



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA DEL ECUADOR**  
**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**Proyecto Técnico previo a la obtención del título de Ingeniería Industrial**

*Título: Diseño de un sistema de combustible dual diésel-bunker, para una red de alimentación de combustible a un grupo de calderas con capacidades entre 300 y 1700 BHP.*

*Title: Design of a diesel-bunker dual fuel system, for a fuel supply network to a group of boilers with capacities between 300 and 1700 BHP.*

**Autores: Jonathan Gabriel Baño Arias**  
**Leonardo Enrique Sosa Arce**

**Director: ING. Armando Fabrizzio López Vargas Ph.D**

Guayaquil, marzo de 2021

## DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA

Nosotros, Jonathan Gabriel Baño Arias y Leonardo Enrique Sosa Arce, declaramos que somos los únicos autores de este trabajo de titulación titulado “**DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMBUSTIBLE DUAL DIÉSEL-BUNKER, PARA UNA RED DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE A UN GRUPO DE CALDERAS CON CAPACIDADES ENTRE 300 Y 1700 BHP**”. Los conceptos aquí desarrollados y las conclusiones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad de los autores.



---

**Jonathan Gabriel Baño Arias**  
**C.I. 0950647685**



---

**Leonardo Enrique Sosa Arce**  
**C.I. 0925622888**

## DECLARACIÓN DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Quienes suscriben, en calidad de derecho de autores del trabajo de titulación titulado “**DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMBUSTIBLE DUAL DIÉSEL-BUNKER, PARA LA RED DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE A UN GRUPO DE CALDERAS CON CAPACIDADES ENTRE 300 Y 1700 BHP**”, por medio de la presente, autorizo a la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA DEL ECUADOR a que haga uso parcial o total de esta obra con fines académicos o de investigación.



---

**Jonathan Gabriel Baño Arias**  
**C.I. 0950647685**



---

**Leonardo Enrique Sosa Arce**  
**C.I. 0925622888**

## DECLARACIÓN DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Quien suscribe, en calidad de director del trabajo de titulación titulado “**DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMBUSTIBLE DUAL DIÉSEL-BUNKER, PARA LA RED DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE A UN GRUPO DE CALDERAS CON CAPACIDADES ENTRE 300 Y 1700 BHP**”, desarrollado por los estudiantes **JONATHAN GABRIEL BAÑO ARIAS** y **LEONARDO ENRIQUE SOSA ARCE** previo a la obtención del Título de Ingeniería Industrial, por medio de la presente certifico que el documento cumple con los requisitos establecidos en el Instructivo para la Estructura y Desarrollo de Trabajos de Titulación para pregrado de la Universidad Politécnica Salesiana. En virtud de lo anterior, autorizo su presentación y aceptación como una obra autentica y de alto valor académico.

Dado en la ciudad de Guayaquil, marzo del 2021



---

**ING Armando Fabrizzio López Vargas Ph.D**

**Docente director del Proyecto Técnico**

## DEDICATORIA I

El fruto de estos años de esfuerzo y dedicación se lo ofrezco sin duda alguna a Jehová, ya que me otorgo la sabiduría y fortaleza para mantener mi Fe firme, porque aún en las dificultades más severas siempre proveyó el consuelo en mi angustia, la alegría para mi tristeza. Aunque este siervo inútil no es digno de este amor por tantos errores e inequidades, en todo momento su Espíritu Santo me ha resguardado.

Querido lector en el nombre de Jesús, es mi más sincero deseo que Dios toque tu corazón y comprendas que el tiempo de Dios debe ser tu reloj y su voluntad tu camino, Amén.

*Leonardo Enrique Sosa Arce*

## AGRADECIMIENTO I

En este breve espacio quiero agradecer a mis padres y hermanos, muchas gracias por su apoyo moral y económico, gracias por soportar tantas noches de desvelo y motivarme a seguir adelante.

También agradezco a todos aquellos amigos que me brindaron su confianza, amistad y consejos en todo momento, a mis hermanos de distintas familias, Javier, Karla, John y Bryan, muchas gracias por brindarme su alegría y su valiosa amistad.

Agradezco especialmente a Karla, Ronald y Ángel por permitirme estar presente en la presentación de sus proyectos y tomarlos como ejemplo y guía, a mi amigo y colega Gabriel mi sincero agradecimiento por la oportunidad de ayudarte a plasmar este proyecto.

De corazón espero poder retribuir todo su apoyo, gracias por todo.

*Leonardo Enrique Sosa Arce*

**DEDICATORIA II**

Dedico de manera especial a Dios por darme las fuerzas necesarias para haber culminado de manera satisfactoria mi proyecto, por brindarme la sabiduría en situaciones difíciles a mi familia ya que ellos son la parte principal para la construcción de mi carrera profesional, dándome los mejores consejos, guiándome y haciendo de mí una persona responsable y con deseos de superación.

*Jonathan Gabriel Baño Arias*

**AGRADECIMIENTO II**

A la primera persona, que se lo quiero agradecer a mi Madre Teresa de los Ángeles por los días difíciles estar ahí conmigo enseñándome a salir adelante a pesar de las dificultades.

A mi padre Gabriel Baño por haberme brindado la mejor educación y lección de vida por darme el ejemplo que trabajando con constancia y esmero se llega a la meta.

A la señora Marieta Gonzabay por ayudarme en momento importante durante mi carrera que jamás pensé que lo haría por darme esa motivación para poder seguir adelante.

*Jonathan Gabriel Baño Arias*

**ABREVIATURAS**

<b>ASME</b>	American Society of Mechanical Engineering (Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos).
<b>AMBA</b>	American Boiler Manufacturing Association (Asociación Americana de Fabricación de Calderas).
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales).
<b>API</b>	American Petroleum Institute (Instituto Americano del Petróleo).
<b>INEN</b>	Instituto Ecuatoriano de Normalización.
<b>BHP</b>	Boiler Horse Power (Caballos de Caldera).
<b>GPH</b>	Galones por Hora.
<b>GPM</b>	Galones por Minuto.
<b>Gls.</b>	Galones.
<b>°C</b>	Grados Celsius.
<b>°F</b>	Grados Fahrenheit.
<b>°K</b>	Grados Kelvin.
<b>PCS</b>	Poder Calorífico Superior.
<b>PCI</b>	Poder Calorífico Inferior.
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Carbono.
<b>SO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Azufre.
<b>NO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Nitrógeno.
<b>ppm</b>	Partes por Millón.
<b>Lbs/in<sup>2</sup></b>	Libras Sobre Pulgadas Cuadradas.
<b>Sch.</b>	Schedule, espesor de tubería.
<b>P&amp;ID</b>	Pipe and Instrumentation Desing (Diseño de Tuberías e Instrumentación).
<b>TRI</b>	Tiempo de Recuperación de la Inversión.
<b>VAN</b>	Valor Actual Neto.
<b>TIR</b>	Tasa Interna de Retorno.
<b>TREMA</b>	Tasa de Retorno Mínima Aceptada.

## RESUMEN

Las calderas, para generar vapor necesitan de un combustible, el cual, para liberar su poder calorífico debe ser quemado para lograr cambiar la fase líquida del agua a vapor. El presente proyecto tiene como objetivo diseñar un sistema de combustible dual, que permita suministrar una mezcla compuesta de 20% diésel 2 y 80% bunker (fuel oil 6), dicha mezcla de combustible debe alimentar a los quemadores de combustible de un grupo de calderas, cuyas capacidades de operación están entre, 300 y 1700 BHP para generar vapor. Para este fin se presenta un diseño esquemático y estructural del conjunto de tanques principales y diario para el almacenamiento y mezcla de los combustibles diésel 2 y fuel oil 6, diseño basado en normativas ASME y API.

Además, considerando que el combustible bunker tiene un grado de viscosidad alto, se presenta el diseño de un intercambiador de calor para el sistema de calentamiento que facilite el traspaso de dicho combustible a diferentes puntos del sistema propuesto, las bases del cálculo y diseño se toman del libro de Incropera.

Para la selección de bombas de combustible (recepción, trasvase, calderas) requeridas para el funcionamiento del sistema dual propuesto, se utiliza el software de un fabricante de bombas para combustible, los datos requeridos para realizar la selección, son los caudales, las viscosidades del combustible a transportar, el tiempo de operación del sistema, además del consumo de la mezcla diésel-bunker que permita el funcionamiento de las calderas.

Otro de los puntos a considerar presentado en este trabajo, es el análisis estequiométrico de la mezcla de combustible realizado para verificar que la mezcla cumpla con los límites máximos permitidos para la emisión de contaminantes como el  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$  propuestos en la norma ambiental ecuatoriana aplicada para calderas.

En este trabajo también es considerado la estimación del beneficio económico que se obtendría al operar las calderas con el sistema de combustible dual propuesto.

**Palabras Clave:** Combustible, Diesel 2, Bunker, Mezcla, Combustión

## ABSTRACT

Boilers, to generate steam need a fuel, which, to release its calorific power must be burned to change the liquid phase of the water to steam. This project aims to design a dual fuel system, which allows to supply a mixture composed of 20% diesel 2 and 80% bunker (fuel oil 6), such a fuel mixture must feed the fuel burners of a group of boilers, whose operating capacities are between BHP 300 and 1700 to generate steam. For this purpose, a schematic and structural design of the main and daily tank set is presented for the storage and mixing of diesel 2 and fuel oil 6 fuels, ASME and API-based design.

In addition, considering that the bunker fuel has a high degree of viscosity, the design of a heat exchanger for the heating system is presented that facilitates the transfer of said fuel to different points of the proposed system, the bases of the calculation and design are taken from the book of Incropera.

For the selection of fuel pumps (reception, shipping, boilers) required for the operation of the proposed dual system, the software of a fuel pump manufacturer is used, the data required to make the selection, are the flow rates, the viscosities of the fuel to be transported, the operating time of the system, in addition to the consumption of the diesel-bunker mixture that allows the operation of the boilers.

Another point to consider presented in this work is the stoichiometric analysis of the fuel mixture performed to verify that the mixture meets the maximum allowed limits for the emission of pollutants such as SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> proposed in the Ecuadorian environmental standard applied for boilers.

In this work it is also considered the estimation of the economic benefit that would be obtained when operating the boilers with the proposed dual fuel system.

**Keywords:** Fuel, Diesel 2, Bunker, Mix, Combustion

## INDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA .....	I
DECLARACIÓN DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	II
DECLARACIÓN DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	III
DEDICATORIA I .....	IV
AGRADECIMIENTO I .....	V
DEDICATORIA II.....	VI
AGRADECIMIENTO II.....	VII
ABREVIATURAS .....	VIII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT.....	X
INDICE GENERAL.....	XI
INDICE DE FIGURAS.....	XIV
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO I: PROBLEMA.....	4
1.1 Antecedentes .....	4
1.2 Importancia y Alcance.....	5
1.3 Delimitación .....	6
1.4 Objetivos .....	6
1.4.1 Objetivo General .....	6
1.4.2 Objetivos Específicos.....	7
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO .....	8
2.1 Estado del arte .....	8
2.2 Fundamentos Teóricos .....	9
2.2.1 Caldera .....	9
2.2.2 Quemadores.....	17
2.2.3 Combustible .....	21
2.2.4 Elementos de un Sistema de Combustible para Caldera.....	31
2.2.5 Sistema de Seguridad y Control.....	61
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO .....	70
3.1 Diseño de la investigación .....	70
3.2 Tipos de investigación.....	70
3.3 Diseño Conceptual .....	70
3.4 Diseño de forma .....	72

3.4.1	Parámetros de operación de las calderas .....	72
3.4.2	Sistema de Combustible.....	73
3.4.3	Selección de Combustible a Utilizar .....	73
3.4.4	Cálculos para Diseño de Tanques de Combustible.....	116
3.4.5	Cálculo y Selección de las Bombas de Combustible .....	123
3.4.6	Cálculo y Selección de Tuberías para el Sistema de Combustible. ....	137
3.4.7	Cálculo y Selección de Calentadores Tanques Combustibles.....	138
CAPITULO IV: ANALISIS DE RESULTADOS .....		145
4.1	Dimensiones de Tanques de Almacenamiento de los Combustibles.....	145
4.2	Selección de Bombas de Recepción, Traslase y Calderas .....	146
4.3	Líneas de Tuberías para el Sistema de Combustible Dual Propuesto.....	147
4.3.1	Líneas de Tuberías de Vapor para los Intercambiadores de Calor.....	147
4.3.2	Diseño P&ID.....	148
4.4	Mezcla de Combustible 20% Diesel – 80% Bunker .....	153
4.5	Presupuesto Estimado para Realizar el Proyecto .....	155
4.6	Análisis del Costo del Vapor-Combustible.....	157
4.6.1	Costo Anual por Consumo de Combustible Diesel.....	159
4.6.2	Costo Anual por Consumo de Combustible Bunker (Fuel Oil 6).....	160
4.6.3	Costo Anual por Consumo de Mezcla de Combustible Propuesta .....	161
4.7	Análisis de Recuperación de la Inversión del Proyecto .....	162
4.7.1	Ahorro Estimado del Proyecto .....	162
4.7.2	Viabilidad del Proyecto.....	165
CONCLUSIONES .....		168
RECOMENDACIONES .....		170
BIBLIOGRAFÍA .....		172
ANEXO 1.....		177
ANEXO 2.....		178
ANEXO 3.....		179
ANEXO 4.....		180
ANEXO 5.....		181
ANEXO 6.....		185
ANEXO 7.....		186
ANEXO 8.....		188
ANEXO 9.....		189
ANEXO 10.....		190

ANEXO 11.....	191
ANEXO 12.....	193
ANEXO 13.....	194
ANEXO 14.....	195

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema de procesos de una caldera .....	10
<b>Figura 2.</b> Gráfico T-h .....	10
<b>Figura 3.</b> Caldera Acuotubular de Bunker, Marca Faber Burner .....	11
<b>Figura 4.</b> Calor Sensible y Latente.....	13
<b>Figura 5.</b> Partes de Una Caldera.....	14
<b>Figura 6.</b> Costo de Combustibles al 29 de Junio del 2020.....	14
<b>Figura 7.</b> Caldera de Locomotora, Combustible Sólido.....	15
<b>Figura 8.</b> Caldera Piro tubular, Combustible Líquido o Gas .....	16
<b>Figura 9.</b> Caldera Piro tubular, Marca Fulton 1500HP .....	16
<b>Figura 10.</b> Quemador .....	17
<b>Figura 11.</b> Quemador Weishaupt, Caldera Bosh.....	18
<b>Figura 12.</b> Registro y Cañon Atomizador, Caldera Colmaquinas .....	19
<b>Figura 13.</b> Refractario .....	20
<b>Figura 14.</b> Refractario, Caldera Nebraska 2200 HP .....	20
<b>Figura 15.</b> Quemadores según su tipo de registro .....	21
<b>Figura 16.</b> Precios del Barril de Petróleo .....	22
<b>Figura 17.</b> Consumo de Combustibles, Primer Semestre años 2020-2019.....	24
<b>Figura 18.</b> Combustibles Utilizados por el Sector Industrial Año 2020-2019.....	25
<b>Figura 19.</b> Triángulo de Fuego.....	30
<b>Figura 20.</b> Bosquejo Intercambiador de Doble Tubo.....	33
<b>Figura 21.</b> Intercambiador de Doble Tubo.....	33
<b>Figura 22.</b> Intercambiador Tipo Coraza, Caldera Cleaver Brooks .....	34
<b>Figura 23.</b> Modelos Básicos de Intercambiadores de Calor Tipo Coraza.....	35
<b>Figura 24.</b> Esquema de Una Línea de Vapor para un Intercambiador .....	37
<b>Figura 25.</b> Modelo Real de Línea de Vapor para un Intercambiador .....	37
<b>Figura 26.</b> Filtro Separador de Agua l.....	39
<b>Figura 27.</b> Diagrama Técnico de un Filtro.....	40
<b>Figura 28.</b> Filtro Tipo Cesta.....	40
<b>Figura 29.</b> Bomba Hidráulica de Piñones, Marca Viking .....	42
<b>Figura 30.</b> Bomba de Combustible para Quemadores, Marca Viking .....	43
<b>Figura 31.</b> Manómetro de Presión Tipo Diafragma .....	45
<b>Figura 32.</b> Manómetro de Tubo Bourdon .....	46
<b>Figura 33.</b> Flujómetro Digital Hidráulico .....	46
<b>Figura 34.</b> Cinta Métrica para Medición de Fondo.....	48
<b>Figura 35.</b> Cinta Métrica para Medición a Vacío .....	49
<b>Figura 36.</b> Medidor de Nivel por Radar, Marca Rosemount .....	50
<b>Figura 37.</b> Elementos de un Sistema de Medición por Radar.....	50
<b>Figura 38.</b> Tubos de acero.....	51
<b>Figura 39.</b> Tipos de Codos .....	52
<b>Figura 40.</b> Tipos de Tee .....	52
<b>Figura 41.</b> Válvula de Globo.....	54
<b>Figura 42.</b> Diagrama Esquemático, Válvula de Globo .....	54
<b>Figura 43.</b> Válvula de Bola, Cierre Rápido.....	55
<b>Figura 44.</b> Diagrama de Válvula de Bola / .....	55
<b>Figura 45.</b> Diagrama de Válvula Solenoide 2/2.....	56

