



**FACULTAD DE INGENIERÍA ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

**ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
MECÁNICA ELÉCTRICA**

TESIS

**Termoeconomía del reemplazo de combustible diésel-2 por
glp en la caldera menor del Hospital Regional Docente las
Mercedes – Chiclayo**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO
ELÉCTRICISTA**

Autor(es)

Bautista Culquipoma Miguel Angel

Soto Chirinos Guillermo Alejandro

Asesor

Dr. Jorge Olortegui-Yume, Ph.D.

Línea de Investigación:

Gestión de la Energía: Auditoría y Eficiencia

Pimentel – Perú

2018

**TERMOECONOMIA DEL REEMPLAZO DE COMBUSTIBLE DIÉSEL-
2 POR GLP EN LA CALDERA MENOR DEL HOSPITAL REGIONAL
DOCENTE LAS MERCEDES – CHICLAYO**

Bach. Soto Chirinos Guillermo Alejandro

Bach. Bautista Culquipoma Miguel Angel

Dr. Jorge Olortegui – Yume, Ph. D

ASESOR

Mg. Silva Yvone Gastiaburú Morales

Presidente (a)

Mg. Juan Carlos Vives Garnique

Secretario (a)

Mg. Silva Yvone Gastiaburú Morales

Vocal (a)

DEDICATORIA

A mis padres, Graciela y Francisco.

Porque han sido un pilar fundamental en mi formación brindarme su amor, tiempo y paciencia. Por creer en mí siempre, dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio.

A mis hermanos.

A cada uno de mis hermanos por el apoyo incondicional que se me dio en el transcurso de cada año de mi carrera universitaria.

Bautista Culquipoma Miguel Angel

A mis mejores Maestros Edgardo y Carmen por haberme brindado su mejor educación que son sus valores y respetos en mi vida personal

A mis abuelos por mantener siempre una familia unidad durante todos los años de vida

Soto Chirinos Guillermo Alejandro

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darnos sabiduría, fortaleza y el don de la perseverancia para lograr nuestro objetivo.

Al personal del Hospital Regional Docente “Las Mercedes” involucrados en este proyecto, por abrirnos las puertas de la empresa y a su vez por brindarnos información que requerimos para la culminación de nuestro proyecto.

Al Dr. Jorge Olortegui Yume, por aportar con toda su experiencia y conocimiento acerca del tema.

A los docentes de la universidad por quienes hemos obtenido los conocimientos necesarios para desarrollar este proyecto.

A toda mi familia que es lo mejor y más valioso que Dios me ha dado.

Y finalmente a todos los que fueron mis compañeros de clase durante todos los años de mi vida universitaria, ya que gracias al compañerismo, amistad y apoyo moral han contribuido a aumentar en mí las ganas de seguir adelante.

INDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
I. INTRODUCCION	4
1.1. Situación problemática	4
1.2. Formulación del problema	6
1.3. Hipótesis	6
1.4. Objetivos.....	6
1.4.1. Objetivo General.....	6
1.4.2. Objetivos Específicos	6
1.5. Justificación	7
1.5.1. Justificación tecnológica.....	7
1.5.2. Justificación económica	7
1.5.3. Justificación ambiental	8
1.5.4. Justificación social	8
1.6. Antecedentes de Investigación	8
1.7. Marco teórico.....	11
1.7.1. Estado de Arte.....	11
1.7.2. Bases teóricas científicas	13
1.7.2.1. Definición de Calderas.....	13
1.7.2.2. Clasificación	15
1.7.3. Tipos de Calderas	20
1.7.4. Combustibles para calderas.....	27
1.7.4.1. Diesel-2.....	27
1.7.4.2. Numero de Cetano	28
1.7.4.3. Gas Licuado de Petróleo (GLP).....	28
1.7.5. Pérdidas de calor en la caldera	29
1.7.5.1. Pérdidas de calor en los gases de la combustión.....	29
1.7.5.2. Pérdidas por conducción, convección y radiación.....	30
1.7.5.3. Pérdida por purgas	30
1.7.6. Modelo matemático de una caldera de vapor.....	30
1.7.6.1. Componentes del combustible por análisis gravimétrico	31
1.7.6.2. Determinación del Poder calorífico del Combustible	31

1.7.6.3. Exceso de aire	32
1.7.6.4. Estequiometria de la Combustión	33
1.7.6.5. Balance Térmico en el Hogar	36
1.7.6.6. Banco de Convección:	39
1.7.6.7. Balance Térmico General del Sistema	42
1.7.6.8. Rendimiento:	44
1.7.7. Termoeconomía.	45
1.7.7.1. Método directo	45
1.7.7.2. Método indirecto	46
1.7.7.3. Análisis termo-económico	53
1.8. Definición de los Términos Básicos	54
II. MATERIALES Y METODOS.....	57
2.1. Tipo y diseño de investigación	57
2.2. Métodos de Investigación.....	57
2.2.1. Metodología de Diseño.....	57
2.3. Población y Muestra	59
2.4. Variables y Operacionalización.....	59
2.4.1. Variables para el método Directo.....	59
2.4.2. Variables para el método Indirecto	59
2.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	65
2.6. Validación y confiabilidad de instrumentos	66
III. RESULTADOS	68
3.1. Necesidades Energéticas del Hospital.	68
2.1. Determinar las cargas térmicas del Hospital.....	81
2.2. Normativa para Calculo de Performance de Calderas	82
2.3. Modelo analítico y termo-económico.	83
2.3.1. Simulación Numérica de Funcionamiento de Caldera en Simulink para Determinación de Datos de Entrada en el Método Indirecto.....	83
IV. DISCUSIÓN.....	107
V. CONCLUSIONES	111
VI. REFERENCIAS	114
ANEXOS	116
Anexo No. 1: FORMATO DE ENTREVISTA	117
Anexo No. 2: FORMATO DE ENTREVISTA	120

Anexo No. 3: Datos Técnicos de Equipos Consumidores de Vapor en el Hospital “Las Mercedes” - Chiclayo	122
Anexo No. 4: NTP 350.302 – 2009 EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	127
Anexo No. 5: NTP 350.300 – 2001 CALDERAS INDUSTRIALES.....	128
Anexo No. 6 NTP 321.003 – 2005 PETRÓLEO Y DERIVADOS.....	129
Anexo No. 7 MODELO MATEMATICO DE LA CALDERA	130

RESUMEN

En el presente proyecto se realizó el análisis térmico-económico del reemplazo de combustible Diesel-2 por GLP en la caldera menor Loos International 50 BHP del Hospital Regional Docente “Las Mercedes” de Chiclayo.

Se determinaron las necesidades energéticas y cargas térmicas del hospital mediante visitas y entrevistas. Simultáneamente, se identificó la normativa asociada al funcionamiento y cálculo del desempeño de la caldera generadora de vapor. A continuación, se escogió un modelo analítico para el balance térmico y termo-economía para la evaluación del desempeño de la caldera de acuerdo con el combustible usado. Se realizó una simulación del balance en Simulink® de la caldera para determinación de eficiencia debido a la ausencia de datos reales. Los datos de simulación se ingresaron a una Interface Gráfica de Usuario (GUI-Matlab®) que permitiese para evaluar comparativamente el desempeño termo-económico de los combustibles: Diesel-2 (D-2) y GLP.

El análisis de la caldera funcionando al 50 % de su capacidad dio resultados satisfactorios que fueron contrastados con trabajos donde se analizaban calderas de similares características. El problema de la falta de datos de la caldera fue superado con la aplicación de un modelo matemático realizado en Simulink® de donde se tomó los datos para el desarrollo de los cálculos. De los resultados obtenidos se determinó que el uso del GLP como combustible para la caldera proporciona un beneficio importante 74487.5 Soles/año.

La sustitución de D-2 por GLP trae importantes beneficios económico al Hospital La Mercedes por lo cual se recomienda su ejecución. La combinación de Simulación (Simulink®) con la GUI (Matlab®) resulto en una metodología bastante flexible y útil para la evaluación termo-económica comparativa de dos combustibles, no hallándose un paralelo en los antecedentes revisados.

ABSTRACT

In the present project, the thermal-economic analysis of the replacement of diesel-2 fuel by LPG in the smaller boiler Loos International 50 BHP of the Teaching Regional Hospital "Las Mercedes" of Chiclayo was carried out.

The energy needs and thermal loads of the hospital were determined through visits and interviews. Simultaneously, the regulations associated with the performance and calculation of the performance of the steam generating boiler were identified. Then, an analytical model was chosen for the thermal balance and thermo-economy for the evaluation of the performance of the boiler according to the fuel used. Simulation of the Simulink® balance of the boiler was carried out to determine efficiency due to the absence of real data. The simulation data were entered into a Graphical User Interface (GUI-Matlab®) that would allow comparatively evaluating the thermo-economic performance of fuels: Diesel-2 (D-2) and LPG.

The analysis of the boiler operating at 50% of its capacity gave satisfactory results that were contrasted with works where boilers of similar characteristics were analyzed. The problem of the lack of data of the boiler was overcome with the application of a mathematical model made in Simulink® from where the data for the development of the calculations was taken. From the results obtained, it was determined that the use of LPG as fuel for the boiler provides an important benefit 21114.52 Soles / year.

The substitution of D-2 for LPG brings important economic benefits to La Mercedes Hospital, for which its execution is recommended. The combination of Simulation (Simulink®) with the GUI (Matlab®) resulted in a quite flexible and useful methodology for the comparative thermo-economic evaluation of two fuels, not finding a parallel in the reviewed background.

CAPITULO I

INTRODUCCION

I. INTRODUCCION

1.1. Situación problemática

Tanto en el mundo industrializado como en una cantidad creciente de países en desarrollo, el sector de la salud consume enormes cantidades de energía proveniente de combustibles fósiles. En los Estados Unidos, por ejemplo, los hospitales ocupan el segundo lugar (USD 6500 millones/año) en la lista de edificios con mayor consumo de energía (Karliner, J. & Guenther, R. 2011). El uso de calderas a nivel mundial es muy importante debido a los diferentes usos que se le da al vapor generado. Como muestra, en España la vieja central térmica del Hospital 12 de octubre de Madrid dejó paso a unas instalaciones más modernas en el año 2006. Con un presupuesto superior a los 20 millones de euros, se construyó a pocos metros del hospital un moderno edificio que hace las veces de sala de máquinas de este complejo hospitalario. **(Valerio, M. 2014)**

Las calderas de vapor en el Perú representan un importante sector consumidor de energía y productor de emisiones es por ello que ESSALUD promueve el uso de gas como una alternativa de solución al uso del petróleo. Una de las últimas inversiones para la instalación de calderas se realizó el año 2016 en el hospital regional del Cusco con un monto de 700mil soles, con el fin de optimizar los servicios de esterilizaciones, lavandería, nutrición, centro quirúrgico etc. **(Rpp.pe, 2017).**

El Hospital " Las Mercedes" de Chiclayo tiene una extensión de 23,431.24 m², fue creado oficialmente el 18 de diciembre de 1851 está ubicada frente a la actual Av. Luis Gonzáles. En la actualidad este hospital es considerado el hospital referencial más importante del Departamento de Lambayeque (RDRS 950-2006-GR-LAMB/DRSL). Recientemente, el hospital ha sido recategorizado a NIVEL III-1 como Hospital de Alta Complejidad para la población del Norte del País.

El Hospital "Las Mercedes" viene utilizando Diésel-2 como combustible principal para el funcionamiento de la caldera menor (Ver Figura 1) para generación vapor. El

precio de éste combustible tiene gran incidencia sobre el costo total de la producción debido a su elevado costo en comparación a otros combustibles además de generar impactos ambientales negativos. Por lo contrario, el Gas Licuado de Petróleo (GLP) es un combustible más barato que el Diesel-2, la cantidad de contaminantes productos de la combustión es menor y los equipos asociados son menos complejos. Esto último hace que las averías no sean tan frecuentes ayudando en su mantenimiento y reparación.

Χαλδερὰ Μενορ δελ Ηοσπιταλ



ΦΙΓΥΡΑ 1: Χαλδερὰ Μενορ δελ Ηοσπιταλ √Λασ Μερχεδεσ √

Fuente: Propia

El presente trabajo de investigación realiza el estudio termo-económico del reemplazo del combustible diésel-2 por el GLP en la caldera menor el Hospital Regional Docente Las Mercedes Chiclayo –Lambayeque.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál será la ventaja mostrada por los indicadores termo-económicos de performance del GLP respecto de los del Diesel-2 al aplicarse a la caldera menor del Hospital regional docente Las Mercedes Chiclayo –Lambayeque?

1.3. Hipótesis

No se aplica en este tipo de investigación

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Realizar una evaluación termo-económica comparativa de performance para los combustibles Diésel-2 y GLP aplicados a la caldera menor del hospital regional docente Las Mercedes mediante el uso de una Interface Gráfica de Usuario (GUI) y una simulación numérica (SIMULINK) para reducir costos operativos.

1.4.2. Objetivos Específicos

- a) Recolectar información sobre las necesidades energéticas del Hospital mediante visita y entrevistas al personal relacionado al uso, supervisión y mantenimiento de la caldera.
- b) Estimar las propiedades del vapor en puntos importantes del sistema de vapor, en especial cercano a la caldera en base a la información obtenida del personal mediante métodos tradicionales termodinámicos.

- c) Estimar las cargas térmicas del hospital según las necesidades de vapor de las diferentes áreas y la información propia de los equipos para obtener la línea base del suministro de vapor del conjunto de calderas mediante métodos tradicionales termodinámicos.
- d) Obtener códigos, normas, estándares, recomendaciones y documentos similares para el funcionamiento y cálculo del desempeño de la caldera como generador de vapor.
- e) Obtener un modelo analítico y termo-económico adecuado para la evaluación del desempeño de la caldera
- f) Realizar la simulación de la caldera por bloques o Toolbox (SIMULINK) utilizando como datos de entrada los obtenidos en la visita y entrevistas al personal para obtener la eficiencia total para los casos de Diésel-2 y GLP.
- g) Evaluar comparativamente el desempeño termo-económico de la caldera menor del hospital usando Diésel-2 y usando Gas Licuado de Petróleo (GLP) mediante el uso de una Interface Gráfica de Usuario (GUI - MATLAB) usando el método indirecto.

1.5. Justificación

1.5.1. Justificación tecnológica

Al realizar el cambio de combustible de Diésel-2 a GLP se estará haciendo uso de una de las energías convencionales más limpias existentes. El GLP es un buen complemento a las fuentes y tecnologías renovables, que requieren luz solar o determinadas condiciones meteorológicas. El GLP es un socio natural de las energías renovables. (wlpga.org, 2015)

1.5.2. Justificación económica

La operación de los equipos térmicos cada vez es más costosa debido a las continuas alzas del precio del Diesel-2, es por ello que al hacer uso del GLP se generan beneficios económicos ya que es mucho más barato. Además, al ser un combustible limpio hace que las operaciones de mantenimiento se realicen con menos frecuencia.

1.5.3. Justificación ambiental

El GLP es un combustible limpio y amigable con el medio ambiente, contamina el aire menos que el gasóleo, el fueloil, la madera o el carbón, contribuyendo así en la reducción de las emisiones de efecto invernadero. El GLP ayuda a los consumidores a reducir sensiblemente su huella de carbono. En Europa, las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de GLP son un 15% inferior a las del fueloil de calefacción. Y la ventaja del GLP con respecto a la electricidad es todavía mayor: un 30% menos de emisiones en Sudamérica, un 35% menos en Japón, un 38% menos en Corea del Sur y hasta un 54% menos en Norteamérica. (wlpga.org, 2015).

1.5.4. Justificación social

Al hacer uso del GLP como combustible, estaremos aportando en la mejora del aire local, reduciendo las emisiones contaminantes y así de esta manera mejorar la salud de las poblaciones adjuntas a los centros asistenciales disminuyendo enfermedades como alergias y cáncer.

1.6. Antecedentes de Investigación

Son antecedentes relevantes a este trabajo de investigación los que se detallan.

Estrada Morales, J. (2014) diseñó un sistema para reemplazar un quemador diésel por uno de gas GLP para una caldera de 600BHP en la empresa ADSA (Guatemala). Para lo cual se realizó una tabla comparativa de quemadores equivalentes, una tabla comparativa de combustión obteniendo como resultado que la proporción de poder calorífico por galón, entre el diésel y el gas LP es de 1,5 veces, además el consumo mensual de diésel y consumo proyectado de gas LP, teniendo como resultado para el diésel 1791,16 galones y para el gas LP 2686,74 galones. Se concluyó que el costo beneficio al reemplazar el quemador diésel, por uno de gas GLP se logró disminuir los costos de operación en la empresa ADSA.

Siriwardhana Kahandawa, C. (2010) realizó la conversión de la caldera alimentada con combustible de horno a biomasa en la fábrica de papel Ambilipitiya (Siria Lanka). En primer lugar, se realizó un estudio de viabilidad técnica y ambiental, luego se hizo encuesta para averiguar la demanda diaria promedio de vapor teniendo como resultado que la demanda actual de vapor se encuentra en el rango de 400-600 Kg/h a 9-10 Bar, y así de esta manera hacer la conversión sobre la base de 800 Kg/h considerando el aumento futuro de la demanda de vapor. Se concluyó que mediante la conversión de una caldera de pequeña capacidad (por debajo de 1 tonelada / hora la salida de vapor después de la conversión) a una biomasa, podría ahorrar alrededor de 2 millones de rupias anuales, y al convertir una caldera de gran capacidad (más de 1 tonelada / hora de salida de vapor después de la conversión), podría ahorrar más de 4 millones de rupias anuales.

Escobar Rosales, A. (2015) realizó un análisis comparativo en las operaciones de una caldera pirotubular utilizando gas licuado de petróleo en sustitución del Diesel y su impacto sobre el medio ambiente (Guatemala), para lo cual siguió un proceso para calcular la eficiencia empezando con la determinación, lo más preciso posible, de la cantidad de energía que entra al proceso. Para esto es necesario conocer cuánto combustible se está quemando y su poder calorífico (PCB), es decir, cuántos joule se suministran por cada kilogramo o metro cubico de combustible, concluyendo que las condiciones en la caldera no fueron ideales debido a las pérdidas de calor y purgas. Al haber irreversibilidades se redujo la generación de vapor de agua teniendo como resultado una eficiencia termina de 83% con el Diésel y 87% con el GLP.

Meléndez Gómez, S. (2006) realizó la conversión a gas natural seco en una caldera pirotubular con potencia de 500 BHP que trabaja con diesel-2 (Lima-Perú), para lo cual se realizó una clasificación de los combustibles, un análisis de mercado de los combustibles, operación de manipuleo (transporte y almacenamiento) así como también calculo y diseño del equipo de gas natural seco y su evaluación económica.

Llegando a la conclusión que la experiencia en el sistema y distribución de vapor, así como en múltiples referencias y ensayos, hay que tomar en cuenta que una caldera que hasta ahora trabaja con residual, al convertirlo en GN y para la misma liberación de calor, la caldera y exceso de aire, disminuye su eficiencia y capacidad, ello debido a la diferente composición (y mayor volumen) de sus productos de combustión, que hace que la corriente de gases tenga un menor tiempo de permanencia y por tanto un efecto disminuido de transferencia de calor en todas las superficies, lo que a carga plena hace que para la misma liberación de calor se genere menor cantidad de vapor que con combustibles líquidos o sólidos, particularmente cuando no se cuenta con equipo de recuperación de calor (economizador o recalentador de aire).

Chávez Ñahuinripa, A. (2005) realizó la conversión industrial al consumo de gas natural en una planta textil (Lima-Perú). El presente trabajo de Tesis, se centra en una Planta Textil localizado dentro del “Cluster” Carretera Central, cuyo objetivo fundamental es analizarlos aspectos técnicos y económicos para la ejecución de la conversión de sus equipos térmicos a gas natural, para lo cual se realizó un resumen de consumos con gas natural para las aplicaciones existentes obteniendo así un consumo máximo inmediato de $1970 \text{ Sm}^3/\text{h}$ y un consumo máximo a futuro de $4717 \text{ Sm}^3/\text{h}$, también se hizo un diseño de redes internas de tuberías en planta, un plan de contingencia de las instalaciones de gas natural, identificación de riesgos en las instalaciones de gas natural y un análisis de factibilidad del proyecto, determinado así que estará garantizado el suministro de gas natural para la industria por un periodo de 20 años (240 meses) y a partir de los resultados se observa que el periodo de recuperación de la inversión es solamente 2 meses y que a partir del tercer mes se empieza a generar ahorros sustanciales, finalmente se concluyó que el uso del gas natural permite a la planta ser más competitiva, implica un impacto social desde el punto de vista del medio ambiente, debido a que el gas es un combustible más limpio y produce menos contaminación al medio ambiente comparado con los petróleos residuales que generan la lluvia acida, debido al contenido de azufre y de la contribución del efecto invernadero.

Panana Girio, A. (2015) realizó un balance térmico en una caldera pirotubular (Callao-Perú). Para lo cual se realizaron cálculos de energías que ingresan, salen o que se pierden, es decir todas las energías implicadas en el comportamiento térmico de la caldera, cuando ésta ha alcanzado su funcionamiento en estado estacionario, así también para alcanzar los objetivos y metas de su investigación planteo un método para el cálculo de las variables implicados en el balance térmico, llegando a la conclusión que de acuerdo a los resultados, las cantidades de calor que se pierden en el aire y en el combustible no son altas es por ello que estas cantidades se deben tener en cuenta para otros cálculos de diseño a otras calderas.

Las pérdidas de calor por los gases de combustión que se descargan por la chimenea son cantidades mayores que se deben tener en cuenta para el diseño de la caldera, o para el balance de materia en la combustión del Combustible.

Odar, L. (2013) hizo un análisis técnico económico para la conversión a gas natural de una caldera pirotubular de 250 BHP que opera con bunker r – 500 (Lambayeque-Perú), en este proyecto se hizo un análisis técnico económico para la conversión de una caldera que opera con bunker a un combustible más limpio y económico, el gas natural para lo cual propuso dos alternativas de estudio, convertir la caldera para operar con gas natural (GN) y convertir la caldera para operar con gas licuado de petróleo (GLP), ya que el costo de estos combustibles son más ventajosos con respecto al BUNKER R-500 además evaluó el ahorro generado por cada alternativa y calculó el tiempo de retorno de la inversión. El análisis técnico económico de la conversión a gas natural es financieramente viable pues los indicadores de rentabilidad obtenidos son los siguientes: VAN: S/. 71,2357.15, TIR: 88%, C/B: 1.23

1.7. Marco teórico

1.7.1. Estado de Arte

Los últimos avances en sistemas de calderas se consignan a continuación:

En Chimbote (Perú), la empresa BOSCH presentó un simulador del sistema MEC – Remote en la feria especializada en pesca (Energiminas, 2016). Con este sistema recientemente patentado por Bosch, será posible monitorear los parámetros de caldera instaladas en varias plantas desde un dispositivo electrónico como Smartphone, Tablet o PC; además, logra una atención inmediata vía remota 24/7 por parte de los especialistas. Incluso, es posible que el operador realice trabajos adicionales en tiempo real a través del monitoreo como exportar archivos y trabajar estadísticas de consumo, tiempos de mantenimiento, entre otros.

Χαλδερὰ Ινδυστρίαλ ΒΟΣΧΗ



ΦΙΓΥΡΑ 2: Χαλδερὰ Ινδυστρίαλ

Fuente: Bosch

En Alemania el fabricante y proveedor de sistemas de calefacción ROTEX presenta su nueva gama de calderas murales de condensación de gas con la más alta eficiencia energética: Smart Condens y Smart Condens Plus.

Estas calderas maximizan el ahorro con su tecnología, permitiendo alcanzar rendimientos de hasta el 100%. (Rotex, 2015).

Χαλδεραις Μυραλες δε Χονδενσαχιον δε Γας



ΦΙΓΥΡΑ 3: Χαλδεραις Μυραλες Σμαρτ Χονδενς

Fuente: (Rotex, 2015)

1.7.2. Bases teóricas científicas

1.7.2.1. Definición de Calderas

Las calderas son transformadores de energía térmica capaces de transferir de forma conveniente el calor producido por una combustión o generado por otro fenómeno químico o físico a un fluido (generalmente agua previamente tratada) destinado a ceder la energía recibida en forma térmica o mecánica y luego utilizada en múltiples empleos.

La gran energía contenida en el vapor puede ser liberada en forma de trabajo de expansión y equivale a la energía térmica cedida por la caldera al fluido. Este vapor se utiliza en diversas áreas industriales, dependiendo de la calidad del vapor, presión, temperatura y pureza. Existen diferentes tipos de calderas, a continuación, se mencionan las más conocidas.

Χαλδερὰ ΛΟΟΣ Υ – ΜΒ



ΦΙΓΥΡΑ 4: Χαλδερὰ Ινδυστρίαλ Υ–ΜΒ δε ΛΟΟΣ

Fuente: interempresas.net, 2009

Χαλδερα δε Γενεραχι Γν



ΦΙΓΥΡΑ 5: Χαλδερασ παρα λα Γενεραχι Γν δε Ενεργή α Ελχτριχα

Fuente: es.zbgboiler.com

1.7.2.2. Clasificación

Las calderas pueden clasificarse con diferentes criterios. A continuación, se brinda una breve descripción:

a) Según su movilidad

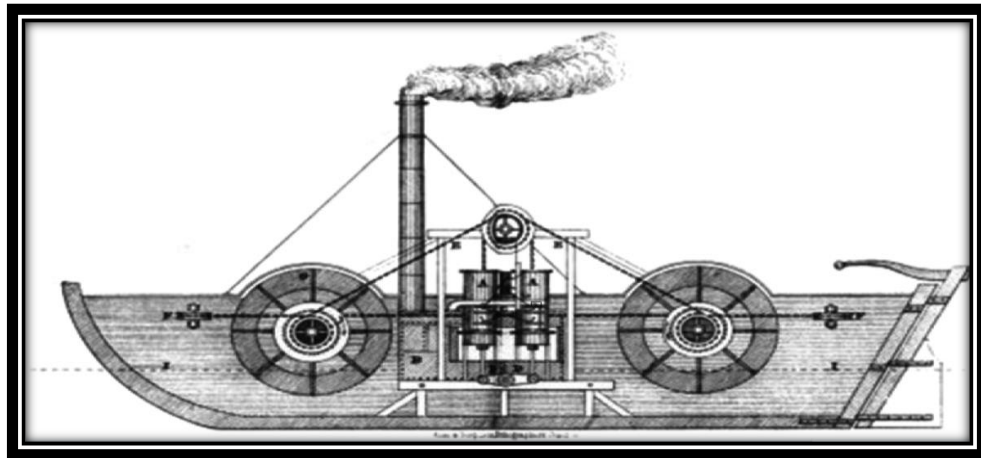
Caldera Fija o estacionaria

Son aquellas calderas que son instaladas en tierra y se utilizan para calefacción de edificios, procesos industriales, plantas termoeléctricas, etc.

Caldera Móvil o portátil

Estas calderas son utilizadas en embarcaciones, locomotoras de trenes.

Βαρχο α ζαπορ



ΦΙΓΥΡΑ 6: Βαρχο α ζαπορ

Fuente: proapopa.blogspot.pe

b) Según la presión de trabajo

Baja presión 0 a 2,5 kg/cm²

Media presión 2,5 a 10 kg/cm²

Alta presión 10 a 220 kg/cm²

Supercríticas Más de 220 kg/cm²

c) Según su generación

De agua caliente

El agua caliente generada es utilizada en sistemas de calefacción, el agua es transportada mediante una red de tuberías.



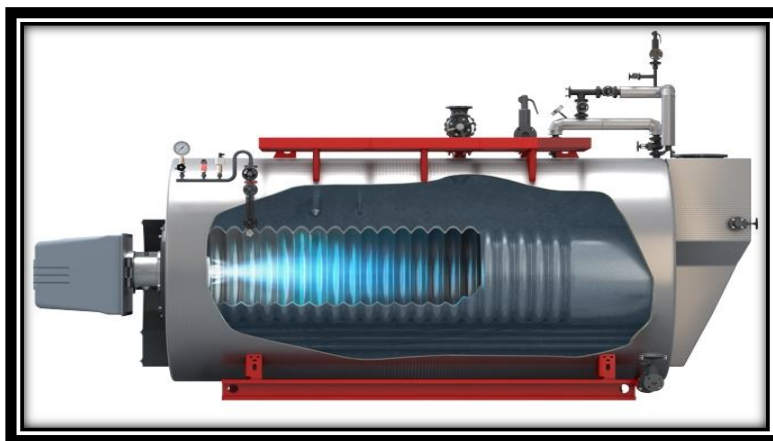
ΦΙΓΥΡΑ 7: Χαλδερρα δε Αγυρα Χαλιεντε ΧΒΑ

Fuente: Calderería LOPEZ HERMANOS, S.A

De vapor saturado o recalentado

La aplicación que se les da a estos tipos de calderas en la industria son: esterilización, calentamiento, limpieza, hidratación, cocción de alimentos, etc.

