

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



**“EVALUACIÓN DEL IMPACTO TÉCNICO-ECONÓMICO DE
UNA CALDERA CON R-500 CONVERTIDA A GAS NATURAL
EN UNA PLANTA INDUSTRIAL”**

TESIS

**PARA OPTAR AL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERÍA CON MENCIÓN EN:
APLICACIÓN ENERGÉTICA DEL GAS NATURAL**

ELABORADO POR

**CANCIO NICOLÁS CORTEZ GALINDO
HERNÁN CORTEZ GALINDO**

ASESOR

MSc. JAVIER FRANCO GONZALEZ

LIMA – PERU

2015

AGRADECIMIENTOS

Al Magister Javier Franco González,

por la dedicación y esfuerzo

À la labor como asesor

À nuestro profesores de postgrado de la FJM, por

Sus enseñanzas y experiencias transmitidas.

À nuestros compañeros de postgrado de la FJM

Por las vivencias compartidas

Durante los 2 años de estudio

Dedicatoria

A Nuestros Padres:

Bernardina Galindo Paredes (+) y

Cipriano Cortez Rivera (+)

Gracias por su constancia, dedicación y consejos

A ellos nuestro eterno agradecimiento.

a mis familiares por brindarme su constante

apoyo para lograr alcanzar mis objetivos

RESUMEN DE LA TESIS

En la presente investigación se realiza la evaluación y el análisis del impacto técnico económico de una caldera que utilizaba R-500 para su conversión a Gas Natural en una planta industrial, encontrándose que para lograr la conversión debe de realizarse previamente un estudio técnico y un estudio económico, para conocer los beneficios del Gas Natural y la conversión de una caldera respecto del combustible R-500. Se constató la falta de historial estadístico, sobre información técnica necesario e importante para facilitar una conversión

En la conversión de R-500 a Gas Natural se tomó en cuenta dos aspectos importantes: el primero fue la evaluación técnica, que permitió conocer el estado situacional en el cual se encontró la caldera con R-500 y que proporcionó información para determinar si la caldera era apta para su conversión, esto debido a que generalmente las calderas son diseñadas para un tipo específico de combustible.

La metodología de investigación desarrollada, es de campo del tipo no experimental, el cual comienza recopilando la información, únicamente considerando la caldera tal como se encuentra funcionando, para ello se utiliza instrumentos de medición, las cuales proveen información para ser analizado cuantitativamente y sobre una base científica de ingeniería se analizan los resultados de los datos del poder calorífico, calor perdido por gases de escape, por combustión incompleta y calor perdido por otras causas diversas.

Los resultados obtenidos fueron comparados con valores estándar los cuales se encuentran dentro de los rangos esperados.

El segundo aspecto importante de esta investigación es el análisis económico el cual se ha realizado mediante la proyección de consumos de petróleo industrial R-500 y por medio del análisis económico se realiza la comparación del consumo anual con R-500 y Gas Natural, obteniendo una reducción del costo de combustible así como disminución de la contaminación al medio ambiente. Así mismo la evaluación económica nos ha permitido conocer en

ABSTRACT

In the present investigation, an evaluation and analysis of the technical and economic impact of a boiler, that used R-500 for conversion to natural gas in an industrial plant is carried out finding that order to achieve such conversion to a technical study and a study should be carried out before hand economic, to learn about the benefits of natural gas and the conversion of a boiler on fuel R-500. It that lack of statistical records on technical information was found necessary and important to facilitate conversion

Converting to R-500 Natural Gas was performed taking into account two important aspects: the first was the technical evaluation which allowed knowing the situational state of the boiler with R-500 was found and provided information to determine if the boiler was suitable for conversion, this because the boilers are generally designed for a specific type of fuel.

The research methodology developed is field of non-experimental which begins collecting the information, only subject to the boiler as operating, for that measuring instruments which provide information to be analyzed quantitatively used and on a scientific basis engineering results calorific data is analyzed, waste heat exhaust gases by incomplete combustion and heat loss from various other causes.

The results were compared with standard values, which are within expected ranges.

The second important aspect of this research is the economic analysis, which has been performed by projecting oil consumption for industrial R-500 and through economic analysis graph of the annual consumption compared with R-500 and Natural Gas is performed, obtaining a reduction in the cost of fuel. Like wise with the economic evaluation has allowed us to know the costs and expenses incurred in performing use in a conversion and thus generate useful for decision making by the directors of the company financial information.

In such a stage, the present investigation is necessary and useful because it allows the conversion viable boiler R-500 Natural Gas with less technical, economic impact for the industrial plant and a large environmental benefit.

KEYWORDS

Technical analysis

Economic analysis

Industrial plant

Conversión to natural gas

ÍNDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	vi
ÍNDICE	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ABREVIATURAS	xiv
SIMBOLOGÍA	xv
INTRODUCCIÓN	xvi
CAPITULO I: DESCRIPCIÓN Y ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LA INVESTIGACIÓN	
1.1. Ámbito del desarrollo de la investigación	1
1.2. Antecedentes bibliográficos	1
1.3. Planteamiento y formulación del Problema	8
1.3.1 Planteamiento del Problema ¹	8
1.3.2 La Formulación del problema	10
1.3.2.1 Problema General	10
1.3.2.2 Problemas específicos	10
1.4. Objetivos de la investigación	10
1.4.1 Objetivo General	10
1.4.2 Objetivo específicos	10
1.5. Hipótesis	10
1.6. Hipótesis general	11
1.6.1 Hipótesis Específica	11
1.7. Variables e indicadores	12
1.8. Justificación e importancia de la investigación	14
1.9. Limitaciones de la investigación	14
1.9.1 De ámbito	14
1.9.2 De tiempo	14
1.9.3 De recursos	14

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1	Definiciones de términos técnicos y económicos	15
2.1.2	Aspectos importantes en una inspección	22
2.2	Calderas	23
2.2.1	Partes principales	24
2.2.2	Cámara de agua.	24
2.2.3	Cámara de vapor.	25
2.2.4	Quemadores.	26
2.2.4.1	Quemadores de baja presión.	26
2.2.4.2	Quemadores de alta presión.	27
2.2.4.3	Quemadores tipo dual.	27
2.3	Tipos de Calderas	27
2.3 .1	Calderas pirotubulares	28
2.3 .2	Calderas pirotubulares de un paso.	30
2.3 .3	Calderas pirotubulares de múltiples pasos.	31
2.3.4	Calderas de agua o acuotubulares	33
2.4	Combustibles	35
2.4.1	Gas natural.	35
2.4.2	Petróleo Industrial R-500	36
2.4.3	El G.L.P.	37
2.4.4	Aceite.	37
2.4.5	Carbón.	37
2.5	Poder calorífico	38
2.5.1	Poder calorífico superior (PCS):	38
2.5.2	Poder calorífico inferior (PCI):	38
2.6	Eficiencia en calderas	39
2.6.1	Eficiencia de una caldera	39
2.6.2	Perdidas de Calor	39
2.6.3	Perdidas de calor en gases de combustión.	40
2.6.4	Perdidas por radiación.	40
2.6.5	Perdidas en purgas.	40

2.7	Cálculo de la eficiencia del generador de vapor	40
2.7.1	Prueba de eficiencia utilizando el código de Asme	41
2.7.1.1	Método de pérdidas de energía	41
2.7.1.2	Método de entradas y salidas	41
2.7.2	Comparación de los métodos para la medición de la eficiencia en calderas	42
2.8	Instrumentos y equipos de medición	43
2.8.1	Analizador de gases de combustión orsat	43
2.8.2	Pirometría	44
2.8.3	Manómetro	45
2.8.4	Termómetro	47
2.8.5	Termómetro laser	48
2.8.6	El tubo pitot	49
2.8.7	Placa de orificio	50
2.9	Marco Normativo	51
2.10	Impacto Ambiental	55
2.10.1	Manejo de emisiones atmosféricas	57
2.10.2	Manejo del agua	57
2.10.3	Manejo de residuos sólidos	58
2.10.4	Manejo de energía	58
CAPITULO III: MÉTODO DE ESTUDIO		
3.1	Tipo y nivel de Investigación	60
3.2	Diseño de investigación	60
3.3	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	62
3.3.1	Búsqueda de Información Bibliográfica.	62
CAPITULO IV: PROGRAMA DE EJECUCIÓN DE PROYECTO		
4.1	Definición y especificación de las actividades por etapas y duración	63
4.2	Diagrama de Gantt	64
4.3	Recursos humanos.	65
4.3.1.	Personal y medios para la ejecución del proyecto	65
4.3.1.1	Personal: miembros participantes	65
4.3.1.2	Medios: instalaciones, equipos e instrumentos, logística	65

4. 4 Presupuesto para la ejecución del proyecto	66
4.4.1 Estructura presupuestal por tipo de gasto y de acuerdo al cronograma de las actividades.	66
4.4.2 Detalle del financiamiento	66

CAPITULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

5.1. Análisis de Ingeniería	67
5.2 Análisis económico	72
5.2.1 Gráficos del análisis económico	75
5.3 Comparación técnica en caldera industrial	77
5.4 Resultado de emisiones	78
5.5 Contratación de las hipótesis planteadas	79

CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones	80
6.2 Recomendaciones	81

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO 2

Figura 2.1 Quemador de baja presión	26
Figura 2.2 Quemadores tipo dual (Gas/Petróleo)	27
Figura 2.3 Caldera pirotubular	28
Figura 2.4 Caldera pirotubular	29
Figura 2.5 Caldera pirotubular de un paso	30
Figura 2.6 Caldera de Lancashire	31
Figura 2.7 Caldera de tres pasos	32
Figura 2.8 vista de pasos de una caldera	33
Figura 2.9 Caldera acuotubular	34
Figura 2.10 Aparato ORSAT para Análisis de Gases de Combustión	44
Figura 2.11 Pirómetro	45
Figura 2.12 Manómetro	47
Figura 2.13 Termómetro bimetálico	48
Figura 2.14 Termómetro Laser	49
Figura 2.15 Tubo de pitot	50
Figura 2.16 Figura placa de orificio	51

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO 2

Tabla 2.1 Composición del Gas Natural	36
Tabla 2.2 Comparación de poder calorífico	39

CAPITULO 4

Tabla 4.1 Cronograma de actividades	64
Tabla 4.2 Presupuesto	66

CAPITULO 5

Tabla 5.1 proyección de consumo 2008	72
Tabla 5.2 proyección de consumo 2009	73
Tabla 5.3 proyección de consumo 2010	74
Tabla 5.4 consumo proyectado de R-500 (galones) (2008-2010)	75
Tabla 5.5 consumo proyectado (soles) de R-500 (2008-2010)	75
Tabla 5.6 consumo proyectado de energia (2008-2010)	76
Tabla 5.7 Consumo proyectado (soles) GN (2008-2010)	76
Tabla 5.8 Comparación del consumo anual R-500- GN ahorro (soles) 2009	77
Tabla 5.9 Comparación técnica en caldera de R-500 convertida a GN	78
Tabla 5.10 Valores de emisiones	78

ABREVIATURAS

GLP:	Gas Licuado de Petróleo
GN:	Gas Natural
R-500:	Petróleo Industrial
ASME:	American Society of Mechanical Engineers
PCS:	Poder Calorífico Superior
PCI:	Poder Calorífico Inferior
Kg:	Kilogramo
Ton:	Toneladas
BTU:	British Thermal Unit flujo
ASME:	Sociedad Americana de Ingeniería Mecánica
RM	Resolución Ministerial
D.S.	Decreto Supremo
N.T.P.	Norma Técnica Peruana Indecopi

SIMBOLOGÍA

CH ₄ :	Metano
C ₂ H ₆ :	Etano
C ₃ H ₈ :	Propano
C ₄ H ₁₀ :	Butano
C ₅ H ₁₂ :	Pentano
C ₆ H ₁₄ :	Hexano
CO ₂ :	Dióxido de Carbono o Anhídrido Carbónico
N:	Nitrógeno
CO:	Monóxido de Carbono
NO:	Óxido Nítrico
NO _x :	Óxidos de Nitrógeno
NO ₂ :	Dióxido de Nitrógeno
N ₂ O:	Óxido Nitroso
SO ₂ :	Dióxido de Azufre
H ₂ O:	Agua
N ₂ :	Di nitrógeno
O ₂ :	Oxígeno
H _R :	Entalpia de Reactantes
H _p :	Entalpia de los Productos
h _f	Entalpia de líquido saturado
h _{FG}	Diferencia entre entalpias de saturación (h _g -h _f)
m _c	Peso molecular de la combustión
	Flujo másico de combustible
	Flujo másico de vapor
	Flujo másico de líquido
η	Eficiencia
ρ _c	Densidad del combustible

INTRODUCCIÓN

El Gas Natural de camisea está representando para la industria una gran oportunidad para el uso masivo de un combustible más limpio, eficiente y económico en calderas de vapor, secadores, etc. Esta oportunidad permitirá a las empresas que tengan acceso a un combustible alternativo como es el caso del Gas Natural así como frente a los costos de otros combustibles se debe traducir en la reducción de sus costos operativos, y con ello ser más competitivos en un mercado actualmente globalizado.

El crecimiento sostenido de las plantas industriales orientadas tanto al mercado nacional como a la exportación se han ido incrementando significativamente, de año en año trayendo como consecuencia mayor incremento en sus inversiones para el mejoramiento de equipos, procesos.

Por lo mismo también tiene importancia el seleccionar el combustible adecuado de tal manera que no repercuta en un incremento en sus costos de producción al utilizar combustibles que resulten caros, además que estos sufren variaciones con incremento en los precios de los combustibles derivados del petróleo a nivel internacional lo cual es una razón la cual debe representar la oportunidad de usar Gas Natural como combustible alternativo para la generación de vapor y su utilización en diversos procesos industriales tales como: generación de potencia, generación de energía, calefacción de espacios y procesos, etc. Recurso comparado con otros combustibles es energía limpia, cuya emisión de contaminante al medio ambiente es menor respecto de los otros.

El problema de la gran mayoría de las micro, pequeñas y medianas empresas tanto en el Perú como en Latinoamérica es contar con personal calificado tanto técnico como profesional en las áreas correspondientes de su organización, en muchos casos puede ser debido a limitación en recursos económicos entre otros factores.

La falta de mano de obra calificada trae como consecuencia problemas económicos tales como: perdidas horas/hombre, perdidas horas maquinas,

inversiones no adecuadas, desperdicios en sus procesos productivos, mayores costos de producción, etc.

Esta investigación es de gran importancia debido a que las plantas industriales que utilizan vapor en sus procesos productivos, tienen a la caldera como generador de vapor y estos a su vez utilizan combustibles tales como: R-500, diésel, GLP, entre otros; los consumos de estos tienen altos precios, aparte que tienen fuerte impacto sobre el medio ambiente.

Por esta razón las plantas industriales que van a utilizar Gas Natural en sustitución de otros combustibles deben resolver la problemática que se les presenta para realizar las conversiones de sus instalaciones, para adaptar y/o sustituir a los requerimientos que se les presenta.

La presente investigación muestra una forma de solucionar dicha problemática debido a que el estudio se enfoca en dos aspectos importantes, uno es la parte de evaluación técnica y la otra es la parte de la evaluación económica aspectos muy importantes y fundamentales en el manejo de información para la toma de decisiones por parte de la alta gerencia en unos casos y en otros por los directivos de la empresa industrial.

En la parte de la evaluación técnica consistió en determinar si los equipos y sistemas que estaban operando con el combustible (R-500) podían adaptarse a las condiciones necesarias para ser utilizados con el nuevo combustible (Gas Natural) o en todo caso indicar que se debían realizar las transformaciones, adaptaciones y/o adquisiciones de nuevos equipos. Así mismo se corroboró con la investigación que el nuevo sistema cumple con estándares de eficiencia al utilizar el nuevo combustible. Además se verificó que las emisiones que genera el uso del gas natural cumplen con valores de emisiones estándar y así atenuar el impacto sobre el medio ambiente.

En la parte de la evaluación económica se elaboró la información estadística anual del consumo de R-500 y se realizó las proyecciones económicas que demandaron por el uso de este combustible. Así mismo se reprodujeron datos estadísticos proyectados al utilizar gas natural, los cuales fueron comparados

con los consumos del combustible R-500, cuyo resultado, generó información económica importante para ser evaluado por la alta gerencia.

Los estudios mencionados anteriormente son fundamentales porque primero se genera información importante para una mejor comprensión de la problemática que se presenta al realizar la sustitución y/o adaptación de un nuevo combustible y por último los estudios son útiles y eficaces porque permiten tomar decisiones fundamentados en base a estudios de investigación científica.

La estructura del trabajo de investigación es la siguiente:

En el **Capítulo I** se describen los aspectos metodológicos de la investigación que comprende: el ámbito del desarrollo de la investigación, antecedentes bibliográficos, planteamiento del problema, formulación del problema, problemas específicos, objetivos general y específicos de la investigación, hipótesis generales y específicas, variables e indicadores, justificación e importancia de la investigación y finalmente las limitaciones de ámbito, tiempo y de recursos que tiene la investigación.

En el **Capítulo II** se presenta el marco teórico, conceptos importantes como: conversión, evaluación, evaluación técnica, evaluación económica, inspección técnica, normas técnicas, corrosión, falla estructural, fallas en sistemas de conversión, incrustaciones, aspectos importantes en una inspección de una caldera, impacto económico, impacto ambiental, contaminación ambiental, calderas y partes principales, tipos de calderas, combustibles, poder calorífico y eficiencia, instrumentos y equipos de medición, marco normativo.

En el **Capítulo III** Se encuentran el método de estudio, diseño, tipo, nivel y técnicas e instrumentos de recolección de datos.

En el **Capítulo IV** se describe el programa de ejecución del proyecto así como la duración distribuido en el diagrama de Gantt y el presupuesto requerido.