<b>Figura 46.</b> Válvula Check .....	57
<b>Figura 47.</b> Diagrama Esquemático de Válvula Check .....	57
<b>Figura 48.</b> Válvula Reguladora de Flujo Aire-Combustible, Marca Maxon .....	58
<b>Figura 49.</b> Válvula de Alivio, Marca Apollo .....	58
<b>Figura 50.</b> Diagrama Esquemático de la Válvula de Alivio .....	59
<b>Figura 51.</b> Válvula de Aguja, Diagrama Esquemático.....	59
<b>Figura 52.</b> Diagrama Esquemático Distribuidor de Combustible .....	60
<b>Figura 53.</b> Análisis de Viscosidad, Viscosímetro Automático Cannon CAV 4.2 ..	101
<b>Figura 54.</b> Análisis de Punto de Inflamación, Equipo PMA 4.....	101
<b>Figura 55.</b> Análisis de Azufre, Equipo Horiba SLFA - 2100/2800 .....	102
<b>Figura 56.</b> Configuración de Software para Selección de Bombas de Recepción..	131
<b>Figura 57.</b> Curva de Diferencial de Presión para Bomba de Recepción.....	132
<b>Figura 58.</b> Configuración de Software para Selección de Bombas de Traslase.....	133
<b>Figura 59.</b> Curva de Diferencial de Presión para Bomba de Traslase .....	134
<b>Figura 60.</b> Configuración de Software para Selección de Bombas de Caldera .....	135
<b>Figura 61.</b> Curva de Diferencial de Presión para Bomba de Calderas.....	136
<b>Figura 62.</b> Tabla de Vapor Saturado por Presión.....	140
<b>Figura 63.</b> Volumen de Control del Intercambiador .....	141
<b>Figura 64.</b> Diseño P&ID Sección 300BHP .....	149
<b>Figura 65.</b> Diseño P&ID Sección 600BHP .....	150
<b>Figura 66.</b> Diseño P&ID Sección 800BHP .....	151
<b>Figura 67.</b> Diseño P&ID Sistema de Combustible Dual Diesel-Bunker .....	152

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Matriz de Criterios para la Selección de Calderas.....	12
<b>Tabla 2.</b> Demanda Nacional de Combustibles Derivados del Petróleo por Sector Estratégico (en Barriles).....	23
<b>Tabla 3.</b> Demanda de Combustibles del Sector Industrial Ecuatoriano (Bbls).....	24
<b>Tabla 4.</b> Válvulas Direccionales para Sistema de Combustible .....	56
<b>Tabla 5.</b> Metodología de Diseño .....	71
<b>Tabla 6.</b> Parámetros de Operación a considerar .....	72
<b>Tabla 7.</b> Verificación de Balance en la Ecuación Química Combustible Diesel 2 ...	83
<b>Tabla 8.</b> Verificación de Balance en la Ecuación Química Combustible Fuel Oil 6 95	85
<b>Tabla 9.</b> Verificación de Balance en la Ecuación Química de la Mezcla Propuesta .....	109
<b>Tabla 10.</b> Propiedades del Combustible Fuel Oil #2 & Fuel Oil #6 .....	114
<b>Tabla 11.</b> Diámetros para Tanques Según su Capacidad de Almacenamiento .....	118
<b>Tabla 12.</b> Interpolación para Diámetro de Tanque Diario .....	121
<b>Tabla 13.</b> Resumen de Resultados de Cálculos Puntos 3.4.3.4, 3.4.4.1 y 3.4.4.2 ...	123
<b>Tabla 14.</b> Resultado de Cálculo de Caudal para la Bomba de Recepción .....	124
<b>Tabla 15.</b> Resultados de Cálculo de Caudal para la Bomba de Trasvase.....	126
<b>Tabla 16.</b> Datos para Cálculo de Perdida de Presión por Ficción Tubería Bomba de Recepción.....	127
<b>Tabla 17.</b> Datos para Cálculo de Perdida de Presión por Ficción Tubería Bomba de Caldera .....	129
<b>Tabla 18.</b> Características de Operación de las Bombas .....	130
<b>Tabla 19.</b> Especificaciones para Bomba de Recepción .....	132
<b>Tabla 20.</b> Especificaciones para Bomba de Trasvase .....	134
<b>Tabla 21.</b> Especificaciones para Bomba de Caldera .....	136
<b>Tabla 22.</b> Diámetros de Tuberías .....	137
<b>Tabla 23.</b> Resultados, Cálculo de Intercambiadores de Calor .....	144
<b>Tabla 24.</b> Características de Tanques de Almacenamiento del Combustible .....	145
<b>Tabla 25.</b> Bombas de Combustible Requeridas para el Sistema Propuesto .....	146
<b>Tabla 26.</b> Tuberías para el Sistema de Combustible Propuesto .....	147
<b>Tabla 27.</b> Tuberías de Vapor para Intercambiadores de Calor .....	147
<b>Tabla 28.</b> Reactivos y Productos por Mol de Combustible .....	153
<b>Tabla 29.</b> Verificación de Proporción de CO en Gases de Combustión .....	154
<b>Tabla 30.</b> Evaluación de Contaminantes Emanados al Aire (NO <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> ) .....	155
<b>Tabla 31.</b> Resumen de Costo del Proyecto .....	156
<b>Tabla 32.</b> Registro de Resultados, Cálculo Tasa de Consumo de Diesel 2 .....	159
<b>Tabla 33.</b> Costo Anual por Consumo de Combustible Diesel 2 .....	160
<b>Tabla 34.</b> Registro de Resultados, Cálculo Tasa de Consumo de Fuel Oil 6.....	160
<b>Tabla 35.</b> Costo Anual por Consumo de Combustible Fuel Oil 6 .....	161
<b>Tabla 36.</b> Registro de Resultados, Cálculo Tasa de Consumo de Mezcla de Combustible Propuesta .....	161
<b>Tabla 37.</b> Costo Anual por Consumo de Combustible Propuesto .....	162

## INDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> Masa del Aire Requerido.....	75
<b>Ecuación 2.</b> Masa del Combustible.....	76
<b>Ecuación 3.</b> Razón Aire/Combustible.....	78
<b>Ecuación 4.</b> Poder Calorífico Superior.....	78
<b>Ecuación 5.</b> Porcentaje de Masa del Elemento.....	79
<b>Ecuación 6.</b> Poder Calorífico Inferior.....	81
<b>Ecuación 7.</b> Elementos de los Gases de Combustión en Moles.....	82
<b>Ecuación 8.</b> Número Total de Moles.....	83
<b>Ecuación 9.</b> Porcentaje del Elemento.....	84
<b>Ecuación 10.</b> Estimación del Contaminante Emanado [Kg/H].....	86
<b>Ecuación 11.</b> Consumo de Combustible por Hora.....	115
<b>Ecuación 12.</b> Capacidad de Almacenamiento de un Tanque.....	116
<b>Ecuación 13.</b> Altura de un Tanque de Combustible.....	118
<b>Ecuación 14.</b> Capacidad del Tanque con Factor de Seguridad.....	120
<b>Ecuación 15.</b> Interpolación Lineal.....	121
<b>Ecuación 16.</b> Caudal del Combustible.....	123
<b>Ecuación 17.</b> Caudal para Bombas de Caldera.....	125
<b>Ecuación 18.</b> Temperatura Media Logarítmica.....	140
<b>Ecuación 19.</b> Calor Transferido por el Combustible.....	141
<b>Ecuación 20.</b> Calor Transferido por el Vapor.....	142
<b>Ecuación 21.</b> Flujo Másico de Vapor.....	143
<b>Ecuación 22.</b> Área del Intercambiador de Calor.....	143
<b>Ecuación 23.</b> Concentración del Contaminante en mg/Nm <sup>3</sup> .....	154
<b>Ecuación 24.</b> Vapor Generado por Año en Lb/H.....	157
<b>Ecuación 25.</b> Galonaje de Combustible Anual.....	157
<b>Ecuación 26.</b> Poder Calorífico del Combustible en BTU/Gal.....	158
<b>Ecuación 27.</b> Energía de Salida en BTU/H.....	158
<b>Ecuación 28.</b> Energía de Entrada en BTU/H.....	158
<b>Ecuación 29.</b> Tasa de Consumo de Combustible en Gal/H.....	158
<b>Ecuación 30.</b> Ahorro Anual por Combustible Propuesto.....	163
<b>Ecuación 31.</b> Ahorro Mensual por Combustible Propuesto.....	163
<b>Ecuación 32.</b> Tiempo de Recuperación de la Inversión.....	164
<b>Ecuación 33.</b> Cálculo del Valor Actual Neto.....	165
<b>Ecuación 34.</b> Flujo de Caja, Anualidad.....	166
<b>Ecuación 35.</b> Cálculo de la Tasa Interna de Rentabilidad.....	167

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, a nivel mundial es más frecuente el uso de vapor en los diversos procesos industriales, tales como, esterilización, cocción, mezclas, impulso motriz, hidratación, etc. Debido a sus cualidades de conducción y convección, además de la variedad de combustible con las que pueden operar, las calderas son los equipos utilizados para la generación de vapor.

El sistema de combustible cumple un rol importante en la generación de vapor de la caldera, ya que es el encargado de transportar el combustible hacia el quemador donde se produce la combustión del combustible, liberando el poder calorífico del mismo, por lo que la selección del combustible a utilizar es un punto importante al momento de analizar costos de operación y producción.

Un sistema de combustible dual implica combinar dos combustibles, el presente proyecto busca y se limita a diseñar un sistema de combustible que le permita a un grupo de calderas con capacidad de generación de vapor entre los 300 y 1700 BHP, mantener un régimen de trabajo adecuado, mediante la combinación de los combustibles diésel y bunker en base a un correcto dimensionamiento de todos los componentes que intervienen en el sistema de combustible (tanques de almacenamiento de combustible, bombas, tuberías, etc.).

Lo que motiva a los autores a elaborar este proyecto de diseño, es poder plasmar la experiencia adquirida en diferentes campos laborales, juntar los conocimientos científicos, técnicos y administrativos que permitan brindar una base sólida de argumentos que justifiquen los criterios planteados en el desarrollo de este trabajo y a su vez compartirlos con personas interesadas en este tipo de proyectos.

Otra razón por la que se opta por la realización de este proyecto de diseño de un sistema de combustible dual diésel-bunker, para una red de alimentación de combustible para un grupo de calderas, es por la poca cantidad de material académico encontrado que aporte como guía, además de contar con poco material, en estos se aborda el sistema de combustible de la caldera de forma muy superficial.

En este trabajo se buscar enfocar tres aspectos considerados importantes por parte de los autores; el primer enfoque el técnico, para que los temas tratados sean entendidos desde un operador, un supervisor, un diseñador hasta un gerente, independiente de la industria en la que se encuentren; el segundo enfoque el cuantitativo, para determinar por medio de cálculos, las dimensiones de los diferentes elementos, tanques de almacenamiento, bombas, tuberías, distribuidor, etc.; y el tercer enfoque el cualitativo

para cumplir con los parámetros establecidos en la normativas que regulan el correcto diseño e implementación de este tipo de proyectos industriales, las normativas a cumplir son, ASME B31, API, INEN.

Con estos enfoques los autores pretenden demostrar que con el uso de un sistema de combustible dual diésel-bunker, se obtendrá un beneficio económico considerable para la empresa que lo implemente, ya que en la actualidad estas buscan hacer un uso eficiente de los recursos a menor costo, además de minimizar el impacto que sus procesos generen a la población y al medio ambiente.

Los autores también pretenden aportar con criterios y experiencias obtenidas en el transcurso de la elaboración de este proyecto de diseño, con el fin de que sean utilizados como guía en futuros trabajos de investigación y diseño de sistemas de combustible dual dentro y fuera del país.

Para el desarrollo de este proyecto de diseño de un sistema de combustible dual diésel-bunker, para un grupo de calderas con capacidades entre 300 y 1700 BHP, se elaboraron V capítulos, de los cuales se destaca lo siguiente:

Capítulo I, aborda el planteamiento del problema, se establecen los antecedentes que explican el origen de la problemática en discusión, la importancia de su pronta solución, el alcance y delimitación del proyecto de diseño, además de los objetivos general y específicos.

Capitulo II, contempla el estado del arte, en donde se citan los diferentes puntos de vista y aportaciones de los autores de las investigaciones, proyectos técnicos, manuales, artículos, de los cuales se tomaron como referencia y guía para la elaboración de este proyecto de diseño.

Capitulo III, el cual habla sobre el marco metodológico, aquí se encuentra las técnicas, métodos y procedimientos utilizados para recolectar datos, procesar información y desarrollar el presente trabajo de forma ágil y eficiente. en donde se encontrarán las ecuaciones, cálculos y resultados obtenidos, los cuales permiten definir las dimensiones de los tanques de almacenamiento, tuberías, distribuidor de combustible, con dichos resultados también fundamentan la selección de bombas de recepción, trasvase y calderas, las cuales se utilizan dentro del sistema de combustible dual diésel-bunker a diseñar.

Capitulo IV, se presenta el diseño del sistema de combustible dual diésel-bunker, para un grupo de calderas con capacidades entre 300 y 1700 BHP, el presupuesto estimado para su implementación, el análisis costo beneficio del proyecto, las conclusiones y recomendaciones sugeridas por los autores.

Para la elaboración de diagramas, se utiliza como herramienta de trabajo el software de dibujo AutoCAD 3D, el cual permite elaborar diagramas P&ID, apropiado para el diseño de tuberías y componentes de instrumentación relacionados con el flujo del producto a transportar, también se utiliza el software SolidWorks con el cual se elabora el diseño en 3D y planos estructurales del proyecto, esto con el fin de mostrar con mejor detalle y comprensión el funcionamiento del sistema de combustible dual a presentar.

Con el uso de estas herramientas y otros programas de simulación se busca presentar un diseño eficiente que le permita contemplar a los autores, todas las posibles variables a intervenir dentro del sistema, por ejemplo, temperatura, caudal, presión, potencia, etc. Todo esto con el fin de tener resultados precisos en el dimensionamiento estructural, una correcta selección de equipos como bombas y válvulas, además de definir la tasa de consumo de combustibles y el porcentaje de mezcla apropiada, según el régimen de trabajo que se proyecte para el grupo de calderas.

Al cumplir con estos puntos, los autores esperan afianzar sus conocimientos técnicos y científicos en el diseño de este tipo de proyectos, servir como referente a futuras investigaciones relacionadas con el tema tratado en este trabajo, y aportar con la experiencia obtenida durante los años de arduo trabajo y educación.

## CAPITULO I: PROBLEMA

### 1.1 Antecedentes

La mejora de procesos por la aplicación de normativas tanto de calidad, seguridad y medio ambiente en las industrias nacionales o multinacionales que utilizan vapor para elaborar sus productos, les permite consolidarse en el territorio donde se encuentren ubicadas, independientemente del sector en que desarrollen sus actividades comerciales. Consolidarse ante el consumidor permite aumentar la producción de los productos que se ofertan al mercado.

Al aumentar el volumen de producción, las plantas industriales que utilizan vapor para elaborar sus productos, buscan como prioridad tener una eficiencia térmica óptima dentro de los procesos operativos de sus equipos de generación de vapor, lo que les permite garantizar que no se vea afectada la elaboración de los productos que ofertaren, ya que aumenta a su vez el consumo de vapor en los diferentes procesos en que se utilice el vapor. Las industrias que no cuenten con una planta de producción capaz de cubrir la demanda del mercado, pierden clientes o simplemente desaparecen.

Cuando la planta de producción no es capaz de cubrir la demanda de consumo de vapor, las industrias optan por aumentar el número de calderas que disponen con el fin de incrementar la capacidad de generación de vapor que satisfaga la demanda de consumo para cada uno de sus procesos de producción.

Al incrementar la demanda de vapor se incrementa el consumo de insumos y recursos necesarios para la producción de vapor, por ejemplo, el consumo de recursos como agua, aditivos, energía eléctrica, combustible se elevan considerablemente, lo que causaría un problema serio sino se controla de forma eficiente su consumo.

El combustible a utilizar juega un papel importante dentro del proceso de producción de vapor, ya que el poder calorífico que brinda el combustible cuando se combustiona, es necesario para elevar la temperatura del agua dentro de la caldera, por esto es vital elegir el combustible adecuado ya que el rubro económico que se necesita para la adquisición del combustible es elevado.

El consumo de combustible debe ser calculado de acuerdo a la cantidad de vapor que requiera la planta para cumplir con la demanda requerida en los procesos de elaboración de los productos que oferten, una falla en el cálculo de las dimensiones de los tanques de almacenamiento de combustibles, la potencia de las bombas y los tramos de tuberías, causaría un desabastecimiento del combustible, además de fallos y

falencias en el sistema de generación de vapor y paralización del proceso de producción de productos, incurriendo en pérdidas económicas considerables.