Χαλδερρα ΥΑ-Σ



ΦΙΓΥΡΑ 8: Χαλδερρα δε Μαψορ Προδυχχιον δε ραπορ Σατυραδο ψ Ρεχαλ ενταδο

Fuente: www.bosch-climate.com

d) Según el ingreso de agua a la caldera

Circulación natural:

El agua se mueve por efecto térmico, debido a la diferencia de densidad del agua fría y agua caliente.

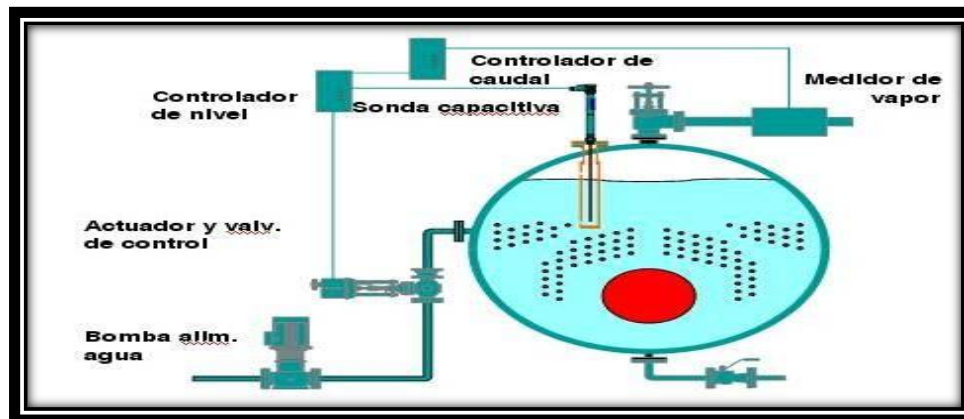


ΦΙΓΥΡΑ 9: Χαλδερα Αχυτοβυλαρ Μοδελο □XIT□

Fuente: calacutubular.blogspot.pe

Circulación forzada

El agua circula mediante el impulso de una Bomba.



ΦΙΓΥΡΑ 10: Χαλδερα χον Χιρχυλαχι Γν δε Αγωα δε Μανερα Φορζαδα

Fuente: www.termodinamica.com.pe

e) **Según su circulación del agua y gases en la zona de tubos
Piro tubulares o de tubos de humo**

En este tipo de calderas por su interior circulan los gases calientes producto de la combustión.



ΦΙΓΥΡΑ 11: Χαλδερα Πιροτυβυλαρ δε 3 Πασοσ Ν3Κ

Fuente: Sogecal.com

Acuotubulares o de tubos de agua

En este tipo de calderas el agua circula por el interior de los tubos, mientras que la superficie externa se encuentra en contacto con los gases.



ΦΙΓΥΡΑ 12: Χαλδερα δε ζαπορ Αχυοτυβυλαρ, ζερτιχαλ.

Fuente: www.directindustry.es

1.7.3. Tipos de Calderas

Fundamentalmente son dos tipos de calderas de vapor que suelen utilizarse: caldera de tubos de humo o piro tubulares o calderas de tubos de agua o acuotubulares.

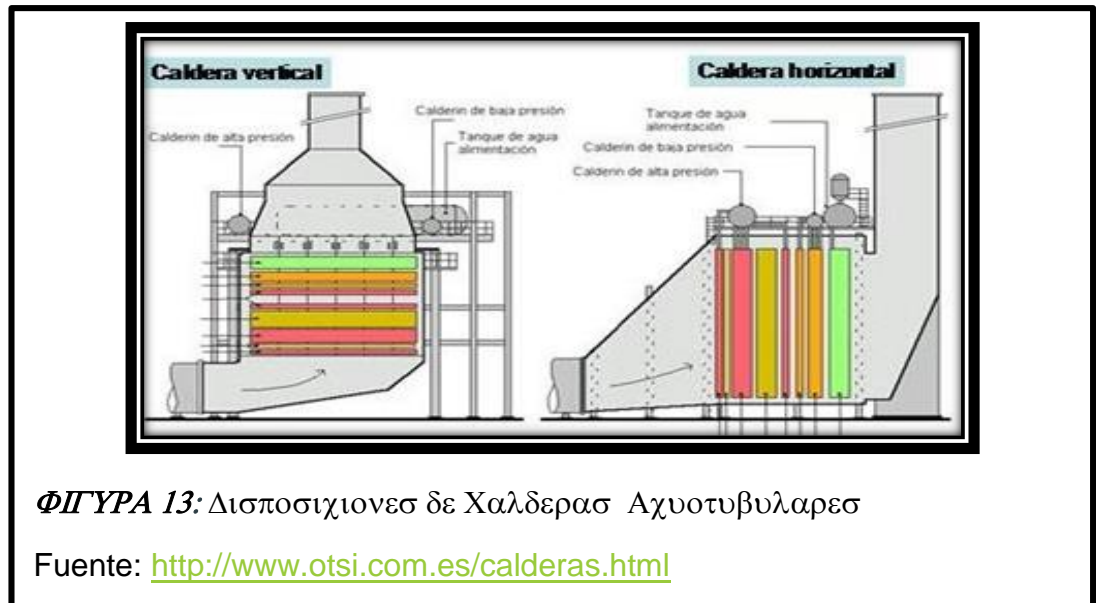
Caldera Piro tubular

Se le conoce también como tubos de humo, en este caso, el fuego y los gases calientes de la combustión que se generan en el horno y/o hogar pasan por el interior de los tubos, de uno o varios pasos, hasta llegar a la chimenea. El horno y los tubos están rodeados de agua. Generan bajas presiones y por lo general son más pequeñas que las acuotubulares. La presión máxima de trabajo para estas calderas es de alrededor de 500 PSI.

Caldera Acuotubular

También llamada tubos de agua; la llama se forma en un recinto de paredes tubulares que configuran la cámara de combustión u horno, y el agua fluye dentro de los tubos. Este tipo de calderas se utiliza especialmente para generar vapor a elevadas presiones de trabajo, por lo cual tienen un mayor costo que las piro tubulares; también consumen grandes cantidades de agua y combustible. Generalmente las presiones de trabajo de estas calderas se encuentran entre los 500 y 3,000 PSI.

1.7.3.1. Partes de una caldera Acuotubular



1.7.3.2. Partes Principales de una Caldera piro tubular

Cuerpo

El cuerpo puede ser cilíndrico o rectangular, las más comunes de hallar son las de tubos de humo, las cuales tienen un cuerpo cilíndrico elaborado en chapa de acero, sellados herméticamente con el objetivo principal de almacenar agua y vapor, el cual esta complementado por espejos, fluxes, envolventes y mamparas. Para el caso de una caldera tubos de agua, el cuerpo lo forman los domos, los fluxes y la envolvente, de manera que adquiere una forma rectangular.

Hogar

Es la parte de la caldera donde se produce la combustión. El hogar en las calderas piro tubulares es un tubo de gran diámetro con perfil corrugado o liso. En las calderas acuotubulares el hogar se ubica en la cavidad que forman los tubos que comunican a los domos.

Tubos de fuego

Son los elementos en los cuales circulan los gases calientes y permiten la transferencia de calor, se fijan en los cabezales mediante diversos procesos mecánicos, por expansión, empleando el rolado o la expansión a presión, pudiendo

también soldarse. La disposición de los tubos es intercalada, así se aprovecha mejor el espacio, aunque pueden también encontrarse distribuidos en línea. En calderos comerciales los diámetros están entre 2 y 4 pulgadas y su selección depende de la pérdida de tiro. De acuerdo al número de veces que circula los gases en el interior del cuerpo, los tubos pueden disponerse de tal manera que tengan uno, dos, tres, cuatro pasos de retorno. Los dos métodos más comunes para la fabricación de estos tubos son: el estirado en caliente y el estirado en frío obteniendo dos clases de tuberías las que son:

- El proceso de fabricación de tubos sin costura.
- El proceso de fabricación de tubo soldado a tope.

En una variación casi limitada de disposición de construcción, los tubos que forman la superficie de absorción de calor y los que proporcionan los circuitos de circulación en la mayoría de las calderas de construcción de acero que se emplean en la actualidad. Los tamaños más usuales de tubos están en el rango de 25 y 152 mm (1 y 6 pulgadas) de diámetro, con espesores de pared de 2 y 19 mm (1 /16 y ¾ de pulgada).

Espejos o mamparas

El flujo de gases a través de la caldera está controlado por mamparas o reflectores, cuyo único objetivo es dirigir el paso de los gases por los sitios más adecuados, con el objetivo de que el proceso de transferencia de calor entre el agua y los gases sea más eficiente.

Quemador

Es en el cual se realiza el proceso de combustión. Actualmente, los quemadores cumplen cinco funciones diferentes:

- Enviar el combustible a la zona de combustión.
- Suministrar la cantidad correcta de aire para la correcta combustión.
- Mezcla aire-combustible.
- Encienden la mezcla.

- Remover los productos de combustión.

Las varias formas de cumplir estas funciones, están de acuerdo a la variedad de diseños y operaciones de los quemadores.

Chimenea

Es el ducto por el cual se desalojan los gases de la combustión a un lugar conveniente y seguro. Además, cumple con ser un sistema efectivo de dispersión de contaminantes.

Bomba de alimentación

Son las encargadas de suministrar agua a las calderas, el controlador de nivel de agua en la caldera activa la bomba de alimentación, su principal función es; evitar choque térmico en la caldera.

1.7.3.3. Caldera “LOOS INTERNACIONAL” de 50 BHP

El hospital “LAS MERCEDES” posee una de estas calderas para suministro de vapor a las diferentes secciones del edificio. Esta caldera es de tipo pirotubular y es comercializada por Loos International en Alemania que en el 2009 paso a formar parte de Bosch Thermotechnik GmbH – Germany.

Tabla 1

Características Técnicas de la Caldera Pirotubular del Hospital Regional Docente "Las Mercedes".

Fuente: *Loos International.com*

Fabricante	Loos International
Tipo	RH
Nº Serie	94627
Año de Construcción	2001
Potencia	50 BHP
Presión de Trabajo	10 Bar
Temperatura de Trabajo	200 °C
Capacidad Nominal	800 Kg/h
Alimentación de Agua	Bomba Centrifuga(m3/s)

Tabla 2

Características Técnicas Del Quemador

Fuente: *Loos International.*

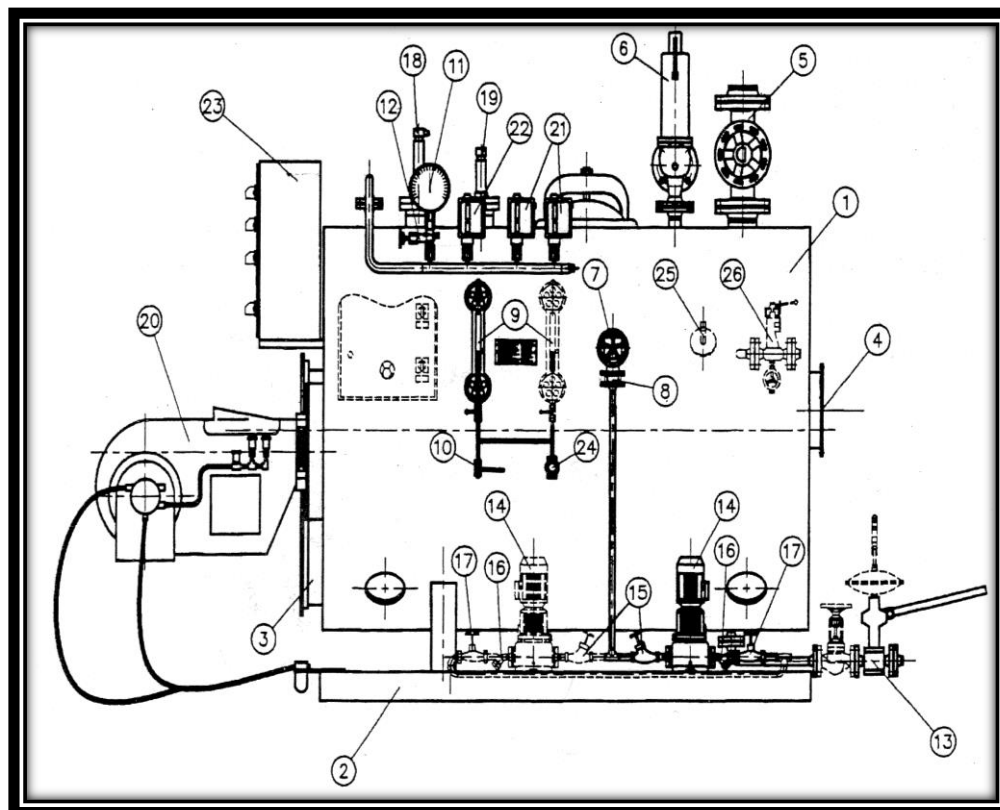
Fabricante	Max Weishaupt
Tipo de Quemador	L5Z
Año de Fabricación	2001
Potencia	Min. 298 KW Máx. 1190 KW
Presión de Funcionamiento	2 Bar
Combustible	Diésel-2
Potencia Eléctrica	2.16 KW

Las características técnicas generales de esta caldera se pueden apreciar en la Tabla 1 y 2, Asimismo, en la Figura 14 se pueden apreciar los principales componentes de este equipo de generación de vapor. Lo componentes indicados en la Figura 14 son como sigue:

1. Caldera con aislamiento.
2. Bastidor de base.
3. Cámara de inversión.
4. Salida de humo.
5. Válvula de vapor.
6. Válvula de seguridad.
7. Válvula de alimentación.
8. Válvula de retención.
9. Indicador de nivel de agua.
10. Válvula de arrastre.
11. Manómetro.
12. Válvula de tres vías.

13. Válvula de purga.
14. Bomba de alimentación.
15. Válvula de cierre diagonal del asiento.
16. Trampa de suciedad.
17. Válvula de cierre.
18. Regulador / limitador de nivel de agua.
19. Limitador del nivel de agua.
20. Quemador.
21. Regulador de presión.
22. Limitador de presión.
23. Caja de interruptores.
24. Vista.
25. Sonda de conductividad.
26. Purga automática

Χομπονεντες δε λα χαλδερα ΛΟΟΣ



ΦΙΓΥΡΑ 14: Χομπονεντες δε λα Χαλδερα Μενορ δελ Ηοσπιταλ Ρεγιοναλ Δοχεντε □Λας Μερχεδες□

Fuente: LOOS INTERNATIONAL

1.7.4. Combustibles para calderas

1.7.4.1. Diesel-2

Líquido combustible de color amarillo café y olor a petróleo. Se obtiene de la combinación de fracciones de la destilación atmosférica del petróleo crudo, es insoluble en agua. Se utiliza básicamente en las calderas y hornos industriales. (HIDROCARBUROS, 2013).

Tabla 3

Propiedades Del Diésel 2

Fuente: PETROPERU.

PROPIEDADES	Método ASTM/otro	Especificaciones		Refinería la Pampilla	Refinería Talara
		Min.	Max.		
APARIENCIA					
Color ASTM				0,5	1,5
VOLATILIDAD					
Punto Inicial de Ebullición		Reportar		152	163
10% Recuperado		Reportar		197	204
50% Recuperado		Reportar		298	297
90% Recuperado (A)		282	360	348	350
Punto Final de Ebullición				373	379
		Reportar			
Pérdida				0,2	0,5
Gravedad API @ 15,6 °C	ASTM - D1298			33,3	34,3
Punto de Inflamación P.M., °C	ASTM - D93	52		57	60
FLUIDEZ					
Viscosidad Cinemática @ 37 °C	ASTM - D445			3,98	4,3
Punto de Ecurrimiento °C	ASTM - D97		4	15	6
COMPOSICION					
Índice de Cetano	ASTM - D976	40		49,4	51,3
Cenizas, % masa	ASTM - D48		0,01	0,02	0,004
Carbón Conradson, % masa	ASTM - D189		0,35	0,01	0,01
CORROSION					
Lan. Cobre 3 Hrs. @ 100 °C	ASTM - D130			3a	
Azufre Total. % masa	ASTM - D129		0,5	0,48	0,15
CONTAMINANTES					
Agua y Sedimentos % vol	ASTM - D1796		0,05	0	0,02
COMBUSTION					
Poder Calorífico Bruto BTU/lb.	ASTM - D240			19517	

1.7.4.2. Numero de Cetano

Así como el octano mide la calidad de ignición de la Gasolina, el número de Cetano mide la calidad de ignición de un Diésel. Es una media de tendencia del diésel y la escala se basa en las características de ignición de dos hidrocarburos (CETANO Y HEPTAMETILNONANO).

El número de Cetano es un medio para determinar la calidad de la ignición Diésel y es equivalente al porcentaje por volumen del Cetano en la mezcla con Heptametilnonano. (POMA FLORES, 2004).

1.7.4.3. Gas Licuado de Petróleo (GLP)

El GLP tiene dos orígenes, el 60% de la producción se obtiene durante la extracción de gas natural y petróleo del suelo. El 40% restante se produce durante el refinado de crudo de petróleo, es una mezcla de hidrocarburos líquidos, es decir Hidrogeno y Carbono, principalmente de butano (C_4H_{10}) y propano (C_3H_8) en diversas proporciones o puro.

El GLP es inodoro e incoloro, se le añade un agente “odorizante” para detectar con facilidad cualquier fuga, por pequeña que sea, se utiliza de más de mil maneras, en el sector terciario, la industria, el transporte, la agricultura, la generación de energía, o para cocinar, como combustible de calefacción y en aplicaciones recreativas. Entre sus principales ventajas tenemos que es portátil, puede transportarse, almacenarse y utilizarse en cualquier lugar del mundo, existen reservas para muchas décadas. Además, el GLP produce menores emisiones de efecto invernadero que la gasolina, el gasóleo y la electricidad.

Tabla 4

Propiedades del GLP

Fuente: OSINERGMIN

Propiedad	60% Propano 40% Butano
Formula química	C ₄ H ₁₀ C ₃ H ₈
Gravedad específica	2,05 1,56
Poder calorífico	22 244 Kcal/m ³
	6 595 Kcal/lt
	11 739 Kcal/Kilogramo
Presión de suministro	Líquido a 20 °C con presión manométrica de 2,5 bar
Color / olor	Incoloro / Inodoro

1.7.5. Pérdidas de calor en la caldera

Las pérdidas de calor que se generan en el funcionamiento de una caldera son: pérdidas de calor en los gases de la combustión, pérdidas por conducción, convección, radiación y pérdidas por purgas.

1.7.5.1. Pérdidas de calor en los gases de la combustión

Las pérdidas por el calor sensible en los productos de la combustión son las más importantes. Depende esencialmente del porcentaje de CO₂ y de la temperatura de humos en la chimenea. A su vez, el porcentaje de CO₂ depende del tipo de combustible

utilizado y del exceso de aire utilizado en la combustión. A mayor temperatura de los gases en la chimenea, menor es la eficiencia de la caldera.

Los gases pueden estar demasiado calientes por una de dos razones:

1. El quemador está produciendo, más calor que el que se requiere para la carga específica de la caldera.
2. Las superficies de calefacción de la caldera no están funcionando correctamente y el calor no se está transfiriendo al agua.

1.7.5.2. Pérdidas por conducción, convección y radiación

Las pérdidas por conducción se producen en los apoyos de la caldera. Normalmente no se toman en consideración debido a su escasa entidad.

Las pérdidas por convección y radiación se producen a través de la envolvente de la caldera y pueden ser de 1% a 3% de la capacidad desarrollada por la caldera y su valor depende del tamaño de esta.

1.7.5.3. Pérdida por purgas

La purga generalmente se realiza extrayendo el agua de la parte inferior de la caldera, debido a que en él se encuentran los sólidos disueltos o en suspensión los cuales se van concentrando a medida que el agua se vaporiza, cuya presencia conduce a una serie de problemas en la caldera, como la incrustación lo que produce una reducción de la transferencia de calor por parte del combustible.

1.7.6. Modelo matemático de una caldera de vapor

El modelo matemático para la simulación de la caldera generadora de vapor que a continuación se detalla es una adaptación del trabajo de Fernández Granero (Granero, 2009) y de la Norma Técnica Peruana (NTP 350.300 – 2008).

1.7.6.1. Componentes del combustible por análisis gravimétrico

La composición del combustible se estipula en porcentaje de masa (composición gravimétrica) y se asume que la combustión se realiza con exceso de aire. Por ejemplo, para el caso del Diesel-2 se tiene (Tabla No. 5):

Tabla 5

Composición del Combustible Diesel-2 por unidad de masa de combustible

Fuente: Marcos et. al., 2006

COMPONENTE	PORCENTAJE	UNIDAD
Carbono (C)	87.00%	$\frac{kg_{carbono}}{kg_{combustible}}$
Hidrógeno (H)	12.6 0 %	$\frac{kg_{hidrogeno}}{kg_{combustible}}$
Oxígeno (O)	0.30 %	$\frac{kg_{oxigeno}}{kg_{combustible}}$
Azufre (S)	0.10 %	$\frac{kg_{azufre}}{kg_{combustible}}$
Ceniza	0.00 %	$\frac{kg_{ceniza}}{kg_{combustible}}$
Total	100 %	$\frac{kg_{componentes}}{kg_{combustible}}$

1.7.6.2. Determinación del Poder calorífico del Combustible

De un análisis más detallado se sabe que la cantidad de energía que es capaz de entregar un combustible está determinada por el Poder Calorífico Superior (PCS), este parámetro es la energía total que se libera durante la reacción, pero por lo general la energía de un combustible se basa en el Poder Calorífico Inferior (PCI) que viene a ser la resta entre el PCS y la energía que absorbe el vapor de agua formado después de la combustión, por esta razón mientras mayor sea la cantidad de agua existente después

de la combustión menor será el PCI. Para determinar el PCI del combustible se puede usar la Formula de Dulong modificada Ec (1) propuesta por HOSOKAI et. al, (2016) donde se optimiza dicha fórmula para estimar el poder calorífico de combustible gaseosos, líquidos y sólidos.

$$PCI = 38.2 \left(\frac{C}{100} \right) + 84.9 \left(\frac{H}{100} - \frac{O}{8 * 100} \right) - 0.5 \quad \left[\frac{KJ}{g} \right] \quad \text{Ec.(1)}$$

La ecuación para el PCS es similar a la EC.(1) siendo la diferencia el valor 0.5 que representa la cantidad de energía que se emplea en evapora el agua existente durante la combustión:

$$PCS = 38.2 \left(\frac{C}{100} \right) + 84.9 \left(\frac{H}{100} - \frac{O}{8 * 100} \right) \quad \left[\frac{KJ}{g} \right] \quad \text{Ec.(2.1)}$$

1.7.6.3. Exceso de aire

El proceso de combustión real nunca es perfecto debido a que siempre queda entre los productos resultantes monóxido de carbono el cual es un indicador claro de combustión incompleta. Para superar este inconveniente la combustión se realiza con exceso de aire y la cantidad depende del tipo de combustible, como se ve en la Tabla No 6.

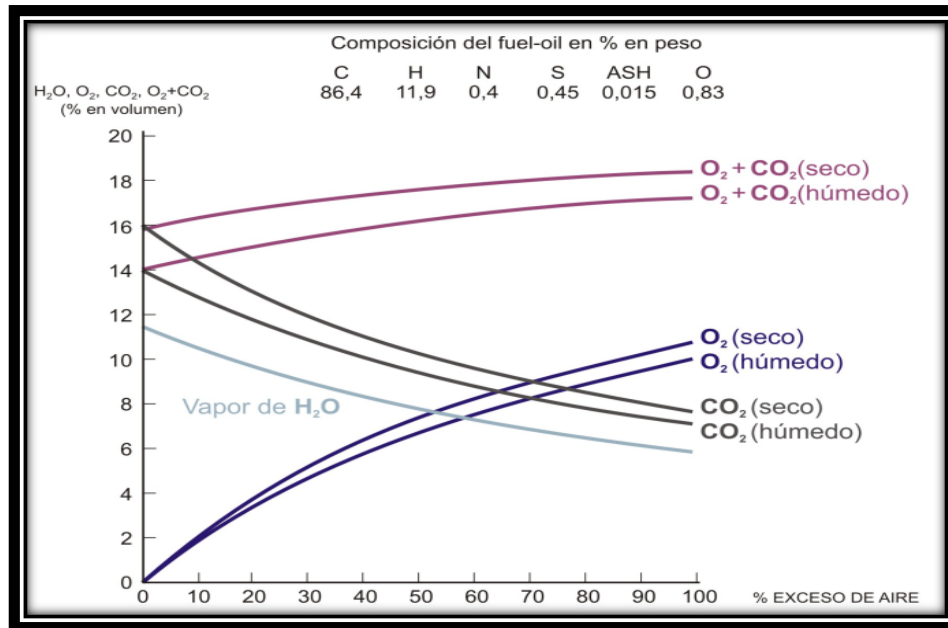
Tabla 6

Exceso de aire mínimo para diferentes combustibles

Fuente: TESTO

COMBUSTIBLE	% MINIMO DE EXCESO DE AIRE
Gas Natural	3 - 15
Fuel-oíl	7 - 15
Carbón	25 - 40

Si el exceso de aire está por encima del valor indicado en la tabla 6, se generan pérdidas de eficiencia debido a que el aire adicional enfría a la combustión restándole energía. Para combustibles con una composición gravimétrica similar a la del Diesel-2 la relación de exceso de aire y el porcentaje de CO₂ se ve en la Figura No.15.



ΦΙΓΥΡΑ 15:Χομποσιχι Γν δε λος γασεσ ρεσυλταντεσ δε λα χομβυστι Γν εν φυνχι Γν δε λ εξχεσο δε αιρε παρα ελ χομβυστιβλε ΔιΓσελ.

Fuente: TESTO

1.7.6.4. Estequiometria de la Combustión

La ecuación general de la combustión real es:

$$\frac{\%C}{12} + \frac{\%H_2}{2} + \frac{\%O_2}{32} + \frac{\%N_2}{28} + \frac{\%S}{32} + \alpha(O_2 + 3.76N_2) \rightarrow \beta CO_2 + \gamma H_2O + \mu N_2 + \nu O_2 + \delta SO_2 + \varepsilon CO \quad \text{Ec.(3)}$$

Dónde:

$\%C$: Porcentaje en peso de Carbono (Kg Carbono/kg combustible).

$\%H_2$: Porcentaje en peso de Hidrogeno (Kg Hidrogeno/kg combustible).

$\%O_2$: Porcentaje en peso de Oxigeno (Kg Oxigeno/kg combustible).

$\%N_2$: Porcentaje en peso de Nitrógeno (Kg Nitrógeno/kg combustible).

$\%S$: Porcentaje en peso de Nitrógeno (Kg Nitrógeno/kg combustible).

α : Coeficiente de cantidad de oxígeno necesario.

β : Coeficiente de cantidad de Dióxido de Carbono resultante.

γ : Coeficiente de cantidad de Agua resultante.

μ : Coeficiente de cantidad de Nitrógeno resultante.

ν : Coeficiente de cantidad de Oxigeno resultante.

δ : Coeficiente de cantidad de Dióxido de Azufre resultante.

ε : Coeficiente de cantidad de Monóxido de Carbono resultante

De la Ec. (2) para el balance de la reacción de la combustión se obtiene las siguientes ecuaciones:

$$\frac{\% C}{12} = \beta + \varepsilon \quad \text{Ec. (2.1)}$$

$$\frac{\% H_2}{2} = \gamma \quad \text{Ec. (2.2)}$$

$$\frac{\% O_2}{32} + \alpha = \beta \frac{\gamma}{2} + \nu + \delta \frac{\varepsilon}{2} \quad \text{Ec. (2.3)}$$

$$\frac{\% N_2}{28} + \alpha 3.76 = \mu \quad \text{Ec. (2.4)}$$

$$\frac{\%S}{32} = \delta \quad \text{Ec. (2.5)}$$

Para solucionar la ecuación general se requieren dos ecuaciones adicionales:

$$\%CO_2 = \frac{\beta}{\beta + \mu + \nu + \varepsilon + \delta} \quad \text{Ec.(2.6)}$$

$$\%Ex = \left(\frac{\alpha}{\alpha q} - 1 \right) \cdot 100 \quad \text{Ec.(2.7)}$$

La resolución de la Ec.(2) permite determinar los porcentajes de CO₂ y O₂ con las siguientes ecuaciones:

$$\%CO = \frac{\varepsilon}{\beta + \mu + \nu + \varepsilon + \delta} \quad \text{Ec.(2.8)}$$

$$\%O_2 = \frac{\nu}{\beta + \mu + \nu + \varepsilon + \delta} \quad \text{Ec.(2.9)}$$

El flujo másico de aire (G_a) utilizado en la reacción se determina con la Ec.(2.10):

$$G_a \left(\frac{kg_{aire}}{kg_{fuel}} \right) = \alpha \left(\frac{kmol_{O_2}}{kg_{fuel}} \right) \cdot 32 \left(\frac{kg_{O_2}}{kmol_{O_2}} \right) \cdot \frac{1}{0.232} \left(\frac{kg_{aire}}{kg_{O_2}} \right) = 138 \cdot \alpha \quad \text{Ec.(2.10)}$$

Flujo másico de gases de combustión (G_{HH}) sin considerar cenizas ($\%Ceniza$), carbono no quemado ($\%C'$) y humedad del combustible ($\%(H_2O)f$), se calcula con la Ec.(2.12).

$$G_{HH} = 1 + G_a - \%Ceniza - \%C' \quad \text{Ec.(2.11)}$$

$$G_{H9H} = G_{HH} - \%(H_2O)f \quad \text{Ec.(2.12)}$$

1.7.6.5. Balance Térmico en el Hogar

Para el balance Térmico se toma en consideración la distribución de la energía calorífica en el hogar. Cada uno de los componentes está en KJ/Kg-combustible.

$$Q_{ps} = Q_h + Q_{H9H} + Q_{air} + Q_{comb} + Q_{hfg} + Q_{(H_2O)comb} + Q_{wa} + Q_{CO+C} + \%Perd \cdot Q_{ps} \quad \text{Ec.(3)}$$

La descripción de cada componente de la Ec.(3) se describe a continuación:

Q_h : Es el calor cedido al hogar por radiación

$$Q_h = \frac{20.41 \cdot 10^{-8} \cdot \varepsilon \cdot A_h}{\dot{\omega}f} [T_H^4 - T_p^4] \quad \text{Ec.(3.1)}$$

Dónde:

$20,42 \cdot 10^{-8}$: Constante de Stefan Boltzann $kJ/(h \cdot m^2 \cdot k^4)$.