En el **Capítulo V** se encuentra el análisis de resultados y contrastación de Hipótesis

En el **Capítulo VI** finalmente, se encuentran las conclusiones y las recomendaciones cuyo aporte es que con la conversión de las calderas a gas natural se tiene mejores beneficio técnico-económico además de tener una mejora en el medio ambiente.

CAPITULO I

DESCRIPCIÓN Y ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 ÁMBITO DEL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se desarrolló en el contexto de la planta industrial textil “Landeo” SAC la misma que se encuentra ubicado en la zona industrial del distrito de ATE-VITARTE en el Departamento de Lima.

1.2 ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

Hoy, debido a la masificación del Gas Natural las empresas industriales que utilizan diferentes tipos de combustibles en la operación de sus calderas, están buscando la forma de solucionar el problema de cómo utilizar el Gas Natural como combustible y que es lo que se requiere para realizar la conversión de sus calderas a gas natural.

Las calderas que utilizan combustibles diferentes al gas natural, ocasionan mayor ocurrencia en su mantenimiento por el tipo de combustible utilizado ocasionando paradas innecesarias en su producción y como consecuencia de ello pérdidas económicas.

Una conversión de la caldera en una planta industrial para ser utilizado con otro tipo de combustible, no debe ser realizada de una manera empírica por los problemas que este puede ocasionar. Una conversión inclusive puede llevar a pérdidas económicas y problemas de seguridad en la operación de la caldera si esta no es realizada mediante una evaluación técnico económico.

El Gas Natural tiene menor costo frente a otros combustibles y como consecuencia de su uso repercute en un menor costo de producción con ello las empresas se vuelven más competitivas.

El uso del Gas Natural tiene bajas emisiones contaminantes respecto a otros combustibles fósiles tales como: Petróleo industrial R-500, G.L.P., aceite y carbón, con ello el entorno geográfico donde es utilizado es menor la contaminación ambiental contribuyendo así en un menor efecto invernadero.

Al respecto, el problema de realizar la conversión de calderas a gas natural viene siendo estudiado desde hace décadas por diversos investigadores. Por lo que la presente investigación toma como referencia publicaciones técnicas e investigaciones que de una u otra manera vienen tratando el tema, como los que a continuación se indican:

ARROYO (2005)¹. Manifiesta que las empresas que vienen quemando petróleo residual y tengan acceso al gas natural, deberán optar por cambiar la caldera a una nueva incorporando quemador para gas o cambiar (en algunos casos adaptar) el quemador existente para quemar gas natural.

También considera el estado de la caldera, antigüedad, capacidad límite y otros. El proceso de conversión de petróleo a gas natural en las calderas de vapor implica a grandes rasgos los pasos siguientes:

- 1.- Revisión de transferencia de calor entre zonas radiante y convectiva, porque el gas permite menor calor radiante, por lo que la temperatura de salida del hogar se incrementa.
- 2.- Evaluación de los materiales para su habilitación (tubos, economizador) a las nuevas temperaturas y comparar a valores de diseño.
- 3.- Estudio de dilataciones estructurales para las nuevas exigencias
- 4.- Revisión y adecuación de equipos de la caldera:
 - Quemador: posible modificación o cambio total, potencia, modulación, sistema de encendido, controles, caja de aire, etc.
 - Economizador: diseño, temperaturas.
 - Controles: Combustión, presión de aire/gas, lazos existentes.
- 5.- Análisis adicionales.

Emisiones contaminantes: gases (NO_x, CO, SO₂), partículas, ruido
Capacidad de producción de vapor de caldera y Eficiencia térmica
además manifiesta que el costo de la conversión a gas natural depende de una serie de factores tales como el tipo y capacidad de la caldera: Marca y tipo de quemador, trenes de válvulas, y además accesorios (que depende de la capacidad de la caldera); longitud de tuberías, entre otros por lo que no es posible hablar de un monto fijo

para una conversión en la cual no considera la instalación de una estación de reducción de presión y medición de consumo de gas en la entrada a la planta industrial.

Finalmente menciona que es necesario realizar primero un análisis de factibilidad técnica y económica porque considera que existen factores como el tipo y nivel del consumo actual del combustible, antigüedad de la caldera, posibles fallas ya existentes, riesgos térmicos, entre otros.

¹Arroyo C V. (2005) "Beneficios de la conversión a Gas Natural en Calderas de Vapor. Consultoría internacional de ingeniería y gestión (CINYDE). www.cinydesac.com/articulos/beneficios-gas-natural-en-calderas.pdf.

MEZA (2002)² menciona que la crisis energética actual y sus consecuencias en la productividad industrial nos conllevan a pensar en el uso más eficiente de los recursos con los que contamos para realizar nuestras actividades.

Asimismo indica, sabiendo que las calderas son equipos de generación de vapor utilizados ampliamente y que de ellos dependen muchos procesos (más del 50% de la energía que consume el sector industrial en Colombia se emplea para generar vapor), se evaluó y se comparó la eficiencia en tres calderas usando fuel-oil y gas natural.'

De otro lado, manifiesta que el objetivo fundamental de la tesis es:

- Evaluar analíticamente el rendimiento de una caldera
- Elaborar protocolo para evaluar el rendimiento de calderas.

Además manifiesta, que se tiene que determinar el tipo de instrumentación que se debe adicionar a una caldera para evaluar su rendimiento e implementar esta instrumentación.

Menciona que los resultados de la eficiencia a condiciones de operación normales fueron: Gas Natural (78%), fuel-oil 2 (82.9%), y fuel-oil 6 (82.3%) asimilares condiciones ambientales. Lo que equivale a una disminución de 4.5% en este tipo de eficiencia usando Gas Natural comparado con fuel-oil.

También precisa, que a elevados excesos de aire el tipo de pérdida relevante en el comportamiento de la eficiencia es la pérdida de gases secos que depende mucho de la temperatura de los gases de escape.

Al respecto usando Gas Natural las pérdidas por gases secos representa del 7% al 8% del total de pérdidas en una caldera a las condiciones ambientales de la ciudad de Bogotá.

En ese sentido, resalta, que la tesis plantea la variabilidad de las pérdidas restantes tiene muy poca incidencia en el volumen total de pérdidas de calor (entre 18.5 y 22%), por tal motivo el exceso de aire es la variable a controlar en los sistemas de generación de vapor que operan con Gas Natural.

²Meza Blanco. J. (2002) *Evaluación del Rendimiento de Calderas Convertidas a Gas Natural* (tesis de Maestría). Universidad de Los Andes (Bogotá, Colombia). Disponible en: dspace.uniandes.edu.co/xmlui/bitstream/handle/1992/.../mi_1250.pdf

FAY, GOLOMB, y ZACHARIADES (1986)³ considera que para realizar una conversión de calderas que queman petróleo y carbón deben efectuar la viabilidad técnica y costo de capital, también señala que las calderas se diseñan generalmente para un tipo particular de combustible, esto no indica que la sustitución del GN en el diseño del combustible va a evitar degradación del rendimiento de la caldera, incluso si se llevan modificaciones importantes.

De otro lado precisa que al quemar diferentes combustibles en una caldera puede alterar los rangos de transferencia de calor y temperatura en las paredes del tubo y su eficiencia misma. Afortunadamente, el GN posee propiedades de combustión que hacen posible usar carbón o aceite en las calderas con efectos mínimos sobre su rendimiento.

También señala que un factor importante en el diseño de una caldera es el tipo de combustible y que sus efectos de este sobre el diseño son los siguientes:

- Tamaño del horno.

- Diseño, cantidad y localización de las áreas de calefacción (pre calentador, recalentador, economizador).

- Equipamiento para la preparación y consumo del combustible.

- Tipo y tamaño de los equipos de recuperación de calor.

- Equipamiento para el control, manejo y tratamiento de partículas de los gases de combustión.

En la investigación menciona que al realizar una conversión debe suponerse que no habría ningún problema en la distribución de transferencia de calor sobre las superficies de las calderas ya que estas deben ser resistentes a la conversión. De otro lado, precisa que el diseño, la cantidad y ubicación de las superficies de calefacción deben ser tales que:

- Debe mantenerse la diferencia de temperaturas suficiente entre la combustión de gases y vapor.

- Que el uso de la superficie de calentamiento sea óptimo.

Como evitar las altas temperaturas indeseables del metal.

Como alcanzar deseables velocidades del gas de combustión y por lo tanto evitar la erosión de cenizas volantes. Dependiendo de la cantidad de ceniza y la abrasividad (sílice, contenido de alúmina).

Indica también que en una conversión se debe conocer las diferentes propiedades de combustión para conocer los cambios de peso de los combustibles, la estequiometría y el cambio resultante total de los productos de combustión que fluyen sobre la absorción de las superficies de calor. Al quemar Gas Natural producen más masa de productos de combustión por la entrada de calor que la quema de petróleo o carbón. Los cambios en la cantidad de productos de combustión producen cambios en las velocidades del gas y con ello los patrones de absorción de calor en los componentes de la caldera.

También señala que en los requerimientos de aire de combustión para una caldera específica hay un volumen de aire determinado que debe pasar. Cuando se quema Gas Natural en lugar de petróleo o carbón si se suministra aire de combustión con el equipo existente como resultado se tiene una disminución de potencia. Por lo que el aire de combustión debe calcularse de acuerdo a las necesidades de cada combustible.

³James A. F., Dan S. Golomb, Savvakis C. Zachariades.(1986) *Feasibility and cost of converting oil- and coal-fired utility boilers to intermittent use of natural gas* Cambridge; Energy Laboratory Report No. MIT-EL 86-009.

1.3 . PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Este trabajo de investigación se desarrolló debido a la necesidad de sustituir el combustible R-500 por gas natural en la caldera de una planta industrial.

Las calderas consumen petróleo industrial R-500 para la generación de vapor, el cual es utilizado en diferentes equipos y maquinarias. Los precios del combustible actualmente su tendencia es al alza, por lo que este problema repercute en un mayor incremento de costos en su proceso de producción.

El requerimiento de petróleo Industrial R-500 tiene problemas de transporte hacia la planta industrial debido a los proveedores del combustible que no abastecen en los plazos previstos de los pedidos ya establecidos, además que la calidad del combustible con que se entrega en la planta industrial tiene contratiempos tales como contratiempos en la entrega, calidad, volúmenes entre otros.

Por otro lado el almacenamiento del petróleo industrial R-500 en la planta industrial requiere de personal para el manejo de seguridad y control de las condiciones para su adecuación manejo y utilización del mismo.

Las calderas cuando utilizan diferentes combustibles tienen que ser evaluadas técnica y económica para llevar a cabo su conversión y/o adaptación al uso del nuevo combustible.

El problema en la conversión de la caldera de una planta industrial que va a utilizar Gas Natural dependerá de factores tales como: antigüedad, tipo y capacidad de la caldera, marca, tipos de accesorios; por lo que es necesario realizar la evaluación del impacto técnico económico para su conversión a Gas natural; siendo la razón de ser de la presente investigación.

También la investigación nos dará a conocer el impacto económico para saber cómo ha influido en las finanzas de la empresa.

Por otro lado también se tomará en cuenta el impacto en el medio ambiente.

Los problemas más importantes que se identificaron fueron:

- a) Carencia en la información sobre el uso y sus beneficios del Gas Natural.
- b) Inexperiencia técnica para conseguir que se concretice la conversión de la caldera a Gas Natural en la planta industrial.
- c) Desconocimiento de la evaluación económica que se necesita para realizar la conversión de una caldera considerando desde su instalación y distribución interna del Gas Natural.
- d) Conocer el impacto técnico que demandó la conversión de una caldera a Gas natural.
- e) Conocer el impacto económico como ha influido en las finanzas de la empresa dada la conversión.
- f) El impacto ambiental por el uso del actual combustible R-500 teniendo en cuenta que al realizar la conversión a Gas Natural se tiene menor impacto ambiental.
- g) Dificultades de abastecimiento del combustible R-500, por problemas de transporte y entrega de los proveedores en los plazos establecidos, además de la calidad de combustible.

Necesidad de personal para el manejo de seguridad y control cuando la planta industrial tiene almacenado el combustible R-500 las mismas que requieren cuidados de adecuación y manipulación.

1.3.2 LA FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es el impacto técnico-económico de una caldera con R-500 para su conversión a Gas Natural en una planta industrial en Lima, Perú?

1.3.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- a) ¿Cuál es el impacto técnico generado por la conversión de una caldera que usaba como combustible R-500 a gas natural?
- b) ¿Cuál es el impacto económico generado por la conversión de una caldera que usaba como combustible R-500 a Gas Natural?
- c) ¿En qué medida disminuirá la contaminación ambiental al convertir una caldera que utiliza R-500 a gas natural?

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Conocer el impacto técnico-económico de una caldera con R-500 para su conversión a Gas Natural en una planta industrial en Lima, Perú

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Evaluar el impacto técnico de la caldera convertida a gas natural
- b. Determinar el impacto económico de la Planta Industrial al realizar la conversión de su caldera a gas natural.
- c. Explorar como la caldera que utiliza R-500 convertida a gas natural significa una disminución de la contaminación ambiental.

1.5 HIPÓTESIS

De acuerdo al problema planteado junto con los objetivos generales y específicos de la presente investigación, el trabajo de tesis establece la siguiente hipótesis.

1.6 HIPÓTESIS GENERAL

La conversión de una caldera con R-500 a G.N. tendrá un impacto técnico y económico incrementando la competitividad de la empresa.

1.6.1 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- a.- Para convertir una caldera a gas natural en una planta industrial será necesario evaluar el impacto técnico.
- b.- La conversión de una caldera a gas natural ocasionará un impacto económico positivo o negativo en una planta industrial.
- c.- La contaminación ambiental disminuirá al convertir una caldera que utiliza R-500 a gas natural.

1.7 VARIABLES E INDICADORES

HIPÓTESIS GENERAL (Hg)	VARIABLE	
<p>Hg:</p> <p>La conversión de una caldera con R-500 a G.N. tendrá un impacto técnico y económico incrementando la competitividad de la empresa.</p>	<p>Variables independientes(X).</p> <p>Evaluación técnico-económica de una caldera con R-500.</p> <p>Variable dependiente(Y)</p> <p>Conversión de una caldera a Gas Natural</p>	
HIPÓTESIS ESPECÍFICA (Hi)	VARIABLE	INDICADOR
<p>H1:</p> <p>Para convertir una caldera que usaba como combustible R-500 a gas natural en una planta industrial será necesario evaluar el impacto técnico.</p>	<p>X1:</p> <p>Impacto técnico</p> <p>Y1:</p> <p>Conversión de una caldera, calculo de su rendimiento al utilizar Gas Natural.</p>	<p>X1:</p> <p>Cambios realizados producto de la conversión.</p> <p>Medición de temperatura del agua que ingresa al caldero, medición de temperatura del vapor</p> <p>Y1:</p> <p>Determinación de la eficiencia y comparación técnica.</p>

HIPÓTESIS ESPECÍFICA (Hi)	VARIABLE	INDICADOR
<p>H2:</p> <p>La conversión de una caldera que usaba como combustible R-500 a gas natural ocasionará un impacto económico en una planta industrial.</p>	<p>X2:</p> <p>Impacto económico</p> <p>Y2:</p> <p>conversión de una caldera a gas natural</p>	<p>X2:</p> <p>costo anual del consumo</p> <p>Y2:</p> <p>Comparación de los costos</p>
<p>H3:</p> <p>La contaminación ambiental disminuirá al convertir una caldera que utiliza R-500 a gas natural.</p>	<p>X3:</p> <p>Disminución de la contaminación ambiental</p> <p>Y3:</p> <p>Caldera convertida de R-500 a gas natural</p>	<p>X3:</p> <p>Emisiones</p> <p>Y3:</p> <p>Resultado de emisiones</p>

1.8 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se justifica porque analiza y evalúa el impacto técnico, el cual es importante hacer el estudio para identificar el estado en que se encuentra la caldera industrial que utiliza R-500, relacionados principalmente con equipamiento, partes estructurales, zonas de transferencias térmicas, y sistemas en general cuya información se utilizó para la toma de decisiones por parte de la gerencia para lograr la conversión a gas natural.

También es importante investigar la evaluación del impacto económico, porque el estudio permitirá conocer los beneficios al realizar la conversión en la planta industrial basado en los gastos y costos de instalación, transformaciones y sustitución de sistemas y equipamiento para llevar a cabo la conversión.

1.9 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.9.1 DE ÁMBITO

Esta investigación se limita a una caldera de R-500 convertida a Gas Natural en una planta industrial.

1.9.2 DE TIEMPO

Esta Investigación estuvo limitada a la duración de 10 meses, y el tiempo de los investigadores se limitó a tiempo parcial.

1.9.3 DE RECURSOS

Para la realización de la investigación, se contó con el financiamiento propio de los investigadores.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 DEFINICIONES DE TERMINOS TECNICOS Y ECONOMICOS

CONVERSIÓN

Conjunto de procedimientos y técnicas que permiten que un equipo o un conjunto de equipos se instalen o sustituyan por otras para permitir el funcionamiento adecuado utilizando gas natural.

EVALUACIÓN

Según la Real Academia Española: evaluar es “señalar el valor de una cosa”.

Para el *Diccionario del Español Actual*, evaluar significa “valorar (determinar el valor de alguien o de algo)”.

Se define también como un proceso sistemático, diseñado intencional y técnicamente, de recogida de información, que ha de ser valorada mediante la aplicación de criterios y referencias como base para la posterior toma de decisiones de mejora, tanto del personal como del propio programa”.⁴

Evaluar quiere decir dar valor, tomando como base información empírica que se recoge en forma sistemática y rigurosa.⁵

Según F W Lancaster evaluar es “medir el valor de una actividad”. Algunos autores proclaman que la evaluación es una rama de investigación, es la aplicación de un método científico para determinar por ejemplo, lo bien que se está llevando a cabo una actividad. Otros subrayan la importancia del proceso de toma de decisiones: La evaluación recoge los datos necesarios para determinar cuál de entre varias estrategias diferentes es la más apropiada para alcanzar el resultado deseado.

