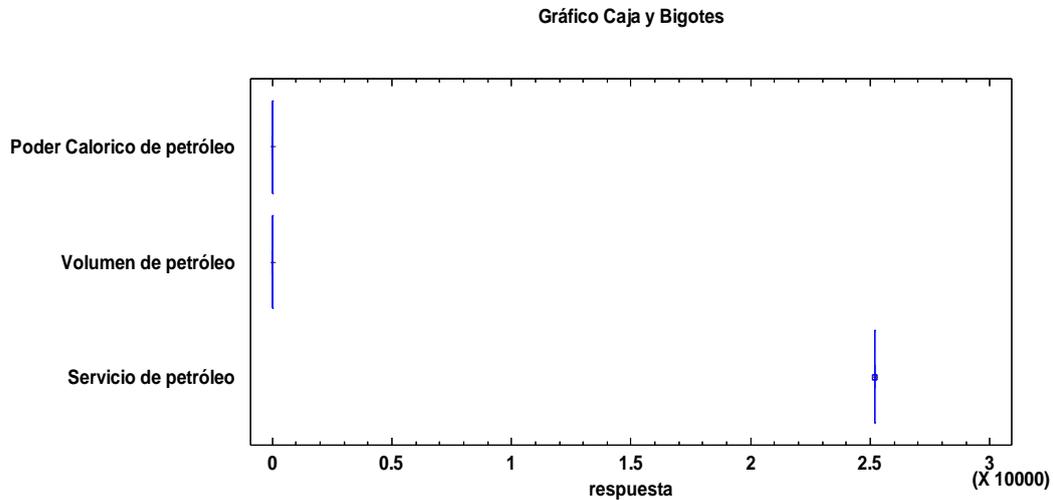


Figura 07. Gráficos de cajas y bigotes de las variables sobre el rendimiento

❖ Prueba de Kruskal-Wallis

Tabla 16. Prueba de Kruskal-Wallis

	<i>Tamaño de Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
Poder Calorico de petróleo	10	15.5
Volumen de petróleo	10	5.5
Servicio de petróleo	10	25.5
Estadístico = 28.0872		Valor-P = 7.96066E-7

En la tabla 16 presenta la prueba de Kruskal-Wallis que permitió evaluar la hipótesis nula de que las medianas dentro de cada una de las 3 columnas es la misma. Primero se combinan los datos de todas las columnas y se ordenan de menor a mayor. Después, se calcula el rango (rank) promedio para los datos de cada columna. Puesto que el valor-P es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con

un nivel del 95.0% de confianza. Por lo que se rechaza la hipótesis nula destacándose el valor del mantenimiento del petróleo sobre las otras variables en el rendimiento del caldero piro tubular, como se puede comprobar gráficamente en la figura siguiente en el gráfico de las medianas.

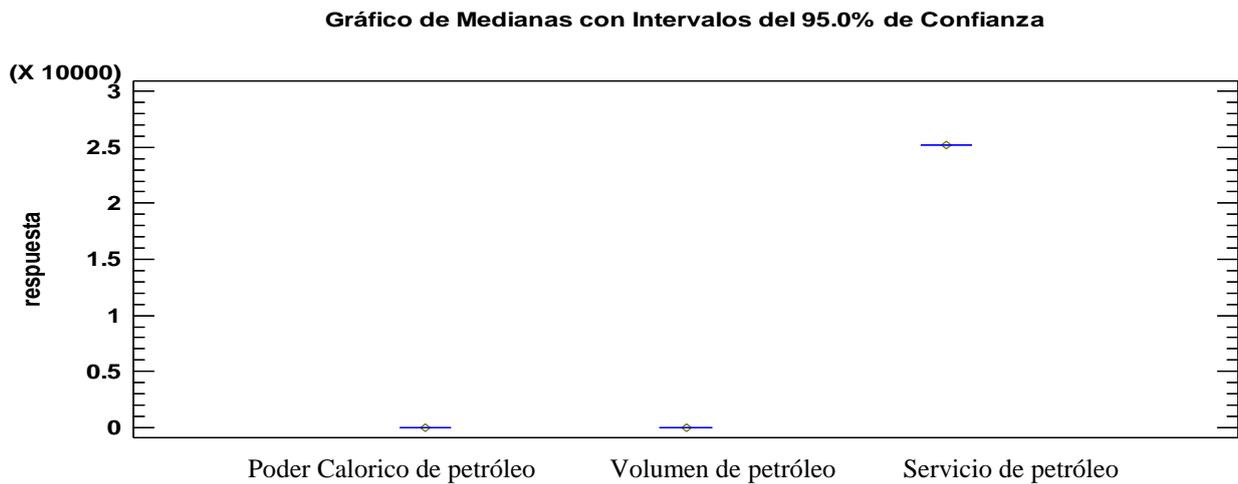


Figura 08. Graficas de medianas sobre el rendimiento del petróleo del caldero piro tubular.

b. Comparación para del gas natural en función de su rendimiento.

Muestra 1: Poder Calorico de gas natural

Muestra 2: Volumen de gas natural

Muestra 3: Servicio de gas natural

Selección de la Variable: Rendimiento de gas

Muestra 1: 10 valores en el rango de 12.474 a 12.474

Muestra 2: 10 valores en el rango de 0.02001 a 0.02001

Muestra 3: 10 valores en el rango de 21000.0 a 21005.0

Estos valores estadísticos permitieron comparar los datos en 3 columnas del archivo de datos actual y realizar varias pruebas estadísticas y gráficas para comparar las muestras mediante la prueba-F así como en la tabla ANOVA para determina si hay diferencias significativas entre las medias.