Los profesionales e instituciones que cuenten con experiencia y certificación necesaria para diseñar una red de distribución de combustible que contemplen todas variables que intervienen en el proceso de transporte de combustible desde los tanques de almacenamiento hasta los quemadores de combustible de la caldera, son muy pocos, lo que hace costoso dichos diseños e implementaciones.

## **1.2 Importancia y Alcance**

La elección del combustible a utilizar en una caldera es importante ya que este recurso es consumido en grandes cantidades en una planta industrial, dependiendo del número de calderas y el tiempo de operación de las mismas, por este motivo es uno de los rubros más fuertes dentro de los costos de operación de una empresa.

Motivo por el cual la presente propuesta de diseño, es dirigida a utilizar como combustible principal la combinación de los combustibles diésel-bunker, en una proporción de 20% diésel y 80% bunker, ya que ambos combustibles tienen un alto poder calorífico, y al combinarlos reduciríamos la emisión de metales pesados al ambiente por los gases producidos en la combustión y además costos de operación, ya que el bunker es uno de los combustibles menos costoso del mercado.

El correcto dimensionamiento del sistema de combustible y sus diferentes partes, como, por ejemplo, los tanques de almacenamiento, permitirá cumplir con la demanda de consumo de combustible en las calderas de forma diaria, semanal o mensual. Determinar la potencia de las bombas de combustible requeridas para el sistema permite mantener un caudal de combustible apropiado para que no haya un exceso o carencia de combustible que alimente a los quemadores de las calderas. Lo cual es contraproducente ya que puede aumentar los metales pesados que resultan de la combustión del combustible.

Al contar con un sistema dual de combustible, en caso de quedar desabastecido de uno de los combustibles a mezclar, el sistema le permite trabajar de forma normal a la caldera, logrando que el sistema de combustible sea flexible. Esto le da al diseño la capacidad de aprovechar al máximo el combustible a utilizar durante el proceso de generación de vapor.

El diseño de un sistema de combustible dual diésel-bunker, debe estar basado en la capacidad de generación de vapor de las calderas, esto le permite beneficiarse de forma directa a cualquier industria que necesita que sus equipos de calderas, mantengan sus

operaciones con un consumo de combustible eficiente y en las proporciones apropiadas para la generación de vapor, lo cual influye en la disminución de los costos de operación.

Otro grupo que se beneficiaría con este trabajo, son los estudiantes y profesionales, que realizan sus actividades en el área técnica de los calderos, ya que estos por su utilidad y capacidad de generar vapor, están inmersos en las actividades económicas de las empresas industriales, lo que les exige un conocimiento extenso y experiencia certificada en este campo. A los elaboradores de este trabajo les permitirá afianzar sus conocimientos y experiencias adquiridas en este campo, contribuyendo con una propuesta de mejora para el correcto diseño de esta clase de sistemas de combustible dual, así como el dimensionamiento de cada elemento que interviene en el sistema, acorde a la capacidad de generación de vapor para una planta industrial.

### **1.3 Delimitación**

El presente proyecto de diseño de sistema de combustible dual diésel-bunker, se realiza con el fin de que pueda ser utilizado por empresas o industrias que requieran generar 1700 BHP de vapor y que cuenten con un grupo de calderas pirotubulares que tengan una capacidad de generación de vapor entre un rango de 300 BHP a un máximo de 1700 BHP.

Para lo cual se considera como información base a considerar para su respectivo análisis, lo siguiente: que la caldera #1 tenga una capacidad de 800 BHP o 27600 Lb/h, la caldera #2 tenga una capacidad de 600 BHP o 20700 Lb/h y la caldera #3 sea de una capacidad de 300 BHP o 10350 Lb/h.

Las cuales suman una capacidad instalada total de 1700 BHP o 58650 Lb/h.

### **1.4 Objetivos**

#### **1.4.1 Objetivo General**

Diseñar un sistema de combustible dual, que permita combinar y usar diésel-bunker como combustible para alimentar al sistema de quemadores de combustible de un grupo de calderas cuya capacidad de generar vapor varía entre 300 y 1700 BHP.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Determinar las dimensiones de los tanques que se utilizaran para almacenamiento de combustible.
  
- Seleccionar las bombas de combustible a utilizar de acuerdo a las características y régimen de trabajo de las calderas.
  
- Dimensionar y seleccionar las tuberías adecuadas para transportar el combustible hacia diferentes puntos dentro del sistema propuesto.
  
- Estimar el consumo de la mezcla diésel-bunker apropiada que permita mantener la operatividad de las calderas.
  
- Estimar el beneficio económico que obtendría una empresa al utilizar un sistema dual para la alimentación de combustible a las calderas en el sistema de redes de vapor.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Estado del arte

Como se mencionó anteriormente, la necesidad de utilizar calderas para generar vapor, está presente en diferentes sectores industriales debido a la variedad de procesos en donde se puede utilizar vapor, así se manifiesta en investigaciones previas, las cuales demuestran el uso de sistemas de vapor en diversas aplicaciones. Como ejemplo de las aplicaciones de vapor para las industrias del sector alimenticio, las cuales juegan un rol importante, ya que estas son quienes transforman las materias primas obtenidas del agro en un producto terminado.

Para el procesamiento industrial de la maracuyá, se requiere de vapor en varias etapas de la cadena de producción, una de ellas es la de preservación del jugo obtenido de la fruta, es decir se necesita de un proceso térmico de pasteurización el cual elimina los microorganismos y bacterias que afecten al ser humano, otro de los procesos que requiere de vapor es el de concentración y el de refinación en estos procesos se quita el agua que contenga el jugo, conservando el sabor y aroma de la fruta. (Alvarado, 2001, págs. 24-28)

En 2001, Alvarado afirmó en las conclusiones de su trabajo, “Cálculo de sistema de vapor para la industria de concentrado de maracuyá”, que, (...) [como una de las variables a considerar se encuentran el consumo de combustible de la o las calderas, las horas de operación de las mismas y el costo por galón de combustible, el cual varía constantemente por factores exógenos] (p.135). Además, “Según los requerimientos de vapor en el proceso industrial del jugo de maracuyá, las condiciones de presión y temperatura en cada equipo térmico, el generador de vapor mas adecuado resultado ser uno pirotubular.” (...). Para garantizar que la caldera opere en condiciones apropiadas para este proceso industrial, “el combustible más adecuado para la operación del generador de vapor en nuestro medio es el Diesel Oil por las diversas ventajas que este ofrece.” (...). El autor también considera que la selección de la bomba de combustible es importante, ya que el sistema de combustible debe mantener un flujo apropiado que satisfaga la demanda de vapor (p. 136). [1]

Como segundo ejemplo, podemos considerar la utilización del vapor en hospitales, aquí el vapor es utilizado para la esterilización de sus diferentes utensilios quirúrgicos, lo que garantiza la eliminación de bacterias y la adecuada inocuidad exigida dentro de sus protocolos de desinfección intrahospitalaria.

Según García & Pilco (2012), entre sus conclusiones relacionadas al sistema de combustible utilizado en la caldera del Hospital de Especialidades “Eugenio Espejo” de la ciudad de Quito, manifiestan que, uno de los factores que producen el cambio

climático es la quema de combustibles fósiles, por lo que se busca implementar mejoras en los sistemas energéticos (...). Que “la confiabilidad de los resultados dependerá de la información que proporcione la planta sobre la producción mensual de vapor en todo el año, así como el consumo de combustible respectivo, pudiendo apreciar una conducta cíclica que permita incluso, proyectar tales resultados”. Además, (...) el uso eficiente del combustible podrá disminuir la cantidad anual de combustible utilizado en las calderas. (García & Pilco, 2012, págs. 91-92)

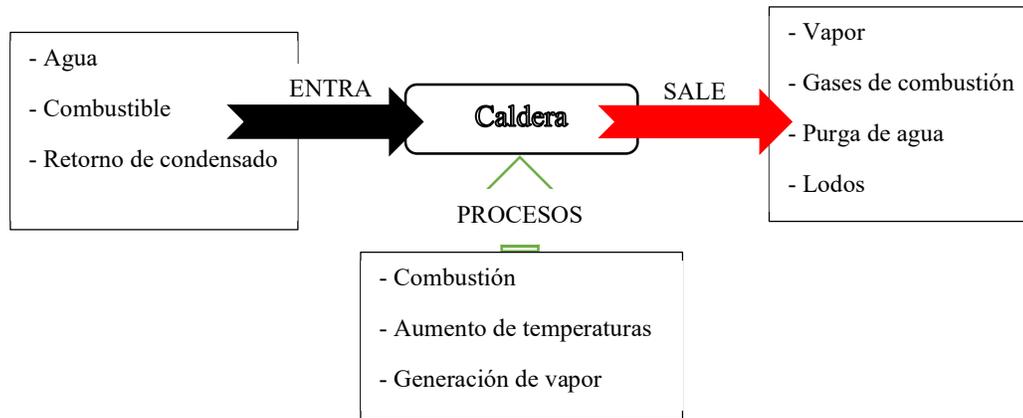
Estos son solo un par de ejemplos donde se evidencia en que sectores se utilizan calderas para la generación de vapor, para diversos procesos industriales, en ambas investigaciones se habla sobre el sistema de combustible, aunque solo a breves rasgos, se plantean varias conclusiones importantes sobre el sistema de combustible para calderas, así encontramos varios trabajos de diseño de calderas y análisis energético, motivo por el cual este proyecto de diseño de sistema de combustible dual, busca definir y analizar todas las variables que intervienen exclusivamente en el sistema de combustible de una caldera de forma detallada, esto con el fin de proveer de información confiable y precisa para quienes deseen utilizar este proyecto como guía, ya sea en el campo académico o laboral.

## **2.2 Fundamentos Teóricos**

A continuación, se describe cada uno de los componentes que intervienen en el sistema de combustible de una caldera.

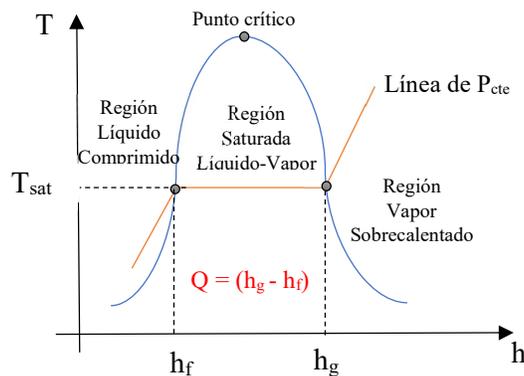
### **2.2.1 Caldera**

Se denomina caldera, a la máquina térmica que, mediante la transferencia de calor a presión constante es capaz de producir un cambio de fase del agua en estado líquido para generar vapor. Para lograr el cambio de estado en el agua y generar vapor, en la caldera se requiere de la combustión de un combustible ya sea líquido (diésel, bunker), sólido (carbón, madera, desechos, etc.) o gaseoso (glp), dicha combustión produce la energía térmica necesaria para transformar el agua en vapor. (Guiot & Ramos, 2018, pág. 22)



**Figura 1.** Esquema de procesos de una caldera  
*Elaborado por: Los Autores*

El calor producido por el combustible a utilizar es directamente proporcional al poder calorífico de dicho combustible, es decir a mayor poder calorífico del combustible mayor será el calor suministrado por el mismo. El calor necesario para que la caldera produzca el cambio de estado en el agua, resulta de la diferencia entre la entalpia del vapor sobre calentado y el líquido saturado según la curva de presión constante y temperatura de saturación, según se muestra en la figura 2.



**Figura 2.** Gráfico T-h  
*Elaborado por: Los Autores*

Las calderas se caracterizan por la disposición de sus componentes y mecanismos tanto internos como externos, además de su forma de operación, en el mercado se encuentran calderas tipo acuotubular y pirotubular, las cuales se diferencian por la forma de circulación del agua, los gases, y las presiones de trabajo a las que se encuentren sometidas.

### **2.2.1.1 Las Calderas Acuotubulares**

En este tipo de calderas, encontramos que, el agua que se va a transformar en vapor, circula por la parte interna de las secciones o tramos de tuberías existentes dentro de este tipo de calderas, mientras que los gases producidos por la combustión de combustibles sólidos como el carbón, tienen contacto con la parte externa de las mismas tuberías por donde circula el agua.

Las tuberías dentro de este tipo de calderas pueden ser medianas o grandes, las cuales conectan con un domo ubicado en la parte superior de la caldera, este domo almacena el vapor generado en el proceso de transferencia de calor. La gran cantidad de tubos utilizados en estas calderas permite generar un mayor volumen de vapor, y mantener elevadas cargas de presión de operación.

Un aspecto a considerar como importante en este tipo de calderas, además de su gran tamaño de diseño y las altas presiones a las que el vapor fluye en el sistema, es que el agua utilizada debe ser de buena calidad, es decir debe cumplir con los parámetros establecidos en la normativa de operación vigente para este tipo de calderas, ya que el agua a utilizar es una variable muy sensible para las mismas, por lo que, debe estar libre de sales, ya que pueden fallar en su operación si el agua no cumpliera con los parámetros mínimos de operación establecidos por el fabricante. (Tapia & Luna, 2019, pág. 10)



**Figura 3.** Caldera Acuotubular de Bunker, Marca Faber Burner  
**Fuente:** Los autores

En las calderas acuotubulares se requiere de agua sin sales, para que internamente en los tubos por donde circule el agua no se obstruyan, y no se impida la transferencia de calor, a continuación, en la tabla I, se describe las diferencias entre una caldera acuotubular y una piro-tubular, estas diferencias aportan con ciertos criterios a considerar al momento de seleccionar una caldera.

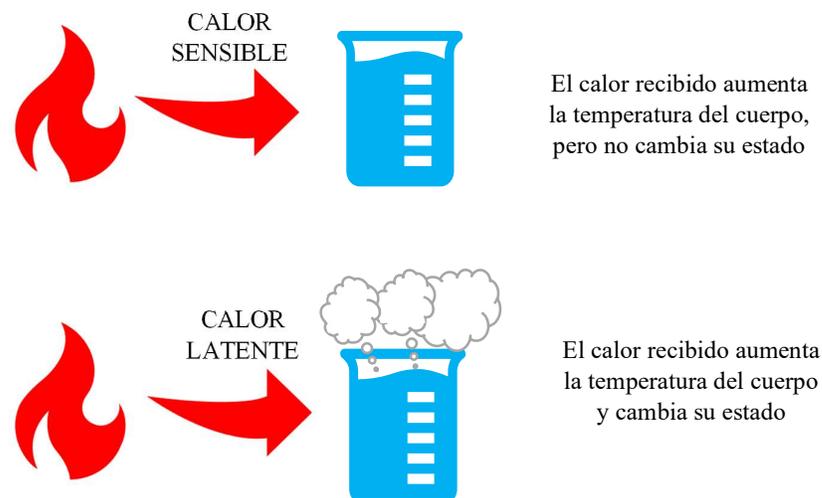
**Tabla 1.** Matriz de Criterios para la Selección de Calderas.  
**Fuente.** Comparativa de Caldera Piro-tubular y Caldera Acuotubular.

<b>Criterios a Considerar</b>	<b>Calderas Piro-tubulares</b>	<b>Calderas Acuotubulares</b>
<b>Calidad del agua a utilizar</b>	Menores exigencias en cuanto calidad, es posible el funcionamiento con salinidad en el agua.	Mayores exigencias de calidad, es necesario un nivel mínimo de salinidad en el agua para su funcionamiento.
<b>Mantenimiento</b>	Costos bajos de mantenimiento, tiempos de paralización menores.	Mantenimiento costoso, tiempos de paralización prolongados.
<b>Inspecciones periódicas</b>	Revisiones rutinarias, seguida de una prueba hidrostática, en ocasiones son necesarias pruebas de tipo no destructivo.	Además de las revisiones rutinarias y pruebas hidrostáticas son necesarias mediciones con ultrasonidos, es decir, pruebas costosas tanto en tiempo como en dinero.
<b>Costos y gastos en fabricación y calidad</b>	Menores costos y gastos.	Mayores costos y gastos.
<b>Rendimiento del equipo</b>	Mayor por su mantenimiento fácil.	Menor ya que es complejo realizar su mantenimiento.
<b>Características de la carga</b>	Puede aprovecharse el control manual del quemador; cuando caiga por debajo de la carga mínima, el quemador puede apagarse sin problemas.	En el caso de determinados diseños, debe limitarse a la carga parcial; por lo que el quemador no puede apagarse manualmente.
<b>Capacidad de acumulación</b>	Debido al volumen de agua, estos equipos no son susceptibles a las variaciones de presión y carga.	Sensibles a las fluctuaciones de presión y cargas resultantes de los diversos procesos.
<b>Necesidades de espacio físico</b>	Área reducida	Área extensa
<b>Tiempo necesario para el montaje y puesta en marcha inicial.</b>	Menor.	Más extenso.