⁴http://www.ite.educacion.es/formacion/materiales/90/cd_09/cursofor/cap_4/cap4a.htm

⁵Oceano Grupo editorial, S.A. (1995). *Diccionario uno color* (Vol I p 130)

EVALUACIÓN TÉCNICA

Una evaluación técnica es una especie de fotografía instantánea del estado técnico en que se encuentra una instalación en su conjunto y cada uno de los equipos y sistemas que la componen. Evalúa el estado en que se encuentra una instalación industrial después de finalizada la construcción de ésta, la degradación que ha sufrido ésta con el paso del tiempo o incluso la posibilidad de sufrir un grave incidente. Puede decirse que una evaluación técnica sirve para determinar todos los fallos que presentan una planta industrial en un momento determinado e incluso la posibilidad de que se presenten fallos a corto o mediano plazo.

EVALUACIÓN ECONÓMICA

La evaluación económica tiene por objeto identificar las ventajas y desventajas asociadas a la inversión de un proyecto antes de la implementación del mismo.

La evaluación económica es un método de análisis útil para adoptar decisiones racionales ante diferentes alternativas.

Con frecuencia se confunde la evaluación económica con el análisis financiero en este último caso se considera únicamente la cantidad monetaria de un proyecto con el objetivo de considerar su rentabilidad en términos de flujo de dinero⁶.

INSPECCIÓN TÉCNICA

Se entiende por Inspección a un examen de verificación sistemática y planificada de acuerdo a procedimientos y normas técnicas de organización y gestión, que realiza un experto en ingeniería al aplicar en una planta industrial, información que es utilizada para diversos propósitos tales como:

Programación pre-establecida en mantenimiento de equipos y sistemas⁷

⁶Sabalza M.(2006). *Evaluacion de proyectos de Cooperacion*. Recuperado de http://www.dhl.hegoa.ehu.es/fiedl/Materiales/19_Evaluacion_economica.pdf

⁷ Normas Técnicas Peruanas (NTP) Aprobadas por INDECÓPI

NORMAS TÉCNICAS

Es un conjunto de especificaciones técnicas estándar emitidas por entidades públicas y privadas que se utilizan como modelo, patrón o referencia fijando las tolerancias mínimas de diseño, construcción y modificaciones diversas. En el ámbito nacional se cuenta con las siguientes normas:

NTP 350.300:2008 CALDERAS INDUSTRIALES. Procedimiento para la determinación de la eficiencia térmica de calderas industriales.
2008.10.26

NTP 350.301:2008 CALDERAS INDUSTRIALES. Estándares de eficiencia térmica (combustible/vapor) y etiquetado.
2009.02.04

NTP 350.302:2009 EFICIENCIA ENERGÉTICA. Calderas industriales. Proyecto de instalación de calderas con reducción de emisiones. Requisitos básicos.
2009.11.07

NTP 350.303:2010 CALDERAS INDUSTRIALES. Inspección de las instalaciones con fines de eficiencia energética y reducción de emisiones
2010.04.16

CORROSIÓN

Es la transformación indeseable de un material como consecuencia del medio que lo rodea. Se llaman agentes agresivos a aquellos que producen la corrosión, estos pueden ser: la atmósfera, el agua de mar, el aire húmedo, los vapores ácidos, etc.

El fenómeno de corrosión se extiende a todos los materiales; pero solamente se tendrá en cuenta la corrosión metálica. Todos los metales pueden ser usados siempre que su velocidad de deterioro sea aceptablemente baja. De este modo en corrosión se estudia la velocidad con que se deteriora los metales y las formas en que dicha velocidad puede ser controlada.

FALLA ESTRUCTURAL

La estructura de una caldera es sometida a condiciones de temperaturas elevadas por tiempo corto y tiempo prolongado. Así mismo las fuertes gradientes térmicas en la sección de una pieza metálica debido al calentamiento o el enfriamiento rápido de una pieza metálica introducen fuertes gradientes térmicos en la sección de la pieza, provocando dilataciones y contracciones irregulares⁸.

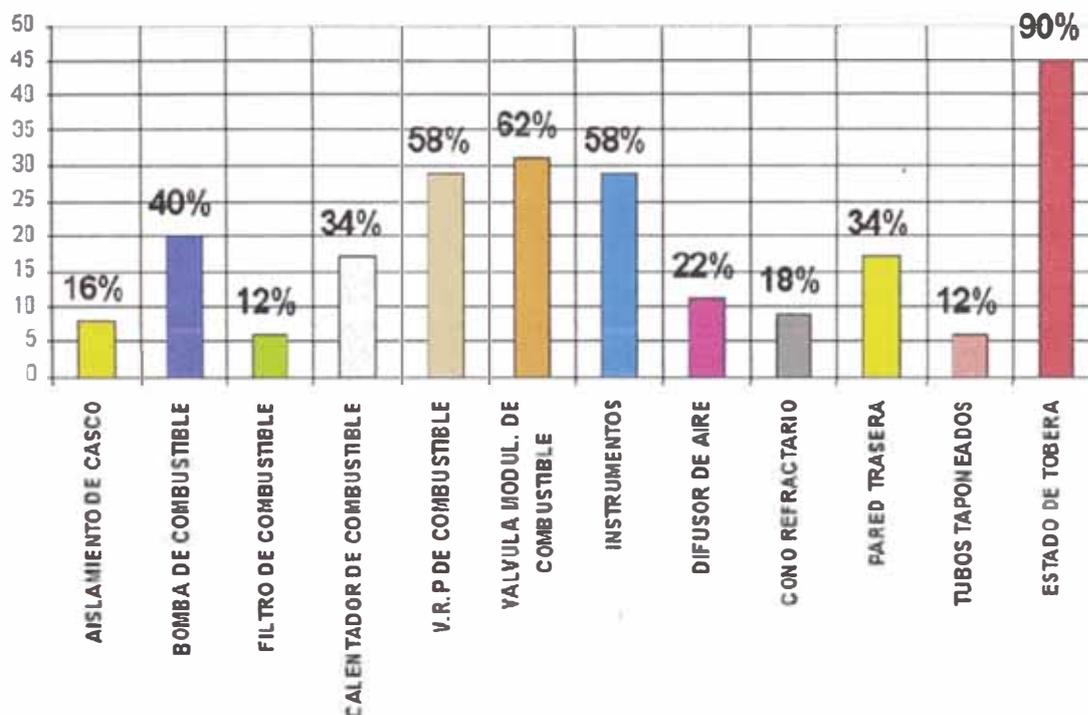
En investigaciones a calderas se determina que las fallas estructurales según Riley Stoker Corporation se debe a: temperatura elevada por un tiempo corto, temperatura alta por tiempo prolongado (termo fluencia), fatiga térmica, corrosión por fatiga, corrosión por ceniza, daño por hidrogeno, erosión, picado por oxígeno, agrietamiento por corrosión-esfuerzo y falla en soldadura

⁸Gauchet; *EDF Feedback on French Feedwater Plants Repaired by Shot Peening and Thermal Stresses Relaxation Follow-Up*

FALLAS EN SISTEMAS DE COMBUSTIÓN

Los sistemas de combustión para que tengan niveles recomendados, deben estar en buenas condiciones de mantenimiento, Las estadísticas de 50 calderas que consumen Diésel N° 1 y 2, Residuales N° 5, 6 y 500 fueron monitoreadas las componentes siguientes: Bombas, Filtros, calentadores, válvulas modulares de combustible, regulador de presión, boquilla de atomización del quemador, difusor de aire, cono refractario, manómetros y termómetros, las cuales se muestran en la siguiente tabla:

FALLAS EN SISTEMAS DE COMBUSTION DE 50 CALDERAS



Fuente: Congreso internacional de mantenimiento (Expositor: Ing. Víctor Arroyo CH. CINYDE S.A.C. 2001)

INCRUSTACIONES

Las incrustaciones cristalinas y duras se forman directamente sobre la superficie de calefacción al cristalizarse las sales de disolución saturadas presentes en el agua de la caldera. Están constituidas, esencialmente, por elementos cuya solubilidad decrece al aumentar la temperatura del agua y son, generalmente, carbonato cálcico, hidróxido cálcico y magnésico, y ciertos silicatos de calcio, de magnesio y aluminio entre otros. Las incrustaciones son peligrosas porque su conductividad térmica es pequeña. Estas incrustaciones afectan el rendimiento térmico de las calderas y producen recalentamiento importante en el metal expuesto a la llama, lo que se traduce en corrosiones, hinchamientos y explosiones, cuyas consecuencias pueden ser graves.⁹

IMPACTO

El impacto puede verse como un cambio en el resultado de un proceso (producto). Este cambio también puede verse en la forma como se realiza el proceso o las prácticas que se utilizan y que dependen, en gran medida, de la persona o personas que las ejecutan. Esta definición se refiere a cambios, pero se diferencia de otras definiciones en que este cambio ocurre en los procesos y productos, no en las personas o grupos.¹⁰

IMPACTO ECONÓMICO

Es uno de los impactos más importante, ya que con ello se determina la cantidad económica que se necesita para realizar las inversiones así como, su efecto sobre la economía de la planta industrial y el gasto que se planea para obtener los resultados necesarios.

⁹Santiago J. (2013). *Calderas industriales eficientes* Recuperado de www.madrid.org

¹⁰<http://tallermartin1.blogspot.com/2009/04/impacto-social-economico-ambiental-y.html>

IMPACTO AMBIENTAL

Procedimiento por el cual se puede predecir, identificar, valorar, mitigar y corregir los efectos adversos de determinadas acciones que puedan afectar el medio ambiente y la calidad de vida en el área de intervención e influencia respectiva.

Se dice que hay impacto ambiental cuando una acción o actividad produce una alteración, favorable o desfavorable, en el medio o en alguno de los componentes del medio. Esta acción puede ser un proyecto de ingeniería, un programa, un plan, una ley o una disposición administrativa con implicaciones ambientales.¹¹

CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Las calderas y hornos industriales son fuentes fijas e importantes de emisiones contaminantes, a partir de los combustibles de mayor consumo tales como Diésel, carbón, gas natural, gas oíl, bagazo, etc.

El impacto de cualquier planta de calderas debe ser el más bajo posible debido a que afectan directamente al ambiente mediante emisiones de: Productos de combustión, calor de desperdicio y ruido.

Los productos de combustión es debido a las emisiones de productos de combustión en la descarga de chimeneas incluyen los siguientes componentes: H₂O, N₂, O₂, NO, NO₂, CO, C_nH_n (Hidrocarburos no quemados, HNQ), SO₂, SO₃, partículas (polvo, cenizas volantes, metales pesados, etc.).

Los primeros componentes no son realmente dañinos, los demás si tienen un impacto negativo en el ambiente. Su composición depende del combustible que se quema. Las disposiciones nacionales e internacionales regulan los valores permisibles de cada contaminante.

¹¹ wwwwww.itescam.edu.mx/principal/syllabus/fpdb/recursos/r44256.PDF

Así mismo el calor de desperdicio es un calor disipado por pérdidas de procesos de transformación de energía, parte de ellas propio de los procesos de transformación y otros productos de ineficiencias y prácticas inadecuadas de operación y mantenimiento.

Finalmente el ruido que es generado por la propia caldera o sus equipos auxiliares, La aplicación de materiales acústicos es la solución a estos problemas.

2.1.2 ASPECTOS IMPORTANTES EN UNA INSPECCIÓN DE UNA CALDERA

En una caldera debe considerarse que la inspección debe seguirse de acuerdo a normas técnicas establecidas en el tema el cual consideran los siguientes:

COMPONENTES EXTERNOS:

- a) Estructura de apoyo
- b) Aislamiento
- c) Refractario del hogar
- d) Quemadores
- e) Dispositivos de medición y control, y dispositivos de seguridad
- f) Soldaduras de accesorios acoplados a las partes de presión
- g) Tapón fusible
- h) Soportes de la cañería de vapor principal
- i) Soportes de la cañería de agua de alimentación
- j) Bocas de inspección (Entradas de hombres / Tapas de inspección)
- k) Economizador

COMPONENTES INTERNOS

LADO HUMO

- a) Hogar corrugado
- b) 1º cámara de humos

- c) 2º cámara de humos
- d) 3º cámara de humos
- e) Envolvente
- f) Stays

LADO AGUA

- a) Hogares corrugados
- b) Placa del lado del quemador
- c) Placa trasera
- d) Envolvente cilíndrica
- e) Stays diagonales
- f) Tubos de Humo
- g) Accesorios: Separadores de Gotas, etc.
- h) Entrada de Hombre
- i) Cañería de Alimentación

2.2 CALDERAS

Una caldera o generador de vapor puede definirse como un equipo que, dentro de sus capacidades genera y entrega vapor en la cantidad, calidad y oportunidad requeridas por el usuario final, en forma continua y en operación económica y segura. Por calidad del vapor se entiende presión, temperatura, humedad, pureza y continuidad en la generación y dentro de las tolerancias que el uso final reclame.¹²

El calor es transferido en forma de vapor; y distribuidos por sistemas de tuberías las mismas que deben contar con aislamiento para evitar pérdidas de energía en su transporte a las áreas de requerimiento de vapor y también deben ser aisladas por seguridad para evitar accidentes de trabajo.

¹² Plauchu Alberto (1995). *Eficiencia en Caldera*. México.

Entre las aplicaciones más importantes en nuestro País del uso del vapor generado en las calderas están: generación de potencia (plantas eléctricas), evaporación de soluciones de sal y azúcar en evaporadores, utilización del vapor en intercambiadores de calor para calentar diversas soluciones, se utiliza en la industria textil, en hoteles y en hospitales; estos últimos utilizan gran cantidad de vapor para realizar el autoclaveado (esterilización de materiales).

Dependiendo del tipo de proceso que se utilizará así será la caldera a instalar; en la actualidad es verdaderamente abrumadora la cantidad de equipos de este tipo que se construyen e instalan; sin embargo una clasificación general ayudará a determinar qué tipo de equipo es el más adecuado para el proceso.

2.2.1 PARTES PRINCIPALES

Las calderas de vapor, básicamente constan de 2 partes principales:

2.2.2 CÁMARA DE AGUA.

Recibe este nombre el espacio que ocupa el agua en el interior de la caldera. El nivel de agua se fija en su fabricación, de tal manera que sobrepase en unos 15 cm. por lo menos a los tubos o conductos de humo superiores. Con esto, a toda caldera le corresponde una cierta capacidad de agua, lo cual forma la cámara de agua. Según la razón que existe entre la capacidad de la cámara de agua y la superficie de calefacción, se distinguen calderas de gran volumen, mediano y pequeño volumen de agua.

Las calderas de gran volumen de agua son las más sencillas y de construcción antigua, se componen de uno a dos cilindros unidos entre sí y tienen una capacidad superior a 150 HLT de agua por cada m² de superficie de calefacción.

Las calderas de mediano volumen de agua están provistas de varios tubos de humo y también de algunos tubos de agua, con lo cual

aumenta la superficie de calefacción, sin aumentar el volumen total del agua.

Las calderas de pequeño volumen de agua están formadas por numerosos tubos de agua de pequeño diámetro, con los cuales se aumenta considerablemente la superficie de calefacción.

Como características importantes podemos considerar que las calderas de gran volumen de agua tienen la cualidad de mantener más o menos estable la presión del vapor y el nivel del agua, pero tienen el defecto de ser muy lentas en el encendido, y debido a su reducida superficie producen poco vapor. Son muy peligrosas en caso de explosión y poco económicas.

Por otro lado, la caldera de pequeño volumen de agua, por su gran superficie de calefacción, son muy rápidas en la producción de vapor, tienen muy buen rendimiento y producen grandes cantidades de vapor. Debido a esto requieren especial cuidado en la alimentación del agua y regulación del fuego, pues de faltarles alimentación, pueden secarse y quemarse en breves minutos.

2.2.3 CÁMARA DE VAPOR.

Es el espacio ocupado por el vapor en el interior de la caldera, en ella debe separarse el vapor del agua que lleve una suspensión. Cuanto más variable sea el consumo de vapor, tanto mayor debe ser el volumen de esta cámara, de manera que aumente también la distancia entre el nivel del agua y la toma de vapor.

2.2.4 QUEMADORES.

Son los elementos de la caldera encargados de suministrar y acondicionar el combustible para mezclarlo con el aire y obtener una buena combustión. Deben producir una llama estable y uniforme de manera que se realice una cierta distribución en el hogar.