❖ **Resumen Estadístico**

Tabla 17. Resumen Estadístico

	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coefficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>
Poder Calorico de gas natural	10	12.474	0	0%	12.474
Volumen de gas natural	10	0.02001	0	0%	0.02001
Servicio de gas natural	10	21001.5	2.12132	0.0101008%	21000.0
Total	30	7004.66	10066.5	143.711%	0.02001

	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>	<i>Sesgo Estandarizado</i>	<i>Curtosis Estandarizada</i>
Poder Calorico de gas natural	12.474	0	-1.53093	-1.65985
Volumen de gas natural	0.02001	0		
Servicio de gas natural	21005.0	5.0	1.29605	-0.466003
Total	21005.0	21005.0	1.6656	-1.73695

En la tabla 17 se construyeron los estadísticos para cada una de las 3 columnas de datos.

Hay una diferencia de más de 3 a 1 entre la desviación estándar más pequeña y la más grande, puesto que el análisis de varianza asume que las desviaciones estándar de todos los niveles es igual, se considera transformar los datos para eliminar cualquier dependencia de la desviación estándar sobre la media.

❖ **Análisis de variancia**

Tabla 18. Tabla ANOVA

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	2.93867E9	2	1.46934E9	979557254.78	0.0000
Intra grupos	40.5	7	1.5		
Total (Corr.)	2.93867E9	9			

En la tabla 18 presenta la tabla ANOVA que permitió descomponer la variancia de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 9.79557E8, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 95.0% de confianza.

❖ **Comparación de medias**

Tabla 19. Tabla de Medias con intervalos de confianza del 95.0%

	<i>Ca</i>	<i>Medi</i>	<i>Error Est.</i>	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>
	<i>sas</i>	<i>a</i>	<i>(s agrupada)</i>		
Poder Calorico de gas natural	10	12.47	0.38729	11.9121	13.0359
Volumen de gas natural	10	0.020	0.38729	-0.541908	0.581928
Servicio de gas natural	10	2100	0.38729	21000.9	21002.1
Total	30	7004.			
		66			

En la tabla 19 muestra la tabla que se construyó donde se muestra la media para cada columna de datos. También muestra el error estándar de cada media, el cual es una medida de la variabilidad del muestreo se determinó el error estándar es el resultado de

dividir la desviación estándar mancomunada entre el número de observaciones en cada nivel se determinó también se muestra un intervalo alrededor de cada media. Los intervalos mostrados están basados en el procedimiento de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher, se construyeron de tal manera que, si dos medias son iguales, sus intervalos se traslaparán un 95.0% de las veces como se puede apreciar en la figura siguiente en la gráfica de medias.

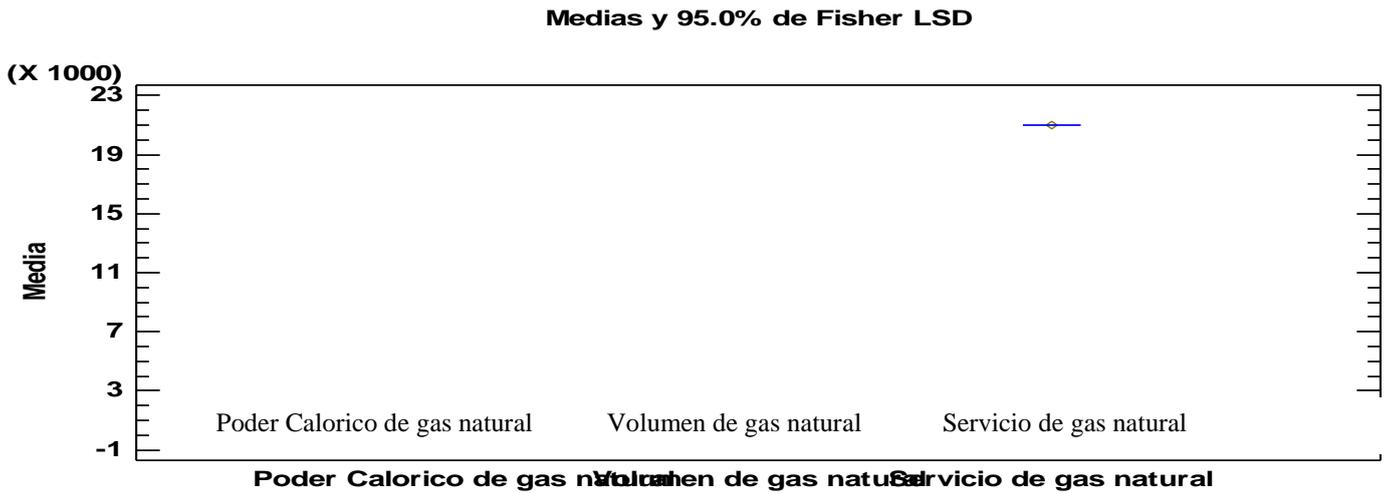


Figura 09. Comparación de medianas sobre el rendimiento de gas natural

❖ **Pruebas de Múltiple Rangos**

Tabla 20. Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95.0 porcentaje LSD

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Volumen de gas natural	10	0.02001	X
Poder Calorico de gas natural	10	12.474	X
Servicio de gas natural	10	21001.5	X

<i>Contraste</i>	<i>Si</i> <i>g.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/-</i> <i>Límites</i>
Poder Calorico de gas natural - Volumen de gas natural	*	12.454	1.1238 4
Poder Calorico de gas natural - Servicio de gas natural	*	-20989.0	1.1238 4
Volumen de gas natural - Servicio de gas natural	*	-21001.5	1.1238 4

* indica una diferencia significativa.