ε : Emisividad.

A_H : Área del hogar (m^2).

ωf : Caudal del combustible ($kg_{comb}/hora$).

T_H : Temperatura promedio del hogar (K).

T_P : Temperatura de pared, comúnmente aproximada como $T_{sa} + 150k$.

Q_{H9H} : Es el calor cedido a los gases de combustión.

$$\text{Ec.(3.2)}$$

$$Q_h = G_{H_2O} \cdot (h_{H_2O}(T_H) - h_{H_2O}(T_0))$$

Donde:

G_{H_2O} : flujo másico de gases de combustión (Kg_{H_2O}/Kg_{fuel}).

$h_{H_2O}(T)$: Entalpia de los gases de combustión a temperatura T (KJ/Kg).

T_0 : Temperatura del ambiente ($^{\circ}C$).

Q_{air} : Calor cedido al aire seco en los gases de combustión:

$$Q_{air} = G_a \cdot (1 - \omega_a) \cdot \overline{cp}_a \cdot (T_{a'} - T_0) \quad \text{Ec.(3.3)}$$

Donde:

G_a : Flujo másico de aire ($^{\circ}C$)(Kg_{aire}/Kg_{fuel}).

ω_a : Humedad del aire (%).

\overline{cp}_a : Capacidad calorífica promedio del aire entre $T_{a'}$ y T_0 ($KJ/kg^{\circ}C$).

$T_{a'}$: Temperatura del aire precalentado, T_0 si no hay precalentamiento ($^{\circ}C$).

$Q_{combustible}$: Calor cedido para calentar el combustible

$$Q_{combustible} = (1 - (H_2O)f) \cdot \overline{cp}_f \cdot (T_f - T_0) \quad \text{Ec.(3.4)}$$

Donde:

$(H_2O)f$: Humedad del combustible (%).

\overline{cp}_f : Capacidad calorífica promedio del combustible entre T_f y T_0 ($KJ/kg^{\circ}C$).

T_f : Temperatura del combustible precalentado, T_0 si no hay precalentamiento ($^{\circ}C$).

Q_{hfg} : Calor cedido para el cambio de fase del agua.

$$Q_{hfg} = 9. H. hfg(T) \quad \text{Ec.(3.5)}$$

Donde:

H : Cantidad de hidrogeno en el combustible según análisis gravimetrico (%).

H_{fg} : Entalpia de cambio de estado del agua a temp. T , comunmente $T_{ch}(K/Kg)$.

$Q_{(H_2O)f}$: Calor cedido para evaporar el agua contenido en el combustible.

$$Q_{(H_2O)f} = (H_2O)f. (hfg(T) + (H_2O)f. (T) + \overline{cp}_v. (T_H - T_0) - cp_w. (T_f - T_0)) \quad \text{Ec.(3.6)}$$

Donde:

\overline{cp}_w : Capacidad calorífica promedio del agua entre T_f y T_0 (K/Kg °C).

Q_{wa} : Calor cedido a la humedad del aire.

$$Q_{wa} = \omega_a. G_a. \overline{cp}_v. (T_H - T_0). \quad \text{Ec.(3.7)}$$

Donde:

ω_a : Humedad del aire (%).

Q_{CO+c} : Calor perdido por CO y Carbono no quemados.

$$Q_{CO+c} = \frac{23598. (CO). (C - C')}{(CO) + (CO_2)} \quad \text{Ec.(3.8)}$$

Donde:

23598: Cociente entre poder calorífico del CO en $KJ/Kmol_{CO}$ y peso molar de C (KJ/Kg_{comb})

(CO): Cantidad de CO resultante de la combustión $Kmol/Kg_{comb}$

(CO_2): Cantidad de CO_2 resultante de la combustión $Kmol/Kg_{comb}$

(C): Cantidad de C del fuel según análisis último (%).

(C'): Cantidad de carbono no quemado según análisis último (%).

$\%Perd \cdot Q_{ps}$: Es el porcentaje de pérdida del Poder Calorífico Superior (Q_{ps}), se aproxima comúnmente como 2%.

1.7.6.6. Banco de Convección:

Para el cálculo de la transferencia de calor se ha utilizado el método NTU-eficiencia para intercambiadores de calor.

Para este método la eficiencia se determina con las siguientes Ecu. (4) y (5):

$$\varepsilon = 1 - e^{-NTU} \quad \text{Ec.(4)}$$

$$1 - e^{-NTU} = \left(\frac{T_{in} - T_{out}}{T_{in} - T_{SAT}} \right) \quad \text{Ec.(5)}$$

Donde los datos conocidos son:

T_{in} : Temperatura de entrada de humos al banco ($^{\circ}C$).

T_{SAT} : Temperatura de saturación del agua a la presión de trabajo ($^{\circ}C$).

Para el cálculo de NTU se usa:

$$NTU = \frac{h \cdot A_{int}}{C_{in}} \quad \text{Ec.(6)}$$

En el cálculo del NTU se calcula primero el valor de C_{in} , el cual esta determindo por la Ec.(6.1):

$$C_{in} = G_{H9H} \cdot \dot{\omega}_f \cdot \left(\frac{h(T_{in}) - h(T_{out})}{T_{in} - T_{out}} \right) \quad \text{Ec.(6.1)}$$

$$h = \frac{Nu \cdot k}{\phi} \quad \text{Ec.(6.2)}$$

Donde:

$\dot{\omega}_f$: Caudal de combustible (Kg/h).

k : Coeficiente de conductividad térmica a una temperatura promedio entre T_{in} y T_{out} $\left(\frac{W}{mK}\right)$.

NU: Número adimensional de Nusselt calculado como

$$NU = C \cdot Re^m \cdot Pr^n \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_p}\right)^{0,25} \quad \text{E.(7)}$$

El valor de los coeficientes para el cálculo del numero de Nusselt se tiene en la Tabla No 7.

Tabla 7

Parámetros para el cálculo de numero de Nussel en banco de tubos

Fuente: TESTO

	Humo dentro de los Tubos	Humo fuera de los tubos	
		Tubos en línea	Tubos en tresbolillo
C	0.021	0.22	0.4
m	0.8	0.65	0.6

n	0.43	0.36	0.36
Condiciones	0.6 < Pr < 2500 10 ³ < Re < 5.10 ⁶	Pr > 0.6 10 ³ < Re < 2.10 ⁵	

Donde:

Pr : Número adimensional de Prandtl de los gases a la temperatura promedio entre T_{in} y T_{out} .

Pr_p : Número adimensional de Prandtl de la pared del domo. La temperatura de la pared se aproxima como $T_{SAT} + 50$.

Re: Número adimensionado de Reynolds calculado como:

$$Re = \frac{v\phi}{\nu} \quad \text{Ec.(7.1)}$$

Donde:

ϕ : Diametro de los tubos del banco de convección (m).

ν : Viscosidad cinemática de los gases de combustión a una T promedio entre T_{in} y T_{out} . (m^2/s).

v : Velocidad de los gases a través del banco calculado como (m/s).

$$v = \frac{G_{H_2O} \cdot \dot{\omega}_f}{\rho \cdot A_p \cdot 3600} \quad \text{Ec.(7.2)}$$

Donde:

ρ : Densidad de los gases a la temperatura promedio entre T_{in} y T_{out} . (Kg/m^3).

A_p : Área de paso de los gases (m^2).

1.7.6.7. Balance Térmico General del Sistema

Para el balance térmico donde se supone que el vapor de agua llega saturado. La ecuación general para el balance es:

$$G_v(h(T_{sc}) - h(T_{SAT})) = G_{H9H}(h_{H9H}(T_{in}) - h_{H9H}(T_{out})) \quad \text{Ec.(8)}$$

Donde:

G_v : Flujo masico de vapor (Kg_{vapor}/Kg_{fuel}).

$h(T)$: Entalpía del vapor a temperatura T y presión de trabajo (KJ/Kg).

T_{sc} : Temperatura de sobrecalentamiento del vapor ($^{\circ}C$).

T_{SAT} : Temperatura de saturación del vapor a la presión de trabajo ($^{\circ}C$).

T_{in} : Temperatura de gases de combustion a la entrada del proceso ($^{\circ}C$).

T_{out} : Temperatura de gases de combustion a la salida del proceso ($^{\circ}C$).

La ecuación para el balanace termico general es:

$$Q_{ps} = Q_v + Q_{H9H} + Q_{air} + Q_{combustible} + Q_{hfg} + Q_{(H2O)f} + Q_{wa} + Q_{CO+C} + \%Perd \cdot Q_{ps} \quad \text{Ec.(9)}$$

Q_v : Calor cedido al vapor de agua.

$$Q_v \cdot (h_2 - h_1) \quad \text{Ec.(9.1)}$$

Donde:

h_2 : Entalpía del vapor saliente, vapor saturado o sobrecalentado (si es que hubo tal proceso) a la presión de trabajo (KJ/Kg).

h_1 : Entalpía de agua entrante a T determinado por datos técnicos o precalentada (si es que hubo proceso) (KJ/Kg).

Q_{H9H} : Es el calor cedido a los gases de combustión.

$$Q_{H9H} = G_{H9H} \cdot (h_{H9H}(T_{ch}) - h_{H9H}(T_0)) \quad \text{Ec.(9.2)}$$

Donde:

T_{ch} : Temperatura de gases en la chimenea ($^{\circ}C$).

Q_{air} : Calor cedido para calentar el aire seco.

$$Q_{air} = G_a \cdot (1 - \omega_a) \cdot \overline{cp}_a \cdot (T_a - T_0) \quad \text{Ec.(9.3)}$$

Donde:

T_a : Es la temperatura de entrada del aire desde la salida de algún proceso diferente del precalentamiento, si no haya tal proceso $T_a = 0$.

$Q_{combustible}$: Calor cedido para precalentar el combustible.

$$Q_{combustible} = (1 - (H_2O)f) \cdot \overline{cp}_f \cdot (T_f - T_0) \quad \text{Ec.(9.4)}$$

Q_{hfg} : Calor cedido para el cambio de fase del agua formado por el hidrogeno contenido en el oxígeno.

$$Q_{hfg} = 9 \cdot H \cdot h_{fg}(T) \quad \text{Ec.(9.5)}$$

$Q_{(H_2O)f}$: Calor cedido para evaporar el agua de la humedad contenido en el combustible

$$Q_{(H_2O)f} = (H_2O)_f \cdot \left(h_{fg}(T) + \overline{cp}_v \cdot (T_{ch} - T_0) - \overline{cp}_w \cdot (T_f - T_0) \right) \quad \text{Ec.(9.6)}$$

Q_{wa} : Calor cedido para evaporar el agua contenido en el aire

$$Q_{wa} = \omega_a \cdot G_a \cdot \overline{cp}_v \cdot (T_{ch} - T_0) \quad \text{Ec.(9.7)}$$

Q_{CO+c} : Calor perdido por CO y Carbono no quemado

$$Q_{CO+c} = \frac{23598 \cdot (CO) \cdot (C - C')}{(CO) + (CO_2)} \quad \text{Ec.(9.8)}$$

$\%Perd \cdot Q_{ps}$: Es el porcentaje de calor perdido, usualmente 2% el poder calorifico superior (Qps).

1.7.6.8. Rendimiento:

Para determinar el rendimiento del sistema se usa la siguiente ecuacion:

$$Rend = \frac{G_v(h_2 - h_1)}{Q_{ps}} \quad \text{Ec.(10)}$$

1.7.7. Termoeconomía.

Para realizar el análisis térmico – económico en la caldera menor es necesario calcular su eficiencia, esta eficiencia se puede determinar por dos métodos el método directo y el método indirecto.

1.7.7.1. Método directo

En este método, el rendimiento de una caldera se define como la relación entre la energía aprovechada en la transformación de agua en vapor, y la energía suministrada por el combustible. El rendimiento se expresa en forma de porcentaje en la ecuación N° 11.

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{util}}{\dot{Q}_{total}} \times 100 \quad \text{Ec.(11)}$$

Donde:

η : Es el rendimiento térmico de la caldera.

\dot{Q}_{util} : Es el calor útil que es aprovechado por el fluido de trabajo.

\dot{Q}_{total} : Es el calor total cedido por el combustible.

De la Ecu. 11 se deduce dos ecuaciones equivalentes

$$\eta = \frac{\dot{m}_{vapor} \cdot \overline{C_p} \cdot \Delta T}{\dot{m}_{comb} \cdot PCI} \quad \text{Ec.(11.1)}$$

$$\eta = \frac{\dot{m}_{vapor} \cdot \Delta h}{\dot{m}_{comb} \cdot PCI} \quad \text{Ec.(11.2)}$$

Donde:

\dot{m}_{vapor} : Es el flujo másico de vapor de agua en (kg/h)

\dot{m}_{comb} : Es el flujo másico de combustible quemado en (kg/h)

$\overline{C_p}$: Es el poder calorífico promedio (kJ/kg °C).

ΔT : Es la variación de la temperatura en (°C).

Δh : Es la variación de entalpia en (kJ/kg).

PCI : Es el poder calorífico inferior del combustible en (kJ/kg).

1.7.7.2. Método indirecto

En el método indirecto (NTP 350.300-2008), también llamado método de pérdidas, el rendimiento se calcula restándole a 100% el valor de las pérdidas de calor.

$$\text{Rendimiento de la caldera} = (100 - \text{pérdidas})\%$$

$$\eta = 100 - (P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6) \quad \text{Ec.(12)}$$

Donde:

η : Es el rendimiento térmico.

P_1 : Es el Calor perdido por la entalpia de los gases de escape seco.

P_2 : Es la pérdida por la entalpia del vapor de agua en los gases.

P_3 : Es la pérdida por inquemados gaseosos.

P_4 : Es la pérdida por inquemados sólidos.

P_5 : Es la pérdida por convección.

P_6 : Es la pérdida por radiación.

1.7.7.2.1. Pérdida por la entalpia de los gases de escape seco (P_1)

La pérdida porcentual de calor debido a la entalpia de los gases de escape en base seca se determina con la ecuación 12.1.

$$P_1 = K \frac{T_g - T_o}{[CO_2]} \quad \text{Ec.(12.1)}$$

Donde:

K : Es la constante de Siegert. Algunos valores típicos para “K” se dan en la Tabla No 8.

T_g : Temperatura de gases a la salida de la chimenea, (°C).

T_o : Temperatura ambiental o del aire de ingreso al quemador, (°C).

$[CO_2]$: Concentración volumétrica de dióxido de carbono en los gases de escape, (%).

Tabla 8

Valores Típicos de la Constante de Siegert, K

Fuente: Adaptado de NTP 350.300 – 2008

Combustible	K
Residuales	0.53
Destilados	0.48
GLP	0.40

Gas Natural	0.35
-------------	------

La constante de Sievert se puede calcular también con la Ecuación 14.

$$K = \frac{255 \cdot [C]}{PCS} \quad \text{Ec.(12.2)}$$

Donde:

[C] : Es el porcentaje en peso de Carbono contenido en el combustible, (%).

PCS : Es el poder calorífico superior del combustible, (KJ/Kg).

La relación de contenidos entre el dióxido de carbono y oxígeno se determina con la Ec. 12.3.

$$[CO_2] = \left(1 - \frac{[O_2]}{21}\right) \cdot [CO_2]_{MAX} \quad \text{Ec.(12.3)}$$

Donde:

[O₂] : Concentración volumétrica de oxígeno en los gases de escape, en base seca, (%).

[CO₂]_{MAX} : Concentración volumétrica de dióxido de carbono en condición estequiometría, en base seca, (%). Algunos valores típicos se muestran en la Tabla No 9.

Tabla 9

Valores Típicos de (CO₂) Max

Fuente: Adaptado de NTP 350.300

Combustible	[CO₂]_{MAX}
Residuales	15.8
Destilados	15.5
GLP	13.8
Gas Natural	11.9

1.7.7.2.2. Pérdida por la entalpia del vapor de agua en los gases (P₂)

La pérdida porcentual de calor debido a la entalpia de vapor de agua en los gases de escape se determina con la Ecu.12.4.

$$P_2 = \frac{([H_2O] + 9 \cdot [H]) \cdot (2488 - 4.2 \cdot T_o + 2.1 \cdot T_g)}{PCS} \quad \text{Ec.(12.4)}$$

Donde:

[H₂O] : Porcentaje en peso de agua contenido en el combustible.

[H] : Porcentaje en peso de hidrogeno contenido en el combustible.

1.7.7.2.3. Pérdida por inquemados gaseosos (P₃)

La pérdida porcentual de calor debido a los inquemados gaseosos se determina con la ecuación 12.5.

$$P_3 = k_1 \frac{[CO]}{[CO_2] + [CO]} \quad \text{Ec.(12.5)}$$

Donde:

k_1 : Es la constante de inquemados del combustible.

Valores típicos para k_1 se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10:

Valores de la constante $K1$

Fuente: Adaptado de NTP 350.300-2008

Combustible	k_1
Residuales	54
Destilados	53
GLP	48
Gas Natural	40

1.7.7.2.4. Pérdida por inquemados sólidos (P_4)

La pérdida porcentual de calor debido a los inquemados sólidos se determina con la Ecu 12.6.

$$P_4 = 0.4 \cdot B^2 + 0.8B + 0.07 \quad \text{Ec.(12.6)}$$

Donde:

B : Es el índice de Bacharach con el cual se evalúa la opacidad de los gases de combustión. El índice de Bacharach se muestra en la Tabla No 11.

Tabla 11

Índice de Bacharach

Fuente: Adaptado de NTP 350.300-2008

Índice de Bacharah	Calificación	Efectos
1	EXCELENTE	NO HAY HOLLÍN
2	BUENA	HOLLÍN MUY REDUCIDO
3	REGULAR	CIERTA CANTIDAD DE HOLLÍN
4	POBRE	HOLLÍN VISIBLE
5	MUY POBRE	HOLLÍN MUY VISIBLE
6 a 9	POBRISIMA	HOLLÍN MUY MUY VISIBLE

1.7.7.2.5. Pérdida por convección (P_5)

La pérdida porcentual de calor debida a la convección se determina con la ecuación 12.4

$$P_5 = 80 \cdot \left(\frac{\dot{Q}_{p5}}{\dot{W}_c} \right) \quad \text{Ec.(13)}$$

Donde:

$$\dot{Q}_{p5} = h_{cf} \cdot A_f \cdot (T_{sf} - T_a) + h_{cg} \cdot A_g \cdot (T_{sg} - T_a) \quad \text{Ec.(13.1)}$$

$$h_{cf} = 1.973 \cdot 10^{-3} \cdot (T_{sf} - T_a)^{0.25} \cdot (2.857 \cdot v + 1)^{0.5} \quad \text{Ec.(13.2)}$$

$$h_{cg} = 1.973 \cdot 10^{-3} \cdot (T_{sg} - T_a)^{0.25} \cdot (2.857 \cdot v + 1)^{0.5} \quad \text{Ec.(13.3)}$$

$$\dot{W}_c = 9.81 \cdot BHP \quad \text{Ec.(13.4)}$$

Donde:

\dot{Q}_{p5} : Calor perdido por convección por unidad de tiempo, (kW).

h_{cf} : Coeficiente de convección de la superficie exterior que cubre al fluido de trabajo, (kW/m². °C).

h_{cg} : Coeficiente de convección de la superficie exterior que cubre a los gases de combustión, (kW/m². °C).

A_f : Área de la superficie exterior que cubre al fluido de trabajo, (m²).

A_g : Área de la superficie exterior que cubre a los gases de combustión, (m²).

T_{sf} : Temperatura de la superficie exterior que cubre al fluido de trabajo, (°C).

T_{sg} : Temperatura de la superficie exterior que cubre a los gases de combustión, (°C).

v : Velocidad del viento alrededor de la caldera, (m/s).

\dot{W}_c : Potencia de la caldera, (kW).

BHP : Caballo de caldera (Boiler horsepower).

Para calcular los BHP de la caldera se usa la siguiente formula.

$$BHP = \frac{\dot{m} \left[\frac{kg}{hr} \right]}{15.65} \quad \text{Ec.(14)}$$

1.7.7.2.6. Pérdida por radiación (P_6)

La pérdida porcentual de calor debida a la convección se determina con la ecuación 15.

$$P_6 = 80 \cdot \left(\frac{\dot{Q}_{p6}}{\dot{W}_c} \right) \quad \text{Ec.(15)}$$

Donde:

$$\dot{Q}_{p6} = (q_{rf} \cdot A_f) + (q_{rg} \cdot A_g) \quad \text{Ec.(15.1)}$$

$$q_{rf} = 5.763 \cdot 10^{-11} \cdot \varepsilon \cdot \left[(T_{sf} + 273)^4 - (T_a + 273)^4 \right] \quad \text{Ec.(15.2)}$$

$$q_{rg} = 5.763 \cdot 10^{-11} \cdot \varepsilon \cdot \left[(T_{sg} + 273)^4 - (T_a + 273)^4 \right] \quad \text{Ec.(15.3)}$$

$$\dot{W}_c = 9.81 \cdot BHP \quad \text{Ec.(15.4)}$$

Donde:

\dot{Q}_{p6} : Calor perdido por convección por unidad de tiempo, (kW).

q_{rf} : Flujo de calor radiante en la superficie exterior que cubre al fluido de trabajo, (kW/m². °C)

q_{rg} : Flujo de calor radiante en la superficie exterior que cubre a los gases de combustión, (kW/m². °C).

1.7.7.3. Análisis termo-económico

Calor Total del combustible

La energía total entregada se calculan con los datos del combustible en la Ec.(16).

$$\dot{Q}_{T-comb} = \dot{m}_{comb} \cdot PCI_{comb} \quad \text{Ec.(16)}$$

Donde:

\dot{Q}_{T-comb} : Es el calor total que entrega el combustible

\dot{m}_{comb} : Es el flujo másico de combustible que se quema. (Kg/h)

PCI_{comb} : Poder calorífico del combustible. (KJ/Kg)

Calor Útil

$$\dot{Q}_u = \dot{Q}_{T-comb} \cdot \eta_{comb}$$

Donde:

\dot{Q}_u : Es el calor útil que es aportado al agua para elevar su temperatura. (KW)

η_{comb} : Eficiencia Térmica.

1.8. Definición de los Términos Básicos

Mantenimiento:

El mantenimiento es un conjunto de acciones que se realizan con el objetivo de conservar en buenas condiciones y así maximizar su disponibilidad ya sea un material, herramienta, aparato, etc.

Equipos térmicos:

Son dispositivos que convierten calor en trabajo a través de la transferencia de calor desde un cuerpo a temperatura alta hacia un cuerpo de baja temperatura gracias a un aporte calorífico.

Performance:

Este término hace referencia al rendimiento que se obtendrá en la calera usando ambos combustibles diesel-2 y GLP.

Calor:

Es una energía que se produce por la vibración de moléculas y depende de su estructura, cuando hay una diferencia de temperatura entre los cuerpos hace que se transfiera el calor de un lugar a otro, cuando ambos cuerpos están a la misma temperatura se dice que se encuentran en equilibrio térmico por lo tanto no hay transferencia de calor.

Vapor:

Es un gas que se obtiene del llamado proceso de ebullición cuando el agua se calienta a 100°C y una atmosfera de presión, o fuera de esa temperatura de cambio de estado, cuando el agua se encuentra, a cualquier temperatura por debajo de la crítica, a una presión por debajo de su presión de vapor a esa temperatura (ese es el fenómeno de la evaporación).

Tubo:

Es una pieza hueca cilíndrica que por lo general se encuentra abierta por uno o ambos extremos.

Combustión:

Es una reacción creada entre el material combustible (elemento que arde) y el comburente (el que produce la combustión), es un proceso químico de oxidación rápida que va acompañado de desprendimiento de energía en forma de calor y luz.

Gases de combustión:

Es el resultado de la Combustión de las materias combustibles, tales como el GLP, gasolina, diésel, carbón, etc. En las combustiones localizadas y controladas, se descargan a la atmósfera a través de una tubería o chimenea.

CAPITULO II

MATERIAL Y METODOS

II. MATERIALES Y METODOS

2.1. Tipo y diseño de investigación

Este trabajo corresponde a una Investigación Cuantitativa dado que en el cálculo y desarrollado se manipulan y analizan relaciones entre variables físicas y termofísicas, ambas de tipo cuantitativa.

2.2. Métodos de Investigación

2.2.1. Metodología de Diseño

La metodología empleada en este trabajo se basa en la propuesta por (Eggert, 2010; Dieter & Schmidt, 2013), en la Figura 16, se detalla un diagrama de flujo con la metodología empleada.

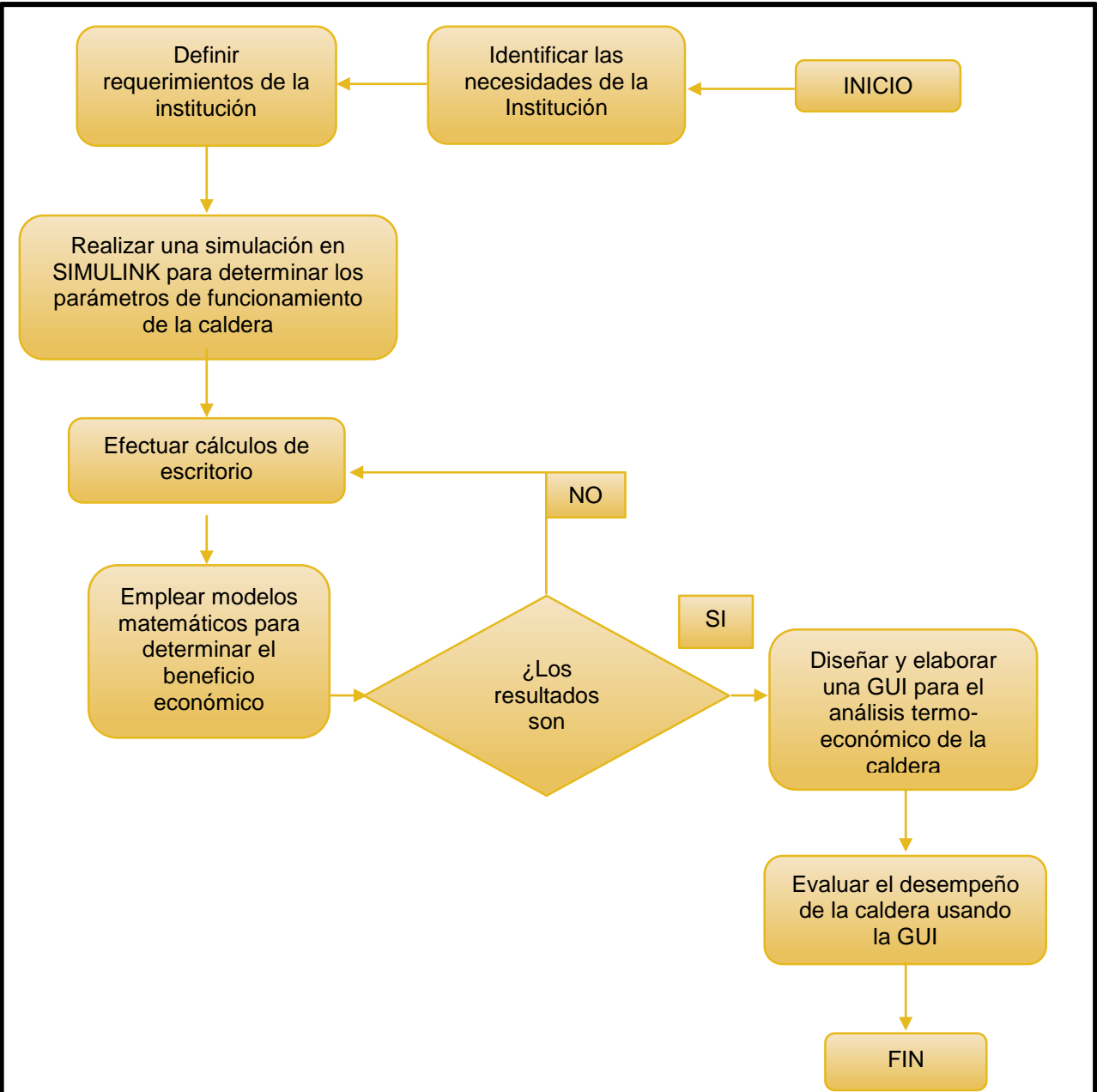


FIGURA16: Χομποσιχι ἴν δε λοσ γασεσ ρεσυλταντεσ δε λα χομβυστι ἴν εν φυνχι ἴν δελ ἐξχεσο δε αιρε παρα ελ χομβυστιβλε Διἴσελ.