QUEMADORES PARA GAS NATURAL

Los quemadores de gas son perforados y por sus orificios el gas debe salir a una velocidad mayor que la del aire para asegurar una penetración íntegra del chorro de aire. Existen dos tipos de quemadores para gas: el de baja y alta presión

2.2.4.1 QUEMADORES DE BAJA PRESIÓN.

Estos trabajan entre 2.5 y 10 mbar. Es de la forma del tipo Venturi simple al cual se introduce el gas en la zona de la garganta y el aire para la combustión es succionado por la parte posterior por el efecto Venturi. Su capacidad está limitada aproximadamente a 1 MW.¹³

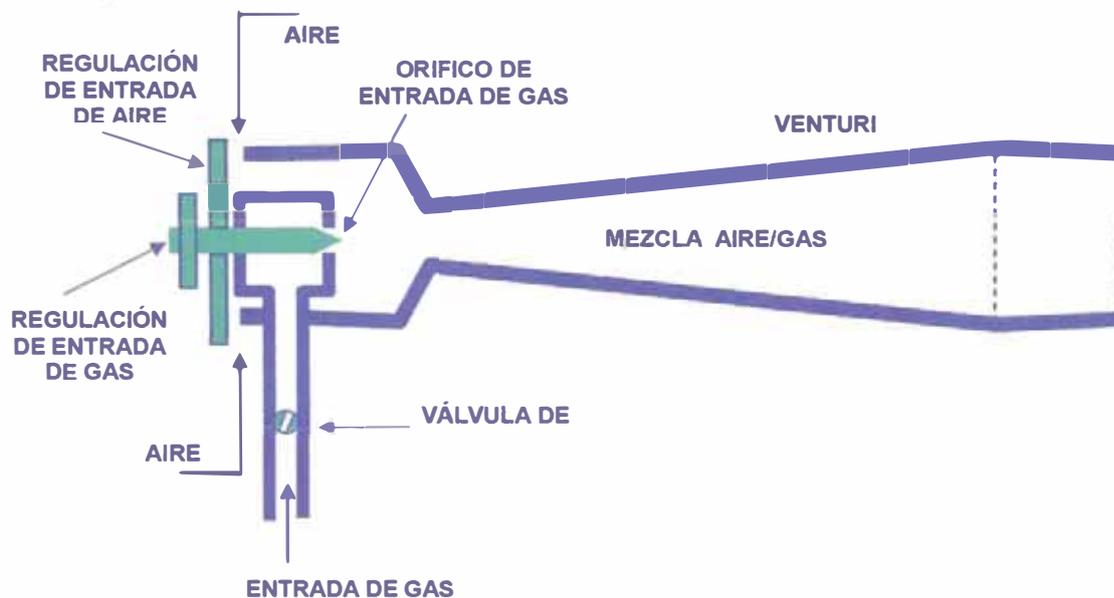


Figura 2.1 Quemador de baja presión

¹³ Comisión nacional para el ahorro de energía. (2007, Mayo). *Eficiencia en calderas y combustión*, recuperado de www.conae.gob.mx

2.2.4.2 QUEMADORES DE ALTA PRESIÓN.

Estos operan normalmente entre los 12 y 175 mbar y puede incluir varias toberas para producir una forma particular de flama

2.2.4.3 QUEMADORES TIPO DUAL.¹⁴

Estos quemadores pueden quemar combustible líquido o gaseoso, se diseñan para utilizar gas como su combustible principal, pero tiene la característica de poder quemar combustibles líquidos, debido a que el cambio de combustible de gaseoso liquido debe realizarse rápidamente.

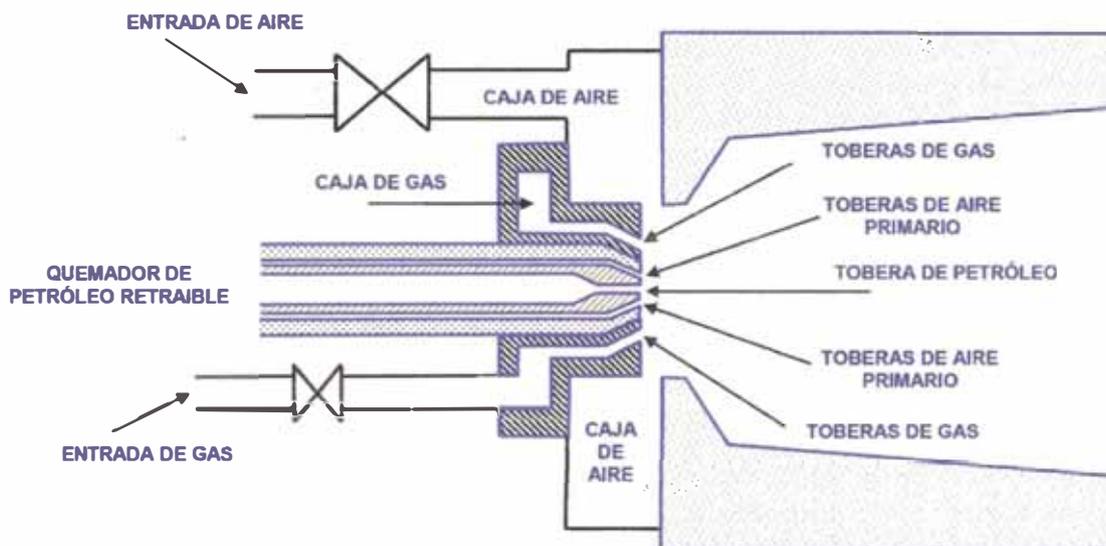


Figura 2.2 Quemadores tipo dual (Gas/Petróleo)

2.3 TIPOS DE CALDERAS

Por la disposición de los fluidos, las calderas se clasifican generalmente, como calderas de tubos de humo (pirotubulares) o de tubos de agua (acuotubulares).

¹⁴ Comisión nacional para el ahorro de energía. (2007, Mayo). *Eficiencia en calderas y combustión*, recuperado de www.conae.gob.mx

2.3.1 CALDERAS PIROTUBULARES

En esta caldera la llama y los productos de la combustión pasan a través de los tubos y el agua caliente rodea el hogar interno y los bancos de tubos. Manejan presiones de operación de 0-20 bares (0-300 PSI). (ROSALER, 2002). Fig. 2.3

Ventajas: Menor costo inicial debido a la simplicidad de su diseño, mayor flexibilidad de operación, menores exigencias de pureza en el agua de alimentación, son pequeñas y eficientes.

Desventajas: Mayor tiempo para subir presión y entrar en funcionamiento, no se deben usar para altas presiones.¹⁵

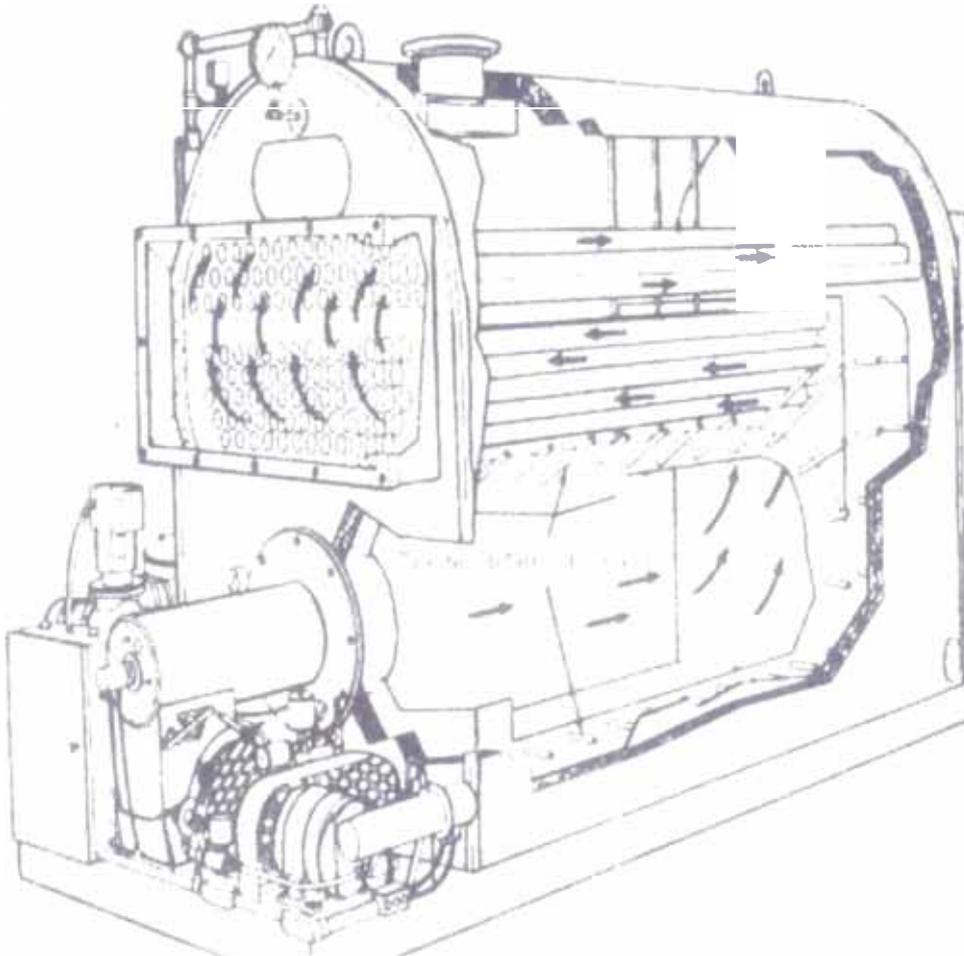


Figura 2.3 Caldera pirotubular. Adaptado de (Kohan Anthony L. (1998) "Manual de Caldera"

¹⁵Mejía A, Orozco W artículo *Calderas de Vapor* Instituto Tecnológico Metropolitano



Figura 2.4 Caldera pirotubular.

Fotografía fuente propia

Las calderas pirotubulares o de depósito como también se llaman, generalmente son de forma cilíndrica y tienen una cámara de combustión con una relación mínima entre la longitud y el diámetro de 3:1 (SAXON, 2006).

Según Kohan, las calderas pirotubulares son las más utilizadas en el calentamiento de procesos y en aplicaciones industriales y comerciales. (KOHAN, 2000)

Estas calderas se pueden subdividir en: de un solo paso o de múltiples pasos.

2.3.2 CALDERAS PIROTUBULARES DE UN PASO.

Estas calderas tienen un conjunto de tubos de humo que las atraviesan desde el principio hasta el final, con los quemadores al principio y la chimenea al final de estos, Figura 2.5, los tubos pueden ser colocados en la cámara de la caldera en forma vertical u horizontal. Los quemadores van montados dentro de cada tubo y normalmente en las calderas horizontales el tiro es forzado y en las verticales el tiro es natural.

Estas calderas son diseñadas para quemadores de gas y tienen una producción de vapor de 36 Kg/h hasta 360 Kg/h. Las calderas verticales son comúnmente usadas para tintorería y en la fabricación de prendas de vestir (SAXON, 2006).

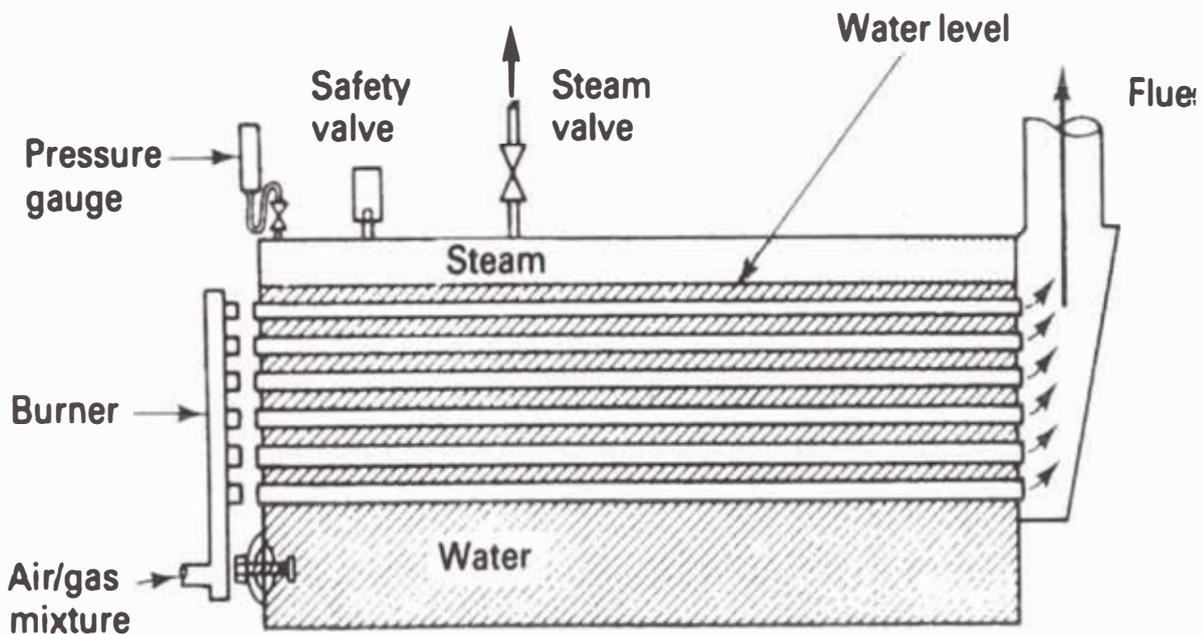


Figura 2.5 Caldera pirotubular de un paso. Adaptado de (SAXON, 2006)

2.3.3 CALDERAS PIROTUBULARES DE MÚLTIPLES PASOS. ¹⁶

Esta caldera usualmente tiene una sola cámara para la combustión principal, con un conjunto de tubos por donde pasan los gases calientes, tanto por el frente como por la parte de atrás de esta. Uno de los primeros diseños fue el de la caldera de Lancashire mostrada en la figura 2.6; esta fue originalmente diseñada para quemadores con carbón, pero luego fue convertida a gas natural. El rendimiento térmico de este tipo de caldera generalmente es cerca de 73–77%.

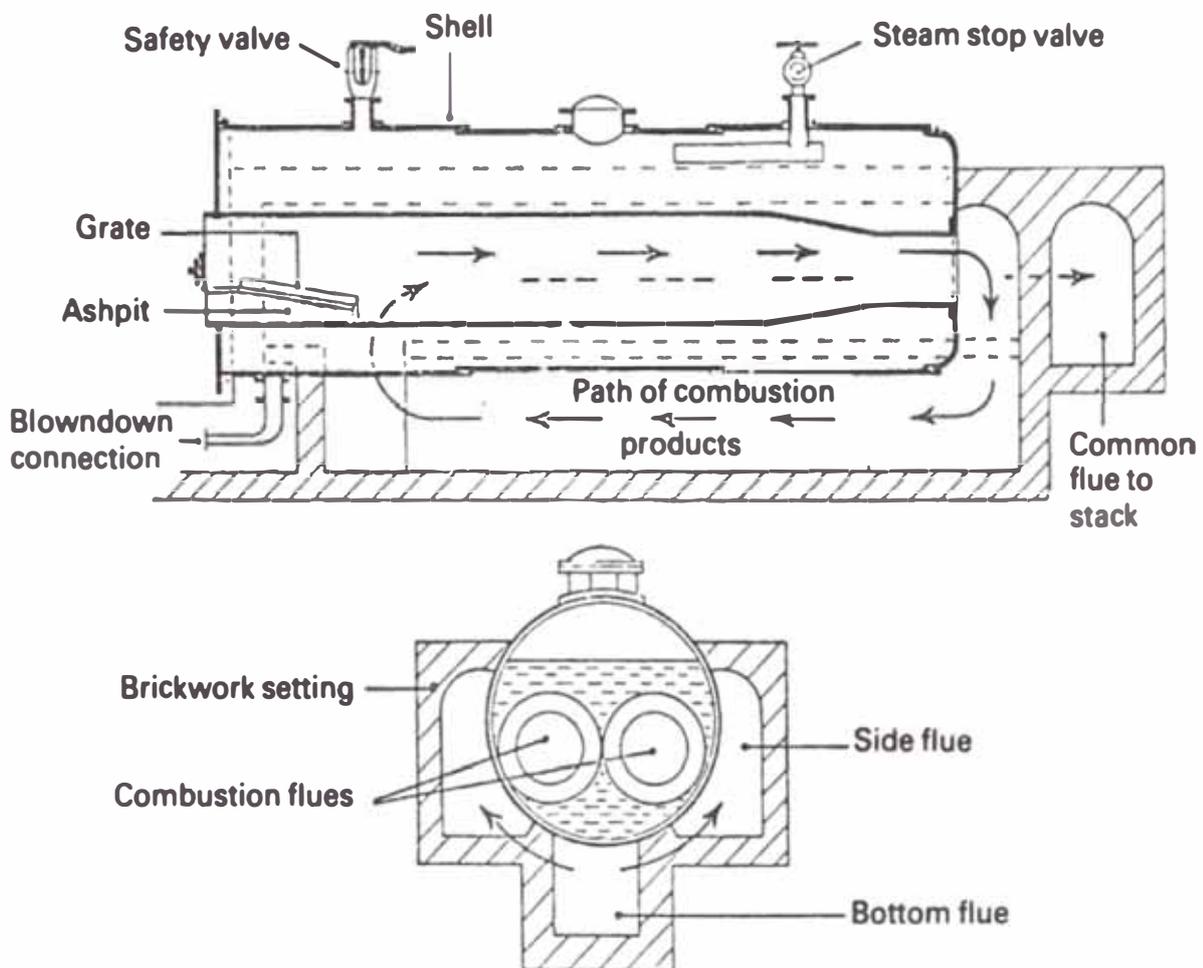


Figura 2.6 Caldera de Lancashire. Adaptado de (SAXON, 2006)

¹⁶ Mejía A, Orozco W *Calderas de Vapor* Instituto Tecnológico Metropolitano

La caldera moderna de cámara empaquetada generalmente es de tres pasos en la caldera húmeda, figura 2.7 y 2.8, sino hay problemas de fugas de aire podría funcionar con eficiencias térmicas de 78–83%.

El combustible puede ser petróleo, gas o dual. El vapor generado puede ser de hasta 31800 kg/h con presiones de hasta 18 bares. Las Calderas de más de 16820 kg/h de salida generalmente tienen dos tubos de combustión (SAXON, 2006).