En la tabla 20 se construyó la tabla que se aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras se determinó que la mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias por lo que el asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0%

❖ Verificación de Varianza

Tabla 21. Verificación de Varianza

	<i>Prueb</i> <i>a</i>	<i>Valor-P</i>
Levene's	5.0	0.01421 31

<i>Comparación</i>	<i>Sig</i> <i>mal</i>	<i>Sigm</i> <i>a2</i>	<i>F-</i> <i>Ratio</i>	<i>P-</i> <i>Valor</i>
Poder Calorico de gas natural / Volumen de gas natural	0	0	0	0.000 0
Poder Calorico de gas natural / Servicio de gas natural	0	2.12132	0	0.000 0
Volumen de gas natural / Servicio de gas natural	0	2.12132	0	0.000 0

Los estadísticos mostrados en la tabla 21 evalúan la hipótesis nula de que las desviaciones estándar dentro de cada una de las 3 columnas son iguales. De particular interés es el valor-P. Puesto que el valor-P es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95.0% de confianza, se determinó que la tabla también muestra una comparación de las desviaciones

típicas para cada par de muestras. P-valores por debajo de 0.05, de los cuales hay 3, indican una diferencia estadísticamente significativa entre las dos sigmas al 5% de nivel de significación, por lo que se rechaza la hipótesis nula.

H₁: El uso del gas natural presenta mayor rendimiento termodinámico en los calderos piro tubular para la producción de vapor saturado, en comparación con el petróleo.

H₀: El uso del gas natural no presenta mayor rendimiento termodinámico en los calderos piro tubular para la producción de vapor saturado, en comparación con el petróleo.

En la tabla 21 permite también la construcción de los gráficos de cajas y bigotes que seguidamente se reportan.

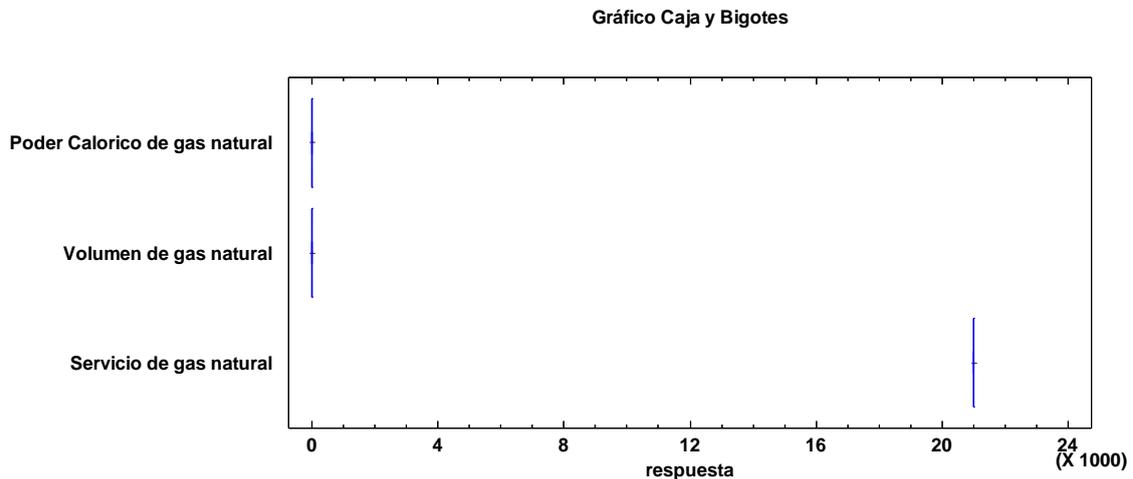


Figura 10. Gráficos de cajas y bigotes de las variables sobre el rendimiento

Se destaca claramente el servicio de mantenimiento de gas natural sobre las otras variables.

❖ **Prueba de Kruskal-Wallis**

Tabla 22. Prueba de Kruskal-Wallis

	<i>Tamaño de Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
Poder Calorico de gas natural	10	15.5
Volumen de gas natural	10	5.5
Servicio de gas natural	10	25.5

Estadístico = 28.094 Valor-P = 7.93363E-7

En la tabla 22 se presenta la prueba de Kruskal-Wallis que permitió evaluar la hipótesis nula de que las medianas dentro de cada una de las 3 columnas es la misma, se combinaron los datos de todas las columnas y se ordenan de menor a mayor esto permitió calcular el rango (rank) promedio para los datos de cada columna. Puesto que el valor-P es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza, por lo que se rechaza la hipótesis nula destacándose el valor del mantenimiento del gas natural sobre las otras variables en el rendimiento del caldero piro tubular, como se puede comprobar gráficamente en la figura siguiente en el gráfico de las medianas.