Fuente: TESTO

2.3. Población y Muestra

No aplicable en este tipo de investigación

2.4. Variables y Operacionalización

A consecuencia de que la caldera se analiza con dos métodos, se procede a describir las variables involucradas para ambos casos.

2.4.1. Variables para el método Directo

Parámetros de definición del problema

- Flujo másico del vapor (Kg/h)
- Costo de combustible (Soles/gal)

Variables de Diseño

- Flujo másico de Combustible (Kg/h)
- Poder Calorífico del combustible (KJ/Kg)

Variables de Solución

- Eficiencia (Adimensional)
- Costo anual (Soles/año)

Variables intervinientes

- Temperatura ambiente (°C)
- Velocidad del viento (m/s)

El diagrama de caja negra para este sistema se aprecia en la Figura 17.

2.4.2. Variables para el método Indirecto

Parámetros de definición del problema

- Capacidad de la caldera (BHP)

- Costo de combustible (Soles/gal)
- Área de transferencia de calor (m^2)

Variables de Diseño

- Composición gravimétrica del combustible (% en masa)
- Poder Calorífico del combustible (KJ/Kg)
- Temperatura de los gases a la salida de la chimenea ($^{\circ}C$)

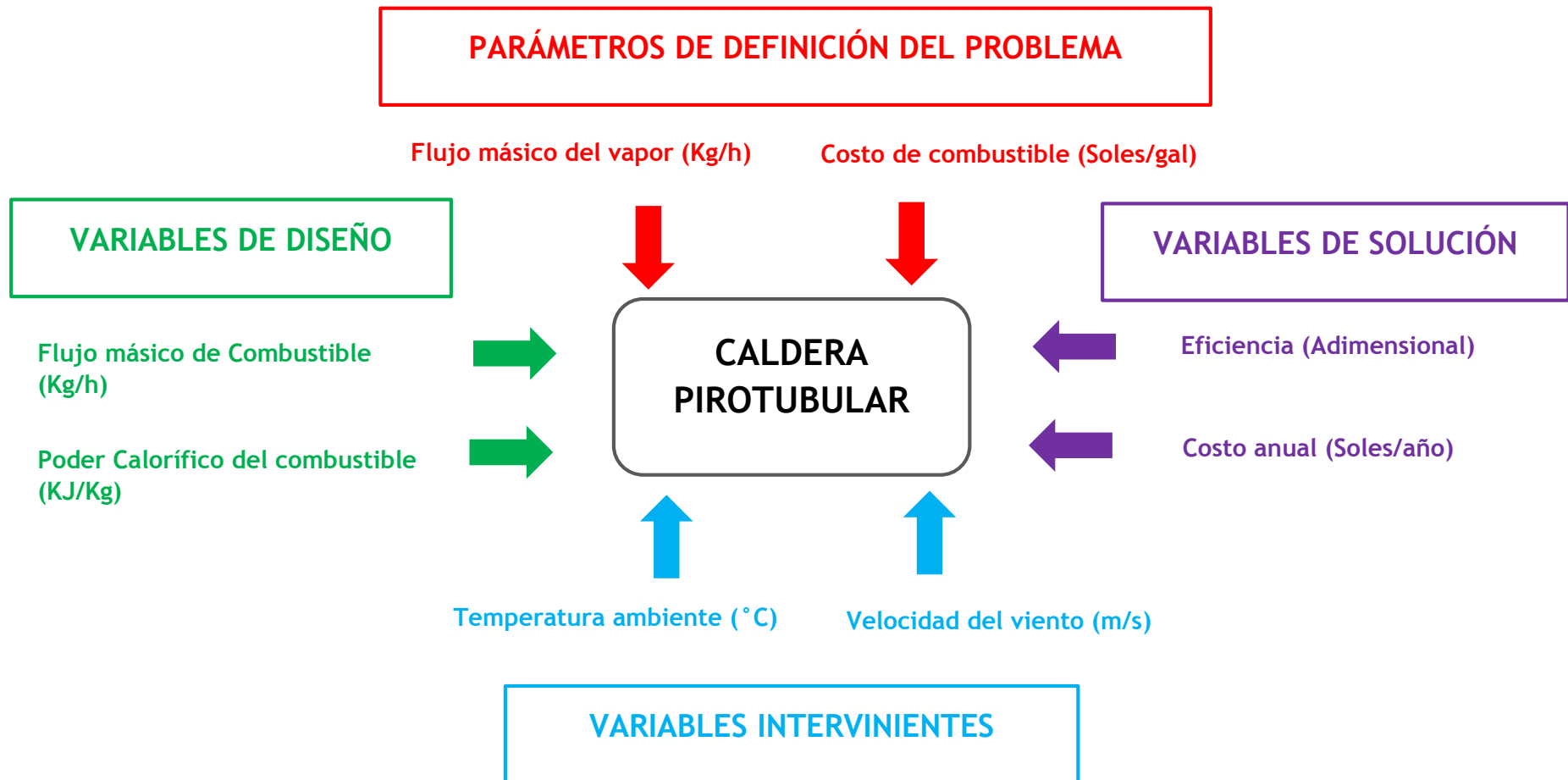
Variables de Solución

- Eficiencia (Adimensional)
- Costo anual (Soles/año)

Variables intervinientes

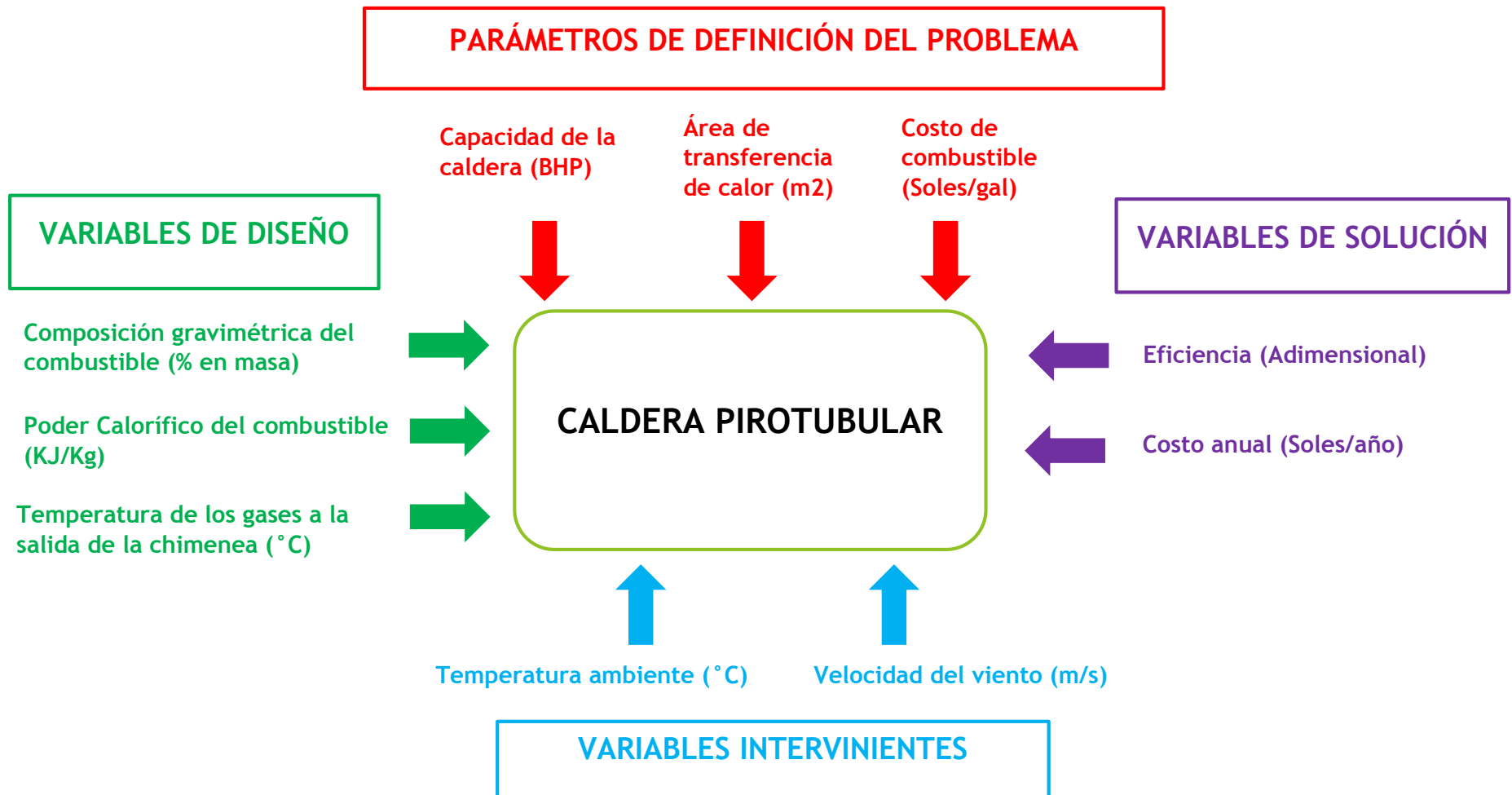
- Temperatura ambiente ($^{\circ}C$)
- Velocidad del viento (m/s)

El diagrama de caja negra para este sistema se aprecia en la Figura 18.



ΦιΓΥΡΑ 17: Διαγραμμα δε χαφα νεγρα παρα λα χαλδερα αναλιζαδα χον ελ Μ^π τοδο Διρεχτο.

Φυεντε: Propia



ΦΙΓΥΡΑ 18: Διαγραμμα δε χαφα νεγρα παρα λα χαλδερα αναλιζαδα χον ελ Μ^Γ τοδο Ινδιρεχτο

Φυεντε: Προπια

Operacionalización.

Tabla 12. Operacionalización de Variables para el Método Directo

Fuente: Propia

	VARIABLE	DEFINICIÓN	DIMENCIONES	INDICADOR	ESCALA	INDICE
VARIABLES DE DISEÑO	Flujo másico de Combustible	Es una cantidad que expresa la variación de la masa con respecto al tiempo	$\dot{m} = \frac{M}{T}$	Cantidad de masa transferida	Kg	m
				tiempo	h	t
	Poder Calorífico del combustible	Es la cantidad de energía contenida en un combustible	$Q_{ps} = \frac{ML^2}{T^2}$	Cantidad de energía transferida	KJ	Q
				Masa	Kg	t
VARIABLES DE SOLUCIÓN	Eficiencia	Es el cociente entre la energía producida y la energía suministrada	$\eta = \frac{ML^2}{T^2}$	Cantidad de masa transferida	Kg	m
				tiempo	hr	t
	Costo anual	Es un indicador que mide el valor monetario por año	$C = \frac{1}{T}$	Valor monetario	S/.	C
				tiempo	año	t

Tabla 13. Operacionalización de Variables para el Método Indirecto

Fuente: Propia

	VARIABLE	DEFINICIÓN	DIMENCIONES	INDICADOR	ESCALA	INDICE
VARIABLES DE DISEÑO	Composición gravimétrica del combustible	Es el porcentaje en masa de los componentes del combustible	$\% = \frac{M}{M}$	Porcentaje	%	%
	Poder Calorífico del combustible	Es la cantidad de energía contenida en un combustible	$Qps = \frac{ML^2}{T^2 M}$	Cantidad de energía transferida	KJ	Q
				Masa	Kg	m
	Temperatura de los gases de la chimenea	Es la medida de la energía interna de un sistema termodinámico	$T = \theta$	Temperatura	°C	T
VARIABLES DE SOLUCIÓN	Eficiencia	Es el cociente entre la energía producida y la energía suministrada	$\eta = \frac{ML^2}{T^2} \frac{ML^2}{T^2}$	Cantidad de masa transferida	Kg	m
				tiempo	h	t
	Costo anual	Es un indicador que mide el valor monetario por año	$C = \frac{1}{T}$	Valor monetario	S/.	C
			tiempo	año	t	

2.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

A continuación, se describirán las siguientes técnicas de recolección de datos:

A) Guía de observación:

El uso de esta técnica nos permite describir, conocer, comparar, aprender y registrar datos en el estudio realizado en el campo también se realiza las visitas pertinentes al área de calderas del Hospital Regional Docente las Mercedes.

B) Entrevistas:

Esta técnica nos permitirá la obtención de información indispensable mediante el dialogo con el ingeniero y personal de mantenimiento que tienen conocimientos de caldera del área de trabajo para la producción de vapor para las diferentes áreas.

C) Encuestas:

Con este procedimiento de investigación podremos obtener información de las personas relacionadas en el funcionamiento de la caldera, jefe de área, jefe de mantenimiento, técnicos, etc. Para así poder conocer la realidad actual de la generación de vapor.

D) Información bibliográfica.

Mediante este procedimiento lograremos recopilar, analizar y contrastar información de diferentes fuentes, entre ellos tenemos libros, tesis, revistas, papers, etc, con el objetivo de obtener un grupo de ecuaciones que permitan evaluar el rendimiento de la caldera.

Instrumentos de Recolección de Datos

Se emplearán los siguientes instrumentos de investigación

Guía de Revisión documentaria

Las guías a utilizar en el área de combustión y consumo energético, tendrán un formato para llegar a conocer como es su producción.

Cuestionario

Se formará una agenda para visitar la empresa y entrevistaremos con el director del hospital para solicitar autorización de entrada al área de trabajo de las calderas adquiriendo información. También dialogara con los ingenieros de turno del área de energía con el fin de conocer al detalle el funcionamiento de las calderas.

2.6. Validación y confiabilidad de instrumentos

Método de análisis de datos

De los datos obtenidos por las entrevistas se realizará un cuadro de doble entrada donde se detallará las respuestas a cada pregunta obtenidas por cada entrevistado, de dichos resultados se resaltará la tendencia de los datos para tomar como referencia en los cálculos.

III. RESULTADOS

III. RESULTADOS

3.1. Necesidades Energéticas del Hospital.

El hospital regional docente “LAS MERCEDES” requiere vapor para sus tres áreas de abastecimiento, esterilización, lavandería y nutrición las cuales se pueden apreciar en el esquema de planta del sistema de vapor (Ver Fig. No 19). En el área de abastecimiento el vapor es usado para cocinar los alimentos, mientras que en el área de esterilización donde la eliminación de bacterias peligrosas en el herramental y equipos se produce. Asimismo, las áreas de lavandería y nutrición se valen del vapor para eliminación de microorganismos.

Se realizaron entrevistas (ver Anexos No.1 y 2) a los técnicos encargados de monitoreo y mantenimiento, así como a encargados de área y supervisores de los mismos. El resultado de las encuestas puede apreciarse en las Tablas No. 14-15 y 16

En general el personal entrevistado mostro un buen conocimiento operativo de sus equipos. Sin embargo, respecto de los datos técnicos, el resultado no fue el esperado. Se hizo necesario entonces, tomar datos directamente de las placas (ver Anexo No 3) de los equipos pues no se disponía de los manuales ni de protocolos de medición diaria de los mismos. La excepción a este problema corresponde al personal a cargo de la caldera.

3.1.1. El análisis de las respuestas obtenidas de cada pregunta sobre el funcionamiento de la caldera hecha a los encuestados en la tabla N° 14 (preguntas 1 a la 11) se presenta a continuación:

Columna 1: ¿Cuántas horas al día trabaja la caldera?

La caldera trabaja un promedio de 16 horas diarias.

Columna 2: ¿Cuál es el consumo de combustible diésel-2 por turno?

Se observa que el de consumo de Diésel-2 por turno se encuentra entre 142.5 galones.

Columna 3: ¿Cuál es la capacidad del tanque diario del combustible?

Ante las coincidencias de las respuestas de 2 encuestados y el valor aproximado de los otros asumimos que la capacidad del tanque diario del Diésel-2 es de 150 galones.

Columna 4: ¿Cuál es la capacidad del tanque principal de combustible?

Se ha asumido que la capacidad del tanque principal es de 1400 galones aproximadamente.

Columna 5: ¿Cuál es la presión de operación de la caldera?

Esta caldera tiene una presión de diseño de 10 bar y ante la información obtenida se observa que la presión de trabajo es de 6,8 bar.

Columna 6: ¿Se puede medir presión, temperatura y fluido másico?

En esta columna se reafirma que la presión de trabajo de la caldera es de 6,8 bar, así mismo desconocen la temperatura de operación y no cuentan con un instrumento para medir el flujo másico del vapor.

Columna 7: ¿Cuál es el precio del Diésel-2 y GLP?

A esta pregunta los trabajadores dicen no saber el precio tanto del Diésel-2 como de GLP.

Columna 8: ¿El vapor que genera actualmente la caldera es suficiente para abastecer las diferentes áreas del hospital regional docente las Mercedes?

Ante esta pregunta se puede concluir que el vapor generado actualmente por la caldera no es lo suficiente para abastecer a las diferentes áreas el hospital regional docente “Las Mercedes”.

Columna 9: ¿Cuán eficiente considera usted que es la caldera en la actualidad usando diesel-2?

En esta columna los encuestados, según su concepto de eficiencia dan a conocer que la caldera usando Diésel- 2 si es eficiente.

Columna 10: ¿Qué problemas ha tenido usando el combustible diésel-2? ¿en dónde y por qué?

Se observa que los problemas que ha tenido la caldera usando Diésel- 2 es la acumulación de partículas sólidas (hollín) a la salida de la combustión, mayor contaminación debido a las emisiones de efecto invernadero que produce el Diésel-2 y problemas de alimentación de combustible debido al mal estado de la bomba de combustible.

Columna 11: ¿Qué información posee usted acerca de la fabricación y tecnología de la caldera?

Es evidente que los trabajadores encargados de la operación de la caldera no cuentan con la suficiente información acerca de la fabricación y tecnología de la caldera.

3.1.2. El análisis de las respuestas obtenidas de cada pregunta sobre el funcionamiento de la caldera hecha a los encuestados en la tabla N° 15 (preguntas 12 a la 22) se presenta a continuación:

Columna 12: ¿Se cuenta con manuales de operación y funcionamiento del fabricante de la caldera?

Ante esta pregunta se concluye que la información que tienen los encuestados es muy escasa ya que no cuentan con manuales de operación y funcionamiento del fabricante.

Columna 13: ¿Cada que tiempo se le da mantenimiento a la caldera diésel-2?

En esta columna se puede apreciar que a la caldera no se le da el mantenimiento según lo programado, los periodos actuales de mantenimiento de la caldera van de 2 a 3 años.

Columna 14: ¿Las calderas cuentan con un plan o programa de mantenimiento preventivo?

Los encuestados dan a conocer que las calderas si cuentan con un plan de mantenimiento preventivo pero que no se cumple de forma adecuada.

Columna 15: ¿Se lleva un registro diario de los siguientes parámetros: presión, temperatura y consumo de combustible?

En esta columna se puede ver que los encuestados si cuentan con un registro de parámetros básicos del funcionamiento de la caldera.

Columna 16: ¿Los accesorios de control de las calderas funcionan de manera correcta?

Ante esta pregunta los encuestados afirman que la caldera si cuenta con sus accesorios de control, pero no todos trabajan de forma adecuada

Columna 17: ¿La caldera cuenta con un control de nivel de agua?

En esta columna se puede observar que la caldera si cuenta con un control de nivel de agua.

Columna 18: ¿Con qué tipo de agua está funcionando?

Como resultado a la pregunta los encuestados confirman que el tipo de agua con el que trabaja la caldera es agua dura.

Columna 19: ¿La caldera cuenta con válvula de seguridad?

Ante esta pregunta los encuestados afirman que la caldera si cuenta con válvula de seguridad.

Columna 20: ¿Cree usted que reemplazando el Diésel-2 por GLP disminuirá costos y aumentara la producción de vapor?

En esta columna los encuestados creen tener mayores beneficios utilizando GLP en lugar del Diésel-2.

Columna 21: ¿Cuenta usted con un medidor de gases?

Con relación a su respuesta se puede concluir que los encuestados no cuentan con un medidor de gases.

Columna 22: ¿Sabe usted donde lo puedo conseguir?

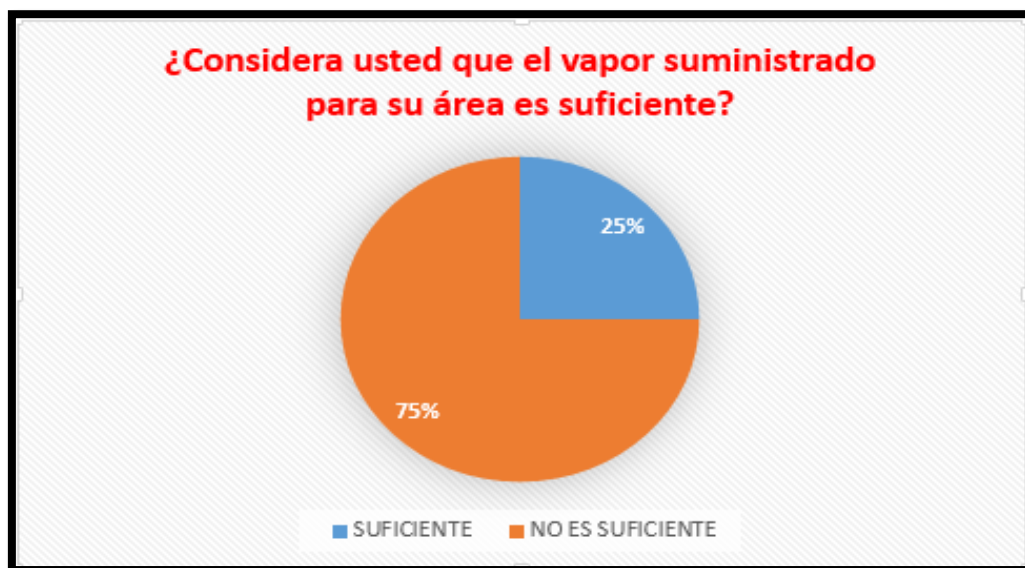
Ante la pregunta podemos ver que los trabajadores no conocen lugares de venta de equipos para análisis de gases en calderas.

3.1.3. El análisis de las respuestas obtenidas de cada pregunta sobre la distribución de vapor hecha a los encuestados en la tabla N° 16 se presenta a continuación:

Columna 1: ¿Considera usted que el vapor suministrado para su área es suficiente?

En esta columna se puede ver que el vapor suministrado a las tres áreas no es suficiente para abastecer las necesidades.

1	¿Considera usted que el vapor suministrado para su área es suficiente?				
A	SUFICIENTE	2	25%	Muestra	8
B	NO ES SUFICIENTE	6	75%		



Columna 2: ¿Las horas de suministran de vapor a su área es suficiente?

Ante esta pregunta los encuestados dan a conocer que tiempo de suministro de vapor diario no es lo suficiente.

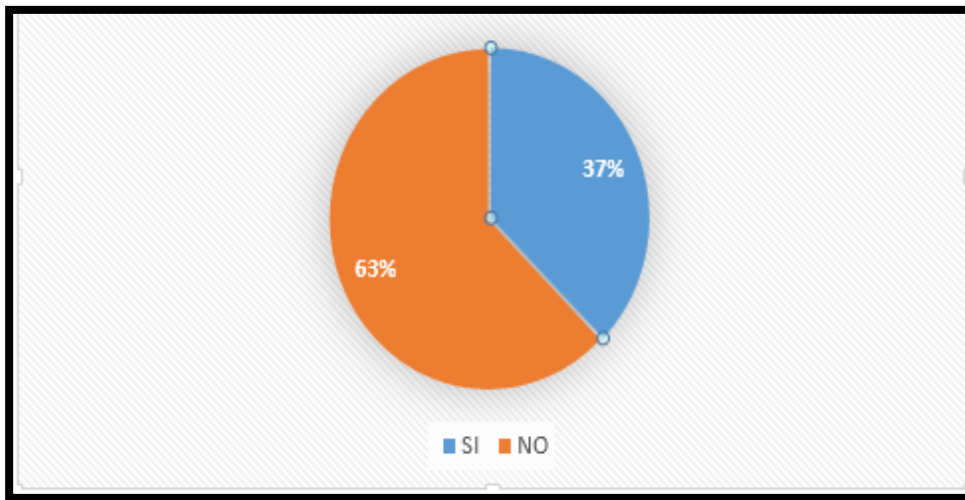
2	¿Las Horas de Vapor que le suministran a su área son suficiente?				
A	Suficiente	1	33%	muestra	3
B	No es suficiente	2	67%		



Columna 3: ¿Conoce usted sobre algún estudio técnico realizado para la selección de equipo y mejoramiento de la distribución de vapor?

Como se puede apreciar los encuestados dicen no conocer sobre algún estudio realizado para la selección de equipos y mejoramiento de la distribución de vapor.

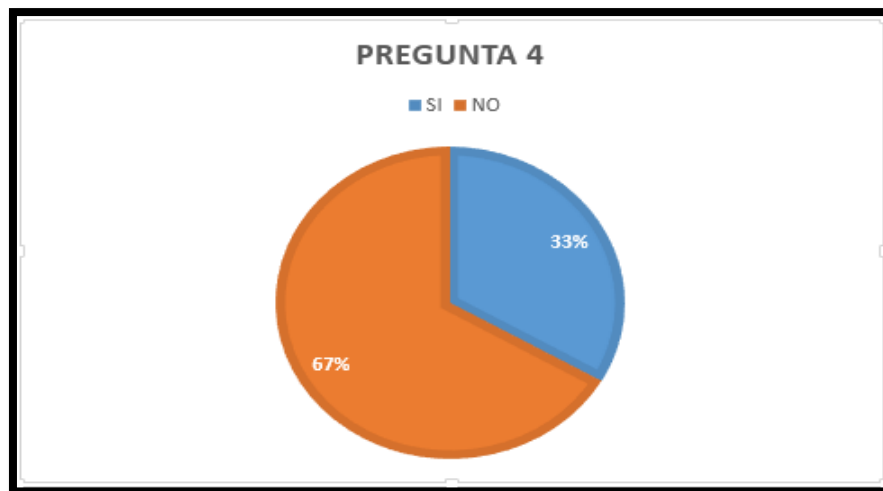
3	¿Conoce usted sobre algún estudio técnico realizado para la selección de equipo, y Mejoramiento de la distribución?								
A	SI	3	38%	MUESTRA	8				
B	NO	5	63%						



Columna 4: ¿Considera usted que el hospital regional docente las mercedes cuenta con el personal capacitado para realizar el estudio técnico que determine la selección de equipos y mejoramiento de la distribución de vapor?

Ante esta pregunta se concluye que los encuestados consideran que el hospital regional docente “Las Mercedes” no cuenta con personal capacitado para realizar el estudio técnico que determine la selección de equipos y mejoramiento de la distribución de vapor.

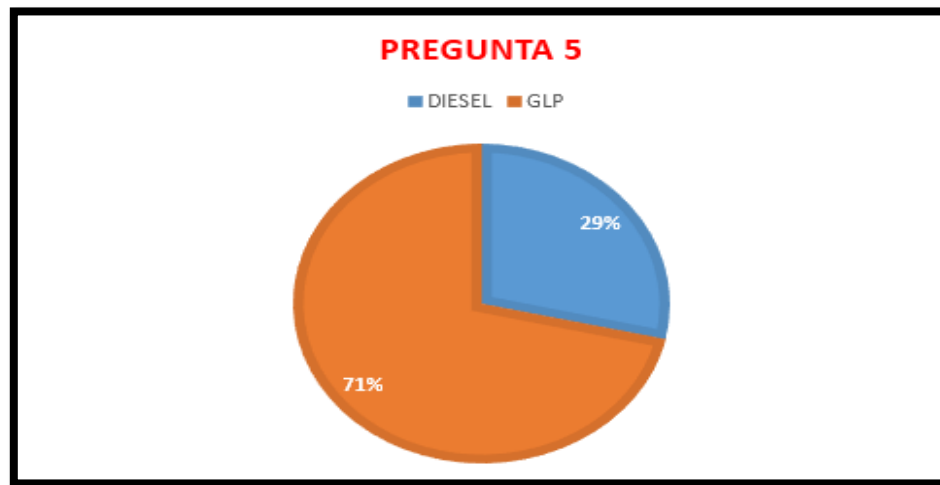
A	SI	2	33%	MUESTRA	6
B	NO	4	67%		



Columna 5: ¿Cuál de los siguientes combustibles Diésel-2 o GLP cree usted que es ideal y económico para la generación de vapor en el hospital?

En esta columna se puede observar que la totalidad de encuestados consideran al GLP como combustible más económico e ideal para la generación de vapor.