### 2.2.1.2 Las Calderas Piro tubulares

A diferencia de las calderas acuotubulares, en donde el agua es la que circula por el interior de los tramos de tuberías internas de la caldera, en las calderas piro tubulares son los gases producidos por la combustión del combustible lo que circula en el interior de los tramos de tuberías sumergidas en agua al interior de la caldera.

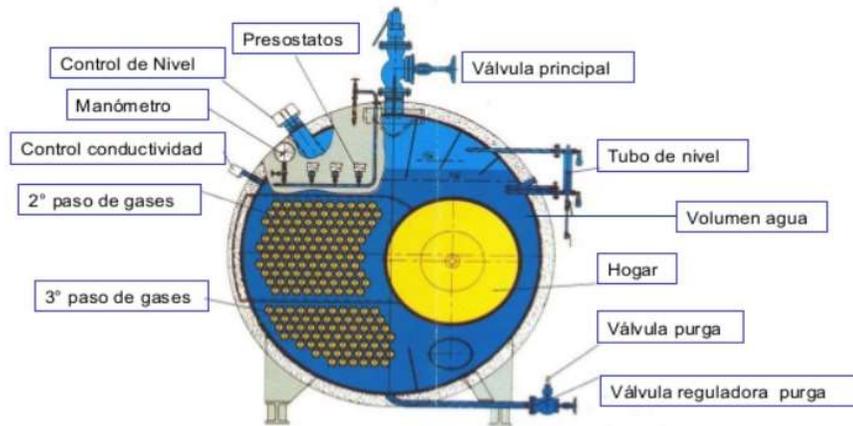
Los gases resultantes de la combustión, intercambian calor por convección y conducción, por convección debido a la termodinámica de sus átomos y conducción por el contacto directo de los gases con las tuberías. Los gases al circular a presión y altas temperaturas, transmiten a la tubería calor sensible ya que dicho calor no cambia la estructura molecular de las tuberías, el calor transferido por la tubería al agua es calor latente de vaporización ya que dicha energía logra cambiar de estado del agua pasando de líquido a vapor. (Arnabat, 2020, párr. Calor sensible y latente)



*Figura 4. Calor Sensible y Latente  
Elaborado por: Los Autores.*

Entre las características presentes en una caldera piro tubular encontramos lo siguiente:

1. La forma de circulación de los gases dentro de la caldera, ya que esta acción es realizada en diferentes direcciones y alturas al interior de la caldera, antes de que los gases salgan por la chimenea de escape al ambiente. En donde podemos encontrar calderas pirotubulares de un paso, en donde los gases circulan en una sola dirección, calderas pirotubulares de dos pasos o retorno simple, en donde los gases siguen una secuencia de dos niveles, calderas de tres pasos o de retorno doble, en donde los gases pasan por tres niveles, como se muestra en la figura 5, y de cuatro pasos o de retorno triple, en donde los gases pasan por cuatro niveles.



**Figura 5.** Partes de Una Caldera

**Fuente:** <https://es.slideshare.net/ceciliav25/eficiencia-en-calderos>

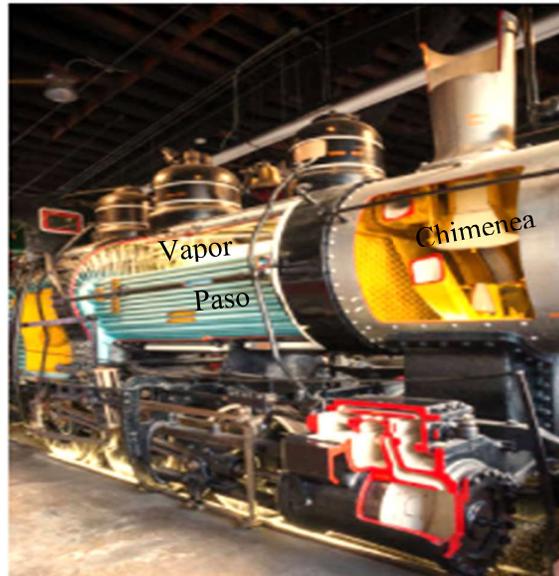
2. El combustible utilizado en su proceso de funcionamiento y operación, el combustible a utilizar puede ser seleccionado por su poder calorífico y costo en el mercado, como se muestra en la figura 6. Entre los combustibles para calderas pirotubulares podemos encontrar los combustibles sólidos como el carbón, combustible líquido como el diésel, combustible gaseoso como el GLP, combustible especial como biodiesel, bagazo, biomasa, etc.



**Figura 6.** Costo de Combustibles al 29 de Junio del 2020

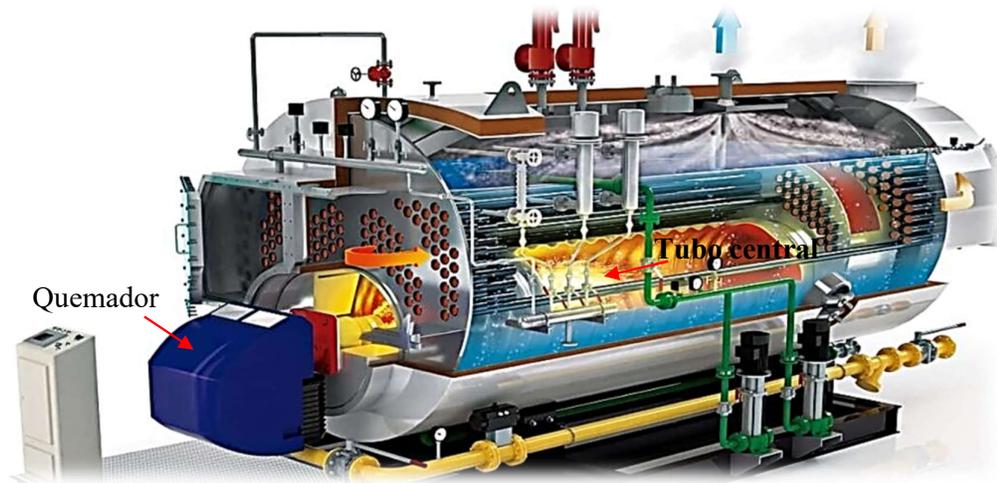
**Fuente:** <https://www.controlhidrocarburos.gob.ec/precios-combustibles/>

Las calderas pirotubulares que utilizan combustibles sólidos como el carbón, la madera o biomásas, presentan en sus diseños un buen aislamiento en el hogar, ya que estas calderas tienen un hogar dimensionado acorde a la proporción de volumen del sólido a quemar, y al ser este hogar amplio como por ejemplo la caldera de una locomotora a vapor, como se muestra en la figura 7, aquí se producen pérdidas de energía calorífica por convección y radiación.



**Figura 7.** Caldera de Locomotora, Combustible Sólido  
**Fuente:** <https://www.alamy.es/imagenes/caldera-de-locomotora-de-vapor.html>

En cuanto a las calderas pirotubulares que utilizan combustibles líquidos (diésel, biodiésel, bunker) y gases GLP o gas natural, se diferencian de las descritas en el párrafo anterior por el tamaño del hogar, básicamente para estos tipos de combustibles líquidos o gases encontramos calderas de llama alargada donde el hogar se lo conoce como hogar integral, las cuales se reconocen por ser un tubo central sumergido en agua, como se muestra en la figura 8 y 9 respectivamente.



**Figura 8.** Caldera Pirotubular, Combustible Líquido o Gas  
**Fuente:** <https://tratamientodeaguass.com/tratamiento-de-aguas-para-calderas/>



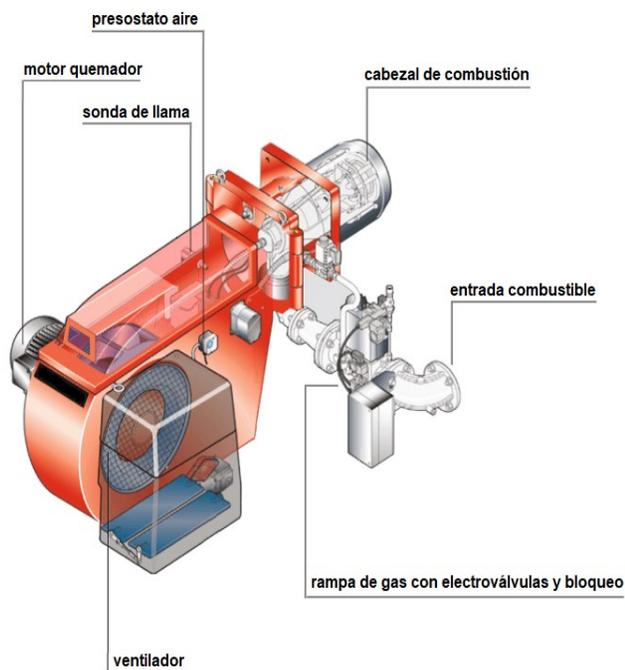
**Figura 9.** Caldera Pirotubular, Marca Fulton 1500HP  
**Fuente:** Los Autores

Tanto en las calderas que utilizan combustibles sólidos como las calderas que utilizan combustibles líquidos, la llama producida por la quema del combustible, transfiere calor por radiación hacia las paredes del hogar llamado también cámara de combustión.

## 2.2.2 Quemadores

Se puede definir como quemador a aquellos equipos en donde ocurre la combustión o quema del combustible, dicho combustible puede ser sólido, líquido, gaseoso o una combinación alterna de ellos. La función principal del quemador, es de realizar la mezcla de aire combustible, en donde la adecuada proporción del % del oxígeno y del % de combustible se combinan para producir una reacción química, la cual, al tener contacto con una chispa de ignición, producen una llama de la cual se obtiene energía.

Los quemadores están conformados por varios componentes, entre los cuales están: la caja de aire, el dámper, el registro, el atomizador, el refractario, el difusor. La adecuada operatividad de estos elementos o componentes, logran estabilizar y ajustar la flama, acorde al diseño o dimensión del hogar y la demanda de energía requerida por la caldera. (Torres & Rivera, 2015, págs. 32-39)



**Figura 10.** Quemador

**Fuente:** <https://www.pirobloc.com/wp-content/uploads/2017/08/fig-2-quemadores.png>



*Figura 11. Quemador Weishaupt, Caldera Bosh  
Fuente: Los Autores*

#### ***2.2.2.1 Caja de aire***

La caja de aire, es el protector o carcasa del quemador, la cual permite el paso del aire hacia los registros, con lo que cumple la función de distribuir el aire de forma uniforme para obtener una mezcla aire combustible balanceada.

#### ***2.2.2.2 Dámper***

El dámper o compuerta del quemador, al igual que en con la polea de un motor, su función es de mantener un equilibrio en el funcionamiento del quemador, el dámper controla el ingreso de aire, básicamente es una o varias aletas ubicadas en la entrada de succión o descarga de aire del ventilador, dichas aletas proporcionan un flujo de aire laminar ya que este es uniforme.

### 2.2.2.3 Registro

Este mecanismo es el encargado de distribuir de forma eficiente y adecuada el flujo de aire hacia el refractario, por su diseño, permite dar forma y estabilidad a la flama ya que crea un flujo del aire con movimiento giratorio.



*Figura 12. Registro y Cañón Atomizador, Caldera Colmaquinas  
Fuente: Los Autores*

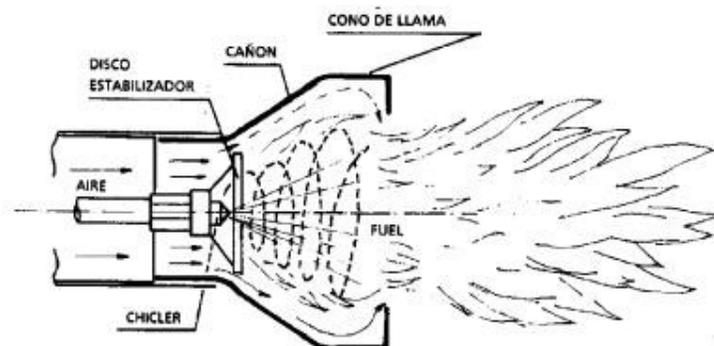
### 2.2.2.4 Cañón Atomizador

El cañón atomizador es un componente mecánico, cuya función es la de transformar el combustible líquido en gotas extremadamente pequeñas, mediante la compresión del combustible por medio de bombas de pistón, lo que facilita su mezcla eficiente con el aire presente en la cámara de combustión. Los métodos de atomización del combustible líquido varían acorde la presión de inyección a la que debe someterse el sistema y el tipo de atomizador utilizado. (Severns, Degler & Miles, 2007, pág. 172)

### 2.2.2.5 El Refractario

El refractario es una de las zonas de mayor temperatura en el quemador, aquí se estabiliza la base o foco inicial de la flama como tal, la forma y dimensión del refractario limita la capacidad del quemador, estos pueden ser rectos o divergentes. En los refractarios rectos la base de la flama se forma a la salida del refractario, mientras

que en los refractarios divergentes, la flama inicia dentro de la garganta, en donde se denota una mayor eficiencia en cuanto a estabilidad de flama se refiere.



**Figura 13.** Refractario

**Fuente:** <https://elmaquinante.blogspot.com/2017/12/cau-unidad-3-control-y-funcionamiento.html>

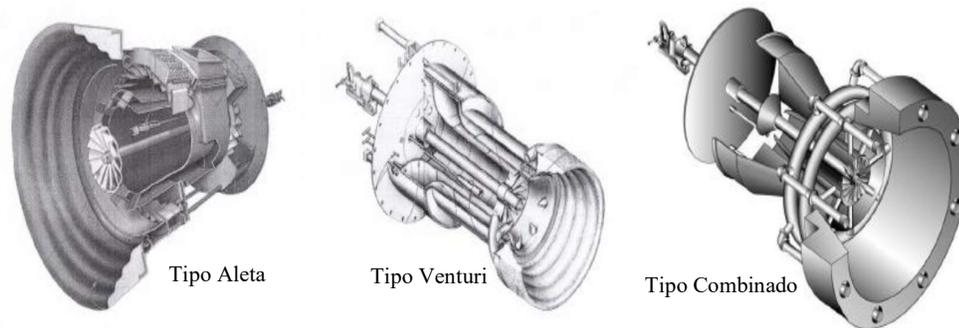


**Figura 14.** Refractario, Caldera Nebraska 2200 HP

**Fuente:** Los Autores

Los quemadores se pueden clasificar de acuerdo al combustible a utilizar en quemadores de combustibles líquidos o quemadores de combustibles sólidos. Los

quemadores también se pueden clasificar por el tipo de registro en, quemador de registro tipo aletas, quemador de registro tipo Venturi y quemador de registro combinado (aleta y Venturi).



**Figura 15.** Quemadores según su tipo de registro  
Fuente: [7]

### 2.2.3 Combustible

Desde la antigüedad, la sociedad ha buscado recursos o fuentes de energía disponibles para utilizarlas en diversas actividades indispensables para el bienestar de las personas, entre estas fuentes energéticas tenemos las renovables y no renovables. Para el desarrollo de este proyecto se considera solo las fuentes no renovables o fuentes convencionales de energía.

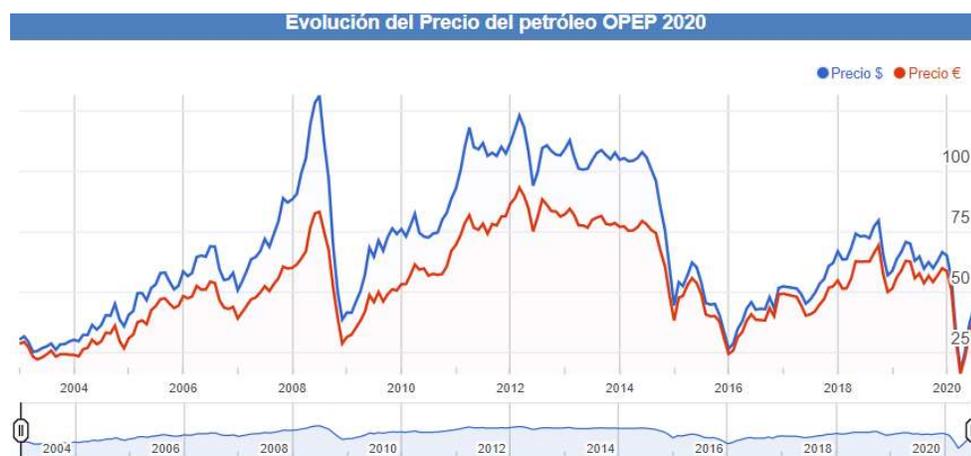
Una fuente de energía no renovable es aquella que se encuentra de forma limitada en la naturaleza y no puede ser regenerada cuando esta se agota debido a su consumo, es decir que, este tipo de energía se consume más rápido de cómo se regenera, a medida que el recurso va disminuyendo se dificulta su extracción, con lo que se genera un impacto en el sector económico y en el medioambiente.