Gráfico de Medianas con Intervalos del 95.0% de Confianza

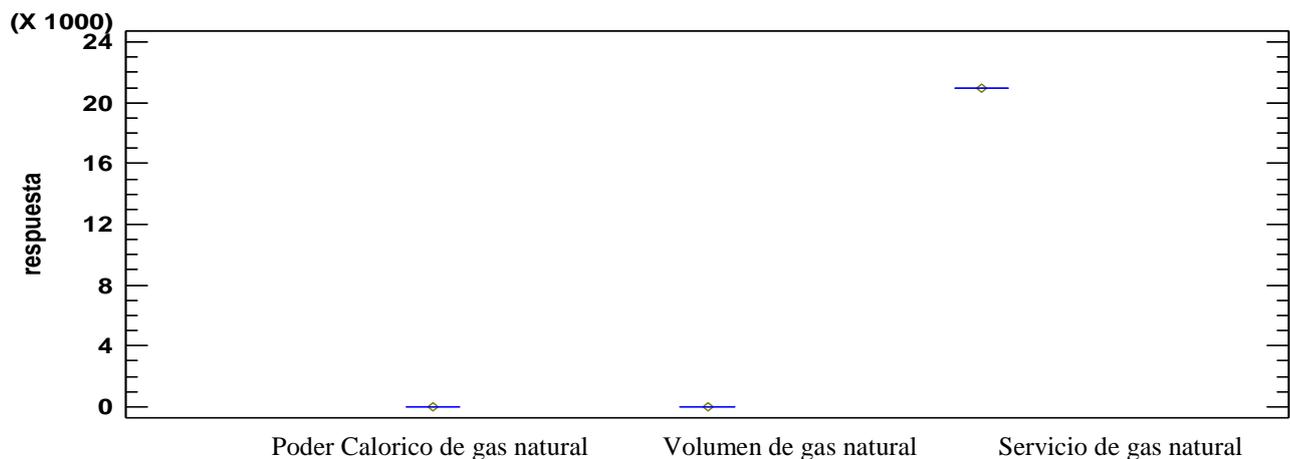


Figura 11. Graficas de medianas sobre el rendimiento del gas natural del caldero piro tubular.

4.2.2. Comparación de los valores de servicio de mantenimiento en combustibles de petróleo y gas natural en calderos piro tubulares.

Tabla 23. Comparación de servicios anuales de mantenimiento por petróleo y gas natural

Servicio de mantenimiento por petróleo	Servicio de mantenimiento por gas natural
25200	21000
25190	21002
25205	21000
25200	21003
25200	21000
25202	21005
25206	21000
25200	21000
25200	21005
25200	21000

❖ Comparación de Dos Muestras - Mantenimiento por gas natural y Mantenimiento por petróleo

Muestra 1: Mantenimiento por gas natural

Muestra 2: Mantenimiento por petróleo

Muestra 1: 10 valores en el rango de 21000.0 a 21005.0

Muestra 2: 10 valores en el rango de 25190.0 a 25206.0

Se realizó el procedimiento para diseñar y para comprar dos muestras de datos a fin de establecer las estadísticas y gráficas para cada muestra, se ejecutará varias pruebas para determinar si hay diferencias estadísticamente significativas entre las dos muestras.

❖ Resumen Estadístico

Tabla 24. Resumen Estadístico

	<i>Mantenimiento por gas natural</i>	<i>Mantenimiento por petróleo</i>
Recuento	10	10
Promedio	21001.5	25200.3
Desviación Estándar	2.12132	4.27005
Coefficiente de	0.0101008%	0.0169444%

Variación		
Mínimo	21000.0	25190.0
Máximo	21005.0	25206.0
Rango	5.0	16.0
Sesgo Estandarizado	1.29605	-1.84
Curtosis Estandarizada	-0.466003	2.62618

En la tabla 24 presenta el resumen estadístico para las dos muestras de datos a fin de utilizarse para los análisis, para evaluar si las diferencias entre los estadísticos de las dos muestras son estadísticamente significativas.

Se determina el particular interés con el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada que pueden usarse para comparar si las muestras provienen de distribuciones normales. En este caso, ambos valores de sesgo estandarizado se encuentran dentro del rango esperado, como se muestra en la figura siguiente.

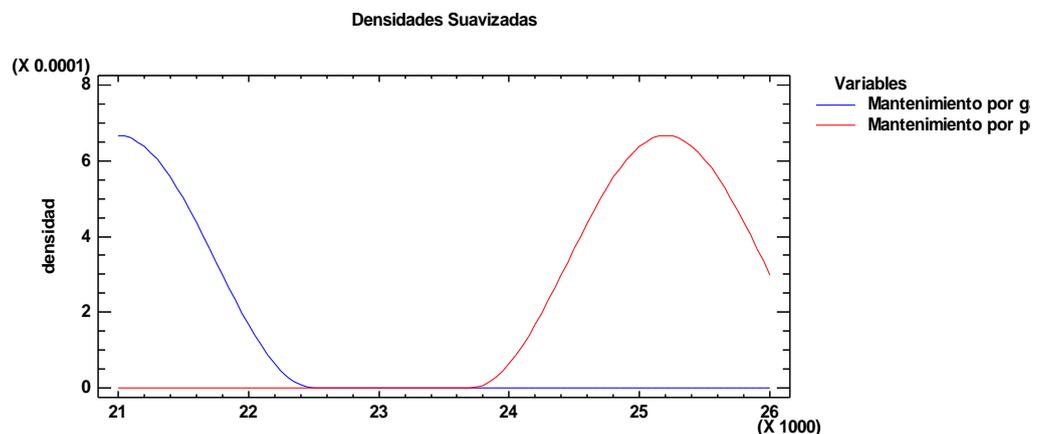


Figura 12. Densidades suavizadas del comportamiento de los servicios de mantenimiento

La figura 12 muestra el comportamiento normal de los datos por qué se puede establecer la prueba de T Student.