A	DIESEL	2	29%	MUESTRA	7
B	GLP	5	71%		



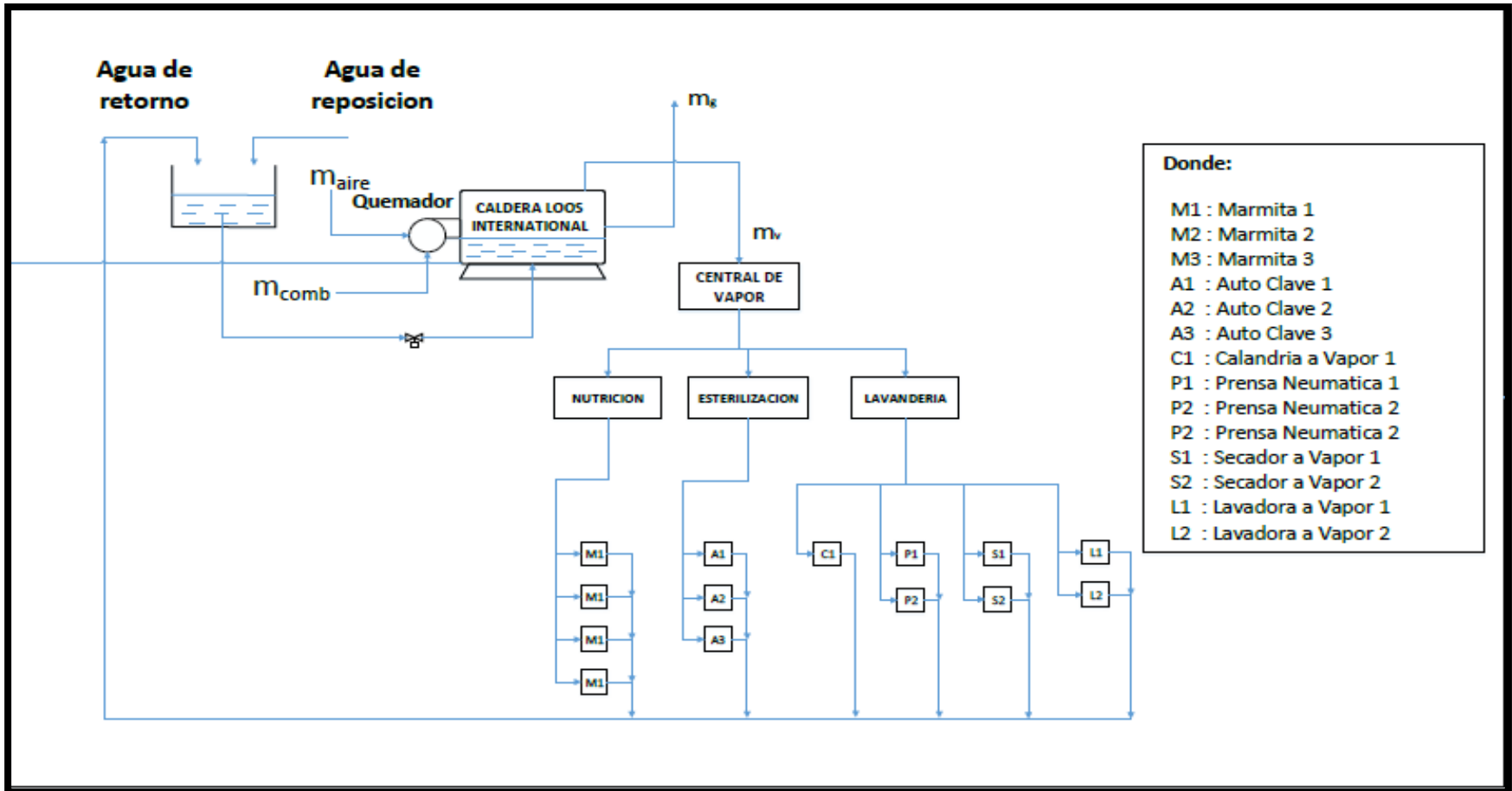


FIGURA 19: Distribución de vapor del Hospital Regional Docente La Mercedes

Fuente: Propia

Tabla 14

Resumen de entrevistas sobre el funcionamiento de la caldera (Preguntas 1 a la 11)

No	Entrevistado	Trabajo Hora-Día	Consumo Diésel 2 Por Turno	Capacidad Tanque Diario 1 Diésel-2	Capacidad Tanque Principal 2 Diésel- 2	Presión de Operación Caldera	P, T, m	Precio del Diésel-2 y GLP	Abastece el Vapor a Las Áreas	Eficiencia con Diésel-2	Problema Con Diésel-2	Información de La Caldera
Jefe. Mantto												
1	Marco Llaqué M.	14 horas	130 gl	140 gl	1200 gl	7 bar	7 bar, 80 °C, No hay instr.	No sabe	no abastece	Si es eficiente	Hollín	insuficiente
Técnico Mecánico												
2	Armando López Vega	15 horas	150 gl	150 gl	1500gl	6,7,8 bar	6, 7, 8 bar, 100°C, no hay instr.	No sabe	no abastece	si es eficiente	Hollín	insuficiente
Técnico Mecánico												
3	Eduardo Ecurra	16 hora	110 gl	130 gl	1350 gl	6.6, 7 bar	6.6 bar, 90	No sabe	no abastece	si es eficiente	Más contaminante	insuficiente
Técnico Mecánico												
4	Jorge Quevedo	20-24 horas	180 gl	150 gl	1550	6 bar	6 bar, 110 °C, No hay intr.	No sabe	no abastece	si es eficiente	bomba de combustible	insuficiente

Tabla 15

Resumen de entrevistas sobre el Funcionamiento de la caldera - Preguntas 12 a la 22 (Continuación)

Fuente: Propia

Entrevistado	Manuales de la Caldera	Periodos de Mantto de la Caldera	Plan Mantto de la Caldera	Registro P, T, Comb.	Funcionan los Accesorios	Control del Nivel de Agua	Tipo de Agua	Tiene Válvula de Seguridad	Habr� Beneficios Con GLP	Tiene medidor de Gases	Donde lo puedo conseguir
Jefe Mantto											
1 Marco Ilaqu�	no tienen	3 años	sí, pero no se cumple	si se cuenta	si funcionan, no al 100%	si cuenta	agua dura	si cuenta	si reemplazará	no se cuenta	no sabe
Técnico Mecánico											
No 2 Armando López vega	no tienen	2-3 años	sí, pero no se cumple	si se cuenta	si funcionan, no al 100%	si cuenta	agua dura	si cuenta	si reemplazará	no se cuenta	no sabe
Técnico Mecánico											
No 3 Eduardo Escurra	no tienen	ideal 6 meses, no se cumple	sí, pero no se cumple	si se cuenta	si funcionan, no al 100%	si cuenta	agua dura	si cuenta	si reemplazará	no se cuenta	no sabe
Técnico Mecánico											
No 4 Jorge Quevedo	no tienen	2 año a mas	s�, pero no se cumple	si se cuenta	si funcionan, no al 100%	si cuenta	agua dura	si cuenta	si reemplazará	no se cuenta	no sabe

Tabla 16

Resumen de entrevista para obtener información general sobre la distribución de Vapor

Fuente: Propia

Área	Entrevistado	Suficiente Suministro Vapor	Suficiente horas de Suministro de vapor	Estudio para la Selección de Equipos	Personal Capacitado Para Mejoras	Mejor Comb. Diésel-2 o GLP
	Jefa de Área					
Esterilización	Sonia Vásquez	no es suficiente	no es suficiente	no conoce	no está capacitado	GLP
	Lic. Nutrición					
Nutrición	Claudia Céspedes	no es suficiente	no es suficiente	no conoce	no está capacitado	GLP
	Jefa de Área					
Lavandería	Amelia Llanos	a veces	no es suficiente	no conoce	no lo suficiente	GLP

Tabla N°17*Demanda De Vapor Del Hospital Regional Docente "Las Mercedes"***Fuente:** *Propia*

AREA	EQUIPOS	CANTIDAD	NECESIDAD	AÑO	CAPACIDAD (lb)	ESTADO	MODELO	DEMANDA (Kg/h)
NUTRICION	Marmita	4	Alimenticio	2007	300 x 4 =1200	Operativa	RA-200GV	545,45
ESTERILIZACION	Auto Clave	2	Esterilizar	2007	160 x 2 = 320	Operativa	AMSCO	200
	Auto Clave	1	Esterilizar	2007	120	Inoperativa	MIELLE	
LAVANDERIA	Calandria a Vapor	1	Planchado	2013	187	Inoperativa	PSV-50/320MP	365
	Prensa Neumática	2	Planchado	2013	44 x 2 = 88	Inoperativa	PU- 88C	
	Secadora a Vapor	2	Secado	2013	132 x 2 = 264	Operativa	SR/V-60MP	
	Lavadora a Vapor	2	Lavado	2014	132 x 2 = 264	Operativa	LA-60MVP	

2.1. Determinar las cargas térmicas del Hospital.

Teniendo en cuenta los resultados del análisis de las entrevistas de la sección previa y la información recopilada (Ver Anexo No. 1 y 2) de cada equipo mencionado en el esquema de planta (Ver Fig.15) se determinó las cargas térmicas como se indica a continuación.

Nutrición y Esterilización

Si la demanda de vapor en nutrición y esterilización es igual a 745,45 kg en el hospital regional docente las mercedes y la capacidad nominal de nuestra caldera LOOS INTERNATIONAL es de 800 kg/h y si suponemos que las instalaciones y tuberías están correctamente aisladas las pérdidas que pueden existir por radiación y convección podemos considerarlas que será aproximadamente del 10 % de la carga térmica.

$$745,45+0,1*(745,45) = 820\text{Kg/h}$$

Por lo que concluimos que la caldera no abastece en su totalidad las áreas de nutrición y esterilizado.

Tabla N° 18

Demanda De Vapor En Las Área De Nutrición Y Esterilización

Fuente: *Propia*

AREA	DEMANDA (Kg/h)
Nutrición	545,45
Esterilización	200,00
TOTAL	745,45

Para el Área de Lavandería

La siguiente demanda muestra la carga térmica de lavandería, en donde es igual a 365Kg/h. por tal motivo se verifica que asumiendo las instalaciones y tuberías están correctamente aisladas su pérdida por radiación y convección podemos considerarlas que será también el 10 % de la carga térmica.

$$365+0.1*(365) = 401,5\text{kg/h}$$

Por lo que concluimos que nuestra caldera si abastece con 401,5kg/h a nuestra área de lavandería, ya que nuestra caldera tiene una capacidad nominal de 800 kg/h.

Se debe notar que el sistema de vapor en este hospital trabaja suministrando este insumo a las secciones de Nutrición y Esterilización simultáneamente mientras el suministro a la sección de Lavandería permanece cerrado. Cuando la sección de Lavandería necesita de vapor se cierra el suministro a las secciones de Nutrición y Esterilización. Esto debido a la capacidad limitada de la planta de vapor.

2.2. Normativa para Calculo de Performance de Calderas

NTP 350.302 – 2009 EFICIENCIA ENERGÉTICA.

Esta Norma Técnica Peruana se aplica a las calderas tipo paquete de tubos de humo (pirotubular) y de tubos de agua (acuotubular) sin equipo de recuperación de calor que utilizan combustibles sólidos, gaseosos y líquidos derivados del petróleo, con las características mostradas en la NTP 350.301. Este documento da los lineamientos para la instalación de calderas y adicionalmente abarca los elementos necesarios para la instalación, ubicación, condiciones de servicio y seguridad (Ver Anexo No. 4).

NTP 350.300 – 2001 CALDERAS INDUSTRIALES.

Este documento estipula el procedimiento para la determinación de la eficiencia térmica de calderas industriales. En él se delinea detalladamente el método de prueba que debe aplicarse para verificar la eficiencia térmica de las calderas tipo paquete de tubos de humo (pirotubular) y de tubos de agua (acuotubular) sin equipo de recuperación de calor. Con este documento se realizará proceso de cálculo para determinar la eficiencia de la caldera usando el Método Indirecto, (Ver Anexo No. 5).

NTP 321.003 – 2005 PETRÓLEO Y DERIVADOS.

Esta norma técnica peruana se aplica con el propósito de determinar la conformidad del combustible Diésel con sus especificaciones. Este documento se aplica y describe tres clases de combustibles Diésel los cuales se diferencian por la cantidad de azufre en su composición química. Esta norma nos permite determinar de manera adecuada las características del tipo de combustible. (Ver Anexo No. 6)

2.3. Modelo analítico y termo-económico.

Para el cálculo de la eficiencia energética de una caldera existen 2 métodos clásicos: el Método Directo y el Método Indirecto. El método directo, el cual consiste en medir el calor útil que es aportado al agua, esto requiere conocer tanto el caudal volumétrico del agua, así como su temperatura. El método indirecto (NTP 350.300-2001) (ver Anexo N° 5), permite determinar la eficiencia de la caldera midiendo las pérdidas de calor que existen en la caldera.

2.3.1. Simulación Numérica de Funcionamiento de Caldera en Simulink para Determinación de Datos de Entrada en el Método Indirecto

Debido a políticas de la empresa la caldera LOOS INTERNATIONAL RH 94627 quedo paralizada durante la realización de esta investigación por lo cual los datos reales necesarios para realizar tanto el método directo como el indirecto fueron imposibles de

evaluarse. Para contrarrestar este problema se realizó una simulación numérica acuciosa del equipo que se basó en la metodología propuesta por Granero (Granero, 2009).

3.4.1.1 Diseño de Interface para Simulación

Para facilitar la visualización de todas las partes de la simulación se planteó el esquema de manejo de datos como se muestra en la Figura No. 20. El diseño se distribuyó en los siguientes bloques: Bloque de Combustible, Bloque de Proceso de Combustión, Bloque de Balance de Energía en la Cámara de Combustión (Hogar), Bloque de Banco de Convección 1, Bloque de Banco de Convección 2, Bloque de Sobrecalentador y Bloque de Balance General.

3.4.1.2 Diseño de Interface

El programa de simulación en el software Simulink en su versión final se puede apreciar en las Figuras No. 21. Los detalles de la elaboración de este programa se pueden apreciar en el Anexo No. 7.

Los subsistemas que componen el programa hecho en Simulink se detallan líneas abajo:

- A) **Subsistema combustible:** Este bloque (Figura No 21) permite definir el tipo de combustible por su composición gravimétrica además permite determinar su poder calorífico como función de la humedad y la cantidad de CO₂ como función del exceso de aire. Para esta aplicación se tomó como exceso de aire 15 % (Tabla No 6) y la humedad del combustible 0.05% (Tabla No 3).

- B) **Subsistema Combustión:** En este bloque se realiza los cálculos del proceso de combustión dando como resultado el porcentaje de los componentes de los gases de combustión y la cantidad de aire empleada por la combustión.

- C) **Subsistema Hogar:** En este bloque se realiza el balance térmico de la cámara de combustión, este bloque está compuesto de sub bloques que equivalen a las ecuaciones (3.1 a la 3.8).
- D) **Subsistema Banco de Convección:** En este bloque se emplea el método NTU-eficiencia Ec. (4 a la 7.2) para determinar la transferencia de calor desde los gases de combustión hacia el agua en el interior de la caldera.
- E) **Subsistema Sobrecalentador:** En este bloque se simula un intercambiador de calor para precalentamiento o sobrecalentamiento, y el empleo depende de la construcción de la caldera.
- F) **Subsistema del Balance General:** En este bloque se realiza el balance de la caldera para determinar la cantidad de vapor que la caldera es capaz de suministrar.

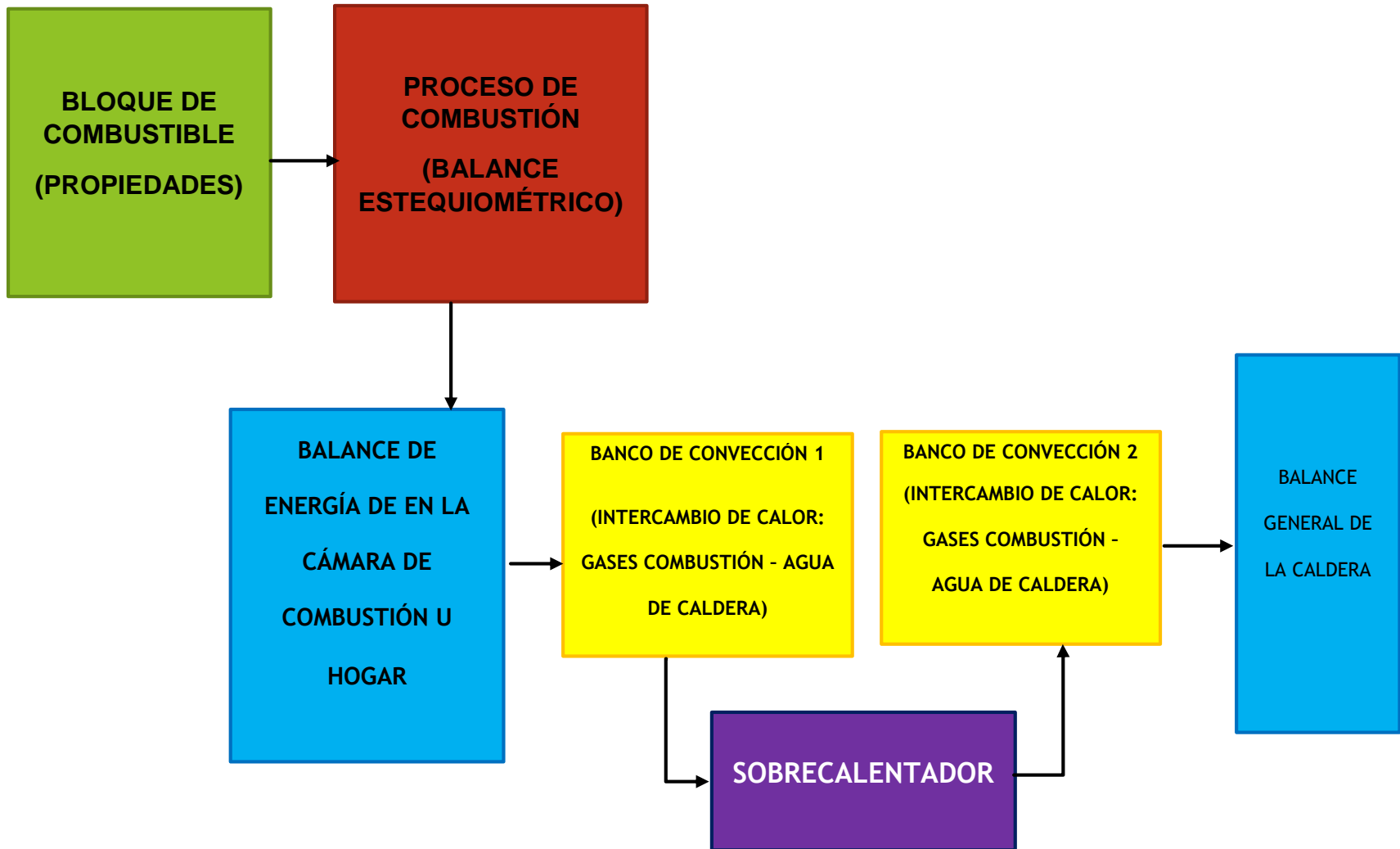


FIGURA 20: Δισελο δε λοσ Βλοθυεσ δε Σιμυλαχι \dot{V}
 Φυεντε: Προπια

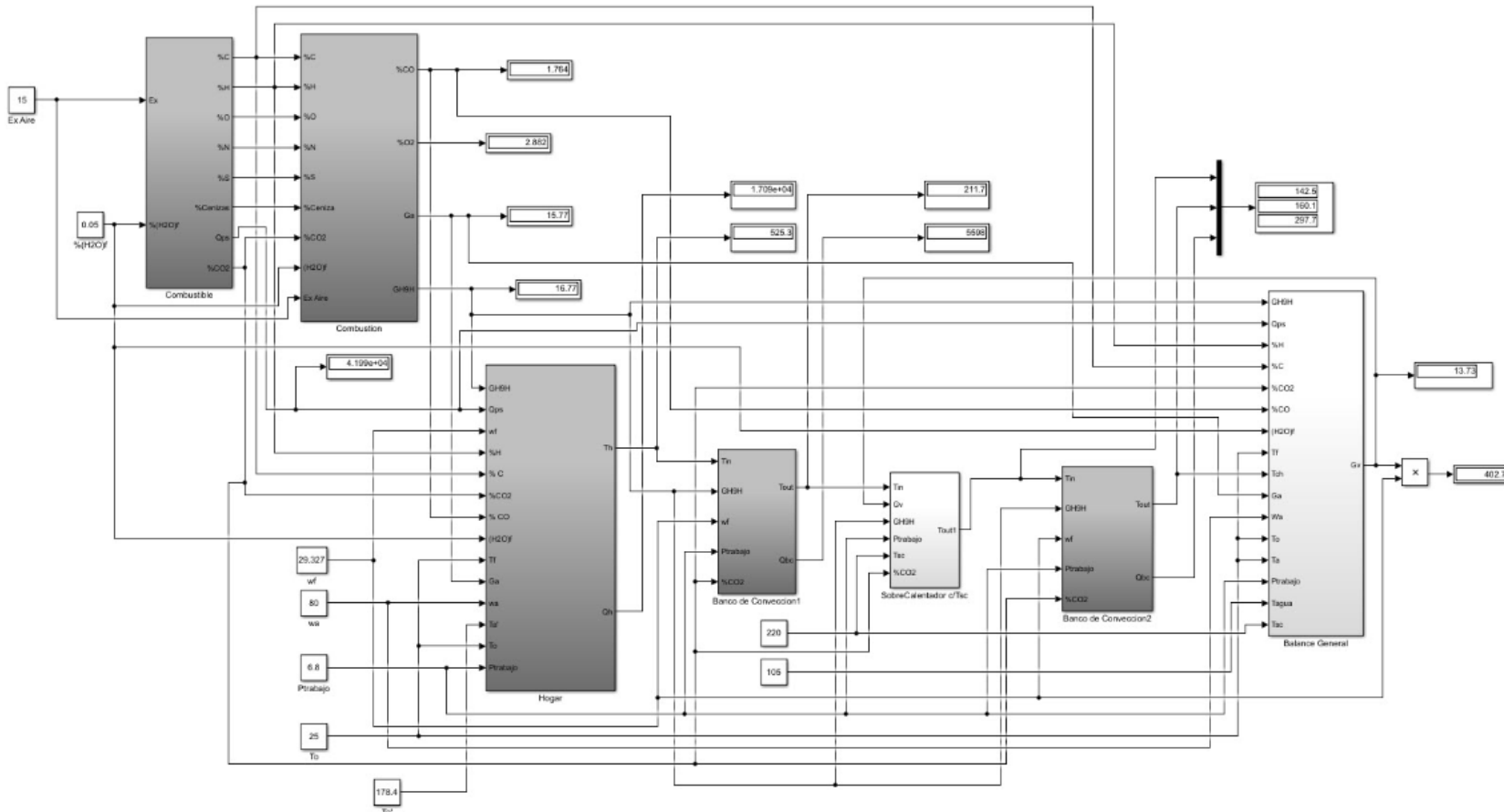


FIGURA 21. Modelo matemático para una caldera
Fuente: GRANERO, R. A. F. (2009).

3.4.1 Método Directo

En este método se debe conocer los parámetros térmicos del agua, los parámetros físicos-químicos del combustible (Tabla No. 3) y el flujo másico de vapor de agua que entrega la caldera (Tabla No. 18). En la Tabla No 19 se presenta un resumen con los datos necesarios para el cálculo.

Según las encuestas hechas (Tablas No 14,15 y 16) la caldera entrega vapor en dos condiciones diferentes, en la primera la caldera suministra vapor a los servicios de Nutrición y Esterilización donde el requerimiento excede su capacidad nominal, por lo tanto, no abastece adecuadamente. En la segunda la caldera abastece solo al servicio de Lavandería, la cual tiene un requerimiento de vapor menor a la capacidad nominal del equipo, por lo tanto, se toma este valor (\dot{m}_{vapor}) para los cálculos siguientes, pues la caldera trabaja bajo condiciones apropiadas de funcionamiento.

Usando tablas termodinámicas para el agua saturada (Cengel, et al., 2011), se determinan las entalpias del vapor según su presión y/o temperatura (ANEXO No 8)

Entalpia para el agua saturada a 6.8 bar de presión

$$h_2 : 2761.52 \text{ (kJ/kg)}$$

Entalpia para el agua a 25 °C

$$h_1 : 125.74 \text{ (kJ/kg)}$$

Tabla 19

Resumen de las propiedades del vapor de agua, el combustible y consumo de vapor de agua.

Fuente: Propia

Flujo másico de vapor de agua	(\dot{m}_{vapor})	402.7 Kg/h
Flujo volumétrico de combustible	(\dot{V}_{comb})	142.5 gal/turno
Tiempo de Operación	(t_{op})	16 h/día
Densidad del Diésel 2	(ρ_{D-2})	0.87 g/cm ³
Poder calorífico Inferior	(PCI)	41991.9 KJ/Kg
Presión de trabajo	(P_{op})	6.8 bar
Temperatura ambiente	(t_{amb})	25 °C

Flujo másico de combustible se calcula con el valor del flujo volumétrico y la densidad del combustible

$$\dot{m}_{comb} = \dot{V}_{comb} \cdot \rho_{D-2}$$

$$\dot{m}_{comb} = \left[142.5 \left(\frac{\text{Gal}}{\text{turno}} \right) \left(\frac{3.785 \text{ Litros}}{1 \text{ Gal}} \right) \right] \cdot \left[0.87 \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) \cdot \left(\frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ Litro}} \right) \cdot \left(\frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} \right) \right]$$

$$\dot{m}_{comb} = 469.245 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{turno}} \right) \left(\frac{\text{turno}}{16 \text{ h}} \right) = 29.327 \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right)$$

De la Ec. (11.2) se determina la eficiencia de la caldera como:

$$\eta = \frac{401.5 \left(\frac{kg}{h}\right) \cdot (2761.52 - 125.74) \left(\frac{KJ}{Kg}\right)}{29.327 \left(\frac{kg}{h}\right) \cdot 41991.9 \left(\frac{KJ}{Kg}\right)} \cdot 100 = 85.9333\%$$

Interface Gráfica de Usuario (GUI) en Matlab para el Método Directo

Con la intención de tener disponibilidad en el cambio de datos de entrada para los cálculos realizados para el modelo termodinámico de la caldera se elaboró una Interface Gráfica de Usuario (GUI) en el software Matlab teniendo como variables de entrada y salida los que se muestran en la Tabla No.19 mismos que están basados en la Caja Negra de la figura No. 18. La ventana principal de la GUI se puede apreciar en la Figura No 22.

EFL_MET_DIR

CALCULO DE LA EFICIENCIA POR EL METODO DIRECTO

Combustible 1

DIESEL 2

Flujo masico de vapor mv 401.5 kg/h

Flujo masico de combustible mc 29.327 kg/h

Entalpia del vapor de agua h2 2761.52 kJ/kg +

Entalpia del agua a la entrada h1 125.74 kJ/kg +

Poder calorifico inferior PCI 41991.9 kJ/kg

Calcular



Combustible 2

GLP

Flujo masico de vapor mv 401.5 kg/h

Flujo masico de combustible mc 29.327 kg/h

Entalpia del vapor de agua h2 2761.52 kJ/kg +

Entalpia del agua a la entrada h1 125.74 kJ/kg +

Poder calorifico inferior PCI 47724.1 kJ/kg

Calcular

+

Eficiencias

Eficiencia para el combustible 1 1 85.9333 % + -10.3215 % + Eficiencia para el combustible 2 2 75.6118 % +

Costos de Operación

Datos de Entrada

Variacion de la entalpia h 2513.08 kJ/kg +

Flujo masico de agua mv 513.72 kg/h

Tiempo de operacion diario t 16 h/dia

Costo Unitario del Combustible

Costo de Combustible 1 C1u 3.87 \$/gal

Costo de Combustible 2 C2u 2.41 \$/gal

Tipo de cambio SD 3.2 Soles/\$

Datos de Salida

Costo anual del Combustible 1 C1 785768 Soles/año +

Costo anual del Combustible 2 C2 760208 Soles/año +

Beneficio B 25581.9 Soles/año +

Calcular

FIGURA 22. GUI para analizar la eficiencia de una caldera por el Método Directo

Fuente: Propia

2.3.1.1. Método Indirecto

Para el cálculo de la eficiencia mediante el método indirecto se empleará la Norma Técnica Peruana NTP 350.300 – 2001, donde se explica a detalle el procedimiento para calcular la eficiencia térmica de calderas industriales pirotubulares y acuotubulares.

Los requerimientos para las calderas a los cuales son aplicables a esta norma se muestran en la Tabla No 20.

Tabla 20

Características de las calderas a las cuales se aplica el Proyecto de Norma Técnica Peruana.

Fuente: NTP 350.300 – 2008

Potencia	<ul style="list-style-type: none">• De 98 – 9819 kW (10 a 1000 BHP)
Presión Manométrica	<ul style="list-style-type: none">• Hasta 2068 kPa (300 psig) para calderas de tubos de humo (pirotubulares)• Hasta 3104 kPa (450 psig) para calderas de tubos de agua (acuotubulares)
Temperatura	<ul style="list-style-type: none">• De saturación

Este método requiere datos reales tomados de la caldera que se desea analizar los cuales no pueden obtenerse debido a detalles explicados líneas arriba. Por ello se decidió tomar el camino de la simulación en el Software Simulink con el programa desarrollado.