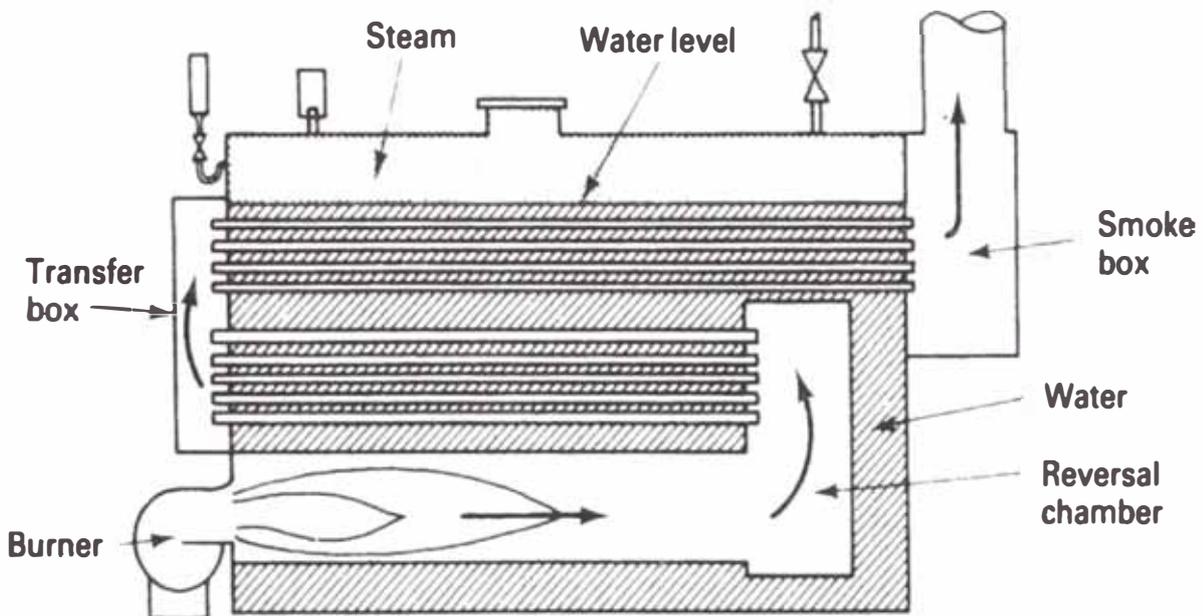


Figura 2.7 Caldera de tres pasos. Adaptado de (SAXON, 2006)



Figura 2.8 vista de pasos de una caldera

2.3.4 CALDERAS DE AGUA O ACUOTUBULARES¹⁷

En este tipo de unidad, los productos de la combustión rodean a los bancos de tubos y el agua circula por el interior de dichos tubos. Manejan presiones de operación de 0-150 bares (0-2200 PSI). (ROSALER, 2002). Figura 2.9.

Ventajas: Pueden ser puestas en marcha rápidamente y trabajan a 300 PSI o más.

Desventajas: Mayor tamaño y peso, mayor costo, debe ser alimentada con agua de gran pureza.

¹⁷ Mejía A, Orozco W CALDERAS DE VAPOR Instituto Tecnológico Metropolitano

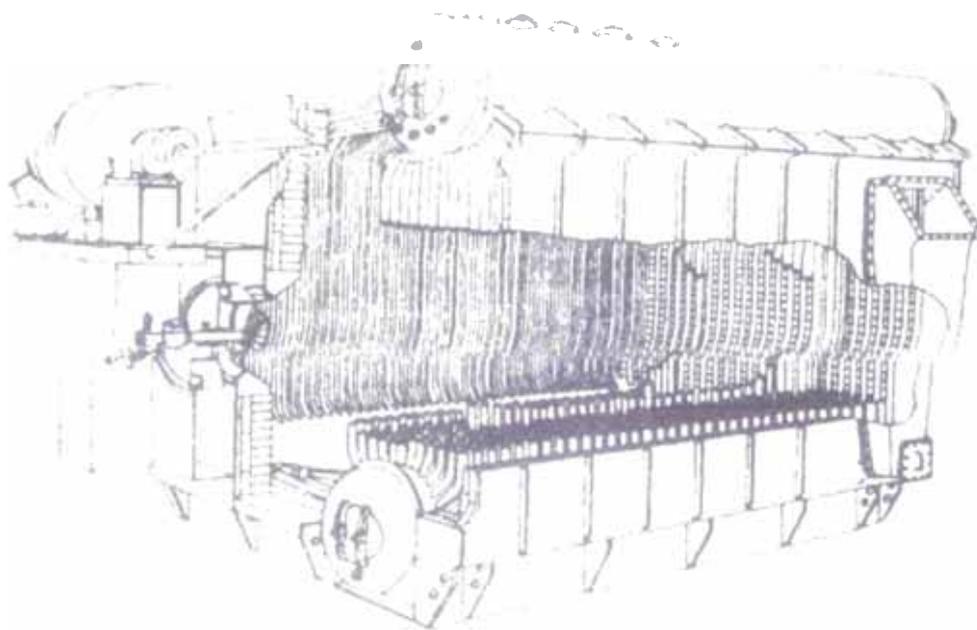


Figura 2.9 Caldera acuotubular. Adaptado de (KOHAN, 2000)

Estas son las grandes calderas de alta presión utilizadas para la generación de energía en la industria. Los gases calientes de los quemadores pasan alrededor de los bancos de tubos verticales que contienen el agua. Las calderas son de forma rectangular y los tubos están conectados a un tambor de agua en la parte inferior y a un colector de vapor en la parte superior. Normalmente hay un sobrecalentador por encima de la cámara principal de combustión. Los productos son por lo general por encima de 20.000 kg/h. Debido a factores económicos, las calderas trabajan con carbón pulverizado o petróleo. Algunas han sido convertidas a gas, también pueden trabajar con dos quemadores de combustible.

2.4 COMBUSTIBLES

Combustible es toda sustancia que emite o desprende energía por combustión controlada (energía química) o excisión nuclear (energía nuclear) capaz de plasmar su contenido energético en trabajo. Es también cualquier sustancia capaz de arder en determinadas condiciones (necesitará un comburente y una energía de activación).

2.4.1 GAS NATURAL.

Es un energético natural de origen fósil, que se encuentra normalmente en el subsuelo continental o marino. Se formó hace millones de años cuando una serie de organismos descompuestos como animales y plantas, quedaron sepultados bajo lodo y arena, en lo más profundo de antiguos lagos y océanos. En la medida que se acumulaba lodo, arena y sedimento, se fueron formando capas de roca a gran profundidad. La presión causada por el peso sobre éstas capas más el calor de la tierra, transformaron lentamente el material orgánico en petróleo crudo y en gas natural. El gas natural se acumula en bolsas entre la porosidad de las rocas subterráneas. Pero en ocasiones, el gas natural se queda atrapado debajo de la tierra por rocas sólidas que evitan que el gas fluya, formándose lo que se conoce como un yacimiento. El gas natural se puede encontrar en forma "asociado", cuando en el yacimiento aparece acompañado de petróleo, o gas natural "no asociado" cuando está acompañado únicamente por pequeñas cantidades de otros hidrocarburos o gases.

La composición del gas natural incluye diversos hidrocarburos gaseosos, con predominio del metano, por sobre el 90%, y en proporciones menores etano, propano, butano, pentano y pequeñas proporciones de gases inertes como dióxido de carbono y nitrógeno.

Composición Típica del Gas Natural:

Hidrocarburo	Composición Química	(%)
Metano	CH ₄	95,08
Etano	C ₂ H ₆	2,14
Propano	C ₂ H ₈	0,29
Butano	C ₄ H ₁₀	0,11
Pentano	C ₅ H ₁₂	0,04
Hexano	C ₆ H ₁₄	0,01
Nitrógeno	N ₂	1,94
Gas Carbónico	CO ₂	0.39

Tabla 2.1 Composición del Gas Natural

Fuente: Osinergmin

2.4.2 PETRÓLEO INDUSTRIAL R-500

Se le conoce así a este residual porque su viscosidad no debe exceder a los 500 SSF (Segundos Saibor Furol), a la temperatura de 122 °F. Este combustible si se le adiciona 5% de petróleo diésel podríamos obtener un combustible con propiedades de petróleo N° 6

Este combustible se obtiene o se prepara mezclando residuales obtenidos de las diferentes operaciones de refinación cuyas viscosidades son muy superiores a los 500 SSF a 122 °F y los destilados más ligeros, reduciendo de esta forma su viscosidad menores o iguales a 500 SSF a 122 °F como lo indican las normas.

Sus características principales son:

Su poder calorífico es aproximadamente 157 700 BTU/gal

Punto de inflamación 112 °C

2.4.3 El G.L.P.

El gas licuado del petróleo (GLP) es la mezcla de gases condensables presentes en el gas natural o disuelto en el petróleo. Los componentes del GLP Propano (C_3H_8), Butano (C_4H_{10}), o una mezcla de ambos. Aunque a temperatura y presión ambientales son gases, son fáciles de condensar, de ahí su nombre. En la práctica, se puede decir que los GLP son una mezcla de propano y butano.

2.4.4 ACEITE.

Los combustibles de aceite generalmente requieren algún tipo de tratamiento previo de calentamiento, debido a su alta viscosidad a temperatura ambiente y deben ser atomizados antes de la vaporización y mezcla con el aire de combustión. Tienen elevado grado de contaminación con respecto a los gaseosos.

2.4.5 CARBÓN.

Respecto al carbón, hay dos sistemas para quemarlo: pulverizado y con parrilla. El primero cuenta con cuatro funciones: pulverización, secado, clasificación, y transporte al sistema de quemador. Con este sistema es más eficiente la combustión ya que la cantidad de carbón inquemado en las cenizas disminuye. Por su parte el sistema de parrilla se caracteriza por que hay una cama de combustión sobre una rejilla donde se ubica el carbón y a través de ella atraviesa la corriente de aire de combustión. Se utiliza para calderas de menor capacidad que el sistema anterior (de 2000 a 350,000 lb de vapor por hora) y alcanza menores eficiencias.

2.5 PODER CALORÍFICO

El poder calorífico de un combustible es la cantidad de energía desprendida en la reacción de combustión, referida a la unidad de masa de combustible.

Es la cantidad de calor que entrega un kilogramo, o un metro cúbico, de combustible al oxidarse en forma completa.

El poder calorífico expresa la energía máxima que puede liberar la unión química entre un combustible y el comburente y es igual a la energía que mantenía unidos los átomos en las moléculas de combustible, menos la energía utilizada en la formación de nuevas moléculas en las materias (generalmente gases) formada en la combustión.

La magnitud del poder calorífico puede variar según como se mida. Según la forma de medir se utiliza la expresión poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI).

2.5.1 PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS):¹⁸

Es calor total obtenido en la combustión de la unidad de masa de un combustible con temperatura inicial de 15 °C (60 °F) cuyos productos de combustión son enfriados a (15 °C) 60 °F antes de que el calor liberado sea medido”. El PCS representa la cantidad total de energía calorífica liberada en su combustión completa.

2.5.2 PODER CALORÍFICO INFERIOR (PCI):

Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de 1 kg de combustible sin contar la parte correspondiente al calor latente del vapor de agua de la combustión, ya que no se produce cambio de fase, y se expulsa como vapor.

¹⁸ Plauchu Alberto (1995) *“Eficiencia en Calderas”*, capítulo 4, pág. 1

COMPARACIÓN EN BASE AL PODER CALORÍFICO

Combustible	Densidad (Kg/lt)	Precio US/Ton	Poder Calorífico inferior (K cal/Kg)	Poder Calorífico Superior (K cal/Kg)	Precio US\$/MBTU Superior	Precio US\$/MKcal Superior
Gas Licuado	0,56	784,97	10.734	11.660	16,98	67,34
Diésel	0,85	666,89	10.165	10.900	15,49	61,43
PC N° 5	0,95	410,95	9.762	10.340	10,06	39,90
PC N° 6	0,98	330,89	9.625	10.150	8,22	32,60
Carbón		120	6.250	6.500	4,66	18,46
Gas Natural	0,62		8.100	9.000	6,00	23,80

Tabla 2.2 comparación de poder calorífico

2.6 EFICIENCIA EN CALDERAS

2.6.1 EFICIENCIA DE UNA CALDERA

Es la relación entre el calor absorbido (agua, vapor, fluidos térmicos, etc.) y el calor liberado en el equipo. La diferencia entre el calor liberado y absorbido corresponderá a las pérdidas de calor de la caldera:

2.6.2 PÉRDIDAS DE CALOR

En el análisis de la eficiencia se toma en cuentas las pérdidas de calor dentro de las cuales se tienen las más importantes.

2.6.3 PÉRDIDAS DE CALOR EN GASES DE COMBUSTIÓN

Es probablemente la fuente de pérdida de calor más importante por lo que se debe reducir a lo máximo posible, esto es debido a: la temperatura y volumen de los gases que salen por la chimenea, a mayor temperatura de gases menor es la eficiencia en las calderas. Esto puede ser debido a que el quemador produce más calor de la requerida para que esto no ocurra debe calibrarse o tomar en cuenta su mantenimiento. Otro caso es debido a que las superficies de calefacción no están funcionando correctamente por lo que el calor no está transfiriéndose al agua, esto puede deberse a incrustaciones o están sucias por lo que deben limpiarse.

2.6.4 PERDIDAS POR RADIACIÓN

Esta pérdida es debido a que el aislamiento está dañado o mal instalado por lo que aumentará el potencial de pérdidas de calor por radiación.

2.6.5 PERDIDAS EN PURGAS

consiste en la extracción de sólidos disueltos y en suspensión dentro de la caldera se realiza extrayendo el agua de la parte inferior por lo que el agua evacuada por las purgas al estar a elevadas temperaturas y presión el calor contenido en las purgas debe recuperarse en otro tanque.

2.7 CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DEL GENERADOR DE VAPOR

Para un mejoramiento energético debemos conocer la eficiencia operativa de la caldera, así como el correspondiente incremento de la eficiencia desde una condición inicial hasta la condición de optimización, para ello se va requerir una serie de pruebas de eficiencia durante un periodo de tiempo. Dentro de los métodos de prueba y procedimientos para medir la eficiencia de calderas se tiene los siguientes:

2.7.1 PRUEBA DE EFICIENCIA UTILIZANDO EL CÓDIGO DE ASME

Las pruebas de eficiencia para calderas mayormente reconocidas y aceptadas es el código de Pruebas de Potencias de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos ASME.

Para el método de entradas y salidas se requiere evaluar lo siguiente:
Calor que entra con el combustible y calor que sale con el vapor generado.

2.7.1.1 MÉTODO DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA

El método de pérdidas y ganancias consiste en evaluar las pérdidas en el generador de vapor y restarlas del 100% de la eficiencia que se obtendría si éstas no existieran. Para la aplicación del método de pérdidas de calor se requiere determinar lo siguiente:

Total de pérdidas de calor:

- Por gases secos
- Por formación de CO
- Por radiación
- Por la combustión del H₂
- Por la humedad del aire
- Por la humedad en el combustible
- Por el carbono inquemado en las cenizas
- Pérdidas incalculables

La eficiencia será cuantificada mediante la siguiente expresión:

$$\text{Eficiencia} = (1 - \Sigma \text{Pérdidas}) * 100$$

2.7.1.2 MÉTODO DE ENTRADAS Y SALIDAS

El método de entradas y salidas, pretende cuantificar la forma en que es utilizado el calor suministrado por el combustible. O sea, cuánto de ese calor es usado para la producción del vapor, que es el objetivo del

sistema de generación, y cuánto calor es suministrado al generador mediante el combustible quemado.

Para el método de entradas y salidas se requiere evaluar lo siguiente:

Calor que entra con el combustible.

Calor que sale con el vapor generado.

La eficiencia será cuantificada mediante la siguiente expresión:

$$\text{Eficiencia} = (Q_{\text{aprovechado}} / Q_{\text{suministrado}}) * 100$$

2.7.2 COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA EN CALDERAS

MÉTODO DE ENTRADA Y SALIDA

- a) Método más directo
- b) Requiere de importantes cantidades de instrumentos de prueba
- c) Lograr mediciones precisas es difícil y costoso
- d) No localiza ni identifica las pérdidas de calor

MÉTODO DE PERDIDAS DE CALOR

- a) Método indirecto
- b) Simple y preciso
- c) Requiere menos preparación de prueba
- d) Localiza y determina el valor de las pérdidas de calor, aportando elementos para su corrección.
- e) Permite valorar potenciales de mejoras de eficiencia y ahorros de energía.

2.8 INSTRUMENTOS Y EQUIPOS DE MEDICIÓN

2.8.1 ANALIZADOR DE GASES DE COMBUSTIÓN ORSAT

Los elementos que constituyen los productos de la combustión básicamente son: carbono, azufre, nitrógeno, oxígeno, hidrógeno. La combinación de estos elementos origina una gran variedad de compuestos producto de la combustión, tales como anhídrido de carbono, monóxido de carbono, dióxido de carbono, vapor de agua, cenizas, anhídrido sulfuroso e hidrocarburos no quemados, que forman los productos de la combustión.

El análisis de determinados productos de combustión se efectúa mediante el *Análisis Orsat*, a partir del cual se determina la relación aire – combustible, y consecuentemente el grado de efectividad en la combustión.

La determinación de la composición de la mezcla de gases de combustión se efectúa con la ayuda de un *Aparato Orsat*, el cual atraviesa la muestra a través de una solución líquida que absorbe y remueven componentes específicos. El volumen se mide antes y después de la absorción. La disminución en el volumen, luego de la absorción, constituye el porcentaje de gas presente. A continuación se presenta el Aparato Orsat que se utilizó en esta práctica.



Figura 2.10 Aparato ORSAT para Análisis de Gases de Combustión

Este equipo emplea el método "ORSAT" de medida volumétrica efectuando la absorción de la muestra de gas por medio de una solución química que actúa como indicadora de la concentración del gas analizado. El sistema consta de dos equipos, uno para la medición del O_2 y otro para la medición del CO_2 , Además cuenta con una bomba opacimétrica para el análisis del negro de humo de los gases con una escala de Bacharach para calcular el nivel de pérdidas por incombustión

2.8.2 PIROMETRÍA

El pirómetro es un instrumento que intercepta y mide la radiación térmica, sin tener contacto directo con la superficie del objeto. El pirómetro consiste en un sistema óptico y un detector. El sistema óptico focaliza la radiación térmica en el detector, permitiendo que se efectúe la medición correspondiente.



Figura 2.11 Pirómetro

2.8.3 MANÓMETRO

El manómetro, montado sobre las calderas indica la presión efectiva que el vapor ejerce sobre cada centímetro cuadrado, es decir, la presión total o absoluta, disminuida de la presión de la atmosfera. Le constituye un tubo hueco curvado y elástico, deformándose más o menos bajo la presión que se ejerce en su interior. El extremo movable de este tubo actúa sobre una aguja que se mueve a lo largo de un cuadrante graduado.