❖ Comparación de Medias

a. Resultado de la Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Mantenimiento por gas natural:
21001.5 +/- 1.5175 [21000.0; 21003.0]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Mantenimiento por petróleo:
25200.3 +/- 3.05462 [25197.2; 25203.4]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias
Suponiendo varianzas iguales: -4198.8 +/- 3.16769 [-4201.97; -4195.63]

b. Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: $\mu_1 = \mu_2$

Hipótesis Alternativa: $\mu_1 \neq \mu_2$

Suponiendo varianzas iguales: $t = 2784.8$ valor-P = 0

Se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.

Como se muestra en la figura siguiente

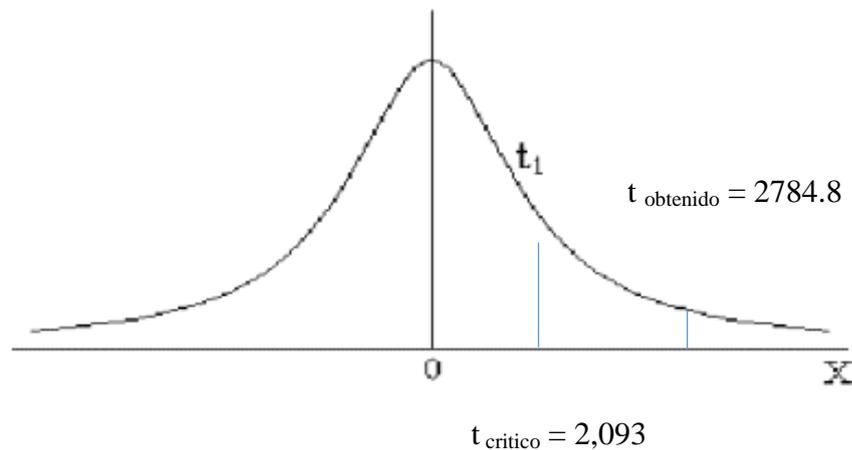


Figura 13. Gráfico de la pruebas de T Student para comparación de medias.

En la comparación de medias y la figura 13 se realizó la prueba-t para comparar las medias de las dos muestras donde se comprueba las ventajas del sistema de combustible del gas natural sobre el combustible del petróleo puesto que el intervalo no contiene el valor 0, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos muestras, con un nivel de confianza del 95.0%.

También se usó la prueba-t para evaluar hipótesis específicas acerca de la diferencia entre las medias de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, la prueba se ha construido para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0.0 versus la hipótesis alterna de que la diferencia no es igual a 0.0. Puesto que el valor-P calculado es menor que 0.05, se puede rechazar la hipótesis nula en favor de la alterna como se puede apreciar en el gráfico de cajas y bigotes siguiente.

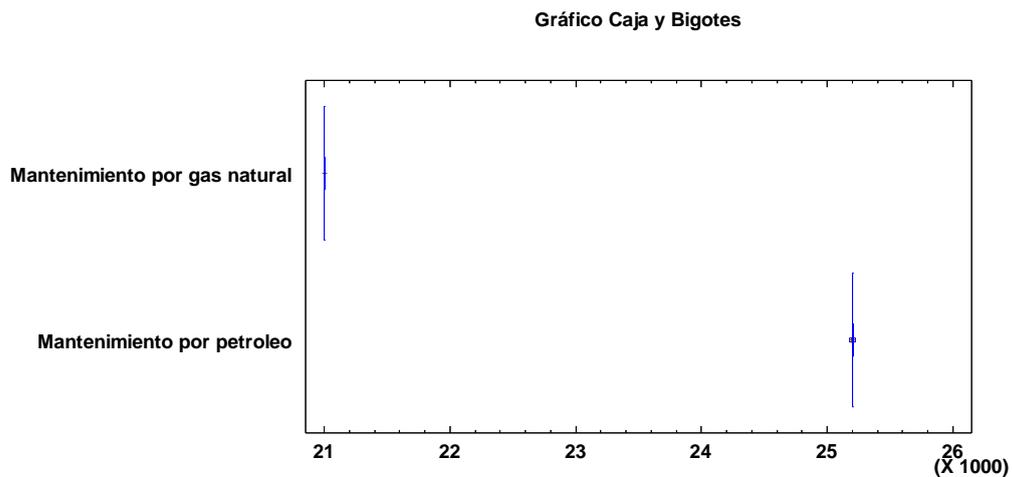


Figura 14. Gráfico de cajas y bigotes del gasto por servicio de mantenimiento ente el petróleo y el gas natural.

En la figura 14 se observa claramente la predominancia del uso del combustible de gas natural sobre el combustible de petróleo y se comprueba lo planteado por la investigación.