Simulación de la Caldera usando Diésel 2.

Para la caracterización del tipo de caldera que se va analizar con el modelo matemático, se debe determinar el tipo de combustible empleado, en este caso la caldera se simulo usando Diésel 2 cuya composición gravimétrica en base seca se encuentra en la Tabla No 5.

Para efectuar la simulación de la caldera LOOS International se empleó los datos de la Tabla No 21.

Tabla 21

Parámetros para el cálculo del modelo matemático de la caldera

Fuente: Propia.

Exceso de aire	%Ex-aire	15 %
Humedad del combustible	%(H ₂ O)f	0.05 %
Flujo másico de combustible	\dot{V}_{comb}	29.327 kg/h
Humedad del aire	w_a	80%
Presión de trabajo	P	6.8 bar
Temperatura ambiente	T _o	25 °C
Temperatura del agua de alimentación	T _{ag}	105 °C

Los datos resultantes de la simulación se muestran en la Tabla No 22.

Tabla 22

Resultados de la simulación para el modelo matemático de la caldera usando Diésel 2

Fuente: Propia.

Flujo másico de vapor	\dot{m}_{vapor}	13.73 Kgvapor/Kgcomb
Temperatura de la chimenea	T _{ch}	160.1 °C
Porcentaje de O ₂	%O ₂	2.882 %
Porcentaje de CO ₂	%CO ₂	12.26 %
Porcentaje de CO	%CO	1.764 %

2.3.1.2. Determinación de la Eficiencia con el Método Indirecto

Para el método indirecto la determinación de la eficiencia Térmica de una caldera se determina con la Ec. (12). En esta ecuación se emplea los porcentajes de pérdidas de calor en la caldera ($P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$) para estimar su rendimiento. Para este método es necesario conocer el valor de la temperatura de los gases a la salida de la chimenea, la composición de los gases de escape y las dimensiones de la caldera. Salvo por las dimensiones de la caldera los datos de temperatura y composición de gases se obtuvieron del modelo matemático de la caldera (Tabla No 22).

A). Pérdida por la entalpia de los gases de escape seco (P_1)

La pérdida porcentual de calor debido a la entalpia de los gases de escape en base seca se determina con la Ec.(12.1). De la Tabla No 8 se determinar la constante de Siebert ($K = 0.48$) y se usan los datos de la Tabla No 22 para calcular P_1 .

$$P_1 = 0.48 \frac{160.1 - 25}{12.26} = 5.2894 \%$$

B). Pérdida por la entalpia del vapor de agua en los gases (P_2)

De la Ec. (12,4) y la Tablas No 3, 5 y 22 la pérdida de calor se calcula como:

$$P_2 = \frac{(0.05 + 9 \cdot 12.6) \cdot (2488 - 4.2 \cdot 25 + 2.1 \cdot 160.1)}{41991.9} = 7.3465 \%$$

C). Perdida por inquemados gaseosos (P_3)

Para el cálculo de la pérdida porcentual de calor debido a los inquemados gaseosos se usa la Ec.(12.5) y la Tablas No 10 y 22.

$$P_3 = 53 \frac{1.764}{12.26 + 1.764} = 6.6666 \%$$

D). Perdida por inquemados sólidos (P_4)

La pérdida porcentual de calor debido a los inquemados sólidos se determina con la Ec.(12.6). Tomando datos de la Tabla No 22, tenemos:

$$P_4 = 0.4 \cdot (1)^2 + 0.8(1) + 0.07 = 1.27 \%$$

E). Perdida por convección (P_5)

Para la pérdida porcentual de calor debida a la convección se usa las Ec. (13 a la 13.4). Para esta caldera el valor de la temperatura de la superficie exterior es $T_{sf} = 75 \text{ °C}$ y la temperatura de la chimenea $T_{sg} = T_{ch} = 106.7 \text{ °C}$

$$h_{cf} = 1.973 \cdot 10^{-3} \cdot (75 - 25)^{0.25} \cdot (2.857 \cdot 0.5 + 1)^{0.5} = 0.0082$$

$$h_{cg} = 1.973 \cdot 10^{-3} \cdot (160.1 - 25)^{0.25} \cdot (2.857 \cdot 0.5 + 1)^{0.5} = 0.0105$$

$$\dot{Q}_{p5} = 0.0082 \cdot 7.2736 \cdot (75 - 25) + 0.0105 \cdot 4.5750 \cdot (160.1 - 25) = 9.4720 \%$$

$$\dot{W}_c = 9.81 \cdot 50 = 490.5$$

Reemplazando:

$$P_5 = 80 \cdot \left(\frac{9.4720}{490.5} \right) = 1.5449 \%$$

F). Perdida por radiación (P_6)

La pérdida porcentual de calor debida a la convección se determina con la ecuación 8.

Tomando datos de la Tabla No 22 tenemos:

$$q_{rf} = 5.763 \cdot 10^{-11} \cdot 0.25 \cdot [(75 + 273)^4 - (25 + 273)^4] = 0.0977$$

$$q_{rg} = 5.763 \cdot 10^{-11} \cdot 0.25 \cdot [(160.1 + 273)^4 - (25 + 273)^4] = 0.3933$$

$$\dot{Q}_{p6} = (0.0977 \cdot 7.2736) + (0.3933 \cdot 4.5750) = 2.51$$

$$\dot{W}_c = 9.81 \cdot 50 = 490.5$$

Reemplazando:

$$P_6 = 80 \cdot \left(\frac{2.51}{490.5} \right) = 0.4094 \%$$

Reemplazando los datos anteriores en la Ec. (12) la eficiencia resultante es:

$$\eta = 100 - (5.2894 + 7.3465 + 6.6666 + 1.27 + 1.5449 + 0.4094) = 77.4733 \%$$

Modelo Matemático y Simulación de la Caldera usando GLP.

Las fórmulas que se emplearon en esta simulación corresponden al modelo representado por las expresiones matemáticas de las Ec (1) a Ec (10) en el apartado 1.7.6. Los valores de la Tabla No. 21 se usaron nuevamente como datos de entrada. Los datos resultantes de la simulación se muestran en la Tabla No 23.

Tabla 23

Resultados de la simulación para el modelo matemático de la caldera usando GLP

Fuente: Propia.

Flujo másico de vapor	\dot{m}_{vapor}	15.44 Kgvapor/Kgcomb
Temperatura de la chimenea	T_{ch}	160.1 °C
Porcentaje de O ₂	%O ₂	2.935 %
Porcentaje de CO ₂	%CO ₂	10.42 %
Porcentaje de CO	%CO	2.04 %

2.3.1.3. Determinación de la eficiencia de la caldera usando GLP

Como en caso anterior la eficiencia Térmica de una caldera se determina con la Ec. (12). En esta ecuación se emplea los porcentajes de pérdidas de calor en la caldera ($P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$) para estimar el rendimiento de la caldera usando GLP.

A). Perdida por la entalpia de los gases de escape seco (P_1)

La pérdida porcentual de calor debido a la entalpia de los gases de escape en base seca se determina con la Ec. (12.1). De la Tabla No 8 se determinar la constante de Sievert ($K = 0.4$) y se usan los datos de la Tabla No 23 para calcular P_1 .

$$P_1 = 0.4 \frac{160.1 - 25}{10.42} = 5.1862 \%$$

B). Perdida por la entalpia del vapor de agua en los gases (P_2)

De la Ec. (12,4) y la Tablas No 4 y 23 la perdida de calor se calcula como:

$$P_2 = \frac{(0.05 + 9 \cdot 17.85) \cdot (2488 - 4.2 \cdot 25 + 2.1 \cdot 160.1)}{47724.1} = 9.1563 \%$$

C). Pérdida por inquemados gaseosos (P_3)

Para el cálculo de la pérdida porcentual de calor debido a los inquemados gaseosos se usa la Ec.(12.5) y la Tablas No 10 y 23.

$$P_3 = 48 \frac{2.04}{10.42 + 2.04} = 7.8587 \%$$

D). Pérdida por inquemados sólidos (P_4)

La pérdida porcentual de calor debido a los inquemados sólidos se determina con la Ec.(12.6). Tomando datos de la Taba No 22, tenemos:

$$P_4 = 0.4 \cdot (1)^2 + 0.8(1) + 0.07 = 1.27 \%$$

E). Pérdida por convección (P_5)

Para la pérdida porcentual de calor debida a la convección se usa las Ec. (13 a la 13.4). Para esta caldera el valor de la temperatura de la superficie exterior es $T_{sf} = 75 \text{ °C}$ y la temperatura de la chimenea $T_{sg} = T_{ch} = 106.7 \text{ °C}$

$$h_{cf} = 1.973 \cdot 10^{-3} \cdot (75 - 25)^{0.25} \cdot (2.857 \cdot 0.5 + 1)^{0.5} = 0.0082$$

$$h_{cg} = 1.973 \cdot 10^{-3} \cdot (160.1 - 25)^{0.25} \cdot (2.857 \cdot 0.5 + 1)^{0.5} = 0.0105$$

$$\dot{Q}_{p5} = 0.0082 \cdot 7.2736 \cdot (75 - 25) + 0.0105 \cdot 4.5750 \cdot (160.1 - 25) = 9.4720$$

$$\dot{W}_c = 9.81 \cdot 50 = 490.5$$

Reemplazando:

$$P_5 = 80 \cdot \left(\frac{9.4720}{490.5} \right) = 1.5449 \%$$

F). Perdida por radiación (P_6)

La pérdida porcentual de calor debida a la convección se determina con la ecuación 8.

Tomando datos de la Tabla No 22 tenemos:

$$q_{rf} = 5.763 \cdot 10^{-11} \cdot 0.25 \cdot [(75 + 273)^4 - (25 + 273)^4] = 0.0977$$

$$q_{rg} = 5.763 \cdot 10^{-11} \cdot 0.25 \cdot [(160.1 + 273)^4 - (25 + 273)^4] = 0.03933$$

$$\dot{Q}_{p6} = (0.0977 \cdot 7.2736) + (0.03933 \cdot 4.5750) = 2.51$$

$$\dot{W}_c = 9.81 \cdot 50 = 490.5$$

Reemplazando:

$$P_6 = 80 \cdot \left(\frac{2.51}{490.5} \right) = 0.4094 \%$$

Reemplazando los datos anteriores en la Ec. (12) la eficiencia resultante es:

$$\eta = 100 - (5.1862 + 9.1563 + 7.8587 + 1.27 + 1.5449 + 0.4094) = 74.5745\%$$

Interface Gráfica de Usuario (GUI) en Matlab para el Método Indirecto

Para el método indirecto igualmente se elaboró una Interface Gráfica de Usuario (GUI) en el software Matlab teniendo como variables de entrada los definidos en el diagrama de caja negra para el Método Indirecto. La ventana principal de la GUI se puede apreciar en la Figura No 23.

COMBUSTIBLE 1

DIESEL 2

Constante de Sievert	K	0.48	Adim	+
Poder Calorifico Superior	PCS	41991.9	kJ/kg	
Hidrogeno en el Combustible	H	12.6	%	
Constante de inquemados	k1	53	Adim	+
Agua en el Combustible	H2O	0.05	%	
Porcentaje de CO2	CO2	12.26	%	
Porcentaje de O2	O2	2.882	%	
Porcentaje de CO	CO	1.764	%	
Indice de Bacharach	B	1	Adim	+
Temperatura de los gases	Tg	160.1	°C	
Temperatura ambiente	Ta	25	°C	
Temperatura exterior de la caldera	Tsf	75	°C	
Temperatura de la chimenea	Tsg	160.1	%	
Area que cubre al fluido	Af	7.2736	m ²	
Area que cubre a los gases	Ag	4.5750	m ²	
Velocidad del viento	v	0.5	m/s	
Emisividad	e	0.25	Adi	
Capacidad de la caldera	BHP	50	BHP	

COMBUSTIBLE 2

GLP

Constante de Sievert	K	0.40	Adim	+
Poder Calorifico Superior	PCS	47724.1	kJ/kg	
Hidrogeno en el Combustible	H	17.85	%	
Constante de inquemados	k1	48	Adim	+
Agua en el Combustible	H2O	0.05	%	
Porcentaje de CO2	CO2	10.42	%	
Porcentaje de O2	O2	2.935	%	
Porcentaje de CO	CO	2.04	%	
Indice de Bacharach	B	1	Adim	+
Temperatura de los gases	Tg	160.1	°C	
Temperatura ambiente	Ta	25	°C	
Temperatura exterior de la caldera	Tsf	75	°C	
Temperatura de la chimenea	Tsg	160.1	%	
Area que cubre al fluido	Af	7.2736	m ²	
Area que cubre a los gases	Ag	4.5750	m ²	
Velocidad del viento	v	0.5	m/s	
Emisividad	e	0.25	Adi	
Capacidad de la caldera	BHP	50	BHP	

Eficiencias

Eficiencia para el combustible 1: 1 77.4765 % + -2.89878 % + Eficiencia para el combustible 2: 2 74.5777 % +

Costos de Operación

Datos de Entrada: Flujo masico de combustible: 29.327 kg/h; Tiempo de operacion diario: 16 h/dia

Costo Unitario del Combustible: Costo de Combustible 1: 3.87 \$/gal; Costo de Combustible 2: 2.41 \$/gal; Tipo de cambio: 3.2 Soles/\$

Datos de Salida: Costo anual del Combustible 1: 644099 Soles/año +; Costo anual del Combustible 2: 569612 Soles/año +; Beneficio: 74487.5 Soles/año +

FIGURA 23: GUI para analizar la eficiencia de una caldera por el Método Indirecto

Fuente: Propia

2.3.1.4. Análisis Económico

Con el análisis económico determinaremos el beneficio económico de usar GLP en sustitución del Diésel 2 en la caldera pirotubular.

Tabla 24

Poder calorífico y Costos de combustibles

Fuente: Libro Instituto de Ingeniería Aplicada (IDIA)-2008.

COMBUSTIBLE	PODER CALORIFICO (BTU/gal)	PRECIO (US\$/gal)
Residual-500	151 600	1.85
Residual-6	151 200	1.93
Diésel 2	131 061	3.87
GLP	95877	2.41
Gas Natural	35310 BTU/m ³	0.18 US\$/m ³

De la Tabla No 24 el costo el poder calorífico se da en unidades de BTU/gal pero para los cálculos se realizó la conversión a kJ/kg, para esto uso las densidades del combustible Diesel (ρ_{diesel}) y del GLP (ρ_{GLP}):

$$\rho_{diesel} = 870 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$\rho_{GLP} = 560 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

2.3.1.5. Calculo del Poder Calorífico en (kJ/kg)

Para el Diésel 2

$$PCI_{D2} = \frac{131061 \left[\frac{BTU}{gal} \right] \cdot \left[\frac{1 [gal]}{3.785 \cdot 10^{-3} [m^3]} \right] \cdot \left[\frac{1.05506 [kJ]}{1 [BTU]} \right]}{870 \left[\frac{kg}{m^3} \right]} = 41991.897 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

Para el GLP

$$PCI_{GLP} = \frac{95877 \left[\frac{BTU}{gal} \right] \cdot \left[\frac{1 [gal]}{3.785 \cdot 10^{-3} [m^3]} \right] \cdot \left[\frac{1.05506 [kJ]}{1 [BTU]} \right]}{560 \left[\frac{kg}{m^3} \right]} = 47724.093 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

2.3.1.6. Cálculo de la energía útil que es entregado al fluido de trabajo

Con los datos de la Tabla No 21 y usando la EC.(16) determinamos la energía total que entrega el combustible.

$$\dot{Q}_{T-D2} = 29.327 \left[\frac{kg}{h} \right] \cdot \frac{1 [h]}{3600 [s]} \cdot 41991.897 \left[\frac{kJ}{kg} \right] = 342.0823 [kW]$$

El calor útil que se entrega al agua es:

$$\dot{Q}_{u-D2} = 342.0823 [kW] \cdot 0.774733 = 265.0225 [kW]$$

Debido a que nuestro objetivo es calentar la misma cantidad de agua usando otro combustible, la energía útil que se debe proporcionar es la misma, pero la energía total del combustible depende de la eficiencia.

$$\dot{Q}_{T-GLP} = \frac{\dot{Q}_{u-D2}}{\eta_{GLP}}$$

Donde:

\dot{Q}_{T-GLP} : Es el calor total que entrega el GLP.

η_{GLP} : Es la eficiencia térmica al usar GLP.

$$\dot{Q}_{T-GLP} = \frac{265.0225 [kW]}{0.745745} = 355.3795 [kW]$$

Podemos ver que $\dot{Q}_{T-D2} < \dot{Q}_{T-GLP}$ debido a que la eficiencia del GLP es menor.

2.3.1.7. Cálculo de consumo en (gal/h) de combustible

Hallamos la cantidad de galones por hora de cada combustible que se debe emplear para producir una potencia $\dot{Q}_{u-D2} = 265.0225 [kW]$

Para convertir kW a BTU/hr empleamos el siguiente factor de conversión:

$$1 kW = 3412.1 BTU/hr$$

La cantidad de Diésel D2 es:

$$\dot{V}_{D2} = \frac{(\dot{Q}_{T-D2} \cdot 3412.1) \left[\frac{BTU}{hr} \right]}{PCI_{D2} \left[\frac{BTU}{gal} \right]}$$

$$\dot{V}_{D2} = \frac{(342.0823 \cdot 3412.1) \left[\frac{BTU}{hr} \right]}{131061 \left[\frac{BTU}{gal} \right]} = 8.9059 \left[\frac{gal}{hr} \right]$$

La cantidad de GLP es:

$$\dot{V}_{GLP} = \frac{(\dot{Q}_{T-GLP} \cdot 3412.1) \left[\frac{BTU}{hr} \right]}{PCI_{GLP} \left[\frac{BTU}{gal} \right]}$$

$$\dot{V}_{GLP} = \frac{(355.3795 \cdot 3412.1) \left[\frac{BTU}{hr} \right]}{95877 \left[\frac{BTU}{gal} \right]} = 12.6474 \left[\frac{gal}{hr} \right]$$

Se observa que el volumen en GLP es mayor debido a que su densidad es menor.

2.3.1.8. Calculo del costo anual para cada combustible

Costo por el combustible empelado. Ver Tabla No 7.

$$C_{unit-D2} = 3.87 \left[\frac{US \$}{gal} \right]$$

$$C_{unit-GLP} = 2.41 \left[\frac{US \$}{gal} \right]$$

Para el Diésel D2:

$$C_{diesel} = 8.9059 \left[\frac{gal}{hr} \right] \cdot 3.87 \left[\frac{US \$}{gal} \right] \cdot 3.2 \left[\frac{S/.}{US \$} \right] = 110.2907 \left[\frac{S/.}{hr} \right]$$

$$C_{diesel\ a\tilde{a}no} = 110.2907 \left[\frac{S/.}{hr} \right] \cdot 16 \left[\frac{hr}{dia} \right] \cdot 365 \left[\frac{dia}{a\tilde{a}no} \right] = 644097.688 \left[\frac{S/.}{a\tilde{a}no} \right]$$

Para el GLP:

$$C_{GLP} = 12.6474 \left[\frac{gal}{hr} \right] \cdot 2.41 \left[\frac{US \$}{gal} \right] \cdot 3.2 \left[\frac{S/.}{US \$} \right] = 97.5367 \left[\frac{S/.}{hr} \right]$$

$$C_{GLP \text{ año}} = 97.5367 \left[\frac{S/.}{hr} \right] \cdot 16 \left[\frac{hr}{dia} \right] \cdot 365 \left[\frac{dia}{año} \right] = 569612 \left[\frac{S/.}{año} \right]$$

$$Beneficio = C_{diesel \text{ año}} - C_{GLP \text{ año}} = (644097.688 - 569612) \left[\frac{S/.}{año} \right]$$

$$Beneficio = 74487.5 \left[\frac{S/.}{año} \right]$$

2.3.1.9. VAN Y TIR de Ambos Combustibles.

El análisis técnico económico de la conversión a GLP es financieramente viable pues los indicadores de rentabilidad obtenidos son los siguientes: VAN: S/. 692,735.59, TIR: 19.20%. ya que nuestra tasa de interés es de 12%.

GLP		DIESEL 2	
VAN GLP	S/. 692,735.59	VAN D2	S/. 783,321.60
TIR	19.20 %	TIR	-63%

IV. DISCUSIÓN

IV. DISCUSIÓN

La información sobre las necesidades energéticas del hospital se obtuvo mediante entrevistas mismas que arrojaron detalles importantes de la realidad de este nosocomio. De las respuestas a las entrevistas en el Hospital Las Mercedes se desprende que el vapor generado por las calderas es insuficiente para la demanda del sistema de vapor de este nosocomio. Cuando las tres secciones del Hospital, Esterilización, Nutrición y Lavado están siendo suministrados con vapor para sus actividades el vapor es insuficiente pues la demanda total es de 1110,4 kg/h de vapor mientras que la caldera Loos International tipo RH solo puede proveer 50 BHP (800 kg/h) sin contar pérdidas (10% del total). Debido a ello la administración ha optado por algunas estrategias para sobrellevar esta situación. La primera estrategia es hacer trabajar las Áreas de Nutrición (545,45 kg/h) y Esterilización (200 kg/h) simultáneamente (745,45 kg/h), lo que en realidad representa un total de 820 kg/h cuando se incluye las pérdidas. Evidentemente, la demanda supera al suministro (800 kg/h) lo cual se verifica en los reportes de los trabajadores de estas áreas. La segunda estrategia es trabajar únicamente con el Área de Lavandería (365 kg/h) cuyo consumo real sería de 401.5 kg/h incluyendo pérdidas. En este caso la demanda queda completamente satisfecha. Debido a esta condición asimétrica, el cálculo se realizó con la condición de la segunda estrategia por presentar una carga completamente definida y satisfecha. Se infiere entonces que los cálculos desarrollados podrían tener cierta desviación si se comparan con trabajos de calderas de similar capacidad, pero trabajando con toda su capacidad.

Las propiedades termodinámicas del vapor se estimaron a partir de datos brindados por los entrevistados y las lecturas de los dispositivos de medición de la caldera. Este procedimiento semi-empírico es inexacto, pero a la vez no invasivo. Esto era de esperarse puesto que la caldera entro en mantenimiento total algunos días después de iniciada esta investigación. A pesar de ello, los resultados son adecuados para la capacidad y clase de este equipo al ser comparados con referencias anteriores (Oviedo Marchan, 2014; Ministerio de la Producción, 2016). Por ejemplo, en este trabajo la temperatura de la chimenea fue de 160.1°C mientras

que Oviedo Marchan y Ministerio de la Producción, reportan 194.2°C y 197.3 °C. Estas diferencias son entendibles considerando que el cálculo se realizó usando la caldera en menor capacidad.

Se obtuvieron 03 Normas Técnicas Peruanas (NTP 350.302, NTP 350.300 y NTP 321.003), de los cuales la primera (NTP 350.302) no se usó en el cálculo, pues solo se limita a brindar lineamientos para la instalación de calderas industriales, por otra parte, la norma (NTP 350.300) fue utilizada en este trabajo para realizar los cálculos del Método Indirecto que permiten determinar la eficiencia de la caldera, adicionalmente con la norma (NTP 321.003) se obtuvieron las especificaciones para el combustible diésel los que se contrastaron con los valores de la ficha técnica del proveedor (PETROPERU). La correlación fue más que aceptable. En general, el empleo de las normas como directrices para algunas partes de este trabajo, facilitaron el cálculo de la eficiencia debido a la ausencia de datos reales medidos. La aplicación de una norma favorece el desarrollo de los cálculos pues los parámetros definidos están validados por las organizaciones internacionales que las emiten.

El modelado analítico y termo-económico de una caldera se basa en 2 métodos clásicos: el Método Directo y el Método Indirecto. En el método directo (Cengel, 2012), se requiere conocer tanto el caudal volumétrico del agua, así como su temperatura para evaluar el calor útil aportado al agua. El método indirecto o de pérdidas en donde el rendimiento se calcula restando el valor porcentual de las pérdidas al rendimiento ideal de 100% (NTP 350.300-2001). Estos métodos, tanto directo como indirecto, se han usado ampliamente en trabajos previos (Oviedo Marchan, 2014; Meléndez Campos, 2010; Sánchez zambrano,2015) en los cuales al igual que en este trabajo se destacó su utilidad.

El modelo matemático de simulación del funcionamiento de la caldera pirotubular se basó en el trabajo de Granero (Granero, 2009) cuyos datos de entrada son la composición del combustible y parámetros térmicos-físicos del agua al inicio del ciclo, y las salidas son el consumo del combustible y la temperatura de la chimenea. Estos valores de salida de la simulación son las entradas para el cálculo de la eficiencia por el método indirecto. Este modelo tiene la flexibilidad de poder simular calderas con diversos tipos de combustibles (sólidos, líquidos o gaseosos) lo cual fue de gran ayuda para el desarrollo de este trabajo pues se requirió analizar el funcionamiento de la caldera, tanto con Diésel 2 y GLP. Asimismo, una simulación puede reemplazar hasta cierto punto la ausencia de un equipo real, situación que se presentó en el presente trabajo debido a la baja de la caldera Loos.

Con la ayuda de la GUI se puede comparar los diferentes métodos para analizar la eficiencia de la caldera (Método Directo y Método Indirecto), junto el análisis económico, con ello se hace más conveniente realizar los cálculos ya que nos permite cambiar los valores necesarios en ambos métodos y hacer verificación rápida de los resultados. Inclusive, los autores desarrollaron una opción adicional a la cual denominaron “Método Híbrido” el cual es la utilización simultánea de ambos métodos (Directo e indirecto), para determinar la eficiencia de cualquiera de los dos combustibles. Este método es más apropiado cuando se tiene datos reales del vapor de la caldera funcionando con unos de los combustibles y no se tenga datos del vapor para el caso hipotético del combustible candidato. Para el primer caso se usa el método directo y en el segundo el método indirecto. Esta aplicación desarrollada en forma de GUI fue de gran ayuda para calcular los valores requeridos en el análisis además de representar una herramienta que puede usarse para otros casos. Ninguno de los antecedentes revisados registra el desarrollo de una aplicación de software similar.

V. CONCLUSIONES

V. CONCLUSIONES

Finalizado el trabajo de investigación se pueden elucidar las siguientes conclusiones:

- Debido a la selección de las condiciones de trabajo de la caldera Loos International 50 BHP del hospital Las Mercedes ($50.1\% = \frac{401.5}{800} \times 100$) para los cálculos de este trabajo, que responde a la insuficiencia de suministro del equipo, se infiere que los cálculos presentarían cierta desviación si se comparan con trabajos de calderas de similar capacidad, pero trabajando con toda su capacidad.
- A pesar de haber obtenido los datos de boca de los operarios y algunos reportes simples de lectura de medidores, los resultados son adecuados para la capacidad y clase de este equipo al ser comparados en cálculos de las calderas en antecedentes de la literatura (Oviedo Marchan, 2014; Ministerio de la Producción 2016). Por ejemplo, en este trabajo la temperatura de la chimenea fue de 160.1°C mientras que Oviedo Marchan y Ministerio de la Producción 194.2°C y 197.3°C . Estas diferencias son entendibles considerando que el cálculo se realizó usando la caldera en menor capacidad.
- El empleo de las normas como directrices para algunas partes de este trabajo, facilitaron el cálculo de la eficiencia debido a la ausencia de datos reales medidos. La aplicación de una norma favorece el desarrollo de los cálculos pues los parámetros definidos están validados por las organizaciones internacionales que las emiten.
- La utilidad de los métodos usados (directo e indirecto) se ha demostrado claramente debido a que los resultados son satisfactorios corroborándose lo observado en otras investigaciones sobre balance energético calderas.
- El empleo de la simulación desarrollado en Simulink® suplió en gran medida la ausencia de datos de medidas reales debido a luego de algunos días de iniciada este trabajo el equipo entro en mantenimiento por orden de la alta gerencia del nosocomio.

- El desarrollo de la GUI en Matlab® facilita en gran manera el análisis de la termoeconomía de la caldera para cada tipo de combustible, permitiéndonos agilizar los cálculos que inherentes del dicho análisis. No existen antecedentes del uso de una aplicación de software (GUI) en trabajos anteriores.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer una mejor gestión de trabajo en dicho nosocomio para así tener un buen mantenimiento de calderas, en donde cuyo propósito mejoraría la eficiencia en nuestras calderas.
- Tener conocimiento de nuestra demanda de cada área para así evaluar nuestra eficiencia y selección de caldera a utilizar.
- Capacitar al personal del Nosocomio tanto para jefes y supervisores como técnicos y asistentes, para poder tener un mantenimiento autónomo de dichas calderas reduciendo así los egresos que empresas terciarias se llevan por falta de capacitación y equipos.
- Establecer un plan de Mantenimiento Preventivo para que nuestros equipos disminuyan su vida útil y incrementen su producción de Vapor.
- Cumplir con las normas y exigencias tecnológicas para mejorar la eficiencia productiva en caso de realizarse el proyecto de cambio de combustible a GLP.