Dichas fuentes o recursos de energía no renovable, son los combustibles, estos pueden ser sólidos (carbón, madera), líquidos (gasolina, diésel, bunker), o gaseoso (GLP, Propano, Butano). La forma de utilizar dichos combustibles para obtener sus beneficios, ha evolucionado a medida que los procesos productivos y tecnologías mejoran, un ejemplo palpable, es la revolución industrial en la cual se utilizaba combustibles sólidos como el carbón para aprovechar su poder calorífico como energía para generar vapor en diferentes actividades productivas de la época.

Es importante recalcar que se debe conocer cómo se produce la energía calorífica de los diferentes combustibles, y los procesos de combustión requeridos para obtener los resultados esperados y hacer una selección correcta del combustible a utilizar en una maquinaria o proceso productivo.

Ya que los costos de los combustibles tienden a variar dependiendo de las condiciones geopolíticas de los países en donde se extraen y refinan, pueden influir directa y drásticamente a los costos productivos en la industria, por este motivo es fundamental tener un adecuado control sobre este recurso.

Una muestra de ello se ve en los combustibles líquidos, ya que provienen de las distintas fases de refinación del petróleo, y sus costos varían de acuerdo al método y tecnología utilizado para su extracción y refinamiento, a continuación, se muestra una gráfica de la fluctuación de los precios del petróleo.



**Figura 16.** Precios del Barril de Petróleo

**Fuente:** <https://datosmacro.expansion.com/materias-primas/opec>

Esta grafica está elaborada con datos proporcionados por la Organización de Países Exportadores de Petróleo “OPEC”, entidad encargada de controlar la producción mundial de petróleo además de proteger y regular los precios del mismo, esto lo logra por medio de una variación en la producción del petróleo, es decir incrementando o disminuyendo la oferta en el mercado. (Datosmacro, 2020, párr. 8-10)

Los combustibles líquidos, independientemente de su costo, son los más utilizados debido a los beneficios que brindan, entre los cuales están su alto poder calorífico, su fácil capacidad de almacenamiento y transporte. Entre los combustibles líquidos derivados del petróleo presentes en el mercado ecuatoriano, encontramos los siguientes:

- Gasolina extra (87 octanos aprox.), super (92-93 octanos aprox.)
- Diesel No. 1, No 2 y Diesel Premium
- Fuel Oil o bunker No. 4A, No. 4B (livianos) y Fuel Oil No. 6 (pesado)

El ente encargado de satisfacer la demanda de combustibles derivados del petróleo en el Ecuador es la Gerencia de Comercialización Nacional de la EP PETROECUADOR, la cual debe garantizar que se cumplan estándares de calidad, seguridad, oportunidad y responsabilidad, respetando al medio ambiente y a las personas. Desde el 2016, la EP PETROECUADOR cuenta con 49 estaciones de servicio propias, 13 depósitos de pesca artesanal además de 203 estaciones afiliadas todas ellas destinadas a la distribución y venta de combustibles. (EP PETROECUADOR, 2016, págs. 48-49)

La demanda total en el Ecuador de combustibles derivados de petróleo para el primer semestre del año 2020 fue de 32.98 millones de barriles, lo cual es un 26.79% menor a la demanda de combustibles derivados de petróleo del primer semestre del año 2019, ver ANEXO 1, esta variación se debe en gran parte a la pandemia producida por la presencia del COVID-19 en el mundo, lo que ha disminuido los costos y el consumo de combustibles debido a los periodos extensos de cuarentenas y distanciamiento social obligatorios en los distintas regiones y países del mundo.

En la tabla 2, se muestra el consumo en barriles de combustibles derivados de petróleo, exclusivamente de los diferentes sectores estratégicos del país durante el primer semestre del año 2020 y su comparación con el mismo periodo en el año 2019.

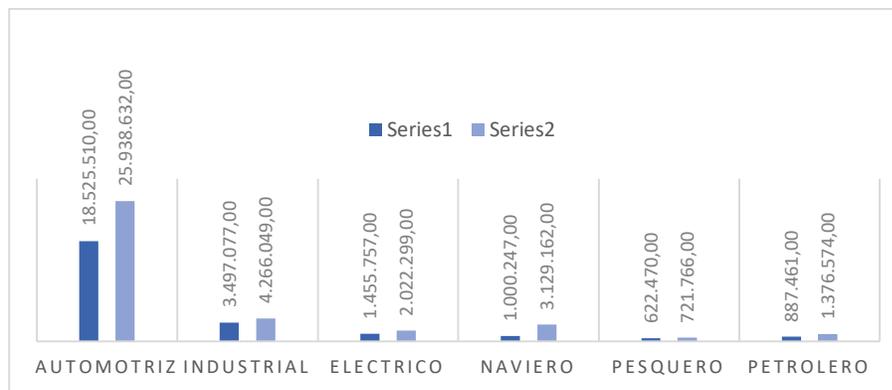
*Tabla 2. Demanda Nacional de Combustibles Derivados del Petróleo por Sector Estratégico (en Barriles)*

*Elaborado por: Los Autores*

*Fuente: [11]*

Sector	Ene-Jun 2020	Ene-Jun 2019	Var%
Automotriz	18.525.510,00	25.938.632,00	-28,58
Industrial	3.497.077,00	4.266.049,00	-18,03
Eléctrico	1.455.757,00	2.022.299,00	-28,01
Naviero	1.000.247,00	3.129.162,00	-68,03
Pesquero	622.470,00	721.766,00	-13,76
Petrolero	887.461,00	1.376.574,00	-35,53
<b>TOTAL</b>	<b>25.988.522,00</b>	<b>37.454.482,00</b>	<b>-30,61</b>

En la siguiente gráfica, se puede apreciar y comparar las variaciones en el consumo de combustibles durante el primer semestre de los años 2020-2019, para los diversos sectores estratégicos del país, en donde la series1, corresponde al año 2020 y la series2 es correspondiente al año 2019.



**Figura 17.** Consumo de Combustibles, Primer Semestre años 2020-2019  
**Elaborado por:** Los Autores

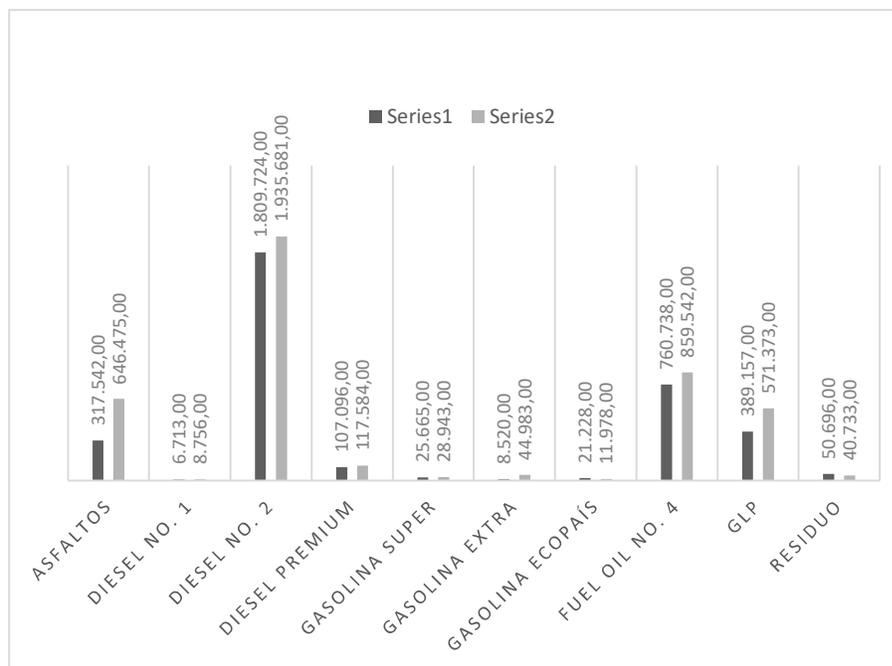
Por efectos de la limitación y los objetivos a tratar en este proyecto, se analizará únicamente el consumo de combustibles en el sector industrial, como se puede apreciar en la figura 17, el sector industrial tuvo una demanda del 13.46% del total de combustibles derivados del petróleo consumidos por los sectores estratégicos durante el primer semestre del año 2020. En comparación con el primer semestre del 2019, el sector industrial tuvo un consumo menor de combustibles en el año 2020 (18.03% menos) respecto al 2019.

Los combustibles utilizados por el sector industrial ecuatoriano se los presenta en la siguiente tabla, los valores están expresados en barriles, los datos corresponden al año 2020-2019.

**Tabla 3.** Demanda de Combustibles del Sector Industrial Ecuatoriano (Bbls)  
**Elaborado por:** Los Autores  
**Fuente:** [11]

Derivados	Ene-Jun 2020	Ene-Jun 2019	Var%
Asfaltos	317.542,00	646.475,00	-50,88
Diesel No. 1	6.713,00	8.756,00	-23,33
Diesel No. 2	1.809.724,00	1.935.681,00	-6,51
Diesel Premium	107.096,00	117.584,00	-8,92
Gasolina Super	25.665,00	28.943,00	-11,33
Gasolina Extra	8.520,00	44.983,00	-81,06
Gasolina Ecopaís	21.228,00	11.978,00	77,22
Fuel Oil	760.738,00	859.542,00	-11,49
GLP	389.157,00	571.373,00	-31,89
Residuo	50.696,00	40.733,00	24,46
<b>TOTAL</b>	<b>3.497.079,00</b>	<b>4.266.048,00</b>	<b>-18,03</b>

Como se mencionó anteriormente, la disminución en el consumo de combustibles en el año 2020 respecto al 2019, se debe principalmente por la cuarentena y restricción a la movilidad asumidas por cada provincia del país, dichas medidas afectaron a la economía y producción de las industrias del país.



**Figura 18.** Combustibles Utilizados por el Sector Industrial Año 2020-2019  
**Elaborado por:** Los Autores

Como se puede apreciar en la figura 18, los combustibles más utilizados por el sector industrial ecuatoriano son el Diesel No. 2 y el Fuel Oil o bunker. En el primer semestre del 2020 el Diesel No. 2, es el 50.75% de la demanda total de combustibles consumidos por el sector industrial, mientras que el Fuel Oil, corresponde al 21.75% respectivamente.

Siendo el Diesel No. 2 y el Fuel Oil, los combustibles con mayor demanda en el sector industrial ecuatoriano, se define que son los utilizados en calderas debido a su aporte de poder calorífico para la generación de vapor, por lo que en el presente trabajo se da a conocer más información acerca de estos combustibles líquidos.

### ***2.2.3.1 Combustible Diesel***

En el Ecuador, los combustibles diésel derivados del petróleo que se comercializan en las diferentes provincias son: Diesel No. 1, el cual es utilizado por maquinaria de combustión externa industrial o doméstica. Diesel No. 2, el cual es distribuido en el territorio ecuatoriano para su uso en maquinaria de combustión interna de los sectores industrial, eléctrico, naviero, pesquero, etc., con excepción del sector automotriz. Y el Diesel Premium, el cual es destinado para motores de autoignición, los cuales sirven de propulsión para los vehículos del sector automotriz del país. (NTE INEN 1489: 2012, pág. 1)

El diésel es un combustible o fuente de energía no renovable, el cual es una mezcla de hidrocarburos que se obtienen a través de la destilación del petróleo a temperaturas que varían entre los 250°C y 350°C a presión atmosférica. En comparación de la gasolina, el diésel tiene grandes cantidades de componentes minerales, lo que le otorga un porcentaje de energía mayor por unidad volumétrica que la obtenida en la combustión de la gasolina. (RECOPE, 2016, pág. 14)

Debido a los efectos perjudiciales al medio ambiente, causados por los gases que resultan de la combustión, existen agencias que establecen normativas para minimizar el impacto ambiental, una de ellas es la Euro V, la cual establece parámetros para disminuir los contaminantes primarios producidos en la combustión y que son enviados al aire, entre los cuales tenemos: materiales particulados “MP”, el monóxido de carbono “CO”, compuestos orgánicos volátiles “COV”, el óxido de nitrógeno “NO<sub>x</sub>”, entre otros materiales que son contaminantes para el aire. (educarchile, 2020, párr. Diesel y el medioambiente)

Otro de los compuestos que causan daño al medioambiente es el azufre presente en los combustibles, una alta dosificación de este elemento, puede ser emanado al aire como dióxido de azufre “SO<sub>2</sub>”, el cual puede convertirse rápidamente en ácido sulfúrico. Por esto, reglamentaciones como la del Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 75.02.17:13 para Productos derivados del Petróleo, establece entre las especificaciones técnicas del combustible diésel, que, el contenido de azufre no sea mayor a 500ppm o 0.05% m/m (% masa/masa). Al reducir el contenido de azufre en el combustible diésel, se logra reducir la emisión de este material al aire, además de reducir la corrosión y el desgaste de los elementos que estén en contacto con los ácidos que se forman en la cámara de combustión. [13]

### *Características del Combustible Diesel*

Entre las principales características del combustible diésel se encuentran las siguientes:

- a) **Curva de Destilación.** – la función de la curva de destilación es la de indicar si la composición físico-química del combustible es apta para ser utilizado. La destilación de un 50% de la fracción de volumen en un rango de temperatura de 250 a 300°C, permite que la potencia de la maquinaria sea estable al acelerar. La destilación al 90% se da a temperaturas entre 300 a 360°C, esta destilación ayuda a disminuir la presencia de componentes contaminantes en el combustible, lo que ayuda a disminuir los compuestos tóxicos que se forman durante la combustión. [13]
- b) **Flash Point.** – temperatura o punto de inflamación de una sustancia, es la temperatura mínima en la que, el combustible almacenado forma vapores, los cuales se mezclan con el aire, y al pasar una llama este se inflama. Por seguridad al almacenar y manipular combustibles, el rango de temperatura de inflamación del combustible es mínimo de 52°C.
- c) **Azufre.** - el azufre es un elemento que se encuentra presente de forma natural en el petróleo y los combustibles derivados del mismo, durante el proceso de combustión el azufre reacciona con el oxígeno formando dióxido de azufre “SO<sub>2</sub>”, o la vez hidrolizarse formando “H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>” el cual se lo conoce como ácido sulfúrico, al encontrarse libre en la atmosfera este acido puede formar lluvias acidas. Este es uno de los motivos por lo que se necesita verificar que el combustible contenga las más bajas cantidades de azufre, las cuales no deben exceder de 500ppm.
- d) **Viscosidad.** – se define como viscosidad a la capacidad de fluir o desplazarse de un líquido, mientras mayor sea la viscosidad del líquido este tendrá más resistencia a fluir o desplazarse libremente sobre una superficie.
- e) **Cetano.**- el índice o número de cetano, permite conocer que tan rápido el combustible tarda en detonar o inflamarse dentro de la cámara de combustión. Mientras más alto es el número de cetano en el combustible, se produce de forma más rápida la inflamación del mismo en la cámara de combustión.

### 2.2.3.2 Combustible Fuel Oil (Bunker)

El combustible fuel oil o bunker es la mezcla de varias fracciones de petróleo, este combustible se caracteriza por su alto poder calorífico además de su alta viscosidad, en Ecuador encontramos a este combustible, con nombre comercial fuel oil liviano No. 4A y 4B, y el fuel oil pesado No 6. (NTE INEN 1983: 2002, pág. 1)

El combustible bunker, está formado por alcanos (átomos de carbono e hidrogeno), ciclo alcanos (hidrocarburos saturados), y de compuestos aromáticos que ayudan a la síntesis de la cadena de hidrocarburos. La alta viscosidad de este combustible se debe a la gran cantidad de carbonos presentes en las moléculas que lo forman, y esta viscosidad disminuye al aumentar la temperatura del mismo, lo que le permite fluir de forma rápida. Este es un punto importante a considerar cuando se utiliza el fuel oil como combustible, ya que, la alta viscosidad de un fluido puede afectar a los sistemas o mecanismos que intervienen en la operación. [13]

#### *Características del combustible Bunker*

Entre las características del combustible bunker, destacan las siguientes:

- f) **Valor de carbón residual Conradson.** – este es un indicador de la cantidad de hollín o carbón que se forma en los quemadores y en las chimeneas al quemarse el combustible sin presencia del aire, es decir es el material particulado presente en los gases producidos en la combustión del combustible.
- g) **Densidad.** – es la cantidad de masa por unidades de volumen de una sustancia, al igual que en la viscosidad, este combustible es más denso debido a que contiene un mayor número de carbonos en su estructura molecular, sus unidades de medida son el  $\text{kg/m}^3$ ,  $\text{gr/cm}^3$ .
- h) **Pour Point.** – es conocido como punto o temperatura de fluidez, es decir es la menor temperatura a la que un líquido puede fluir o ser bombeado en un mecanismo o sistema.
- i) **Poder Calorífico.** – se refiere a la cantidad de energía producida durante la combustión del combustible mezclado con el aire, en las calderas, esta energía es requerida para la transformación del agua en vapor, sus unidades de medición pueden ser, kcal/kg, Jul/kg.