CAPITULO V

DISCUSIÓN

5.1. Discusión de tratamiento estadístico e interpretación de resultados

a. Discusión de las características de los calderos usados en el estudio.

Las características respecto a la infraestructura de los calderos piro tubulares de 100 BHP , fueron muy similares pero en su funcionamiento presentó mayor rendimiento el caldero que uso combustible de petróleo con un rendimiento de 83.5 % en comparación con el rendimiento del combustible de gas natural que obtuvo un valor de 80 % esto se debe a los valores por el desprendimiento de los BHP en función de volumen siendo $0.0009475 \text{ m}^3/\text{h} \times \text{BHP}$ para el petróleo y $0.02001 \text{ m}^3/\text{h} \times \text{BHP}$ para el gas natural Como lo indican los autores: Delgado (2011), Bedón (2012), Murillo (2012), Atlantic Consultin (2009) y Abhamondes (2014).

b. Discusión de los resultados de Contrastación de hipótesis.

El comportamiento de los valores de las pruebas empíricas se realizó en primera instancia con las variables independientes sobre los rendimientos y los servicios de mantenimiento, se demostró que los servicios de mantenimiento predominaron sobre los rendimientos esta consideración es también coincidente con los autores: Murillo (2012), Atlantic Consultin (2009) y Abhamondes (2014) quienes indican que estos valores se respaldan en que los calderos piro tubulares de 100 BHP difieren muy poco en las características de producción de vapor saturado seco con los combustibles existentes y lo que predomina siempre son los valores de mantenimiento y servicio que se realiza anualmente.

El comportamiento normal de los valores se respaldó en la prueba de Kruskal - Wallis lo cual permitió evaluar la hipótesis nula, obteniendo un valor – P menor a 0.05 entre las medianas se tiene un nivel del 95.0% de confianza, por lo que se rechaza la hipótesis nula.

Por ser comportamientos procedimentales, su tendencia normal permitió el uso y propuesta de la estadística inferencial paramétrica mediante el procedimiento siguiente

$H_0: \mu$ rendimiento ponderado de petróleo = μ rendimiento ponderado de gas natural

$H_1: \mu$ rendimiento ponderado de petróleo \neq μ rendimiento ponderado de gas natural

Además:

$H_0: \mu$ Costo de servicio de mantenimiento por petróleo = μ Costo de servicio de mantenimiento de gas natural

$H_1: \mu$ Costo de servicio de mantenimiento por petróleo \neq μ Costo de servicio de mantenimiento de gas natural

Lo que permitió el uso de la “T” de Student al establecer que las medias del comportamiento de la suma de los valores con respecto al rendimiento generan una distribución normal de dos colas como lo recomienda Calzada (1970), lo que confirma la tendencia de la hipótesis general sobre las hipótesis específicas; al rechazarse la hipótesis nula se acepta la hipótesis de investigación por el criterio de decisión:

Considerando que $|t \text{ obtenido} = 2784.8| > |t \text{ critico} = 2.093|$.

Se rechaza la hipótesis nula como lo indica Calzada (1970).

Sin embargo el comportamiento de las medidas de tendencia central hace que se pueda reafirmar esta hipótesis mediante la comparación de los costos de servicio de mantenimiento para petróleo y gas natural donde los valores en costo son mucho menores en el combustible de gas natural esta consideración también son empleadas por los autores Delgado (2011), Bedón (2012), Murillo (2012), Atlantic Consultin (2009) y Abhamondes (2014).

CAPITULO VI
CONCLUSIONES

6.1. Conclusiones:

El uso del gas natural presenta mayor rendimiento termodinámico y facilita el mantenimiento en los calderos piro tubulares para la producción de vapor saturado en comparación con el petróleo; siendo mejor el uso de gas natural que se diferencia principalmente en los valores de los servicios de mantenimiento de 21001.5 soles anuales para el gas natural y de 25200.3 soles anuales para el petróleo

El uso del gas natural presenta mayor rendimiento termodinámico en los calderos piro tubulares para la producción de vapor saturado, en comparación con el petróleo; en el rendimiento termodinámico en los calderos piro tubulares para la producción de vapor saturado siendo el rendimiento del petróleo de 83.5 % y del gas natural de 80.0 %.

El uso del gas natural facilita el mantenimiento en los calderos piro tubulares para la producción de vapor saturado en comparación con el petróleo; siendo más económico el del gas natural con una diferencia de 4 198.8 soles anuales.

CAPITULO VII

RECOMENDACIONES

7.1. Recomendaciones:

El uso de calderos piro tubulares con combustible de gas natural tiene mayor ventaja en los gastos de mantenimiento sobre los calderos piro tubulares a petróleo por lo que se recomienda realizar investigaciones en los calderos piro tubulares de petróleo para mejorar el gasto de mantenimiento y prolongando su tiempo de vida útil.

Para calderos piro tubulares de mayor potencia se evalúen los rendimientos termodinámicos en la producción de energía eléctrica o mecánica, lo cual permitiría obtener mejor eficiencia de los equipos optimizando costos en la producción.

Que se efectúe comparación de combustibles respecto a su mantenimiento en calderos acuotubulares para la producción de energía mecánica o térmica, para mejorar y optimizar los gastos por mantenimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Aguilar Bardales José Alberto (2007). “Factibilidad de Instalación de una Planta de generación Distribuida con Gas Natural en el Hospital María Auxiliadora”. Universidad Nacional Mayor de San Marcos Facultad de Ciencias Físicas. Lima Perú.