VII. REFERENCIAS

Proyectos de investigación

ESTRADA MORALES, J. (2014) *Diseño un sistema para reemplazar un quemador diésel por uno de gas GLP para una caldera de 600BHP en la empresa ADSA (Guatemala).*

GRANERO, R. A. F. (2009) *Desarrollo de un simulador de calderas en Matlab Simulink.*

SIRIWARDHANA KAHANDAWA, C. (2010) *realizó la conversión de la caldera alimentada con combustible de horno a biomasa en la fábrica de papel Ambilipitiya (Siria Lanka).*

ESCOBAR ROSALES, A. (2015) *realizó un análisis comparativo en las operaciones de una caldera pirotubular utilizando gas licuado de petróleo en sustitución del Diesel y su impacto sobre el medio ambiente (Guatemala).*

MARCOS, R., OLIVERA, L., SIVIPAUCAR, C., CUBAS, J., & VALDERRAMA, A. (2006). *Análisis del proceso de combustión de las mezclas de petróleo Diesel 2 con biodiesel de soya, algodón y girasol en cocinas no convencionales. Revista científica CEDIT, 19.*

MELÉNDEZ GÓMEZ, S. (2006) *realizó la conversión a gas natural seco en una caldera pirotubular con potencia de 500 BHP que trabaja con diesel-2 (Lima-Perú)*

CHÁVEZ ÑAHUINRIPA, A. (2005) *realizó la conversión industrial al consumo de gas natural en una planta textil* (Lima-Perú).

PANANA GIRIO, A. (2015) *realizó un balance térmico en una caldera pirotubular* (Callao-Perú).

ODAR, L. (2013) *hizo un análisis técnico económico para la conversión a gas natural de una caldera pirotubular de 250 BHP que opera con bunker R – 500* (Lambayeque-Perú).

HOSOKAI, S., MATSUOKA, K., KURAMOTO, K., & SUZUKI, Y. (2016). Modification of Dulong's formula to estimate heating value of gas, liquid and solid fuels. *Fuel Processing Technology*, 152, 399-405.

Libros

CENGEL, Y. A., GHAJAR, A. J., & KANOGLU, M. (2011). *Heat and mass transfer: fundamentals & applications* (Vol. 4). New York: McGraw-Hill.

CENGEL, Y. A., BOLES, M. A. (2009). *Termodinámica*, 7ª Edición, Editorial Mc Graw Hill.

Artículos técnicos

SALUD SIN DAÑO. Agenda global para hospitales verdes y saludables (En línea) <http://www.hospitalesporlasaludambiental.net/>

PETROPERU. Propiedades del Diésel-2 (En línea) <https://www.petroperu.com.pe/inicio>

OSINERGMIN. Propiedades del GLP (En línea) <http://www.osinergmin.gob.pe/>

Normas técnicas

NTP 350.300 – 2008. CALDERAS INDUSTRIALES. *Procedimiento para la Determinación de la Eficiencia Térmica de Calderas Industriales*. Lima, Perú.

NTP 350.302 – 2009 EFICIENCIA ENERGÉTICA. *Esta Norma Técnica Peruana se aplica a las calderas tipo paquete de tubos de humo (pirotubular) y de tubos de agua (acuotubular) sin equipo de recuperación de calor que utilizan combustibles sólidos, gaseosos y líquidos derivados del petróleo, con las características mostradas en la NTP 350.301.*

ANEXOS

Anexo No. 1: FORMATO DE ENTREVISTA

Entrevista para Obtener Información General sobre el Funcionamiento de la Caldera Menor Piro-tubular Diésel-2 del Hospital Regional Docente “Las Mercedes”

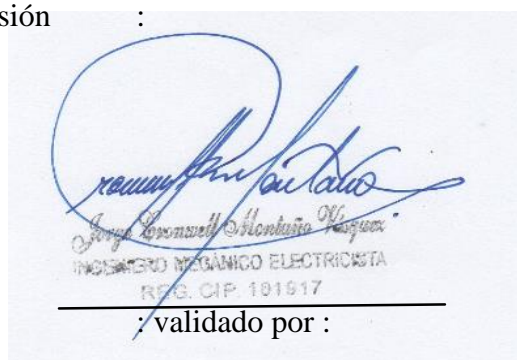
Nombre del entrevistador:

ENTREVISTADO

Apellidos y Nombre:

Cargo :

Profesión :



Handwritten signature: José Roswell Montaña Viqueza
Professional stamp: INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
REG. CIP. 101617
; validado por :

_____ validado por:

_____ Validado por:

CUESTIONARIO

1. ¿Cuántas horas al día trabaja la caldera?
2. ¿Cuál es el consumo de combustible diésel-2 por hora y por turno?
3. ¿Cuál es la capacidad del tanque diario del combustible?
4. ¿Cuál es la capacidad del tanque principal de combustible?
5. ¿Cuál es la presión de operación de la caldera?
6. ¿Se puede medir Presión, temperatura y fluido másico?
7. ¿Cuál es el precio del Diésel-2 y GLP?
8. ¿El vapor que genera actualmente la caldera, es suficiente para abastecer las diferentes áreas del hospital regional docente las mercedes?
9. ¿Cuán eficiente considera usted que es la caldera en la actualidad usando Diesel-2?
10. ¿Qué problemas ha tenido usando el combustible diésel-2? ¿en dónde y porque?
11. ¿Qué información posee usted acerca de la fabricación y tecnología de la caldera?
12. ¿Se cuenta con manuales de operación y funcionamiento del fabricante de la caldera?
13. ¿Cada que tiempo se le da mantenimiento a la caldera Diésel-2?
14. ¿Las calderas cuentan con un plan o programa de mantenimiento preventivo?

15. ¿Se lleva un registro diario de los siguientes parámetros: ¿Presión, Temperatura y consumo de combustible?
16. ¿Los accesorios de control de las calderas funcionan de manera correcta?
17. ¿La caldera cuenta con un control de nivel de agua?
18. ¿Con qué tipo de agua está funcionando?
19. ¿La caldera cuenta con válvula de seguridad?
20. ¿Cree usted que reemplazando el Diésel-2 por GLP disminuirá costos y aumentara la producción de vapor?
21. ¿Cuenta usted con un medidor de gases?
22. ¿Sabe usted donde lo puedo conseguir?

Anexo No. 2: FORMATO DE ENTREVISTA

Entrevista para Obtener Información General Sobre la Distribución de Vapor en el Hospital Regional Docente “Las Mercedes”

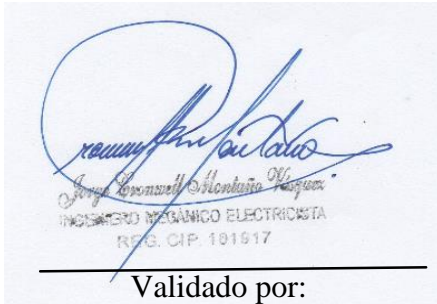
Nombre del Entrevistador

ENTREVISTADO

Apellidos y Nombre

Cargo

Profesión



Handwritten signature: *Armando Montaña Viquez*
Professional stamp: *Armando Montaña Viquez*
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
REG. C.I.P. 101617

Validado por:

validado por:

Validado por:

CUESTIONARIO

1. ¿Considera usted que el vapor suministrado para su área es suficiente?
2. ¿Las horas de suministran de vapor a su área es suficiente?
3. ¿Conoce usted sobre algún estudio técnico realizado para la selección de equipo y mejoramiento de la distribución de vapor?
4. ¿Considera usted que el Hospital Regional Docente las Mercedes cuenta con el personal capacitado para realizar el estudio técnico que determine la selección de equipos y mejoramiento de la distribución de vapor?
5. ¿Cuál de los siguientes combustibles Diésel-2 o GLP cree usted que es ideal y económico para la generación de vapor en el hospital?

Anexo No. 3: Datos Técnicos de Equipos Consumidores de Vapor en el Hospital “Las Mercedes” - Chiclayo

6.1.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAVADORA DE VAPOR

DENOMINACION DEL EQUIPO: LAVADORA A VAPOR DE 60 Kg.

UNIDADES FUNCIONALES: LAVANDERIA

CLASIFICACIÓN: EQUIPO

CANTIDAD: 02

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS BASICAS

I. CARACTERISTICAS GENERALES

1. Modelo: LA-60 MVP.
2. Construcción en acero inoxidable, que ofrece mayor durabilidad resistencia frente a la chapa pintada, y componentes de alta calidad.
3. Reparabilidad mejorada con alarma, control de estadística, memoria, kist de reparación y tambor extraíble por parte frontal que reduce el espacio y tiempo mínimo requerido.
4. Fácil conexión para la dosificación automática de productos.
5. Sistema automático de detección de desequilibrios que permite unos movimientos más suaves y alarga la vida de los componentes.
6. Con microprocesador programable MP y microprocesador M, versión autoservicio.
7. Volumen: 600 litros
8. Potencia máx. (kW): 11
9. Max entrada de agua: ¾”
10. Entrada de vapor: ½”
11. Desagüe: 2”
12. Velocidad de lavado: 43 rpm
13. Velocidad de centrifugado:760 rpm

14. Factor g: 350
15. Distancia de mantenimiento: posterior: 600mm/ lateral: 300mm.
16. Medidas: 1430*1905mm

6.1.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAVADORA DE VAPOR

DENOMINACIÓN DEL EQUIPO: SECADORA A VAPOR DE 60 Kg.

UNIDADES FUNCIONALES: LAVANDERIA

CLASIFICACION: EQUIPO

CANTIDAD: 02

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS BASICAS

I. CARACTERISTICAS GENERALES

1. Modelo: SR/V-60 MP.
2. Mueble exterior en acero skin plate.
3. Variador de frecuencia, inversión de giro en todos los tamaños.
4. Tambor en acero inoxidable estándar
5. Sistema de Cool Down y selector que permite configurar el nivel de humedad.
6. Motor reductor que sustituye al sistema de correas, aumentando la facilidad de mantenimiento
7. Control rotativo analógico
8. Con microprocesador programable MP, versión autoservicio, inversión de giro.
9. Volumen: 1.200 litros.
10. De puerta: 914 mm
11. Potencia máx. (kW): 124.
12. Conexión de extracción: 200 mm
13. Volumen de aire extraído: 3000
14. Distancia de mantenimiento: posterior: 400mm/ lateral: 100mm
15. Medidas: 1270*1345*2490 mm

6.1.3. ESPECIFICACIONES TECNICAS DE ESTERILIZADOR A VAPOR – AUTOCLAVES DE 80 L

NOMBRE DEL EQUIPO: ESTERILIZADOR A VAPOR – AUTOCLAVE 80L

MARCA: ASMCO

CAPACIDAD: 70 A 90 LITROS

UNIDADES: 2

I. CARACTERISTICAS GENERALES

1. De sobremesa.
2. Equipo autónomo (no requiere de conexión de agua o desagüe).
3. Controlador por microprocesador o microcontrolador.
4. Pantalla de visualización de parámetros del proceso.
5. Volumen útil interior en la cámara entre 70- 90 litros de capacidad.
6. Cámara de forma cilíndrica fabricada en acero inoxidable.
7. Aislamiento de fibra de vidrio o equivalente.
8. Indicador de presión, temperatura y nivel de agua en la cámara.
9. Indicador auditivo de fin de proceso de operación y apagado automático.
10. Válvula de seguridad.
11. impresora incorporada en el equipo.
12. Dispositivo de cierre de seguridad que impida abrir la puerta cuando existe presión.
13. Debe tener bomba de vacío para retiro de vapor durante su proceso.
14. Funcionamiento ante la altitud en el lugar de destino (3300msnm).

PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO

1. Control de temperatura de esterilización entre 121°C y 134°C.
2. Temporizador de proceso de esterilización programado y/o seleccionable.
3. Visualización digital del tiempo faltante del proceso.
4. Programa de esterilización para materiales: instrumental, textil, vidrio, envases con agua, látex y otros.

ACCESORIOS E INSUMOS

1. 2 Bandejas de acero inox como mínimo.
2. 2 o más canastillas de acero inox.
3. 2 cintas testigos para vapor.
4. 6 rollos de papel térmico para uso con la impresora
5. Un par de guantes aislantes para temperatura
6. Mesa construida en acero inox con tapas montadas en discos planos, con capacidad de soportar el peso del equipo.
7. Mesa rodable (tablero 1200mm x 800mm aprox.) construida en acero inox con altura suficiente para el traslado de material que se retira del equipo.
8. Destilador de agua para 2 litros/hora con reservorio y mangueras suficientes para el funcionamiento del equipo, soporte para pared, requerimiento de energía 220 V (ac).

6.1.4. ESPECIFICACIONES TECNICAS – AUTOCLAVES DE 60 L

NOMBRE DEL EQUIPO: AUTOCLAVE 60 L

MARCA: MIELLE

CAPACIDAD: 50 A 65 LITROS

UNIDADES: 1

I. CARACTERISTICAS GENERALES

1. De sobremesa.
2. Equipo autónomo (no requiere de conexión de agua o desagüe).
3. Controlador por microprocesador o microcontrolador.
Pantalla de visualización de parámetros del proceso.
4. Volumen útil interior en la cámara entre 50 a 65 litros de capacidad.
5. Cámara de forma cilíndrica fabricada en acero inoxidable.
6. Aislamiento de fibra de vidrio o equivalente.

7. Indicador de presión, temperatura y nivel de agua en la cámara.
8. Indicador auditivo de fin de proceso de operación y apagado automático
9. Válvula de seguridad.
10. Impresora incorporada en el equipo.
11. Dispositivo de cierre de seguridad que impida abrir la puerta cuando existe presión.
12. Debe tener bomba de vacío para retiro de vapor durante su proceso.
13. funcionamiento ante la altitud en el lugar de destino (3300msnm).

PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO

1. Control de temperatura de esterilización entre 121°C y 134°C.
2. Temporizador de proceso de esterilización programado y/o seleccionable.
3. Visualización digital del tiempo faltante del proceso.
4. Programa de esterilización para materiales: instrumental, textil, vidrio, envases con agua, látex y otros

ACCESORIOS E INSUMOS

5. 2 bandejas de acero inox como mínimo.
6. 2 o más canastillas de acero inox.
7. 2 cintas testigos para vapor.
8. 6 rollos de papel térmico para uso con la impresora.
9. Un par de guantes aislantes para temperatura.
10. Mesa construida en acero inox con tapas montadas en discos planos, con capacidad de soportar el peso del equipo.
11. Destilador de agua para 2 litros/hora con reservorio y mangueras suficientes para el funcionamiento del equipo, soporte para pared, requerimiento de energía 220 V (ac).

Anexo No. 4: NTP 350.302 – 2009 EFICIENCIA ENERGÉTICA.

NORMA TÉCNICA	NTP 350.302
PERUANA	2009

Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales No Arancelarias - INDECOPI
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145
Lima, Perú

EFICIENCIA ENERGÉTICA. Calderas industriales.
Proyecto de instalación de calderas con reducción de
emisiones. Requisitos básicos

ENERGETIC EFFICIENCY. Installation Project for Industrial Boilers with reduction of emissions. Basic requirements

2009-09-30
1ª Edición

R.029-2009/INDECOPI-CNE. Publicada el 2009-11-07
I.C.S: 27.060.30
Descriptores: Eficiencia energética, Calderas industriales, proyecto de instalación de calderas.

Precio basado en 23 páginas

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Anexo No. 5: NTP 350.300 – 2001 CALDERAS INDUSTRIALES.

PROYECTO DE NORMA
TÉCNICA PERUANA

PNTP 350.300
2001

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI
Calle De la Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú

CALDERAS INDUSTRIALES. Procedimiento para la Determinación de la Eficiencia Térmica de Calderas Industriales

CALDERAS. Eficiencia térmica, definiciones, requisitos y métodos de ensayo
BOILERS. Thermal Efficiency, definitions, requirements and test methods

2001-12-06
1ª Edición

“Este documento se encuentra en etapa de estudio, sujeto a posible
cambio. No debe ser usado como Norma Técnica Peruana.”

Precio basado en 28 páginas

I.C.S.: 75.180.01

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptor: calderas pirotubulares y acuotubulares, eficiencia térmica, método indirecto

Anexo No. 6 NTP 321.003 – 2005 PETRÓLEO Y DERIVADOS

NORMA TÉCNICA	NTP 321.003
PERUANA	2005

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI

Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú

PETRÓLEO Y DERIVADOS. Diesel. Especificaciones

PETROLEUM AND DERIVATIVES. Diesel. Specifications

2005-03-31
3ª Edición

R.0032-2005/INDECOPI-CRT.Publicada el 2005-04-02

Precio basado en 29 páginas

L.C.S.: 75.080

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptor: Diesel, fuel oil, petróleo, productos del petróleo, especificaciones

Anexo No. 7 MODELO MATEMATICO DE LA CALDERA

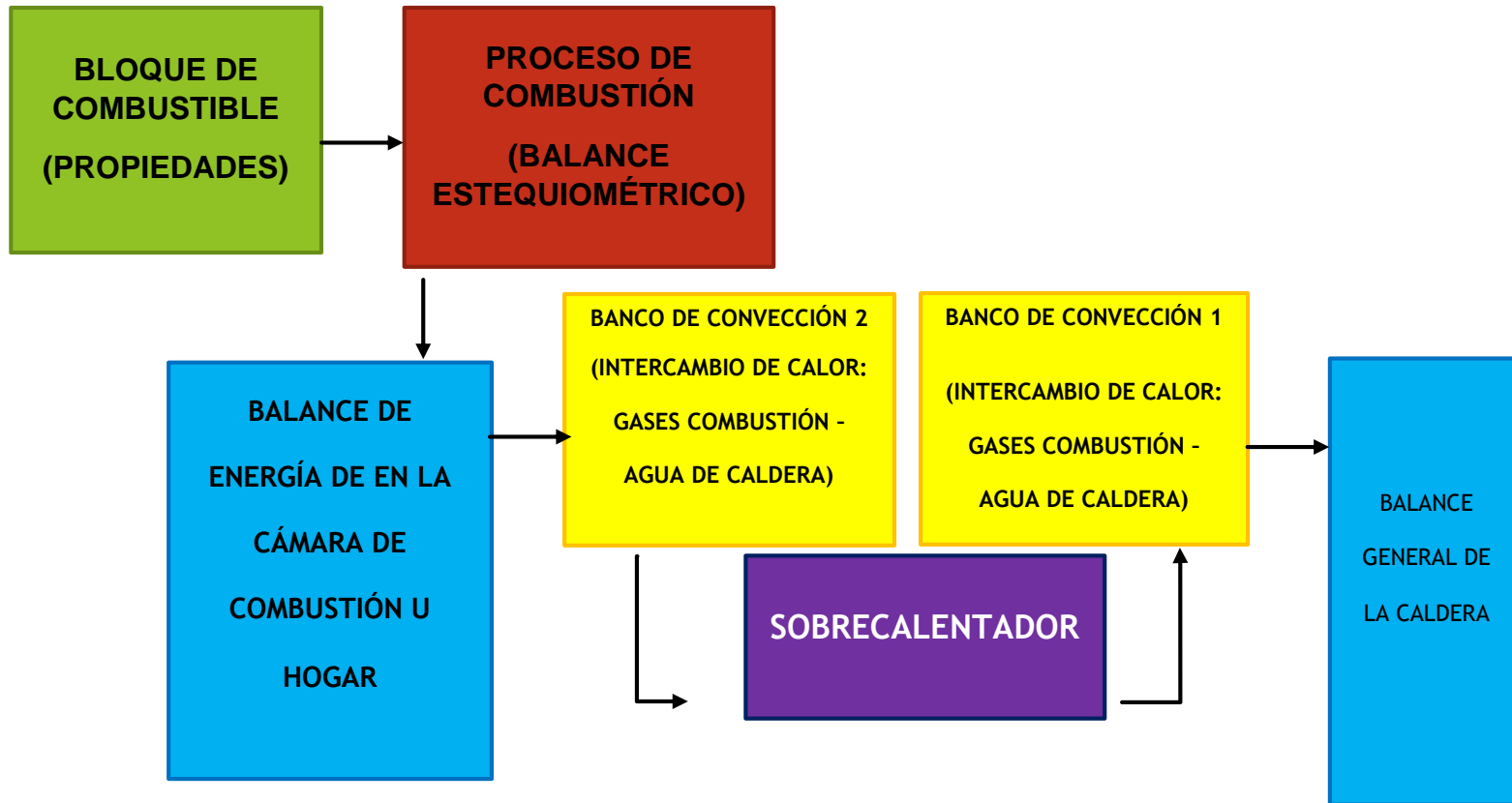
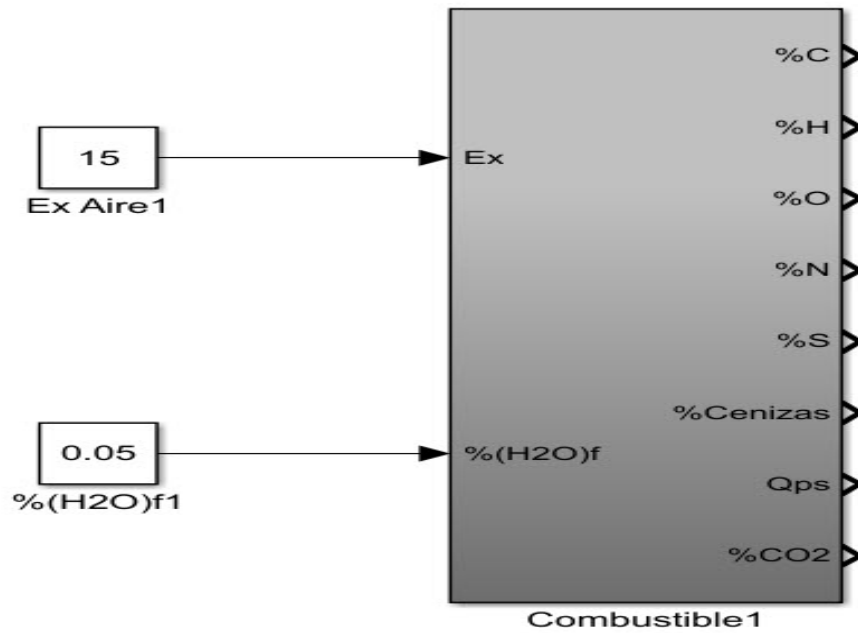


FIGURA 24: Diseño de los Bloques de Simulación

Fuente: Propia



Subsistema combustible:

FIGURA 25. Subsistema del combustible representado como bloque en Simulink

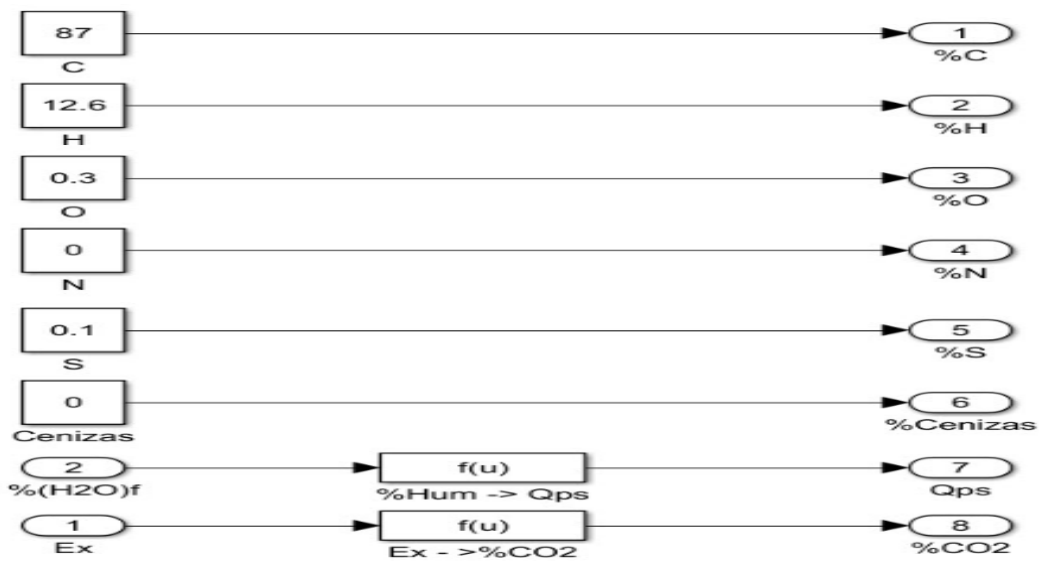


FIGURA 26. Composición interna del subsistema del combustible.

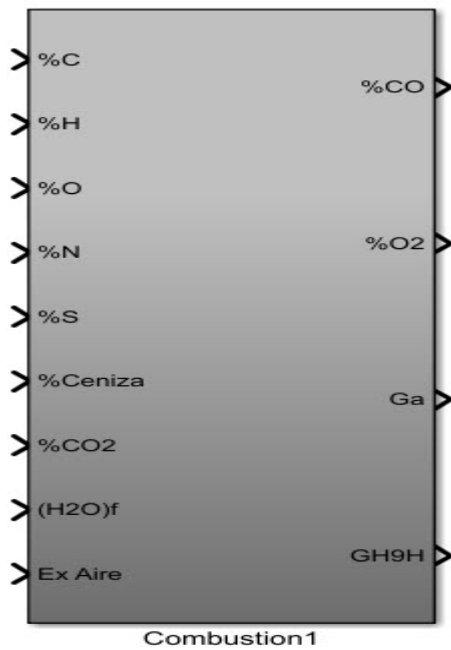


FIGURA 27. Subsistema combustión representado como bloque en Simulink

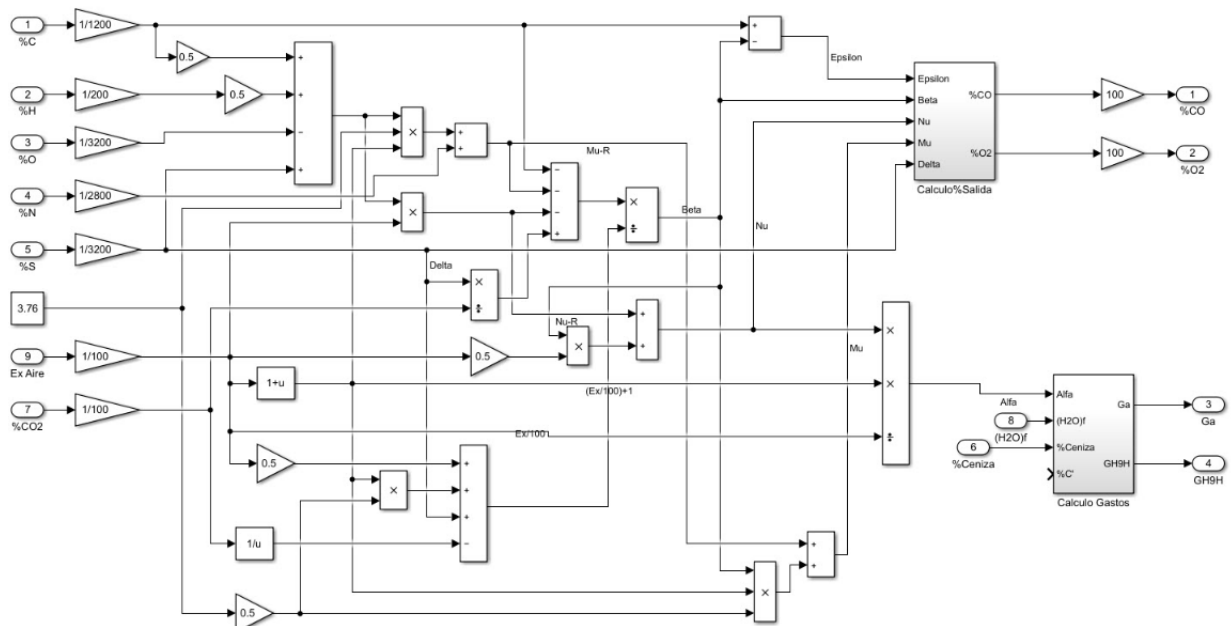


FIGURA 28. Composición interna del subsistema combustión.

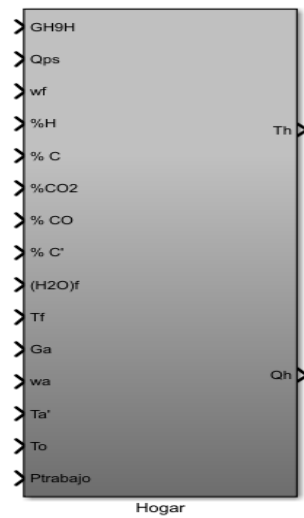


FIGURA 29. Subsistema hogar representado como bloque en Simulink.