El vapor de la caldera no penetra dentro del tubo del manómetro, donde el calor podría falsear las indicaciones, y el tubo de comunicación con la caldera llenase de agua y transmite la presión.

Cuando la caldera está fría, la aguja del manómetro marca 0, y esto quiere decir que la presión al interior de la caldera iguala la presión de la atmósfera al exterior.

En efecto, el aire penetra en la caldera fría, notablemente si se levanta la válvula del regulador. Durante el enfriamiento de un recipiente de vapor cerrado, en donde, el aire no puede insinuarse, el vacío se hace por consecuencia de la condensación del vapor; la presión atmosférica exterior amenaza entonces aplastar el recipiente, si este está construido para resistir únicamente a la presión interior del vapor, pero no a una presión exterior.

Siguiendo la prescripción del art. 7 del decreto de 30 de abril de 1880, relativo a los aparatos de vapor, una marca muy aparente sobre la escala del manómetro indica el límite de donde la presión efectiva no debe pasar

Los manómetros se desarreglan con el tiempo, y se les verifica montando sobre la caldera un manómetro *étalon*, patrón o tipo construido con mucho esmero y siempre en buen estado. El maquinista ve desde luego si la aguja del manómetro marca bien la presión superior límite, en el momento en que las válvulas se levantan, lo cual tiene lugar cuando el manómetro está en buen orden. Debe señalarse inmediatamente a reparación todo manómetro cuya aguja dé en tal momento una indicación errónea de un cuarto de kilogramo en más o en menos.

Puede suceder que la aguja de un manómetro no recaiga exactamente al cero cuando toda presión efectiva cese en la caldera; esto no tiene una gran importancia, si la indicación de la aguja es justo en la presión superior.



Figura 2.12 Manómetro

2.8.4 TERMÓMETRO

Los termómetros bimetálicos se utilizan en el lugar para la medida directa de temperatura. Una amplia de versiones estándares permite una variedad de aplicaciones. Además versiones especiales se fabrican a la especificación del cliente. Áreas especiales de aplicación, plantas industriales pesadas, tuberías y recipientes, maquinas, etc.

Los dispositivos son instalados en un termo pozo con un tornillo de ajuste. Simplemente atornille en el termo pozo enchufe el termómetro y sujete con el tornillo de ajuste.



Figura 2.13 Termómetro bimetalico

2.8.5 TERMÓMETRO LASER

Termómetro laser Termolaser termómetro digital por infrarrojos con puntero láser mide temperaturas sin tocar los productos.

Características y utilidades:

El termómetro láser, es un termómetro digital láser por infrarrojos. Este termómetro está pensado para medir la temperatura de objetos sin necesidad de tocarlos ni esperar.

El termómetro funciona con una pila y lleva incorporado un puntero láser para localizar con más precisión el punto donde se desea tomar la temperatura

Medición de temperatura a distancia de cualquier objeto. Ideal para medición de temperatura en motores, instalaciones, aparatos, alimentación, aires acondicionados, etc.

Aplicaciones

Termómetro de infrarrojos es compacto y fácil de usar. En el termómetro, pulse el botón y podrá leer la temperatura en menos de un segundo. Puede medir la temperatura de una superficie caliente, peligrosos, o difíciles de alcanzar, objetos sin tener que tocarlos



Figura 2.14 Termómetro Laser

2.8.6 EL TUBO PITOT

El flujo es proporcional a la velocidad media. Por tanto, una de las formas de medir el caudal es midiendo la velocidad. Esto se realiza mediante los sensores de presión.

El tubo Pitot mide la diferencia entre la presión total del fluido y la atmosférica. Si el tubo Pitot se conecta con el ducto, mide la diferencia entre la presión total y la presión estática. Esta presión se denomina dinámica, y es la medida del cuadrado de la velocidad. Luego, aplicando la ecuación de Bernoulli, se calcula el caudal.

Estos medidores no tienen coeficiente de corrección pues no perturban el flujo.



Figura 2.15 Tubo de pitot

2.8.7 PLACA DE ORIFICIO

La placa de orificio es el elemento primario para la medición de flujo más sencillo, es una lámina plana circular con un orificio concéntrico, excéntrico o segmentado y se fabrica de acero inoxidable, la placa de orificio tiene una dimensión exterior igual al espacio interno que existe entre los tornillos de las bridas del montaje, el espesor del disco depende del tamaño de la tubería y la temperatura de operación, en la cara de la placa de orificio que se conecta por la toma de alta presión, se coloca perpendicular a la tubería y el borde del orificio, se tornea a escuadra con un ángulo de 900 grados, al espesor de la placa se la

hace un biselado con un chaflán de un ángulo de 45 grados por el lado de baja presión, el biselado afilado del orificio es muy importante, es prácticamente la única línea de contacto efectivo entre la placa y el flujo, cualquier rebaba, o distorsión del orificio ocasiona un error del 2 al 10% en la medición, además, se le suelda a la placa de orificio una oreja, para marcar en ella su identificación, el lado de entrada, el número de serie, la capacidad, y la distancia a las tomas de presión alta y baja. En ocasiones a la placa de orificio se le perfora un orificio adicional en la parte baja de la placa para permitir el paso de condensados al medir gases, y en la parte alta de la placa para permitir el paso de gases cuando se miden líquidos.

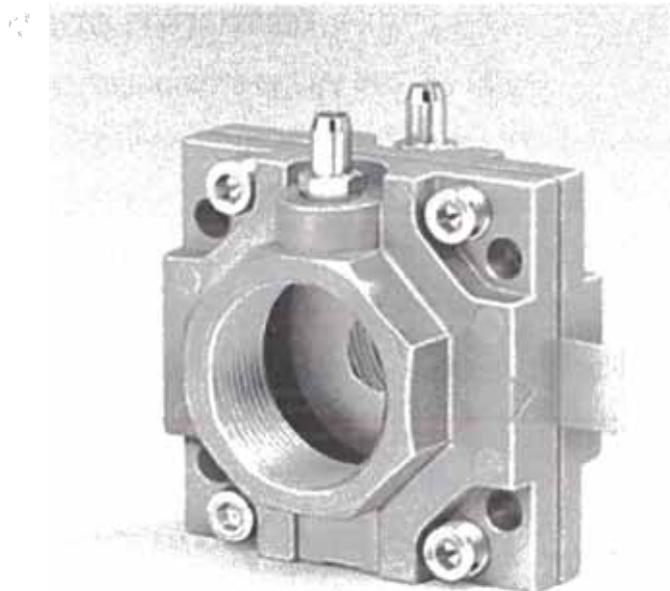


Figura 2.16 Figura placa de orificio

2.9 MARCO NORMATIVO

ADMINISTRACIÓN DE LA ENERGÍA

En diversos países se han tomado medidas en relación a mejorar e incentivar el mejor uso y racionalización de la energía, para lo cual se han dado políticas mediante leyes, reglas o recomendaciones para

lograrlo, así mismo esto implica un mejoramiento de limitar las emisiones de gases que tienen efecto sobre el cambio climático. A continuación se dan algunas recomendaciones al respecto.

Colombia

DECRETO LEY 697 (03/10/2001)

Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.

DECRETO 3683 (19/12/2003)

Por el cual se reglamenta la Ley 697 de 2001

Artículo 1°. Objetivo. El objetivo del presente decreto es reglamentar el uso racional y eficiente de la energía, de tal manera que se tenga la mayor eficiencia energética para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad del mercado energético colombiano, la protección al consumidor y la promoción de fuentes no convencionales de energía, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normatividad vigente sobre medio ambiente y los recursos naturales renovables.

DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL TÉCNICO Y ECONÓMICO DE URE (Uso Racional de Eficiencia de Energía) EN EL SUBSECTOR INDUSTRIAL DE TEXTILES

España

Procedimiento de inspección de la eficiencia energética de una caldera con vistas a la reducción del consumo de energía y a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono, se emite la Directiva 2002/91/CE el reglamento de eficiencia energética

Estrategia de ahorro y eficiencia energética 2004-2012 aprobada el 28 de noviembre de 2003

Brasil

Programa de Racionalización en el Uso de Derivados de Petróleo y Gas Natural,

CONPET 5, que es una iniciativa del Ministerio de Minas y Energía, coordinado por representantes de entes del Gobierno Federal y de la iniciativa privada. Petrobras otorga los recursos técnicos, administrativos y financieros al Programa.

(Ver anexo)

Perú

Ley N° 27345 (08/09/2000)

Artículo 1°.- Objeto de la Ley Declárese de interés nacional la promoción del Uso Eficiente de la Energía (UEE) para asegurar el suministro de energía, proteger al consumidor, fomentar la competitividad de la economía nacional y reducir el impacto ambiental negativo del uso y consumo de los energéticos

(Ver anexo)

Ley N° 27345 (08/09/2000)

Artículo 1°.- Objeto de la Ley Declárese de interés nacional la promoción del Uso Eficiente de la Energía (UEE) para asegurar el suministro de energía, proteger al consumidor, fomentar la competitividad de la economía nacional y reducir el impacto ambiental negativo del uso y consumo de los energéticos

Ley N° 28611 (15/10/2005)

LEY DEL MEDIO AMBIENTE

Artículo I.- Del derecho fundamental

Toda persona tiene derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger al ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país

Artículo III.- el derecho a la participación en la gestión ambiental

Toda persona tiene derecho a participar responsablemente en los procesos de toma de decisiones, así como en la definición y aplicación de políticas y medidas relativas al ambiente y sus componentes, que se adopten en cada uno de los niveles relativos al ambiente y sus componentes, que se adopten en cada uno de los niveles de gobierno. El estado peruano concertar con la sociedad civil las decisiones y acciones de la gestión ambiental.

R.M. N° 359-2004-PRODUCE (30-09- 2004)

R.M. N° 198-2006-PRODUCE (Guía de prevención de la contaminación para la industria manufacturera) (25-07-2005)

Para Administrar la energía se debe requerir de una planificación, evaluación técnica y económica que permita tomar decisiones en base a lo que se denomina auditoria energética en periodos de acuerdo a necesidades y limitaciones técnicas.

De las recomendaciones obtenidas de la auditoria Energética deberá garantizarse la rentabilidad económica y la recuperación de la inversión en lo posible en un menor periodo de tiempo.

Estas recomendaciones no necesariamente han dado buenos resultados ya que lo encontrado en el trabajo de investigación para el caso de estudio que hay indicios en el problema de la administración de la energía y esta se presume que pasa por la capacitación del personal de la empresa en estudio la cual si bien tienen conocimiento

de la operación, manejo y control de los equipos desconocen del costo que implica un descuido en no tomarse medidas en la pérdida de la eficiencia y como puede evaluarse.

2.10 IMPACTO AMBIENTAL

Las industrias textiles dentro de sus procesos de hilado lavado, teñido, cardado, planchado entre otros están tratando de mejorar la eficiencia en sus actividades para obtener mejoras no solo en la calidad de sus productos sino también en mejorar sus relaciones con el entorno geográfico donde están ubicadas para su mejor competitividad.

La preocupación por mantener estándares en calidad, ahorro dentro de sus costos productivos, mejorar su relación con el entorno social tanto interno como externo y cumplir con las disposiciones legales están llevando a las industrias a tomar conciencia de la importancia que se debe tener en cuenta áreas sensibles que afectan en sus costos por ello están tomando en cuenta sobre un mejor manejo de la eficiencia en su administración, ahorro en energía, ahorro en agua, y costos en general. Producto de sus actividades están teniendo compromisos de:

Reducir o minimizar el impacto sobre el medio ambiente producido por el uso de equipos y maquinarias en sus procesos de desmotado, teñido, cardado, planchado, centrifugado y otros

Adquirir y aplicar nuevas tecnologías para la obtención de una mejora en su eficiencia productiva y así prevenir la contaminación que es generado por sus actividades.

Estar de acuerdo con cumplir con los dispositivos legales relacionados con el cuidado del medio ambiente.

Ayudar a crear conciencia ambiental internamente y exteriormente para una mejor relación con el entorno social.

Dentro de las disposiciones legales de mayor importancia aplicable sobre el medio ambiente para el caso de las industrias textiles en el Perú se tienen los siguientes:

Ley N° 28611	18/10/2005	Ley general del ambiente
DS N° 008-2005-PCM	20/01/05	Reglamento de gestión ambiental
DS N° 035-2003-PRODUCE	12/12/2003	TUPA PRODUCE
DS N° 019-97-ITINCI0	1/10/1997	Reglamento de protección ambiental
Ley N° 2774623/04/2001		Ley del sistema nacional de evaluación del Impacto ambiental
D.L. N° 17752	24/07/1969	Ley general de aguas
D.L. N° 28-60-SAPL29/11/1960		Reglamento de aguas residuales ambientales
Ley N° 27314	22/07/2000	Ley general de residuos solidos
D.S N° 054-2004-PCM	22/07/2004	Reglamento de la ley general de residuos sólidos
O.M. N° 295-MML16/11/2000		Sistema metropolitano de gestión de residuos sólidos y sus modificaciones
D.A. N° 147-MML06/01/2002		Reglamento del sistema metropolitano de Gestión de residuos sólidos.

Por todo lo anterior necesario incluir de una manera resumida en lo referente a la legislación nacional y local dada respecto del medio ambiente.

En el tema sobre los procesos de manufactura de una industria textil ya se ha mencionado anteriormente y los efectos que producto de sus actividades generan sobre el medio ambiente, para ello deben dar o están dando cumplimiento al Plan de Manejo Ambiental (PAMA) es importante conocer los aspectos ambientales relacionados con las emisiones y son las siguientes:

2.10.1 MANEJO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS.

En este manejo comprende la capacitación, control de la emisión de gases a través de mejorar la eficiencia de la caldera ya sea modificando los equipos generadores de vapor o hacer una previa evaluación de un proyecto de inversión para la adquisición de otro de mejor eficiencia, también se debe tomar en cuenta de mejorar el mantenimiento técnico necesario así como el monitoreo de las emisiones de gases

El control y neutralización de emisiones de CO₂ por el uso de combustible en su mayoría

El petróleo Industrial R-500 que es el combustible más usado en estas industrias producen también el efecto de invernadero por ello es responsabilidad de los generadores de reducir estas emisiones aplicando eficiencia productiva en el uso de los recurso e insumos. Para ello se han dado las recomendaciones y disposiciones legales.

Para un mejor control del manejo de Pelusas debe realizarse estudios previos para la elaboración y diseño de un proyecto de inversión y pueda implementarse en la misma de tal manera se pueda realizar el monitoreo de sólidos en suspensión que general produce efectos sobre las personas y el entorno del área donde están operando.

2.10.2 MANEJO DEL AGUA

El personal debe estar capacitado para manejar directamente este recurso para darle un mejor tratamiento en el uso y re-uso así como su manejo adecuado haciéndose extensivo a otras áreas.

El mejor uso del agua se da cuando hay reducción en su consumo por unidad de producción así como su reutilización. Para ello deberá hacerse un estudio con la finalidad de elaborar y diseñar un proyecto para utilizar de mejor manera el recurso y tener un seguimiento del consumo en periodos establecido y comprobar que están siendo aplicados adecuadamente en los procesos productivos.

El agua residual debe seguir el cumplimiento de los estándares exigidas por las leyes, al respecto todavía falta mejorar legalmente ya que en algunos casos no están dados los límites máximos permisibles. Para ellos debe realizarse un previo estudio para saber o conocer las entidades que van hacer los monitoreo y los parámetros que se están tomando en cuenta para este tipo de líquidos residuales.

2.10.3 MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS

Todo el personal debe estar capacitado y adquirir compromisos para tener un mejor manejo y control de los residuos así como la supervisión que requiere para tener estrategias a tomar en cuenta en el cuidado que debe tenerse al momento de su manipulación, transporte, almacenamiento y control. También esta capacitación cumple con dar a conocer sobre el daño que ocasiona manipular este tipo de residuos generados en los procesos que son participes.

El almacenamiento de estos residuos requiere de un manejo desde la localización del área de almacenamiento, formas y maneras de almacenarlas, señalización y diferenciación de los peligrosos y no peligrosos, tipos de envases requerido para cada caso y otros que puedan mejorar este manejo.

Debe verificarse que la entrega de los residuos sólidos se realiza a través de las entidades privadas o públicas autorizadas. Debe también llevarse acabo de la limpieza con los estándares planificados.

2.10.4 MANEJO DE LA ENERGÍA

Es la parte más importante porque está relacionado directamente con nuestro trabajo de investigación.

Debe realizarse un estudio previo para detectar posibles pérdidas de calor en los sistemas que componen las líneas de transmisión de vapor así verificar si se tiene del buen aprovechamiento en las diferentes áreas del proceso, tomar en cuenta las emisiones de gas de los calderos y las posibles pérdidas que pueden tener en el proceso.

La detección temprana de pérdidas energéticas y posibles modificaciones que pudieran realizarse estará determinada por una auditoría energética. El proyecto deberá elaborarse así como la inversión que requerirá en base a los resultados después de la auditoría energética se tomen las decisiones correctas. Esto es necesario porque repercutirá en una mejora de la eficiencia en el manejo de la energía y en consecuencia esta se traducirá en grandes ahorros de vapor, consumo de combustibles y mejor manejo del mismo. Como también recomendaciones que se deberán tomar en cuenta sobre el control, manejo y supervisión de las emisiones de chimenea.

CAPITULO III

MÉTODO DE ESTUDIO

Para desarrollar esta investigación se identificaron a través de revisión bibliográfica y de la observación directa, de los procesos de producción, áreas, y el recorrido y visualización a los equipos que utilizan la energía generada por las calderas desde su transformación hasta su utilización dentro de la producción de la planta industrial.

En el proceso de producción de, lavado, planchado de la industria visitada y otras áreas de la planta industrial, las observaciones se realizaron con ciertas restricciones en la recopilación de información con la finalidad de cumplir con el propósito general del estudio planteado, iniciando desde el Tipo de estudio, Diseño de la Investigación, Fuentes de información y Procedimiento Metodológico para llevar a cabo la investigación.