### ***2.2.3.3 Sistema de Combustible***

El sistema de combustible de una caldera, es el encargado de almacenar, distribuir y suministrar el combustible, sea este, sólido, líquido o gaseoso, en proporciones adecuadas, al quemador de la caldera, en donde se realiza la combustión. Entre las variables a considerar en un sistema de combustible de una caldera se encuentran las siguientes: tipo de combustible a utilizar, densidad del combustible, poder calorífico, volumen de almacenamiento, presión de operatividad, temperatura de flujo, demanda de consumo por volumen de vapor requerido.

Para cumplir con la demanda de consumo por volumen de vapor requerido, se requiere del uso de energía, esta energía debe cubrir la demanda térmica que permita transformar el agua en vapor, por lo que, para liberar el poder calorífico del combustible ya sea sólido, líquido o gaseoso, es necesario un proceso de combustión.

### ***Sistema de Combustible Dual***

El sistema de combustible dual consiste en utilizar de forma simultánea o alternada dos combustibles, este tipo de sistema puede funcionar con la combinación debidamente proporcionada de combustibles sólido-sólido; los cuales pueden ser carbón, bagazo, desechos orgánicos, madera. Combustibles líquido-líquido, como el diésel-bunker, propuesto en este trabajo.

Además de proporcionar un ahorro económico, este tipo de sistemas brinda una disminución de los contaminantes resultantes de los gases producidos de la combustión.

### ***2.2.3.4 La combustión***

La combustión se define como un proceso físico-químico en el cual, un combustible se combina con un comburente, formando una llama la cual es una masa incandescente que emite luz, calor, los gases y cenizas son producto de la reacción de la combustión.

En la combustión se distinguen tres fases, que a continuación se detallan:

- Fase uno, la de Pre-reacción, en esta fase el combustible es descompuesto formando radicales, de Carbono e Hidrogeno para que estos puedan tener una reacción con el Oxígeno.
- Fase dos, la de oxidación, aquí se forma la llama una vez que el radical formado de la etapa anterior se combine con el Oxígeno presente en la cámara de combustión.
- Fase tres, la de terminación, es donde se forman los compuestos denominados gases de combustión.

Para que se produzca la combustión se requiere de tres elementos indispensables, el combustible, el comburente u oxígeno y una fuente de ignición, estos elementos son conocidos en conjunto como el triángulo de fuego, en donde es primordial contar con estos tres elementos juntos para que se lleve a cabo la combustión del combustible.



**Figura 19.** Triángulo de Fuego

**Fuente:** <https://www.cdc.gov/spanish/niosh/mining/topics/polvoRoca.html>

Después que se produce la combustión se generan otros productos, estos dependen del combustible utilizado en el proceso y del tipo de combustión. A continuación, se describen brevemente los tipos de combustión:

- Combustión completa, en donde el combustible es quemado en su totalidad, aquí el carbono y el hidrogeno, los cuales son elementos presentes de forma natural en el combustible derivado del petróleo, producen dióxido de carbono “CO<sub>2</sub>”, H<sub>2</sub>O, nitrógeno “N<sub>2</sub>”, además del dióxido de azufre “SO<sub>2</sub>”. (Avella, 2012, pág. 2)
- Combustión incompleta, en este tipo de combustión el combustible no se quema por completo, esto puede ser debido a que la proporción de combustible es mayor a la indicada o a su vez la cantidad de aire en la mezcla es menor a la requerida, por este motivo se liberan al ambiente productos como hidrogeno “H”, carbono “C”, hidrocarburos “C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>”, monóxido de carbono “CO”, ácidos e hidrácidos de azufre “H<sub>2</sub>S”.

- Combustión estequiométrica, es el cálculo teórico de una combustión, en donde se procura encontrar la cantidad de oxígeno necesaria para que se produzca la quema total de una determinada cantidad o volumen de combustible.
- Combustión con exceso de aire, esta combustión se caracteriza por tener en la mezcla mayor cantidad de aire que de combustible, la cantidad de oxígeno es mayor que el calculado en la combustión estequiométrica, esta combustión se la realiza para asegurar la quema completa del combustible, la consecuencia de esta combustión es la disminución en la temperatura de la llama, por ende, hay una pérdida de calor en el sistema y un aumento en el consumo de combustible. (Fenercom, 2012, pág. 13-16)

#### **2.2.4 Elementos de un Sistema de Combustible para Caldera**

Para un sistema de combustible líquido, ya sea mono o dual, se requiere de los siguientes elementos, detallados a continuación:

##### ***2.2.4.1 Tanque Principal de Combustible***

El tanque principal o reservorio de combustible es aquel que posee una mayor capacidad de almacenamiento en cuanto a volumen de combustible se refiere, debido a que este tanque debe ser capaz de abastecer por completo al sistema por periodos de tiempo prolongados, los cuales pueden variar entre una semana y un mes, esto con el fin de disminuir operaciones de compra de combustible en periodos de tiempo corto.

La capacidad del tanque principal depende del consumo de combustible por hora y los días de operación de las calderas, en el capítulo III, se procede a realizar los cálculos requeridos para determinar la dimensión del tanque principal, para el desarrollo del presente proyecto se necesitan de dos tanques principales, uno para el combustible diésel, y el otro para el combustible fuel oil.

Estos tanques pueden ser horizontales o verticales, en forma cilíndrica o rectangular, además pueden ser ubicados sobre el piso o bajo tierra. Se debe tener en consideración al tanque principal del bunker, ya que la viscosidad del combustible fuel oil es mayor, este tanque necesita de un calentador que permita disminuir la viscosidad del bunker, para facilitar la succión del combustible por la bomba.

#### **2.2.4.2 Tanque Diario de Combustible**

A diferencia del tanque principal, el tanque diario es de una capacidad de almacenamiento menor, esto debido a que abastece directamente a los quemadores de la caldera, esto lo realiza en periodos cortos de tiempo, es decir, entre los turnos de trabajo de un día de operación de la caldera o grupo de calderas.

Para este diseño, el tanque diario es abastecido por los tanques principales, en este caso al ser un sistema de combustible dual diésel-bunker, en el tanque diario se producirá la mezcla de estos combustibles en una proporción de 20% diésel y 80% bunker, y al igual que en el tanque principal para el combustible bunker, se debe de proveer al tanque diario de un sistema o mecanismo de temperatura, el cual permita disminuir la viscosidad de la mezcla de combustible.

Para este tanque al igual que con los tanques principales, puede ser de forma circular o rectangular, horizontal o vertical, sobre el piso o bajo tierra, según sea el espacio disponible por la planta o el diseño de todo el sistema de combustible. Los cálculos para su diseño se encuentran debidamente registrados en el capítulo III.

#### **2.2.4.3 Intercambiador de Calor**

Un intercambiador de calor, es un mecanismo cuyos procesos de funcionamiento están basados en la transferencia de calor, ciencia de la dinámica de fluidos que estudia el intercambio de calor entre cuerpos calientes (fuente) y cuerpos fríos (receptor).

Los intercambiadores son utilizados en procesos industriales, en los cuales se necesite recuperar calor de un cuerpo caliente y cederlo a un cuerpo frío, para que este puede aumentar su temperatura. Para el desarrollo de este trabajo, se precisa el uso de intercambiadores de calor, debido a que, el fuel oil es un fluido que posee una viscosidad alta.

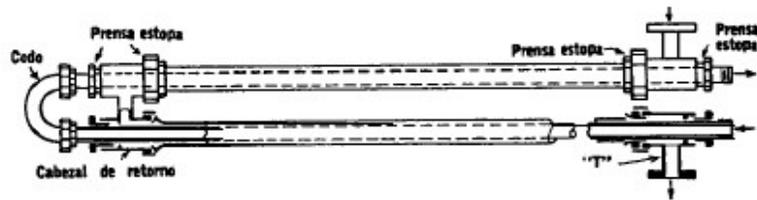
La función principal del dispositivo, es de disminuir la viscosidad del fluido, para que este pueda ser transportado con facilidad por el sistema de combustible en sí, esto es necesario para que el combustible pueda llegar hasta los quemadores y ser atomizado de forma adecuada y rápida, lo que produciría una combustión eficiente.

De los tipos de intercambiadores de calor, podemos mencionar los siguientes:

### 2.2.4.3.1 Intercambiador de calor de tubos concéntricos o doble tubo

Los cuales son utilizados en sistemas cuyas áreas de transferencia de calor, no superan los  $20\text{m}^2$ , ya que a un área mayor disminuye la eficiencia térmica del sistema. (Intriago, 2015, pág. 5)

Este sistema, es uno de los más sencillos de fabricar, debido a que son secciones de tuberías interconectadas por medio de cabezales y codos, en donde circula por la tubería interior el fluido con mayor temperatura es decir la fuente de calor a transferir, y por la tubería exterior circula el fluido o sustancia con menor temperatura es decir el receptor, el cual recibe el calor para aumentar su temperatura.



*Figura 20. Bosquejo Intercambiador de Doble Tubo*  
*Fuente: Procesos de Transferencia de Calor*



*Figura 21. Intercambiador de Doble Tubo*  
*Fuente: [18]*

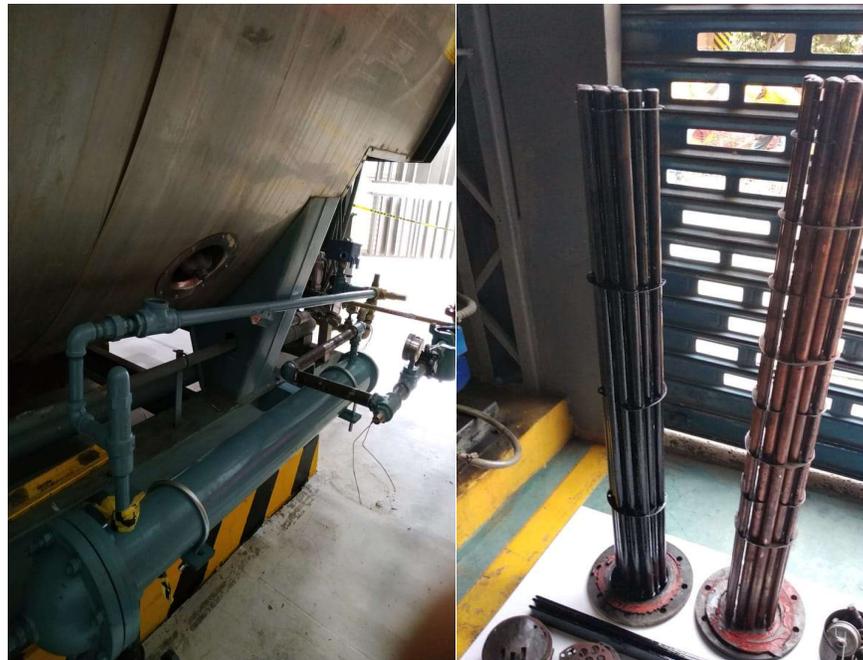
En la figura 20, se bosqueja una sección de tubería para un intercambiador de doble tubo, entre las principales desventajas de este sistema es la pequeña superficie con la

que se cuenta para realizar la transferencia de calor, otra de las desventajas que posee el sistema es que a mayor volumen de fluido a calentar, es mayor la cantidad de tuberías que se requiere, con lo que aumenta la pérdida de fluido por fugas, debido a que se requiere de más accesorios como codos y tes, los cuales son susceptibles a este tipo de fallas. (Kern, 1999, pág. 132)

Para el desarrollo de este proyecto no se utilizará el diseño de este tipo de sistema de intercambiador de calor, debido a las desventajas descritas previamente, por tal motivo se utilizará el diseño de un intercambiador tipo carcaza, el cual se describe a continuación.

#### ***2.2.4.3.2 Intercambiador de Calor Tipo Carcaza***

Este tipo de intercambiadores es uno de los más sencillos sistemas de transferencia de calor utilizados en las industrias, debido a que está formado por una coraza, la cual contiene una sección de tubos espejos, por donde circula el fluido o vapor que actúa como fuente de calor, bridas de entrada y salida tanto para la fuente y el receptor de calor, además cuenta con deflectores que evitan la formación de turbulencias en el interior del equipo.



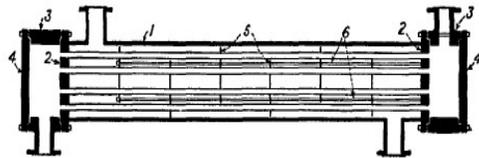
***Figura 22. Intercambiador Tipo Coraza, Caldera Cleaver Brooks***

***Fuente: Los Autores***

Entre algunos de los beneficios de un intercambiador de tipo coraza, tenemos los siguientes:

- Este equipo puede operar con una variedad de caudales para distintos fluidos.
- Por su diseño las caídas de presión son mínimas.
- Es de fácil mantenimiento.
- Su fabricación es económica. [18]

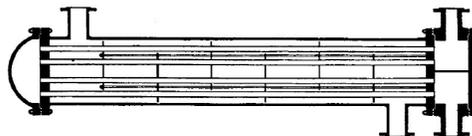
Para este tipo de equipos intercambiadores de calor existen diferentes diseños, los cuales se aprecian en la figura 23.



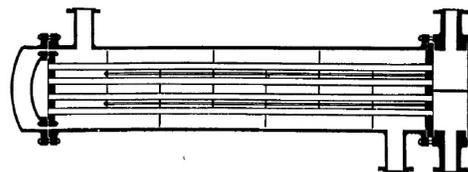
a. Intercambiador Tubular de Cabezal



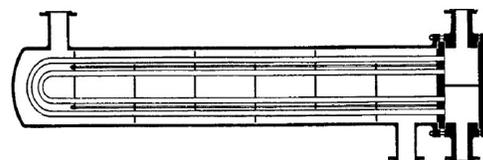
b. Intercambiador Tubular de Cabezal Fijo con Carretes Integrales



c. Intercambiador Tubular de Cabezal Fijo de Dos Pasos



d. Intercambiador de Cabezal Flotante de Arrastre



e. Intercambiador de Tubos en U

**Figura 23.** Modelos Básicos de Intercambiadores de Calor Tipo Coraza

**Fuente:** [19]

Este tipo de intercambiadores constan de una resistencia térmica, integrada al equipo, la cual le permite aumentar la temperatura al fluido receptor hasta que el fluido utilizado como fuente de calor alcance su temperatura de operación efectiva.

Una vez que la fuente de calor alcanza la temperatura de operación adecuada, la resistencia térmica se apaga automáticamente, esta operación ocurre al entrar en funcionamiento la caldera, debido a que esta sensa la temperatura del flujo de vapor que ingresa al intercambiador de calor.

El cálculo y diseño del intercambiador de calor se encuentra en el capítulo 3.

#### ***2.2.4.4 Línea de Vapor***

Para que opere de forma eficiente el intercambiador de calor, es necesario contar con una línea de vapor, el dimensionar de forma adecuada la línea de vapor para este dispositivo, evitara una pérdida de calor y una caída de presión en el sistema de vapor y de combustible.

Cunado una línea de vapor es sobredimensionada, esta genera en su interior mayor cantidad de condensado debido a que se pierde calor mucho más rápido. Cuando la línea de vapor es subdimensionada, se pierde rendimiento en el equipo en donde se va a utilizar el vapor, hay un aumento de presión por la reducción de la tubería.

Otro de los puntos a considerar en el diseño de una línea de vapor es que cuando son tramos cortos de tubería, con presiones mayores a los 30psi, las velocidades que se generan en el interior de la tubería fluctúan entre 25 a 40 m/s, esto varia en tuberías de presión menor a 30psi donde la velocidad generada es menor.

Para determinar el diámetro de la tubería apropiado para la línea de vapor del intercambiador, se deben de considerar el flujo masico y volumétrico de vapor requerido para que el intercambiador opere de forma eficiente.

La línea de vapor para el intercambiador debe tener una línea de trampeo, para que el condensado no regrese a la línea de vapor principal, la cual está formada por los siguientes elementos; filtro el cual debe proteger a la trampa de impurezas.

Una válvula cheque la cual protege a la trampa de una contrapresión de flujo, la cual puede generarse en la línea principal de retorno; un visor que nos permite ver si la trampa esta tapada o tiene fuga.

Válvulas de bola, la cual permite o impide el paso del fluido, además de facilitar las actividades de mantenimiento de aquellos elementos que instalan entre dichas válvulas, como se muestra en la figura 24.



**Figura 24.** Esquema de Una Línea de Vapor para un Intercambiador  
**Fuente:** <https://vaporparalaindustria.com/metodo-grafico-de-interrupcion-de-flujo-en-sistemas-de-vapor/>



**Figura 25.** Modelo Real de Línea de Vapor para un Intercambiador  
**Fuente:** Los Autores

#### ***2.2.4.5 Filtros para Combustible***

Cualquier tipo de sistema es propenso a sufrir contaminación, el sistema de combustible puede ser contaminado fácilmente por alguna sustancia existente en su entorno, dichos agentes contaminantes pueden cambiar las propiedades físico-químicas del combustible a utilizar, con lo que hay un alto riesgo de que ocurra fallas en el proceso de combustión.