Atlantic Consulting (2009). “La calidad del aire en los sistemas de combustión” Atlantic Consulting Obstgar tenstrasse. Gattikon, Suiza.

Abahamondes Pedro Abarca (2014). “Descripción de Calderas y Generadores de Vapor” La Asociación Chilena de Seguridad. Chile.

Bandeira Santos, A. Á.; Torres, E. A. y De Paula Pereira, P. A. (2011) “Experimental investigation of the natural gas confined flames using the OEC”. Energy. 2011, vol. 36, pp. 1527-1534.

Bedón Rocha César Augusto (2012). “Formulación de una estrategia de marketing social para reemplazar el consumo de combustibles sólidos por gas licuado de petróleo en localidades rurales del Perú” Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

Calzada Benza José (1979). “Métodos estadísticos” UNALAM. Lima - Perú

Cacua Madero, y Herrera Múnera (2013). “Revisión de la combustión con aire enriquecido con oxígeno como estrategia para incrementar la eficiencia energética” Universidad de Bogotá. Colombia.

Centro de Desarrollo Industrial. (2015) “Asistencia Técnica – ISO 14001.” Consulta: 30 de Noviembre del 2016 <<http://www.cdi.org.pe>>

Centro Nacional de Producción más limpia. (2016). “Producción y Consumo Sostenible”. Consulta: 30 de Noviembre del 2016

http://www.cnpml.org/index.php?option=com_content&view=section&layout=blog&id=3&Itemid=32

Delgado Acevedo Aldo Max. (2011). “Coyuntura del impacto económico del gas natural dentro de un contexto comercial eficiente en el mercado Peruano”. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

Durán García María Dolores, Rincón Mejía Eduardo Armando, Martínez Cienfuegos Iván Galileo, Almanza Salgado Rafael, Lentz Herrera Álvaro (2013). “Estudio termo económico de diferentes configuraciones de ciclo combinado integrado con una planta solar”, Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ingeniería, México.

Gomero Camones Guillermo (2012). “Métodos de la investigación científica” Editores Fakir. UNASAM. Huaraz. Perú.

González, J. C.; Amell, A. A.; Cadavid, F. J 2009). “Características de la combustión con aire enriquecido con oxígeno y perspectivas de aplicación en PYME con procesos de alta temperatura”. Ingeniería e Investigación. Colombia.

Hagoorth J., (1988) Fundamentals of gas reservoir engineering, New York, Elsevier Science Publishers B.V.

IDAE (Instituto para la diversificación y ahorro de la energía) (2007).” Guía técnica de procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para calderas”. IDAE. Madrid, España.

INEI (2015). “Censo Nacional Agropecuario”. Lima, Perú.

Jara Morillas, José Eduardo (2007). “Optimización del proceso de otorgamiento de informes técnicos favorables de consumidores directos de gas licuado de

petróleo” Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Industrial. Lima, Perú.

Loaiza R, Ortiz J., Solar M y Farias O. (2007). “Impacto de la eficiencia en el consumo de biomasa en el sector celulosa chileno” Universidad de Concepción. Concepción. Chile.

Llallahui Bautista Sthefany Yahaira (2016).” Aplicación de eco indicadores como herramienta para el diseño de un sistema de gestión ambiental en una empresa metalmecánica” Pontificia universidad católica del Perú - Facultad de Ciencias e Ingeniería. Perú.

Ministerio del Ambiente., (2015) Decreto RAOH 1215, Quito, Institucional.

Ministerio del Ambiente.(2016). Legislación Ambiental. Consulta: 31 de Octubre del 2016. http://www.minam.gob.pe/dmdocuments/DS_003-2002-PRODUCE.pdf

Ministerio del Ambiente. (2016). “Ejes Estratégicos de la Gestión Ambiental. Consulta: 31 de Octubre del 2016. <<http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/EJES-ESTRATEGICOS-DE-LA-GESTION-AMBIENTAL.pdf>>

Ministerio de la Producción – Dirección de asuntos ambientales. (2008). “Diagnóstico Ambiental Preliminar de la empresa metalmecánica” HAUG S.A. Lima.

Ministerio de la Producción – Dirección de asuntos ambientales. (2016) “Dispositivos Legales de Asuntos Ambientales de Industria y Comercio Interno”. Consulta: 31 de Octubre del 2016 <<http://www.produce.gob.pe/index.php/asuntos-ambientales-de-industria-y-comercio-interno>>

Murillo Calderón Israel Alejandro (2012).” Análisis de los gases combustibles de las plantas Parsons y Universal que actualmente se queman en la tea de rll, mediante

pruebas de laboratorio para identificar su utilidad y reemplazar el diesel que utilizan los generadores eléctricos” Universidad Tecnológica Equinoccial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Ecuador.

Pino, F., (2008), Curso de Gasotecnia, Venezuela, PDVSA Institucional.

Perry, R., Chilton, C., (2002) Manual del Ingeniero Químico, Mexico D.F., McGraw Hill.

QUIROGA, Rayén (2007). “Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe”. Consulta: 23 de Septiembre del 2016.
<<http://www.cepal.org/deype/publicaciones/xml/4/34394/lcl2771e.pdf>.