3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Al ser un diseño de investigación no experimental y del tipo transversal o transeccional su alcance es exploratorio y descriptivo los datos recolectados son en un solo momento, en un tiempo único ¹⁹

Para el estudio de los elementos determinantes y/o influyentes que intervienen en el trabajo, se basará en los siguientes tipos de estudio:

- a.** La realización de esta investigación es de campo, por tratarse básicamente de un conjunto de actividades metódicas y técnicas que se realizan para recabar la información y datos necesarios referentes al estudio técnico económico.

¹⁹ Hernández, S. R. y Fernández C, C. y Baptista L. P. (2008). *Metodología de la investigación* (4^{ta} ed.) México: Mc Graw Hill

b. Según el Nivel de la Investigación es **no experimental** porque se enfoca en el estudio técnico económico de la caldera que utiliza R-500 y la que es convertida a Gas Natural de la empresa caso de estudio.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo al área donde se realiza la investigación, se asume que es **Documental y de Campo**. Documental porque se requirieron de diversos extractos bibliográficos para establecer la información referente a los procesos involucrados, tipos de calderas, tipo de combustible usado, el proceso de generación de vapor, impacto ambiental dentro de su área y localidad cumplimiento de las normatividades que regulan estos aspectos

Se dice que también es de Campo debido a que se logró obtener información valiosa e importante por medio de la observación directa, recorridos minuciosos a la planta industrial, tomas fotografías, medición de la eficiencia y cálculo del mismo mediante un análisis de ingeniería

La investigación Documental es “Aquella que se realiza a través de la consulta de documentos (libros, revistas, periódicos, memorias, anuarios, registros, constituciones, etc.)”.²⁰

Según Hurtado de Barrera, (1996) que define una investigación de campo “Es la recolección de datos directamente de la realidad, sin manipular ni controlar variable alguna”, con lo que el investigador se basa para definir la presente, en una investigación de campo, de acuerdo a la estrategia adoptada como medida en respuesta a los objetivos planteados, ya que tomará en cuenta las evaluaciones y resultados obtenidos directamente del sitio.

²⁰ Zorrilla, A. (1993). *Introducción a la metodología de la investigación*. (11ª Ed) México, Aguilar León y Cal, Editores

Al respecto Carlos Sabino (2001) expresa que: En los diseños de campo los datos de interés se recogen en forma directa de la realidad mediante el trabajo concreto del investigador y se equipan estos datos obtenidos directamente de la experiencia empírica, son los llamados primarios, denominación que alude al hecho de que son datos de primera mano, originales, productos de investigación en curso sin intermediación de ninguna naturaleza.

3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para efectos de este trabajo de investigación, se utilizaron técnicas e instrumentos que serán de gran ayuda para la obtención de información y recolección de datos, orientadas de manera esencial a alcanzar los fines propuestos para éste estudio.

3.3.1 BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA.

Se utilizó esta técnica de revisión bibliográfica para tener una mejor información y comprensión acerca de los factores que afectan la eficiencia de las calderas; así como también saber si el personal involucrado con el manejo de la energía tiene conocimiento sobre la eficiencia en el uso de gas natural, así como el manejo de normas, leyes y lineamientos internos que se deben seguir en materia de ahorro energéticos como protección al medio ambiente,

CAPÍTULO IV

PROGRAMA DE EJECUCIÓN DE PROYECTO

4.1 DEFINICIÓN Y ESPECIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES POR ETAPAS Y DURACIÓN

El presente trabajo de investigación se ha venido desarrollando en un período entre siete y ocho meses, iniciando en Noviembre 2011 y finalizando en Junio del 2012.

En su primera etapa de Noviembre a Diciembre se realizó la investigación bibliográfica y la recolección de información teórica.

La segunda etapa comprendió el análisis de información y selección de la empresa para el estudio, esto se realizó en los meses de enero y febrero.

En la tercera etapa de marzo-abril se coleccionó la información de la empresa para luego ser estudiada y analizada.

En la etapa final que comprende los meses de Mayo-Junio se realizó la síntesis de la información teórica - práctica así como la elaboración del informe final y la presentación del trabajo Investigación

4.3 RECURSOS HUMANOS.

En este apartado se especifican qué personas (Investigadores, tesisistas, auxiliares, secretarias, etc.) Van a realizar ciertas actividades dentro del estudio.

4.3.1 PERSONAL Y MEDIOS PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO

4.3.1.1 PERSONAL: MIEMBROS PARTICIPANTES RECURSOS HUMANOS:

- Asesor externo e interno: Magister. Franco Gonzales Javier.
- Investigador: Ing. Cortez Galindo, Cancio Nicolás
- Investigador: Ing. Hernán Cortez Galindo
- Consultor Técnico
- Digitador
- Compaginador
- Diagramador

4.3.1.2 MEDIOS: INSTALACIONES, EQUIPOS E INSTRUMENTOS, LOGÍSTICA

- Universidad Nacional de Ingeniería.
- Planta Industrial
- Computadora.
- Programa de simulación

4.4 PRESUPUESTO PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO

4.4.1 ESTRUCTURA PRESUPUESTAL POR TIPO DE GASTO Y DE ACUERDO AL CRONOGRAMA DE LAS ACTIVIDADES.

4.4.2 DETALLE DEL FINANCIAMIENTO

RUBROS	MONTO (soles)	Tiempo
RECURSOS HUMANOS		
- Investigador	1000	8 meses
- Consultor Profesional	800	4 meses
- Consultor Técnico	600	4 meses
- Digitador	500	1 mes
- Compaginador	300	Pago único
- Diagramador	300	Pago único
BIENES		
- Material de escritorio	1000	
- Bibliografía	800	
- Accesorios	500	
SERVICIOS		
- Movilidad y refrigerio	900	
- Internet y computación	1300	
TOTAL	17000	

Tabla 4.2 Presupuesto

CAPITULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

5.1 ANÁLISIS DE INGENIERIA

COMBUSTIÓN

Composición del Gas Natural	88%	CH ₄
	12%	C ₂ H ₆

1.- PODER CALORÍFICO

Combustión Completa



88 Metano 12 Etano

Balance

$$\begin{array}{ll} \text{C:} & 88 + 12 \cdot (2) = d & d = 112 \\ \text{H:} & 88 \cdot (4) + 12 \cdot (6) = 2(e) & e = 212 \\ \text{O:} & r \cdot (2) = 112 \cdot (2) + 212 & r = 218 \\ \text{N}_2: & 218 \cdot 3.76 \cdot (2) = f \cdot (2) & f = 819.68 \end{array}$$

Entalpias

De Reactantes H_R

$$H_R = 88 * h_{fCH_4} + 12 * h_{fC_2H_6} = 88 * (-74873) + 12 * (-84667) \dots \dots (KJ)$$

$$H_R = -7604828 \dots \dots \dots (KJ)$$

De los Productos H_p

$$H_P = 112 * h_{fCO_2} + 212 * h_{fH_2O} = 112 * (-393522) + 212 * (-285838) \dots (KJ)$$

$$(-285838) \dots (KJ)$$

$$H_P = -104672120 \dots \dots \dots (KJ)$$

Poder Calorífico... PC

$$PC = \frac{H_P - H_R}{m_c} = \frac{-104672120 - (-7604828)}{88 * [12 + 4 * (1)] + 12 * [12 * (2) + 6 * (1)]}$$

$$PC = 54902 \left(\frac{KJ}{Kg_{Comb}} \right)$$

CALOR ÚTIL: q_1

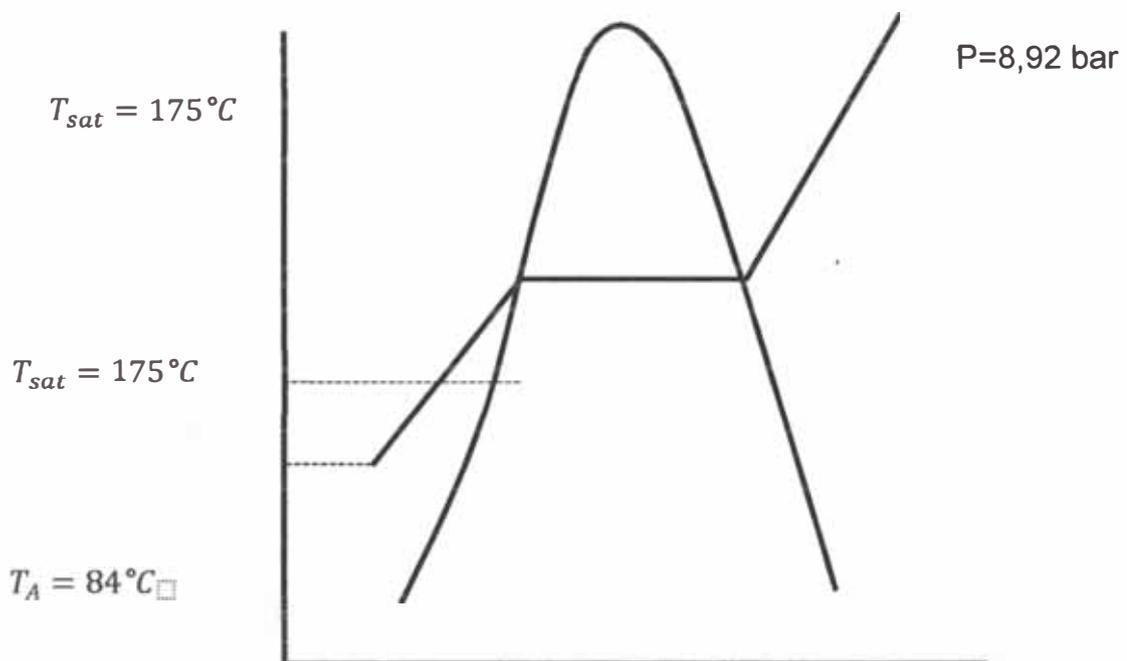
$$q_1 = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_c} [4.18 * (T_{sat} - T_1) + h_{FG}]$$

Para el Agua

$$p = 114 \text{ psi} \left(\frac{1 \text{ bar}}{14.48 \text{ psi}} \right) + P_{At} \quad 1 \text{ bar} \equiv 14,48 \text{ psi}$$

$$P \text{ (Absoluta)} = 8.88 \text{ bar} \approx 8.92 \text{ bar} \rightarrow h_{FG} = 2032,4 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$P = 8,88 \text{ bar} \approx 8,92 \text{ bar} \rightarrow h_{FG} = 2032,4 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}$$



Flujo Masico de Vapor

$$\dot{m}_v \approx \dot{m}_L = 0,7707 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

FLUJO MÁSICO DE COMBUSTIBLE

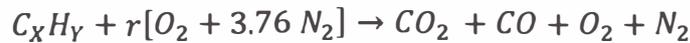
$$\dot{m}_c = \rho_c \bar{Q} = 0.65 * 0,093157 \Rightarrow \dot{m}_c = 0,0605 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$q_1 = \frac{1,0258}{0,0605} [4.18 * (175^\circ - 84^\circ) + 2032,4] \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}_c}$$

$$q_1 = 40909,6 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}_c}$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{q_1}{PC} = 70,04\%$$

COMBUSTIÓN REAL



$$C: X = 10,2$$

$$N: r \cdot 3,76(2) = 86,9(2)$$

$$H: Y = F (2)$$

$$r = 23,11$$

$$Y = 40,04$$

$$O: 2(23,11) = 2(10,2) + 2,9(2) + f$$

$$f = 20,02$$



2.- CALOR PERDIDO CALENTAMIENTO AGUA DEFORMACIÓN:

Q_2

$$q_1 = \frac{9y}{12x + y} [4.18(T_{sat}^* - T_c) + h_{FG}^* + 1,8723(T_c - T_{sat}^*)]$$

$$P^* = \frac{\%H_2O}{100 + \%H_2O} P_o = \frac{20,2}{100 + 20,2} * 1,01325 \quad bar$$

$$P^* = 170 \text{ KPa Aproximado } T_{sat}^* = 55^\circ$$

$$h_{FG}^* = 2370,7 \frac{KJ}{Kg}$$

$$q_2 = \frac{9 * 40,04}{12(10,2) + 40,04} [4.18(55^\circ - 27^\circ) + 2370,7 + 1,8723(172^\circ - 75^\circ)]$$

$$q_2 = 5989,2 \frac{KJ}{Kg_c}$$

3.- CALOR PERDIDO POR GASES DE ESCAPE: Q_3

$$q_3 = \frac{4(\%CO_2) + \%O_2 + 700}{3[\%CO_2 + \%CO]} * \frac{12x}{12x + y} * 1,0035 [T_G - T_0]$$

Temperatura Ambiente $T_0 = 25^\circ$

$$q_3 = \frac{4*(10,2) + 2,9 + 700}{3[10,2 + 0]} * \frac{12(10,2)}{12(10,2) + 40,04} * 1,0035 [172^\circ - 25^\circ]$$

$$q_3 = 1682,6 \frac{KJ}{Kg}$$

4. – POR COMBUSTION INCOMPLETA: Q_4

$$q_4 = 0 \text{ porque } \%CO \approx 0$$

5. – CALOR PERDIDO POR CALENTAMIENTO DEL AGUA HUMEDAD DEL AIRE

Q_5

$$q_5 = \frac{3,06(\%N_2)}{\%CO_2 + \%CO} * \frac{12x}{12x+y} w * 1,8123(T_G + T_o)$$

$$q_5 = \frac{3,06(86,9)}{10,2+0} * \frac{12(10,2)}{12(10,2+40,04)} * (0,0184) * 1,8123(172^\circ - 25^\circ)$$

Por tablas $T_{BS} = 25,5^\circ T_{BH} = 23,8$

$$w = 0,0184 \frac{Kg_{agua}}{Kg_{as}}$$

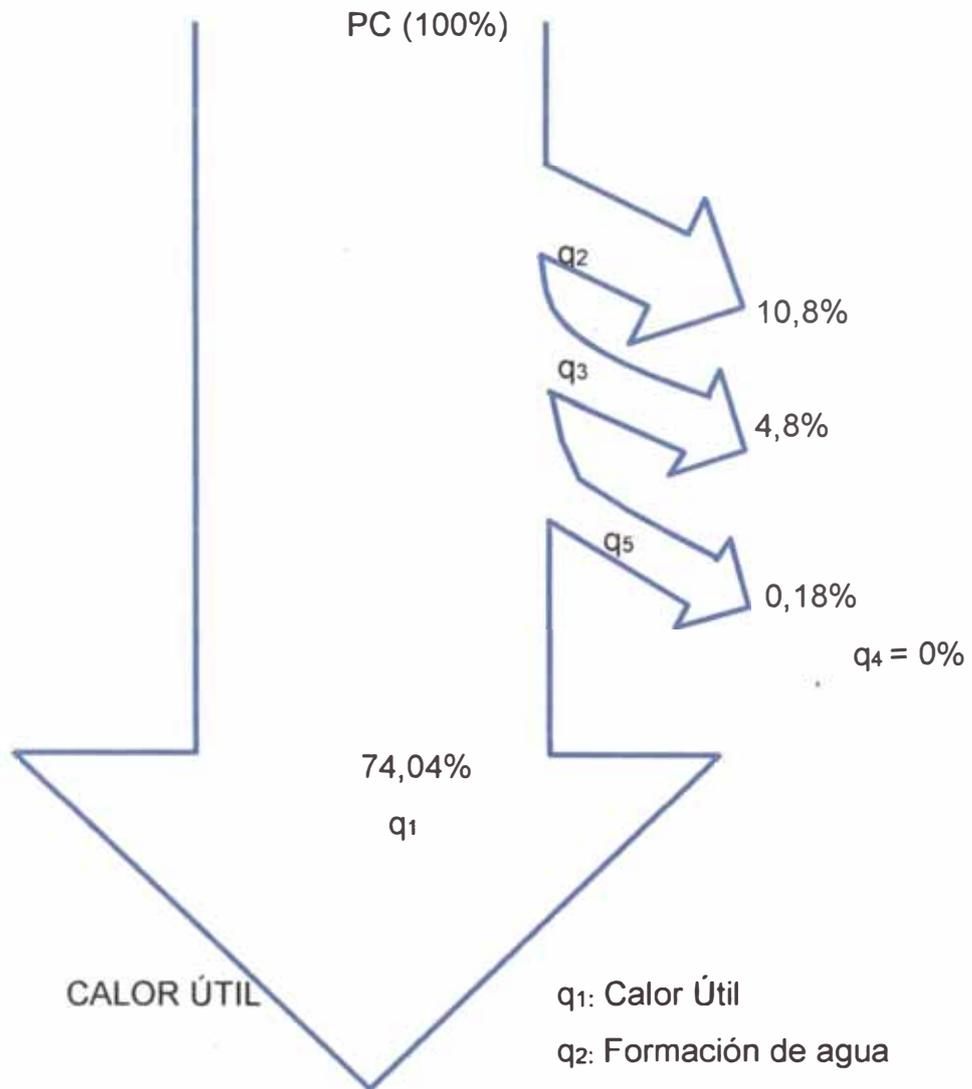
$$q_5 = 99,5 \frac{KJ}{Kg_c}$$

Suma Parcial $q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 = 49680,9$

6.- CALOR PERDIDO POR CAUSAS DIVERSAS

$$q_6 = PC - q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 = 5573,1$$

DIAGRAMA DE SANKEY



- q₁: Calor Útil
- q₂: Formación de agua
- q₃: Gases de exahustacion
- q₄: Combustión Incompleta
- q₅: Humedad del aire

5.2 ANÁLISIS ECONÓMICO

Proyección de Consumos de Petróleo Industrial R-500
Consumo mensual

Año 2008

	GLNS
Consumo mensual promedio petróleo planta N° 2 Caldera de 600 HP	27 106
Consumo proyectado adicional x adquirir caldero de 800 HP (60% +)	16 264
Total Galones Mes	43 370