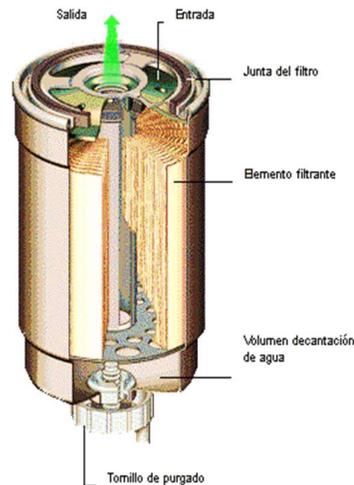
Un combustible puede ser contaminado por partículas como polvo, o partículas metálicas como cobre “Cu”, hierro “Fe”, silicio “Si”, dichas partículas dependiendo de su dimensión ocasionan rayaduras en los componentes rotatorios de las bombas de succión de combustible, esto causa pérdidas de presión y disminución de caudal en las bombas. Otra de las fallas que ocasiona un combustible contaminado con partículas, es la obstrucción o taponamiento del circuito de circulación de alta o baja presión de combustible, lo que puede generar un aumento de presión la cual provocaría rupturas de cañerías o elemento del sistema de combustible.

El combustible también puede ser contaminado por el agua, o cualquier otro fluido, este tipo de contaminación cambia drásticamente la viscosidad del combustible, además de aumentar el volumen este puede formar lodos y herrumbre en el interior del circuito y sus elementos.

Otro de los inconvenientes que ocasiona este tipo de contaminación, es la pérdida de energía calorífica, debido a que se modifica la estructura molecular original del combustible, esto se puede evidenciar en la pérdida de potencia y el desarrollo del equipo al momento de entrar en funcionamiento, además de aumentar la emisión de contaminantes al ambiente.

La forma de que el combustible se contamine puede ser durante el proceso de producción, durante el transporte del combustible hacia distintos puntos, o durante su almacenamiento.

Debido a las variables descritas, es necesario de contar con un elemento que retenga dichos contaminantes, ya que un proceso de combustión eficiente requiere de un combustible totalmente limpio, para asegurar dicha eficiencia el sistema de combustible cuenta con varios filtros que puedan retener las impurezas y separar el agua si se encontrara el combustible contaminado.



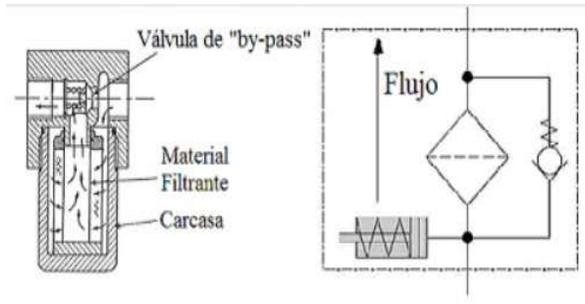
**Figura 26.** Filtro Separador de Agua

**Fuente:** <https://www.monografias.com/trabajos104/motor-diesel/motor-diesel4.shtml>

Este grupo de filtros forman un subsistema, ya que, en el proceso de filtración de combustible, trata de que los filtros primarios retengan las partículas de mayor diámetro del total de partículas contaminantes que contenga el combustible, y que con los filtros secundarios atrapen las partículas de menor diámetro de contaminantes restantes, por consiguiente, el sistema de filtración debe garantizar eliminar la totalidad elementos contaminantes presentes en el combustible. (Widman International, 2019, párr. 5-6)

La normativa ISO 4406, establece parámetros de que ayudan a la verificación y control de contaminantes presentes en los fluidos como por ejemplo aceites, y esto se logra mediante un análisis de conteo de partículas, (ver ANEXO 3)

Los parámetros de limpieza o nivel de contaminantes en un fluido están definidos por un código ISO, por ejemplo, para fluidos que van a utilizarse en motores/ bombas de engranajes, el código de limpieza es 19/17/14, la posición de los números determina el tamaño de las partículas contaminantes y los números determinan la cantidad de partículas que deben contener una muestra de 100ml, la primera posición (de izquierda a derecha) es para partículas  $> 4\mu\text{m}$ , la segunda posición es para partículas  $> 6\mu\text{m}$  y la tercera posición es para partículas  $> 16\mu\text{m}$ , según lo establecido en la normativa ISO 4406 – 1999. (Bilbao & Málaga, 2014, pág. 6-12)



**Figura 27.** Diagrama Técnico de un Filtro

**Fuente:** <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn212.html>

La forma técnica de representar en un diagrama hidráulico un filtro o un subsistema de filtración, es dibujando un rombo con una línea de separación que indica la dirección de la tubería de entrada del fluido a filtrar y la salida del fluido filtrado, como se muestra en la figura 27.

Para combustible bunker, se requiere utilizar filtros tipo cesta, los cuales son de acero inoxidable, entre sus veneficios permite contener gran cantidad de sólidos, la cesta permite que dichos solidos sean retenidos dentro del filtro y no contaminen al sistema.

Otra de sus ventajas es que puede ser reutilizado, ya que la cesta es desmontable para que se pueda aplicar una limpieza una vez que el sistema cumpla un cierto tiempo de operación según lo establezca el fabricante.



**Figura 28.** Filtro Tipo Cesta

**Fuente:** [https://es.special-valve.com/din-carbon-steel-basket-type-strainer\\_p49.html](https://es.special-valve.com/din-carbon-steel-basket-type-strainer_p49.html)

#### **2.2.4.6 Bombas de Combustibles**

La bomba de combustible es el dispositivo o mecanismo encargado de transportar el combustible a una determinada presión y caudal, desde el tanque de reservorio hasta los quemadores o dispositivos de consumo, para que el mismo sea mezclado con la proporción adecuada de aire, dicha mezcla sea quemada por acción de una fuente de ignición y se produzca la liberación del poder calorífico.

Para el presente proyecto, se utilizarán bombas de combustible en diferentes puntos del sistema de combustible propuesto por los autores, los puntos o secciones a instalar las bombas son:

- Recepción de combustible.
- Traslase
- Quemadores

A continuación, se describe brevemente las bombas a utilizar en los puntos descritos.

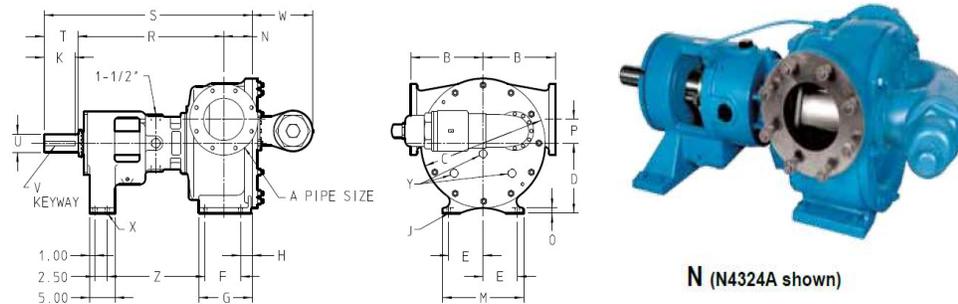
##### **2.2.4.6.1 Bombas de Recepción de Combustibles**

Para el desarrollo de este proyecto, se utilizará una bomba de recepción para cada tipo de combustible, es decir una bomba de recepción para el combustible diésel y otra para el combustible bunker, las cuales se encargarán de la descarga del combustible desde los tanqueros o camiones de transporte de diésel y bunker, hacia el tanque principal o tanque reservorio.

Las bombas de combustibles son bombas hidráulicas que funcionan u operan mediante la hidrostática, debido a que los líquidos pueden adoptar la forma de los recipientes que lo contienen, estos pueden ser trasvasados de un recipiente a otro debido a su capacidad de fluir dentro de un sistema, además de que una variación de volumen genera una variación de presión al fluir, es decir que una bomba hidráulica aumenta la presión de un fluido al forzar la disminución del volumen del fluido a transportar. (Comofunciona, 2020, párra. 7-9)

Existen varios tipos de bombas que realizan esta acción, por ejemplo, las bombas de pistones, bombas de tornillo, bombas axiales, bombas de piñones. Las variables a

considerar para la selección de una bomba de combustible es la presión de trabajo, el caudal de entrada y salida, la temperatura del fluido a transportar.



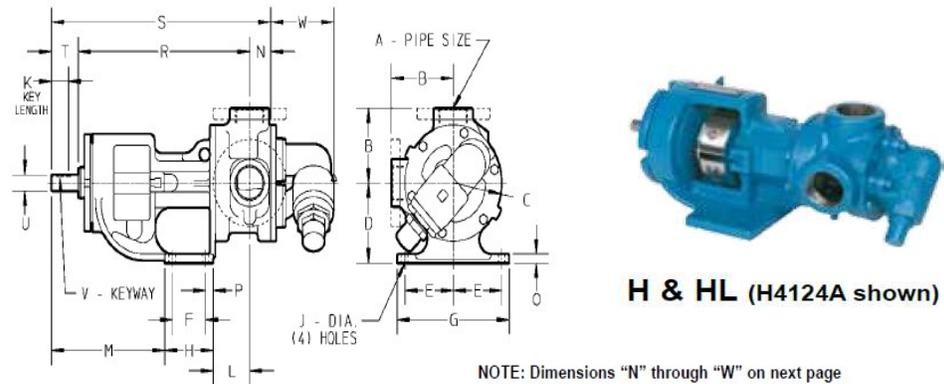
**Figura 29.** Bomba Hidráulica de Piñones, Marca Viking  
**Fuente:** Catalogo de Bombas Viking

#### 2.2.4.6.2 Bombas para Trasvase y Quemadores de Combustible

Se utilizará una bomba de trasvase para cada tanque reservorio, debido a que se tiene que transportar el combustible desde el tanque reservorio o tanque principal de cada combustible hacia el tanque de mezcla, el cual cumplirá la función de un tanque diario, es decir que, el tanque de mezcla deberá satisfacer la demanda de consumo diario de combustible. Al igual que en la sección anterior se utilizará los mismos criterios para la selección adecuada de las bombas.

El tanque diario suministrara combustible a un dispositivo distribuidor por efecto de la gravedad, debido a que en este diseño el tanque diario está ubicado a una mayor altura que la del distribuidor. Se requiere de una bomba de combustible para los quemadores de cada caldera es decir que se necesitan 3 bombas de combustible para esta sección.

Estas bombas tomaran el combustible ya mezclado directamente del dispositivo distribuidor de combustible. Al igual que en las secciones anteriores, para la selección de estas bombas se requiere conocer de antemano, la viscosidad, la presión, el caudal, y la temperatura de operación, para seleccionar las bombas que sean capaces de cumplir con la demanda de combustible requerida por los quemadores.



**Figura 30.** Bomba de Combustible para Quemadores, Marca Viking  
**Fuente:** Catalogo de Bombas Viking

Es importante recalcar que, al momento de instalar las bombas, se debe de instalar un sistema de filtración de combustible para que retenga las impurezas presentes en el mismo antes de que el combustible ingrese a las bombas, además de un medidor de presión a la salida de cada bomba, para que este indique la presión de operación, además de un contador o flujómetro, el cual indicara la velocidad y la cantidad de combustible bombeado en cada sección del sistema.

#### 2.2.4.7 Accesorios del Sistema de Combustible

Entre los accesorios de un sistema de combustible para una caldera, se encuentran los descritos a continuación:

- Manómetro de presión
- Flujómetro
- Indicadores de nivel
- Tuberías
- Codos
- Tees
- Válvulas

### ***2.2.4.7.1 Manómetro de Presión***

Un manómetro de presión o indicador de presión, es un mecanismo que funciona bajo el principio de que todo líquido o gas al ser comprimido ejerce una fuerza sobre las paredes del recipiente que los contiene. Debido a que la fuerza aplicada es proporcional a las paredes del recipiente, se utiliza en algunos manómetros elementos elásticos.

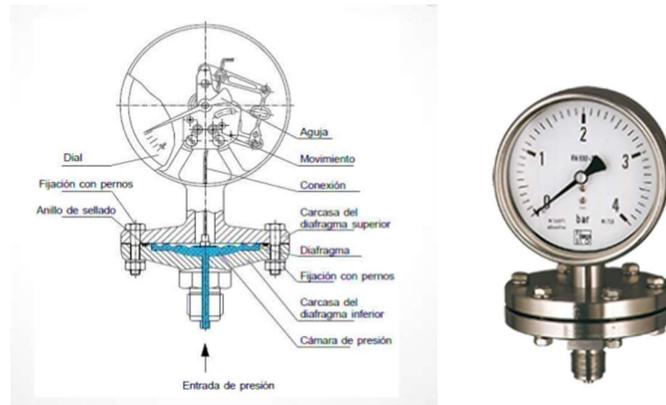
Por este motivo al introducir un fluido al manómetro, la presión ejercida en su interior deforma las paredes del mismo, generando un movimiento el cual es proporcional a la presión a medir. El manómetro de presión al ser elaborado con materiales elásticos, asegura que este al ser deformado vuelva a su forma inicial cuando se deja de ejercer una fuerza al interior del mismo.

Los manómetros de presión pueden ser de tipo diafragma o de tubo de Bourdon, los cuales se describen a continuación:

#### ***Manómetro de Presión Tipo Diafragma***

Este tipo de manómetros se caracterizan por poseer un disco con ondulaciones que le permiten flexionarse al momento de recibir una determinada fuerza, estas ondulaciones le permiten al diafragma actuar a manera de resorte, es decir al momento de quitar la fuerza este vuelve a su estado inicial. (Orlan, 2020, pág. 1-5)

El centro del diafragma es el punto de mayor desplazamiento, este punto está conectado a un brazo eje, el cual transmite el movimiento a la aguja indicadora mediante una amplificación mecánica, la aguja rotará hasta indicar el punto proporcional a la fuerza aplicada en la escala graduada, como se muestra en la figura 31.



**Figura 31.** Manómetro de Presión Tipo Diafragma

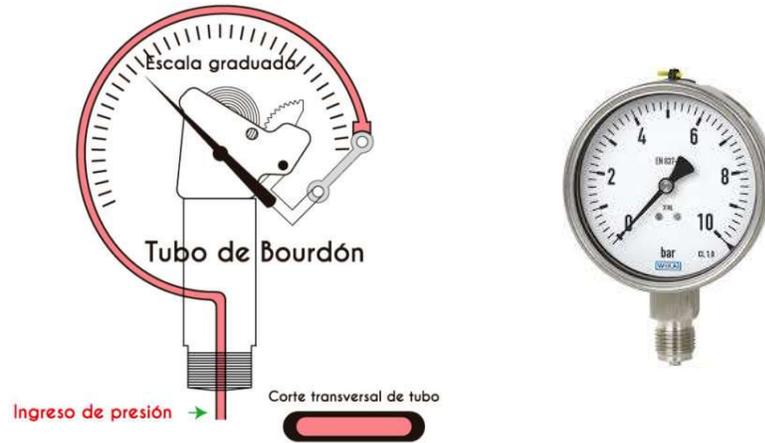
**Fuente:** <https://es.slideshare.net/FranciscoTorresHerrera/elementos-primarios-de-medicin-elsticos>

Los manómetros de diafragma pueden medir la presión relativa, absoluta y diferencial. Al tener la membrana un recorrido corto de despliegue, aproximadamente de 1mm, lo hace un instrumento de mucha precisión, los cuales pueden ser utilizados en medios corrosivos, viscosos o en trabajos a bajas o altas presiones. (Wika, 2016, párr. 1-2)

### ***Manómetro de Presión Tipo Tubo de Bourdon***

A diferencia del manómetro de diafragma, este manómetro tiene un tubo arrollado en forma circular y achatado, abierto en uno de sus extremos para que ingrese libremente el fluido o gas a controlar, y cerrado en su otro extremo para evitar que salga el fluido que haya ingresado. [25]

Una vez que ingresa el fluido, su flujo causa que el tubo empiece a enderezarse, es decir el extremo cerrado empieza a desplazarse en función a la presión ejercida por el fluido dentro del tubo. De la misma manera que el manómetro de diafragma, el manómetro de tubo vuelve a su posición inicial al disminuir la presión en su interior.



**Figura 32.** Manómetro de Tubo Bourdon

**Fuente:** [https://blog.satelimportadores.com/instrumentacion\\_industrial/manometros/](https://blog.satelimportadores.com/instrumentacion_industrial/manometros/)

Una vez que el tubo al interior del manómetro, como muestra la figura 32, empieza a desplazarse, inmediatamente se mueve la aguja sobre la caratula graduada, indicando la presión proporcional a la fuerza ejercida por el fluido. (Satel, 2020, párra. 19)

#### 2.2.4.7.2 Flujómetro

Un flujómetro es un dispositivo destinado a medir el flujo de un fluido o un gas que pasa por una sección de tubería en una unidad de tiempo, y que es utilizado en un proceso industrial. Es necesario medir dicho flujo para determinar la cantidad de volumen o masa de una sustancia que ingresa o es consumido dentro de un proceso, con dicho valor debidamente registrado, se puede obtener el costo por hora del consumo de dicha sustancia. (Dulhoste, Guillen & Riobó, 2020, párr. 1-3)



**Figura 33.** Flujómetro Digital Hidráulico

**Fuente:** <https://spanish.alibaba.com/product-detail/dn50mm-digital-flow-meter-for-hydraulic-oil-turbine-oil-flowmeter-60806197408.html>

Las variables que permiten seleccionar el flujómetro adecuado para el proceso de lectura o medición del paso de combustible hacia las diferentes secciones del sistema de combustible, es decir en la entrada y salida de los tanques de combustibles, son las siguientes:

- Viscosidad del fluido a medir.
- Rango máximo y mínimo de operación.
- Dimensión de las tuberías.
- Presión y temperatura máxima y mínima de operación.