Repsol-YPF., (2010), Curso de endulzamiento y deshidratación del gas natural, México, Institucional.

Rincón Sonia; Ruiz José; Peña Darío (2002). “Corrosión en caliente de un acero inoxidable 304h para calderas en presencia de sales fundidas de vanadatos y sulfatos” Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

Santos Paulo R, Fábrega F y D’Angelo José Vicente. (2008). “Análisis Termodinámico de un Sistema de Cogeneración con Gasificación del Licor Negro” Universidad Estatal de Campinas UNICAMP, Facultad de Ingeniería Química. Brasil.

Silva Cevallos Cristina Alexandra. (2013). “Estudio de la Capacidad de Trigeneración en la Empresa PROLAC”. Universidad Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica. Ecuador.

Sistema Nacional de Información Ambiental. (2016) “Indicadores Ambientales”. Consulta 23 de octubre del 2016. < <http://sinia.minam.gob.pe/estadisticas/indicadores-ambientales>>

Toftegaard, M. B.; Brix, J.; Jensen, P. A., et al. (2010). “Oxy-fuel combustion of solid fuels. Progress in Energy and Combustion Science”

Vacacela Miranda Egdo Wilmo Marlon (2011). “Estudio de parámetros de combustión en un calderín de 2 BHP y su efecto sobre la eficiencia”. Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ecuador.

Valcarcel, M., (1988) Técnicas analíticas de separación, España, Reverte.

WILLIAM W., (2007). Fundamentos de turbinas a gas, New York, Limusa Noriega editores.

Wu, R. N. (2006). “Alimentación eléctrica, cogeneración, almacenamiento y diseño de la red” Instituto de Investigación Tecnológica Universidad Pontificia Comilla
España

ANEXOS: Anexo 1. Matriz de Consistencia.

FORMULACION DEL PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOS
<p>PLANTEAMIENTO O DEL PROBLEMA Problema General: ¿En qué medida el uso de los combustibles petróleo y gas natural, influyen en el rendimiento termodinámico y el mantenimiento en los calderos piro tubular para la producción de vapor saturado?</p> <p>Problemas Específicos: ¿En qué medida el uso de los combustibles petróleo y gas natural, influyen en el rendimiento termodinámico en los calderos piro tubular para la producción de vapor saturado?</p> <p>¿En qué medida el uso de los combustibles petróleo y gas natural, influyen en el mantenimiento en los calderos piro tubular para la producción de vapor saturado?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL Determinar si el uso de los combustibles petróleo y gas natural, influyen en el rendimiento termodinámico y el mantenimiento en los calderos piro tubular para la producción de vapor saturado.</p> <p>Objetivos Específicos Determinar si el uso de los combustibles petróleo y gas natural, influyen en el rendimiento termodinámico en los calderos piro tubular para la producción de vapor saturado.</p> <p>Determinar si el uso de los combustibles petróleo y gas natural, influyen en el mantenimiento en los calderos piro tubular para la producción de vapor saturado.</p>	<p>HIPOTESIS GENERAL H_1: El uso del gas natural presenta mayor rendimiento termodinámico y facilita el mantenimiento en los calderos piro tubular para la producción de vapor saturado en comparación con el petróleo.</p> <p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS H_1: El uso del gas natural presenta mayor rendimiento termodinámico en los calderos piro tubular para la producción de vapor saturado, en comparación con el petróleo.</p> <p>H_2: El uso del gas natural facilita el mantenimiento en los calderos piro tubular para la producción de vapor saturado en comparación con el petróleo</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE Combustible petróleo y gas natural para calderos piro tubulares</p> <p><i>Indicadores</i> Volumen</p> <p>Poder Calorico de petróleo Poder Calorico de gas natural</p> <p>VARIABLE DEPENDIENTE Rendimiento termodinámico Factor de mantenimiento</p> <p><i>Indicadores</i> Rendimiento</p> <p>Servicio de mantenimiento</p>	<p>MÉTODO El método es inductivo- deductivo</p> <p>TIPO DE INVESTIGACIÓN Experimental o Explicativo</p> <p>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN Diseño Experimental-Factorial</p> <p>POBLACIÓN</p> <p>MUESTRA</p> <p>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS La técnica es la observación y análisis de documentos. El instrumento las hojas cálculo de los cálculos y rendimientos termodinámicos</p>

Anexo 2. Definición Operacional de las variables.

DEFINICIÓN DE VARIABLES		
Variables Independientes	Indicadores	Unidades
Combustible petróleo y gas natural para calderos piro tubulares	Volumen	m ³ /h x BHP
	Poder Calorico de petróleo Poder Calorico de gas natural	10.931 kcal/kg 12.474 kcal/kg
Variables Dependientes	Indicadores	Unidades
Rendimiento termodinámico Factor de mantenimiento	Rendimiento	Porcentaje
	Servicio de mantenimiento	Soles / año

Anexo 3. Evidencias de la investigación



SISTEMA DE PETROLEO



SISTEMA DE GAS NATURAL



EVALUANDO LAS TEMPERATURAS DEL AGUA Y VAPOR



EVALUANDO LA PRESION DEL PETROLEO Y GAS NATURAL



EVALUANDO EL MANTENIMIENTO DEL CALDERO





TOMA DE DATOS DESPUES DEL MANTENIMIENTO



CALDERO EN SERVICIO