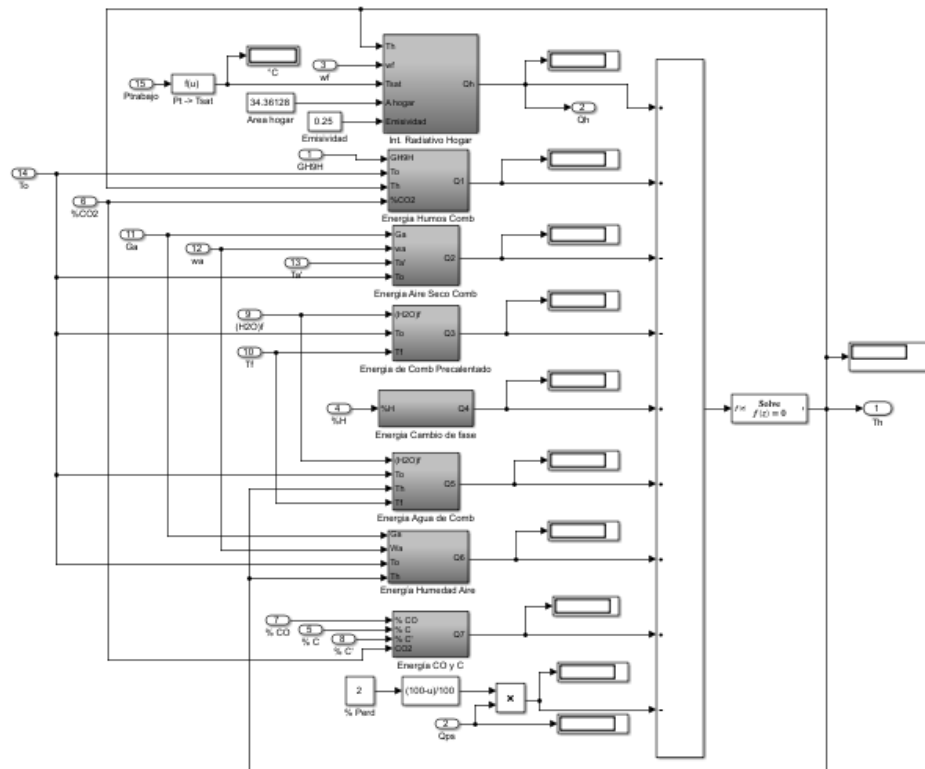


FIGURA 30. Composición interna del subsistema Hogar.

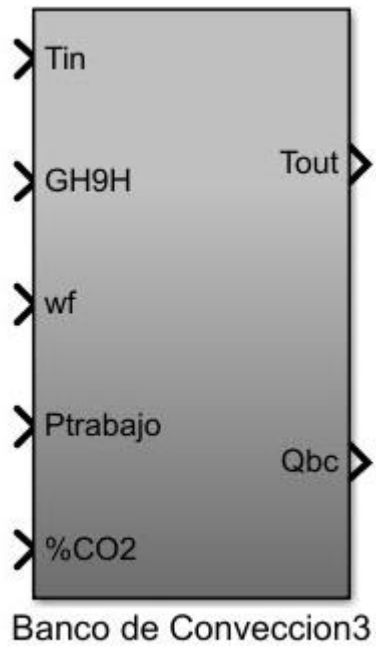


FIGURA 31. Subsistema del banco de convección representado como bloque en Simulink.

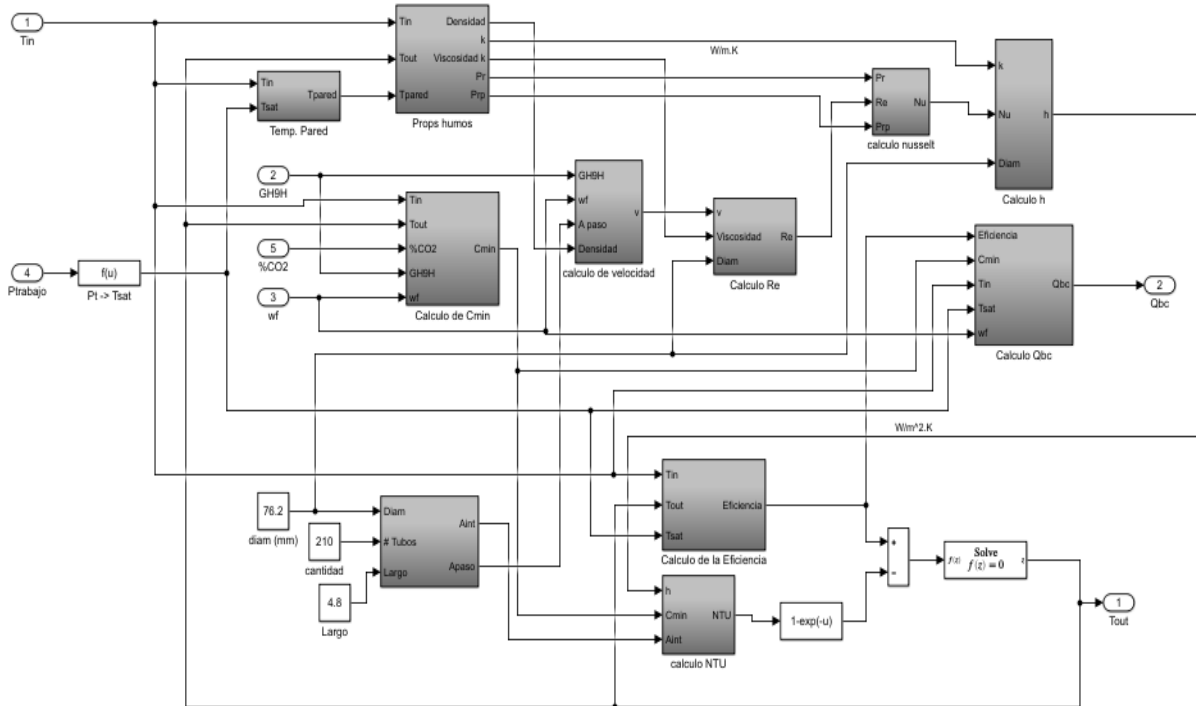


FIGURA 32. Composición interna del subsistema del banco de convección.

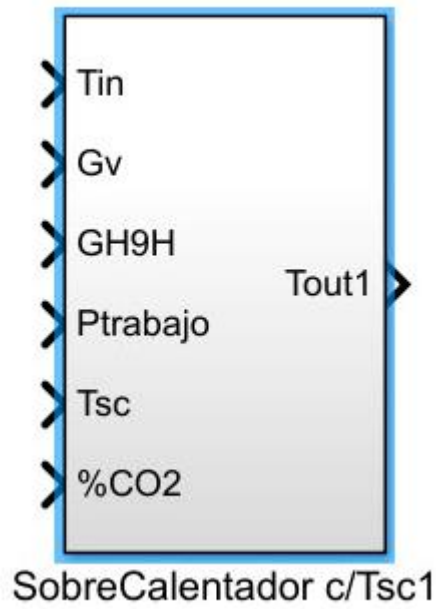


FIGURA 33. Subsistema del sobrecalentador representado como bloque en Simulink.

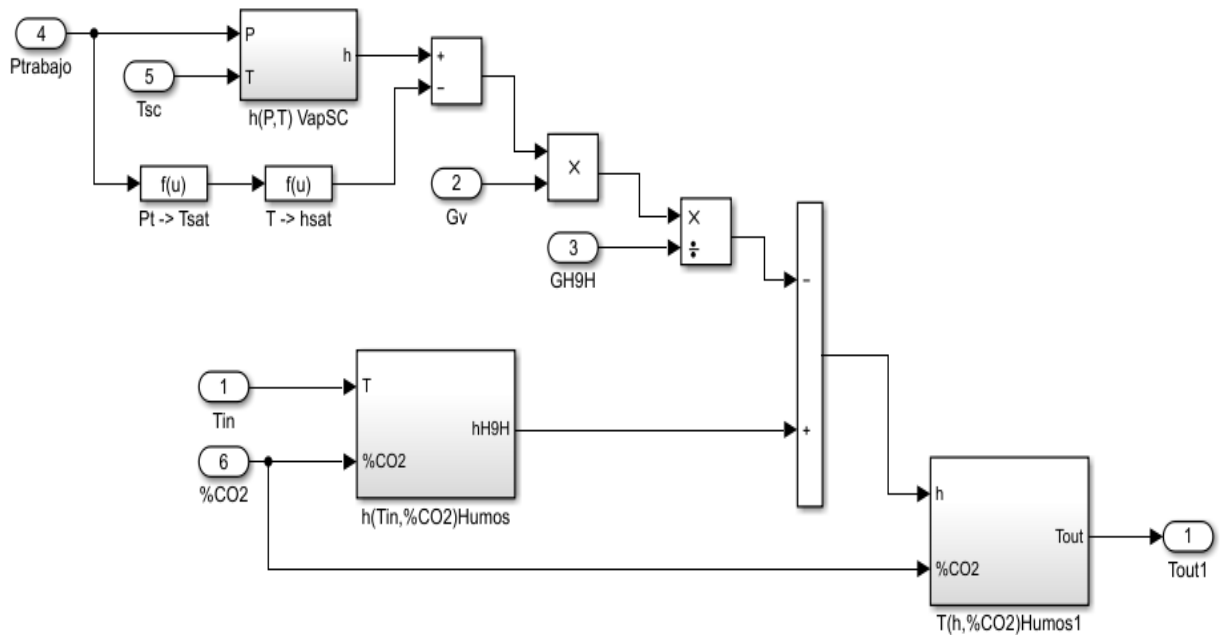


FIGURA 34. *Composición interna del subsistema del sobrecalentador.*

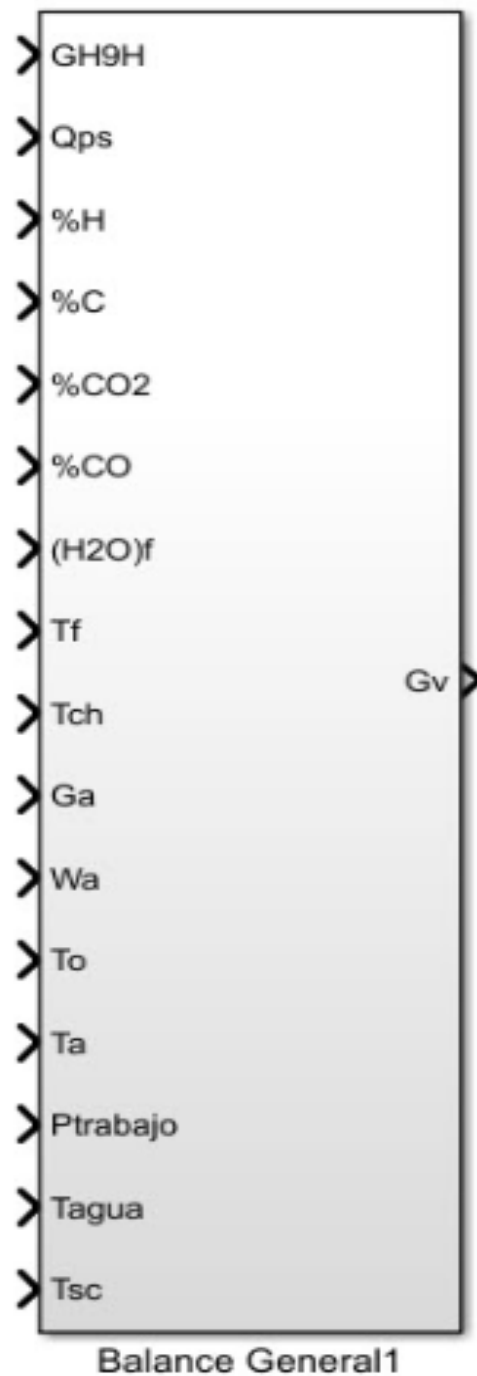


FIGURA 35. *Subsistema del Balance General representado como bloque en Simulink.*

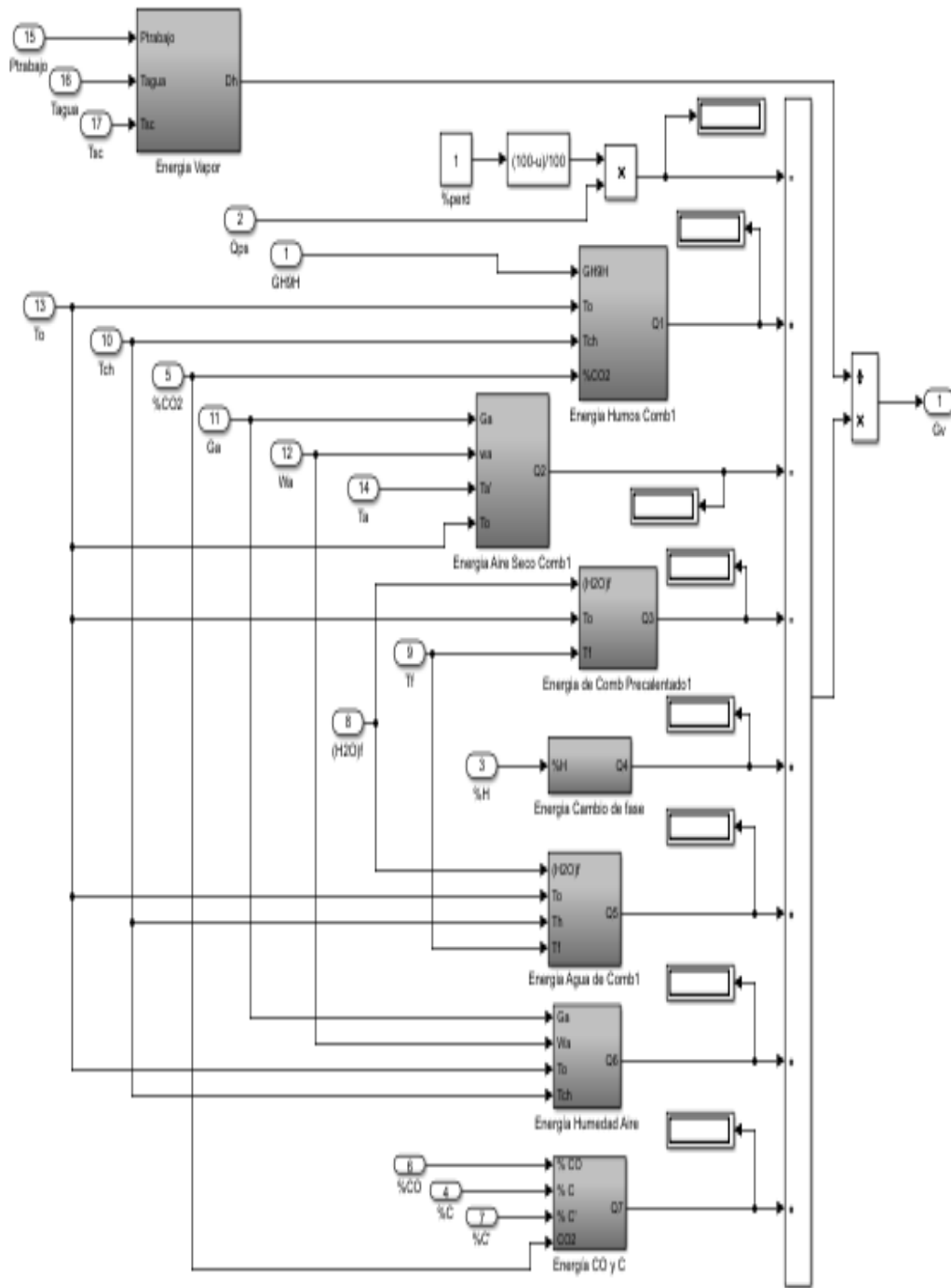


FIGURA 36. Composición interna del subsistema del Balance General.

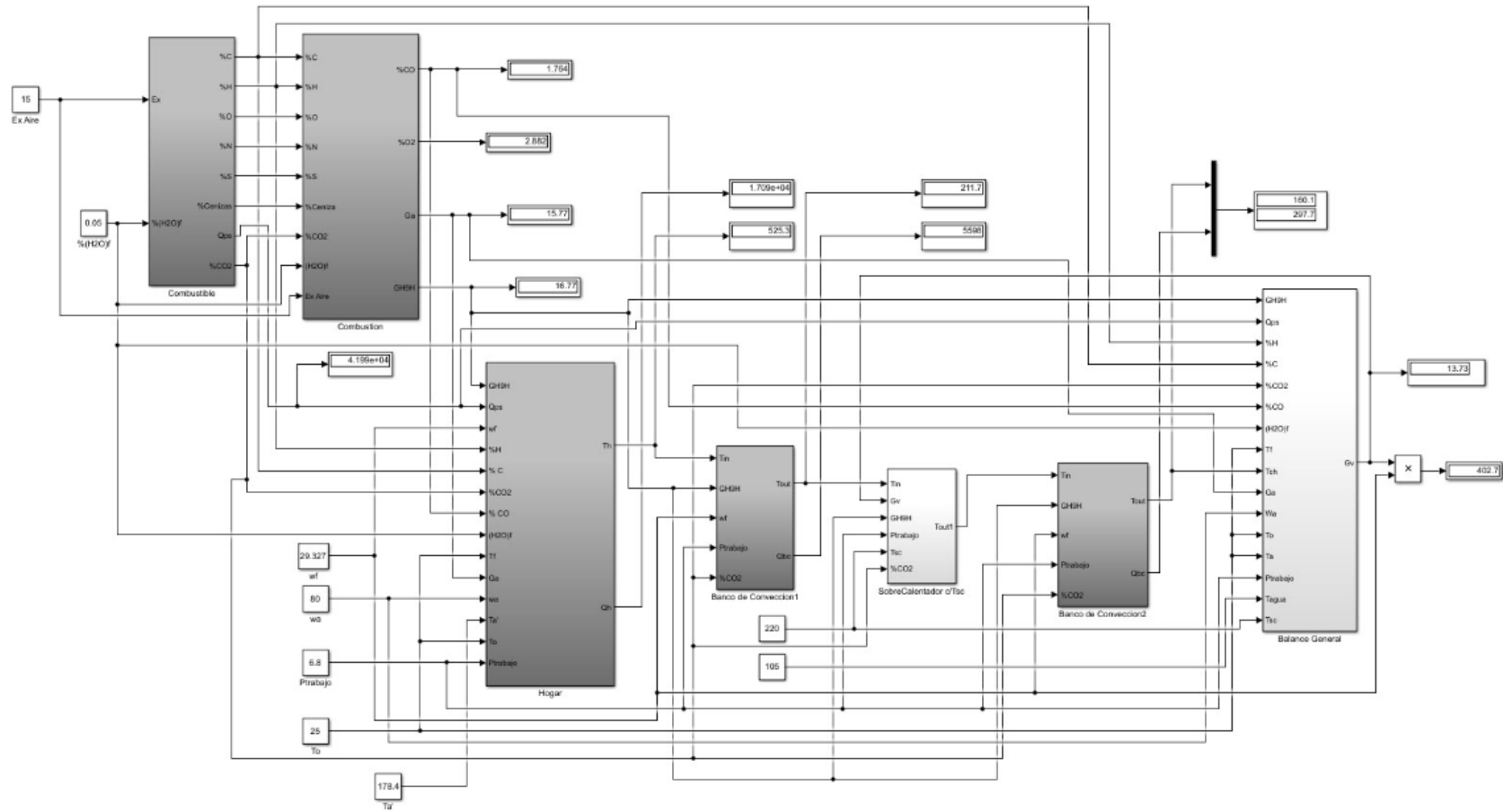


FIGURA 37. Modelo matemático para una caldera
 Fuente: GRANERO, R. A. F. (2009).

Anexo No. 8: Tablas termodinámicas para el agua saturada.

Fuente: Cengel, et al. (2011)

916

TABLAS DE PROPIEDADES, FIGURAS Y DIAGRAMAS (UNIDADES SI)

TABLA A-5

Agua saturada. Tabla de presiones

Pres., <i>P</i> kPa	Temp. sat., <i>T</i> _{sat} °C	Volumen específico, <i>m</i> ³ /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Líquido, sat., <i>v</i> _f	Vapor, sat., <i>v</i> _g	Líquido, sat., <i>u</i> _f	Evapor., <i>u</i> _{fg}	Vapor, sat., <i>u</i> _g	Líquido, sat., <i>h</i> _f	Evapor., <i>h</i> _{fg}	Vapor, sat., <i>h</i> _g	Líquido, sat., <i>s</i> _f	Evapor., <i>s</i> _{fg}	Vapor, sat., <i>s</i> _g
1.0	6.97	0.001000	129.19	29.302	2355.2	2384.5	29.303	2484.4	2513.7	0.1059	8.8690	8.9749
1.5	13.02	0.001001	87.964	54.686	2338.1	2392.8	54.688	2470.1	2524.7	0.1956	8.6314	8.8270
2.0	17.50	0.001001	66.990	73.431	2325.5	2398.9	73.433	2459.5	2532.9	0.2606	8.4621	8.7227
2.5	21.08	0.001002	54.242	88.422	2315.4	2403.8	88.424	2451.0	2539.4	0.3118	8.3302	8.6421
3.0	24.08	0.001003	45.654	100.98	2306.9	2407.9	100.98	2443.9	2544.8	0.3543	8.2222	8.5765
4.0	28.96	0.001004	34.791	121.39	2293.1	2414.5	121.39	2432.3	2553.7	0.4224	8.0510	8.4734
5.0	32.87	0.001005	28.185	137.75	2282.1	2419.8	137.75	2423.0	2560.7	0.4762	7.9176	8.3938
7.5	40.29	0.001008	19.233	168.74	2261.1	2429.8	168.75	2405.3	2574.0	0.5763	7.6738	8.2501
10	45.81	0.001010	14.670	191.79	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488
15	53.97	0.001014	10.020	225.93	2222.1	2448.0	225.94	2372.3	2598.3	0.7549	7.2522	8.0071
20	60.06	0.001017	7.6481	251.40	2204.6	2456.0	251.42	2357.5	2608.9	0.8320	7.0752	7.9073
25	64.96	0.001020	6.2034	271.93	2190.4	2462.4	271.96	2345.5	2617.5	0.8932	6.9370	7.8302
30	69.09	0.001022	5.2287	289.24	2178.5	2467.7	289.27	2335.3	2624.6	0.9441	6.8234	7.7675
40	75.86	0.001026	3.9933	317.58	2158.8	2476.3	317.62	2318.4	2636.1	1.0261	6.6430	7.6691
50	81.32	0.001030	3.2403	340.49	2142.7	2483.2	340.54	2304.7	2645.2	1.0912	6.5019	7.5931
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4	1.2132	6.2426	7.4558
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0	1.3028	6.0562	7.3589
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6	1.3069	6.0476	7.3545
125	105.97	0.001048	1.3750	444.23	2068.8	2513.0	444.36	2240.6	2684.9	1.3741	5.9100	7.2841
150	111.35	0.001053	1.1594	466.97	2052.3	2519.2	467.13	2226.0	2693.1	1.4337	5.7894	7.2231
175	116.04	0.001057	1.0037	486.82	2037.7	2524.5	487.01	2213.1	2700.2	1.4850	5.6865	7.1716
200	120.21	0.001061	0.88578	504.50	2024.6	2529.1	504.71	2201.6	2706.3	1.5302	5.5968	7.1270
225	123.97	0.001064	0.79329	520.47	2012.7	2533.2	520.71	2191.0	2711.7	1.5706	5.5171	7.0877
250	127.41	0.001067	0.71873	535.08	2001.8	2536.8	535.35	2181.2	2716.5	1.6072	5.4453	7.0525
275	130.58	0.001070	0.65732	548.57	1991.6	2540.1	548.86	2172.0	2720.9	1.6408	5.3800	7.0207
300	133.52	0.001073	0.60582	561.11	1982.1	2543.2	561.43	2163.5	2724.9	1.6717	5.3200	6.9917
325	136.27	0.001076	0.56199	572.84	1973.1	2545.9	573.19	2155.4	2728.6	1.7005	5.2645	6.9650
350	138.86	0.001079	0.52422	583.89	1964.6	2548.5	584.26	2147.7	2732.0	1.7274	5.2128	6.9402
375	141.30	0.001081	0.49133	594.32	1956.6	2550.9	594.73	2140.4	2735.1	1.7526	5.1645	6.9171
400	143.61	0.001084	0.46242	604.22	1948.9	2553.1	604.66	2133.4	2738.1	1.7765	5.1191	6.8955
450	147.90	0.001088	0.41392	622.65	1934.5	2557.1	623.14	2120.3	2743.4	1.8205	5.0356	6.8561
500	151.83	0.001093	0.37483	639.54	1921.2	2560.7	640.09	2108.0	2748.1	1.8604	4.9603	6.8207
550	155.46	0.001097	0.34261	655.16	1908.8	2563.9	655.77	2096.6	2752.4	1.8970	4.8916	6.7886
600	158.83	0.001101	0.31560	669.72	1897.1	2566.8	670.38	2085.8	2756.2	1.9308	4.8285	6.7593
650	161.98	0.001104	0.29260	683.37	1886.1	2569.4	684.08	2075.5	2759.6	1.9623	4.7699	6.7322
700	164.95	0.001108	0.27278	696.23	1875.6	2571.8	697.00	2065.8	2762.8	1.9918	4.7153	6.7071
750	167.75	0.001111	0.25552	708.40	1865.6	2574.0	709.24	2056.4	2765.7	2.0195	4.6642	6.6837

Anexo No. 9: Costos de Mantenimiento y Operación

En los costos de mantenimientos se incluyen diferentes costos: Directos, Indirectos y Generales.

Costos Directos:

Están vinculados con el rendimiento del Hospital o empresa y son menores si la preservación de los equipos es mejor; influyen la cantidad de tiempo que se emplea el equipo y la atención que se le brinde. Estos costos están dados por la cantidad de revisiones, inspecciones y en general las actividades y controles que se realizan a los equipos, entre ellos tenemos costos por:

- Mano de obra directa y contratada
- Materiales y repuestos directos y contratados
- Utilización de herramientas y equipos directamente y por contratación.
- Contratos para la realización de intervenciones

Costos Indirectos:

Son costos que no se pueden atribuir de una manera directa a una operación o trabajo específico. En Mantenimiento, viene a ser el costo que no puede relacionarse a un trabajo específico. Por lo general, suelen ser: la supervisión, almacén, instalaciones, servicio de taller, accesorios diversos, administración, servicios públicos, etc.

Costos Generales:

Son los costos en que incurre la empresa para sostener las áreas de apoyo o de funciones no propiamente productivas, pero que a su vez dan soporte a las áreas que desempeñan labores que se relacionan directamente con el negocio. Para que los gastos generales de mantenimiento tengan utilidad como instrumento de análisis, se deben clasificar con cuidado, a efecto de separar el costo fijo del variable, que en algunos casos se asignan como directos o indirectos.

Análisis antes de la aplicación del plan

Se analizarán los costos que actúan directamente o indirectamente con el mantenimiento exclusivo de la caldera del nosocomio.

Costos Directos:

Son como anteriormente se mencionó, aquellos que se ven incluidos únicamente en el costo directo de mantenimiento de la caldera del dicho nosocomio, en donde se deriva sus costos en los siguientes rubros:

Herramientas y Accesorios.

Actualmente el nosocomio cuenta con un amplio almacén de herramientas y accesorios que son de utilidad para el mantenimiento de toda la maquinaria y estaciones de trabajo. Es por ello que para este caso se toma como un costo nulo ya que no genera ningún costo de mantenimiento de las herramientas y accesorios adecuados para brindar el mantenimiento requerido en las rutinas de trabajo.

Mano de Obra Directa (MOD)

Para el cálculo del costo de la mano de obra directa se hace únicamente con un técnico mecánico Eléctrico y un supervisor, el técnico es quien hace las labores de mantenimiento y el supervisor que es quien supervisa y genera los reportes respectivos del mantenimiento aplicado.

de acuerdo a los sueldos de cada puesto el costo de mano de obra directo queda de la siguiente manera.

	MENSUAL	ANUAL
SUELDO TECNICO	1200	14400
SUELDO SUPERVISOR	1500	18000
COSTO TOTAL (S/.)	2700	32400

Consumo del Combustible (CC)

De acuerdo con los datos recopilados, los costos por consumo de combustible Diesel se dan de la siguiente manera en la Tabla. 25

CONSUMO DE COMBUSTIBLE	CANTIDAD galones	COSTO UNITARIO Galón -Soles	COSTO TOTAL (soles/gln)
HORA	8.9059 gal/hr	3.87 gln (3.2 S/.)	110.2907 S/. hr
AÑO	110.2907 S/.hr	16 hr/día (365año)	644097.368 S/. año

Fuente: Propia

De acuerdo con los datos recopilados, los costos por consumo de combustible GLP se dan de la siguiente manera en la Tabla. 26

CONSUMO DE COMBUSTIBLE	CANTIDAD galones	COSTO UNITARIO Galón -Soles	COSTO TOTAL (soles/gln)
HORA	12.6474 gal/hr	2.41 gln (3.2 S/.)	97.5367 S/. hr
AÑO	97.5367 S/.hr	16 hr/día (365año)	569612 S/. año

Fuente: Propia

BENEFICIO: Diesel – GLP = 644097.368 – 569612 = 74485.368 S/. año
--

Mano de obra Contratada (MOC):

Estos gastos se realizan debido a que el personal encargado del área de calderas no esta debidamente capacitado para realizar las labores de mantenimiento correctivo, es por ello que se recurre a terceros para llevarlas a cabo. Estas labores se realizan semestralmente y su costo se observa en el cuadro siguiente.

GASTOS POR TERCEROS	COSTO
Semestralmente	5000
Anual	10000

Costo Total Anual:

Después de haber realizado todo un estudio, se obtiene que los costos que se realizan anualmente son de:

COSTO TOTAL = Mano de Obra Directa (MOD) + Consumo del Combustible (CC) + Mano de obra Contratada (MOC)

$$= 32400 + 644097.368 + 10000$$

$$= 686497$$