Valoración Mensual de Petróleo Industrial R-500

Valorización Mensual de Petróleo Industrial R-500	SOLES	T.C.	DÓLARES
Costo por galón	S/. 4.35	3.00	62 887
Consumo mensual de Petróleo R-500 43 370			
	S/. 188 600		\$ 62 887
	19% IGV		\$ 11 948
TOTAL MES	S/. 224 505		\$ 74 835

Tabla 5.1 proyección de consumo 2008

Proyección de Consumos de Petróleo Industrial R-500 Año 2009

Consumo mensual	GLNS
Consumo mensual promedio petróleo planta N° 2 Caldera de 600 HP	27 106
Consumo proyectado adicional x adquirir caldero de 800 HP (60% +)	16 264
Consumo de caldero planta 1 traslado a planta 2 (caldero de 250 HP)	10 000
Total Galones Mes	53 370

Valoración Mensual de Petróleo Industrial R-500

Valorización Mensual de Petróleo Industrial R-500	SOLES	T.C.	DÓLARES
Costo por galón	S/. 232 160	3.00	77 387
Consumo mensual de Petróleo R-500 53370			
	S/. 232 160		\$ 77387
	44 110		\$ 14 703
	19% IGV		
TOTAL MES	S/. 276 270		\$ 92 090

Tabla 5.2 proyección de consumo 2009

Proyección de Consumos de Petróleo Industrial R-500 Año 2010

Consumo mensual	GLNS
Consumo mensual promedio petróleo planta N° 2 Caldera de 600 HP	27 106
Consumo proyectado adicional x adquirir caldero de 800 HP (60% +)	16 264
Consumo de caldero planta 1 traslado a planta 2 (caldero de 250 HP	10 000
Consumo de caldero de 200 HP en planta 2 (reserva)	7 000
Total Galones Mes	60 370

Valoración Mensual de Petróleo Industrial R-500

Valorización Mensual de Petróleo Industrial R-500	SOLES	T.C.	DÓLARES
Costo por galón	S/. 262 610	3.00	87 537
Consumo mensual de Petróleo R-500 60 370			
	S/. 262 610		\$ 87 537
	49 896		\$ 16 632
	19% IGV		
TOTAL MES	S/. 312 505		\$ 104 168

Tabla 5.3 Proyección de consumo 2010

5.2.1 GRÁFICOS DEL ANÁLISIS ECONÓMICO

Año	Galones
2008	520440
2009	640440
2010	724440

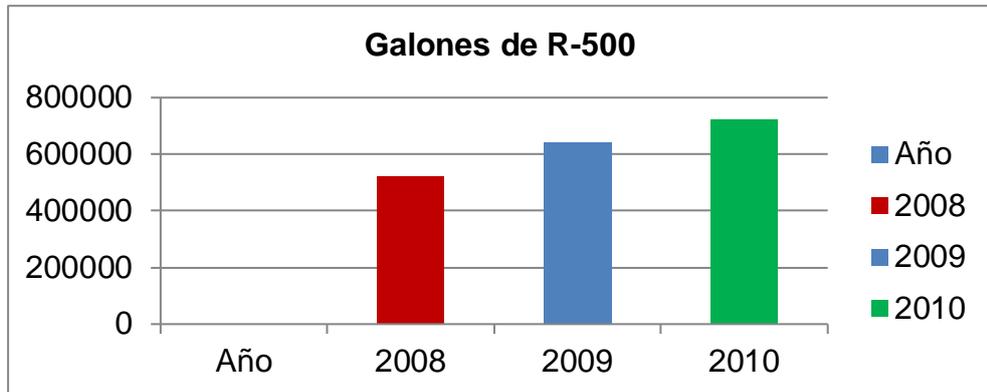


Tabla 5.4: consumo proyectado de R-500 2008-2010

Fuente propia

Año	Soles
2008	1683770.51
2009	1683770.51
2010	1683770.51

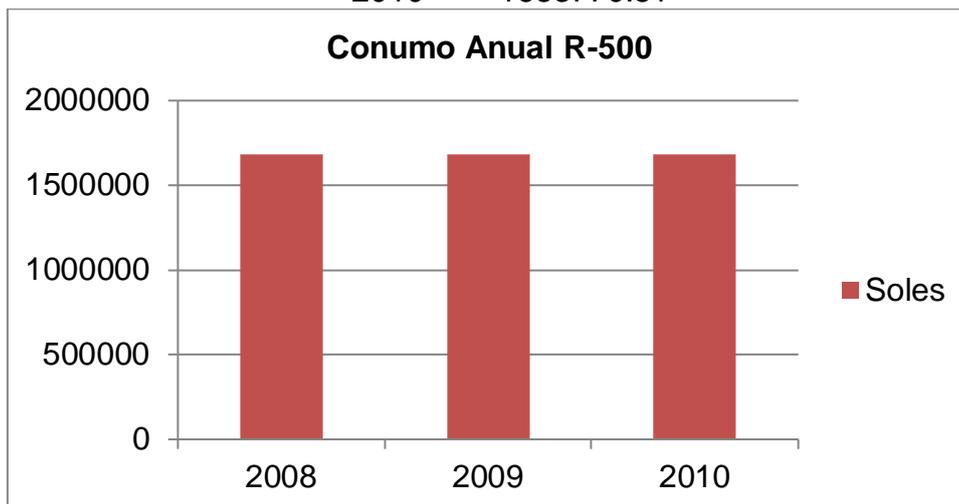


Tabla 5.5 Consumo proyectado (soles) de R-500 2008-2010

Fuente propia

Año	GJ
2008	52072.66437
2009	52072.66437
2010	52072.66437

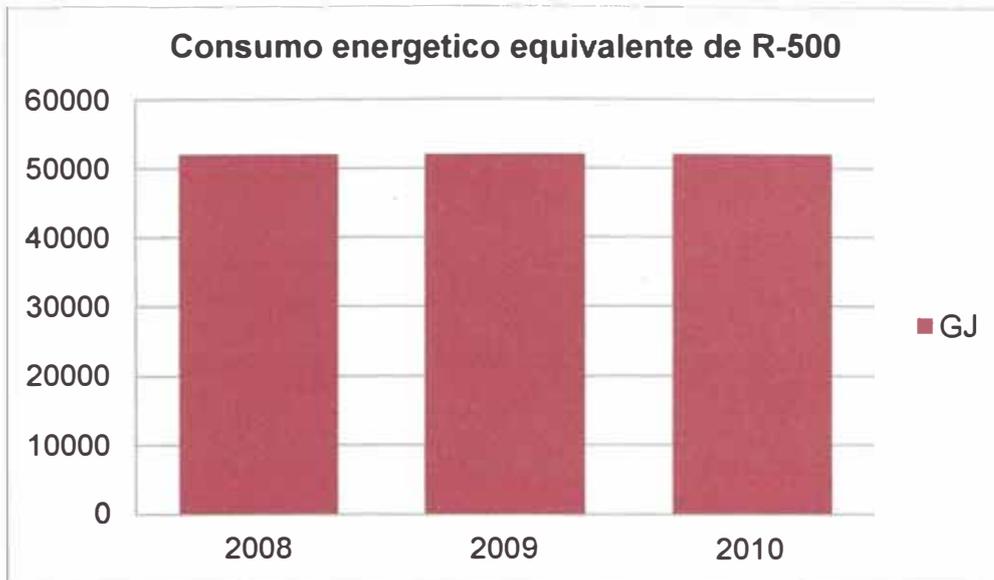


Tabla 5.6 Consumo proyectado de Energia 2008-2010
Fuente propia

Año	Soles
2008	853991.7
2009	847042.16
2010	814588.53

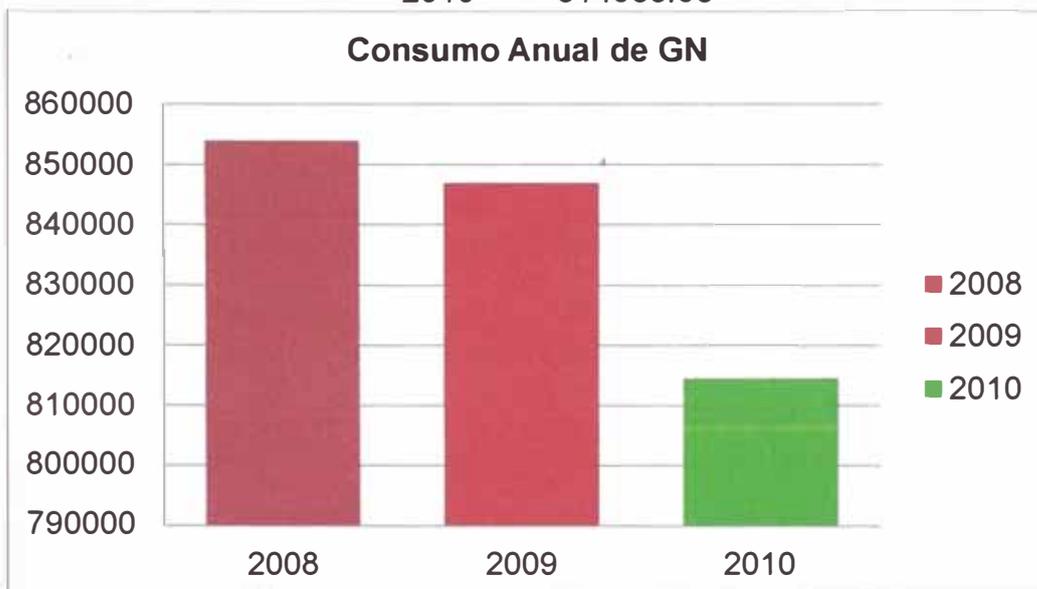


Tabla 5.7 Consumo (soles) de GN 2008-2010
Fuente propia

R-500	1683770.5
GN	847042.1612
Ahorro	836728.339



Tabla 5.8 Comparación del consumo anual R-500- GN ahorro (soles) 2009
Fuente propia

5.3 COMPARACIÓN TÉCNICA EN CALDERA INDUSTRIAL

R-500	GN
La calidad del petróleo (contenido de lodos de tierra, mezclado con grasa) ocasiona paradas de producción cada 8 días requiere de calibración de la caldera de R-500	No ocasiona paradas de producción
En Tanque almacenamiento (8000 gal) de R-500 existe serpentín para mantener el petróleo a temperatura de 120°C. Se requiere ocasionalmente el cambio de tubos del serpentín(acero Inoxidable)	No requiere de almacenamiento
Además requiere de otro tanque de menor capacidad que precalienta el R-500 (tiene una resistencia interna) a una temperatura de 180°C	No requiere calentamiento
Requiere de 2 a 3 filtros al año para la limpieza diario del petróleo R-500. Requiere de limpieza 3 veces por semana, el cual ocasiona paradas de 20' a ½ hora	Limpieza 2 veces al año

Requiere de pretostato de temperatura junto al quemados para calentar el petróleo R-500 hasta una temperatura de 200°C para inyectar el petróleo	No requiere
Ceremuelle para ingreso de petróleo R-500 requiere del lavado de un filtro pequeño que requiere de limpieza semanal (1 hora)	No requiere de lavado
Requiere de MOTOR BULTRON para hacer el barrido o control del encendido del piloto (0-1'), luego 7" para el encendido de la caldera	Similar
Requiere de un transformador de 380-200 para alimentar la resistencia (380) del calentador del petróleo	No requiere
Sistema de Barrillado de los tubos para la limpieza del Hollín se obtiene de 6-8 costales de Hollín. Cada 6 meses	1 vez al año limpieza de tubos

Tabla 5.9 Comparación técnica en caldera de R-500 convertida a GN

5.4 RESULTADO DE EMISIONES

Para las emisiones de gases de combustión se elaboro en base a la información proporcionada por la empresa con los siguientes resultados:

% EFF	% Oxigen	% CO ₂	% Exair	°C T stack	°C Ambient	CO ppm	NO ppm	NO _x ppm	SO ₂ ppm	H ₂ ppm
85.8	2.82	10.13	13.9	163.0	27.4	0	83	87	1	2

Tabla 5.10 Valores de emisiones

Las mismas que se encuentran dentro de los límites permisibles de acuerdo a la NTP 350.301

5.5 CONTRASTACIÓN DE LAS HIPÓTESIS PLANTEADAS

HIPÓTESIS	RESULTADO
<p>Hipótesis específica H1</p> <p>Existe un impacto Técnico positivo en la industria textil al realizar la conversión de sus calderas a Gas natural.</p>	<p>Se demuestra la hipótesis planteada y se logra obtener que exista un impacto técnico positivo tal como se demuestra en los cálculos de la eficiencia. En el diagrama de Sankey y tabla de comparación Técnica</p>
<p>Hipótesis específica H2:</p> <p>Existe un impacto económico positivo del rendimiento de las calderas convertidas a gas natural.</p>	<p>Se demuestra la hipótesis planteada que el resultado económico es positivo como se muestra en los gráficos de análisis de consumos</p>
<p>Hipótesis General</p> <p>Existe un impacto tecnico-economico positivo del rendimiento de las calderas convertidas a gas natural.</p>	<p>Como consecuencia de las hipótesis específicas se demuestra que existe un impacto técnico-económico positivo en el rendimiento de las calderas convertidas a gas natural.</p>

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

1. Se analizó la eficiencia de la caldera convertida a gas natural y se tiene un impacto técnico positivo con el valor de la eficiencia como muestra la gráfica de Sankey y la tabla de comparación técnica.
2. Convertir calderas a Gas Natural tiene un impacto económico positivo como se muestra en el resultado económico de la comparación de en los gráficos de análisis de consumo.
3. La contribución de la presente tesis es que con la conversión de la caldera a Gas Natural se tiene mejores beneficios técnico-económico además de tener una mejora en el medio ambiente

6.2 RECOMENDACIONES

1. Como la conversion de la caldera a Gas Natural tiene un impacto tecnico-economico positivo se recomienda priorizar la conversion de calderas a gas natural las mismas que deben ser llevadas a cabo por profesionales con experiencia para que realicen la elaboracion del analisis tecnico-economico de la caldera a ser convertidas por las limitaciones que puedan encontrarse.
2. Se debe cambiar la forma de difundir e incentivar a los directivos y/o propietarios de las pequeñas y medianas industrias a que realicen la conversion de sus calderas a Gas Natural para que obtengan mejores beneficios tecnico y economicos que genera el uso del Gas Natural.
3. Para mejorar el grado de conocimiento del personal tecnico-economico respecto a las calderas y el uso del Gas Natural los propietarios y/o directivos deben diseñar la forma de realizar capacitaciones continuas de su personal.
4. Recomendamos a los directivos y/o propietarios de las pequeñas y medianas industrias que prioricen la conversion de las calderas a gas natural por los beneficios ambientales que se tiene en el entorno geografico donde opera la empresa.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Aguilar B. Hugo (2000). *Programa de control interno para aguas de calderas en la industria azucarera México*. UV tesis
- [2] Pull Ernest (1977). *Calderas de vapor selección, funcionamiento y conservación de las calderas de vapor y de su equipo auxiliar*, Barcelona: Ed. Gustavo Gili,
- [3] Swift D. (1965). *Plantas de vapor: Arranque, prueba y operación*, México: Ed Continental,
- [4] PAYNE, W. (1996): *Efficient boiler operations sourcebook*. Ed. Prentice Hall International. 4th. Edition...
- [5] WOODRUFF, E. (1967). *Steam-Plant Operation*. Ed. Mc. Graw-Hill. .
- [6] SORENSEN, H. (1983). *Energy conversion system*. Ed. John Wiley & Son.
- [7] Ministerio de economía y planificación. *Guía para el análisis y evaluación de calderas y redes de distribución de vapor*. España.
- [7] ASME, PTC 4.1 *Código de pruebas para generadores de vapor*.
- [8] Geankoplis, C. J (1999). *Procesos de transportes y operaciones unitarias* México: Editorial CECSA, 3a Edición:
- [9] Smith, J.M. (2001) *Introducción a la termodinámica*". México: McGraw-Hill, 5a Edición:
- [10] SpiraxSarco. *The boiler house-Boiler efficiency and combustion*
- [11] SELMEC "Equipos Industriales S.A. de C.V..."- "Manual de calderas"
- [12] OPEC- Oil Industry Conversion Factors

[13] Hernández C. Elpidio (2012). *Funcionamiento y mantenimiento de generadores de Vapor pirotubular marca "PowerMaster"* México. UV tesis

[14] Meléndez G. Sixto (2006). *Conversión a gas seco de una caldera pirotubular con potencia de 500 BHP que trabaja con diésel-2* Perú. UNI tesis

- <http://www.olmar.com/>
- <http://www.innergy.cl/quees.htm>
- http://www.iae.org.ar/seminarios/semiglp_informelAE.pdf
- http://www.redproteger.com.ar/poder_calorifico.htm
- <http://fisica.usach.cl/~pperez/termodinamica/Presentaciones-2009/poder%20calorifico.pdf>
- <http://www.factorialvulcano.com/>
- <http://www.fedemental.com/>
- http://aniversario.unet.edu.ve/mipv/cav/cav02_1.htm

(T) Tabla de Poderes caloríficos

- http://www.redproteger.com.ar/poder_calorifico.htm
- <http://fisica.usach.cl/~pperez/termodinamica/Presentaciones-2009/poder%20calorifico.pdf>

Administración de la energía

Brasil

- http://www.corpoema.com/Informacion%20FNCE/Eficiencia/Decreto_3683_de_2003.pdf
- <http://www.corpoema.com/Informacion%20FNCE/eficiencia.htm>

Perú

- <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGEE/eficiencia%20energetica/Normativa/Generales/ley%2027345.pdf>
- Tablas de composición del Gas Natural
<http://www.innergy.cl/quees.htm>
- Analizador de gas

- Fuente: <http://www.energia.inf.cu/iee-mep/borders/Firyte.jpg>
- Pirómetro
- Fuente: <http://www.donspeed.com/images/50640.jpg>