Además de estas variables se debe de considerar las características del flujómetro, ya que se requiere que las lecturas sean lo más precisas posibles, entre estas tenemos: la tolerancia o margen de error, si el equipo debe ser análogo o digital, ya que los datos obtenidos ayudan a determinar los galones por hora de combustible consumido por las calderas.

Con esta información se puede determinar el costo del consumo de combustible, además de proyectar el consumo esperado por la operación en meses futuros.

#### ***2.2.4.7.3 Indicador de Nivel***

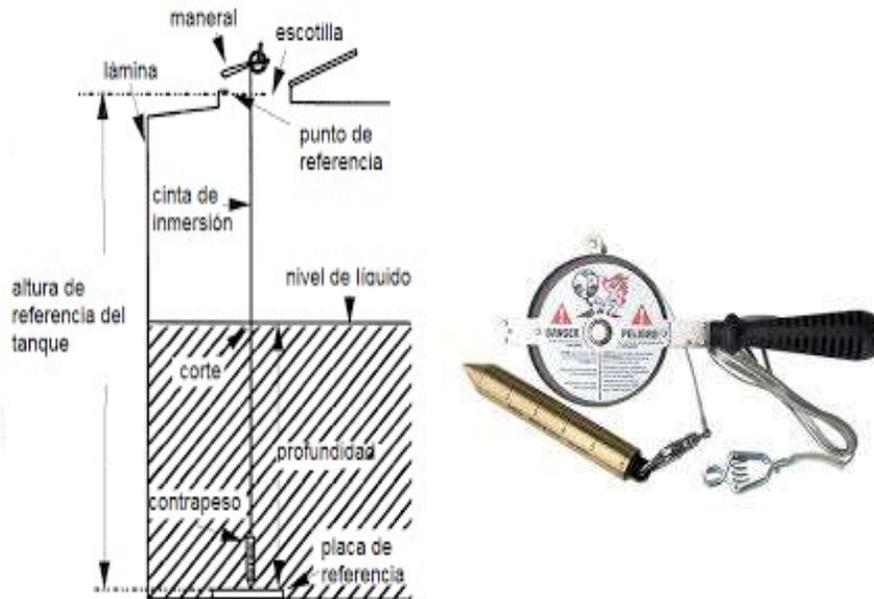
Un indicador o medidor de nivel, es un dispositivo que permite determinar el nivel o volumen de una sustancia líquida o sólida en el interior de un tanque de almacenamiento. Este dispositivo también ayuda al control de llenado de dicho tanque, con el fin de que al llenar el mismo, no sobrepase su capacidad máxima de almacenamiento y se produzca algún derrame.

Para la medición de volumen de líquidos almacenados en un tanque se pueden utilizar un dispositivo electrónico llamado radar de nivel o se pueden medir de forma manual con una cinta métrica conocida también como cinta de aforo.

#### ***Cinta de Aforo (medición manual)***

Para tanques de almacenamiento que contengan líquidos como aceites, crudos y combustibles, se puede utilizar cintas métricas ya que son herramientas de precisión, con el resultado de la medición se puede determinar el volumen de un tanque conociendo la altura y el diámetro del mismo. (CRE, 2014, pág. 18-20)

Entre las cintas de aforo podemos encontrar las cintas de medición de fondo o medición húmeda, dichas cintas utilizan el método de medición por inmersión, las cuales se caracterizan por medir la altura del líquido desde el fondo del tanque hasta la superficie del líquido.



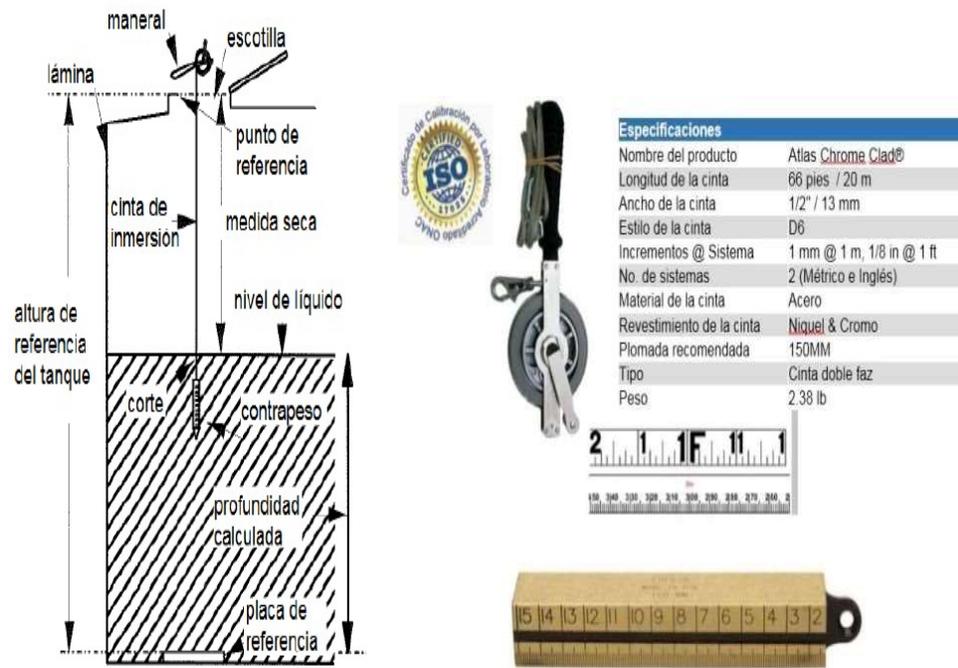
**Figura 34.** Cinta Métrica para Medición de Fondo

**Fuente:** [27]

Otra de las características de este tipo de cintas es de que se requiere un contrapeso en el extremo inicial para que el mismo puede llegar al fondo del tanque, el error máximo permisible o “EMP” cuando la herramienta es nueva, debe ser de  $\pm 1.5\text{mm}$ , y cuando la misma ya está en uso el EMP es de  $\pm 2\text{mm}$ , parámetros descritos en la norma API MPMS. [27]

El segundo tipo de cinta de aforo es la que se utiliza en mediciones en seco o también llamada medición a vacío, la cual ayuda a cuantificar la cantidad de líquido que ha sido removido del tanque, para esto se debe conocer de antemano la altura máxima del tanque a medir. (J-Rohi, 2016, párr. 4)

Este método consiste en tomar como punto inicial de medición la superficie del líquido y el punto seleccionado como referencia, ubicado en la parte superior del tanque, una vez determinada esta distancia, se calcula el volumen vacío o espacio libre del tanque y ese valor se debe restar del volumen o capacidad total del tanque, de esta manera obtenemos la cantidad o volumen disponible de combustible. [27]



**Figura 35.** Cinta Métrica para Medición a Vacío  
Fuente: [28]

Este tipo de cinta se diferencia a la cinta de fondo en su contrapeso, este es de forma rectangular en una cinta de aforo de medición a vacío. Otra de las diferencias de esta cinta es que la operación solo se realiza de forma manual, mientras que con una cinta de fondo su manejo u operación puede realizarse de forma manual o automática.

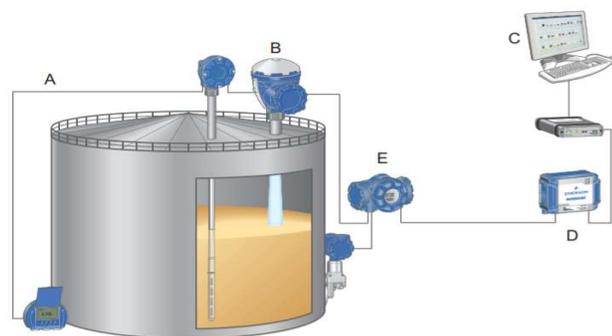
#### ***Radar de nivel (medición automática)***

El sistema de medición automático por medición con radar, utiliza un método de medición parecido al de la cinta de aforo por medición a vacío, ya que determina el volumen de líquido en el interior de un tanque determinando el volumen disponible en su interior y conociendo la capacidad de almacenamiento máxima del tanque.



**Figura 36.** Medidor de Nivel por Radar, Marca Rosemount  
**Fuente:** Catalogo de Radares Rosemount

El sistema de medición por radar envía una señal microonda desde la parte superior del tanque de almacenamiento, dicha señal es reflejada por la superficie del líquido en el interior del tanque, dicha señal de retorno es captada por los radares y enviada a un software de análisis de datos donde se tabulan y muestran los resultados obtenidos. La principal ventaja de estos equipos automáticos es que las lecturas no se ven afectadas por variables como la de temperatura y presión. (Vega, 2020, párr. 1-4)



- A. Tankbus
- B. Rosemount 5900S
- C. Software TankMaster
- D. Concentrador de sistema Rosemount 2460
- E. Concentrador de tanque Rosemount 2410

**Figura 37.** Elementos de un Sistema de Medición por Radar  
**Fuente:** Catalogo de Radares Rosemount

Debido a sus características de funcionamiento y su facilidad de operación, este sistema puede ser usado para medición de sustancias líquidas (agua, aceite, combustibles, etc.) o materiales sólidos (material granulado, arena, harina, cemento, etc.).

#### 2.2.4.7.4 Tuberías

Para el diseño de la red de tuberías de combustible, se debe considerar los siguientes aspectos:

- Condiciones de operación del sistema, presión, temperaturas, flujo, viscosidades del fluido a transportar (diésel, bunker, mezcla del diésel-bunker).
- Determinación de diámetros de las tuberías, considerando las condiciones de las variables descritas en el ítem anterior.
- Material de fabricación, el cual debe soportar las condiciones de operación.
- Accesorios a utilizar, como, soportes, bridas, válvulas.
- Flexibilidad del sistema, resistencia a cargas externas ajenas al proceso de operación normal del sistema.

Para el diseñar un sistema de tuberías para combustible, se debe conocer la normativa ANSI / ASME B31.4, esta normativa fue elaborada por la American Standard Institute y la American Society of Mechanical Engineers, la misma se refiere a tuberías de transporte de hidrocarburos líquidos, gas combustible, amonio, anhídridos y alcoholes.



**Figura 38.** Tubos de acero

**Fuente:** <https://www.bridas-tubos-accesorios-tuberia.com/api-5l-x46-psl1-psl2-linea-de-tuberia.html>

Para garantizar que las tuberías cumplan con la función de transportar el líquido combustible, es recomendable que estas sean fabricadas bajo normativas de calidad como la API 5L y sus diferentes grados, ASTM A 53M y sus diferentes grados, CSA Z245, ASTM A106, ASTM A 252, AS 1163, IPS 190, etc., normativas que estipulan las características físico-químicas que debe de cumplir la tubería para ser utilizadas en el proceso de transporte de líquidos o gases. (Guerrero, 2013, pág. 23)

### 2.2.4.7.5 Codos y Tees

Son considerados como accesorios dentro de un sistema de transporte de líquidos o gases, su función es la de cambiar la dirección del flujo de un fluido dentro de un sistema, obedeciendo a un ángulo determinado según lo especifique y requiera el diseño.

Estos elementos se caracterizan por ser de una sola pieza, por su material de elaboración y por sus ángulos de operación, los cuales pueden ser de 45°, 90° y 180°, como se muestra en la figura 39.



**Figura 39.** Tipos de Codos

**Fuente:** <https://es.slideshare.net/nosequeponeracarajo/accesorios-de-la-tuberia-hg>

Al igual que los codos, las tees, son accesorios que permiten cambiar la dirección del flujo de un fluido o gas, se diferencian en que el codo puede cambiar el flujo hacia una sola dirección de la tubería, pero las tees, pueden hacerlo en dos direcciones.

Las tees son elaborados en una sola pieza, se caracterizan por el material del que están elaborados, estas pueden ser rectas o reducidas, como se muestra en la figura 40.



**Figura 40.** Tipos de Tee

**Fuente:** <https://www.octalsteel.com/wp-content/uploads/2018/09/stainless-steel-tee-types.jpg>

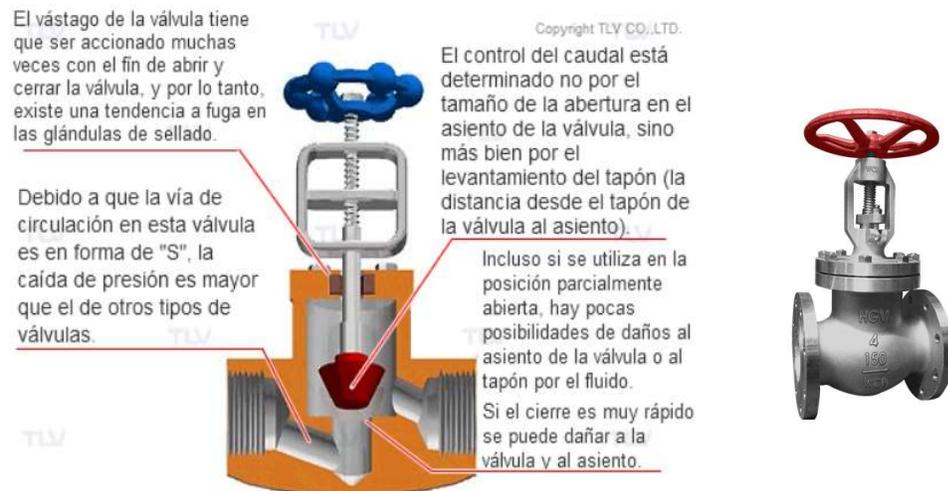
#### **2.2.4.7.6 Válvulas**

Para el presente proyecto, función principal de las válvulas es la de regular la presión y armonizar el flujo de un fluido, es decir iniciar o detener el paso del combustible dentro de un proceso de combustión. Existen varios tipos de válvulas, de acuerdo a la función que desempeñen dentro del sistema de combustible, a continuación, se describe de forma breve las válvulas a utilizar dentro del sistema de combustible para calderas:

- Válvula de globo
- Válvula de compuerta o cierre rápido
- Válvulas direccionales o de vías
- Válvula check
- Válvula reguladora de combustible
- Válvula de alivio
- Válvula de aguja

#### ***Válvula de globo***

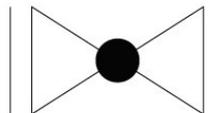
Este tipo de válvulas son las más usadas en un sistema o procesos donde intervienen fluidos líquidos o gases debido a su fácil manipulación por el operario al momento de activarla o desactivarla, otra de sus ventajas es la que esta válvula ayuda a eliminar flujos turbulentos y que estos sean laminares antes de llegar a las válvulas reguladoras de presión.



**Figura 41.** Válvula de Globo

**Fuente:** <https://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/types-of-valves.html>

En este tipo de válvula, el control del caudal es determinado por la distancia entre el tapón de la válvula y el asiento de la válvula, su principal desventaja es que existe una mayor caída de presión que en otros tipos de válvulas, su simbología esquemática se muestra en la figura 34. (TLV, 2020, párr. 16)



**Figura 42.** Diagrama Esquemático, Válvula de Globo

**Fuente:** <https://blog.satelimportadores.com/valvulas/simbologia-de-las-valvulas-tuberia/>

### **Válvula de Compuerta o Bola**

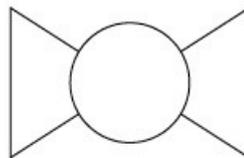
Este tipo de válvulas son conocidas también como válvulas de cierre rápido, ya que se puede conseguir una obstrucción o cierre de forma ágil, rápida y hermética, es decir estas válvulas se utilizan para cortar el paso de un fluido rápidamente en caso de ser necesario.



**Figura 43. Válvula de Bola, Cierre Rápido**

**Fuente:** [31]

Es necesario recalcar que este tipo de válvulas son exclusivamente para realizar apertura y cierre de flujos, por lo tanto, no deben ser utilizadas para regular presión ni flujo, el diagrama esquemático de esta válvula es el que se muestra en la figura 44.



**Figura 44. Diagrama de Válvula de Bola**

**Fuente:** <https://blog.satelimportadores.com/valvulas/simbologia-de-las-valvulas-tuberia/>

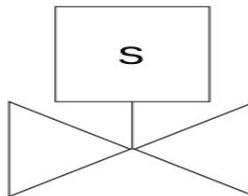
### ***Válvula Direccionales o de Vías***

Este tipo de válvulas son válvulas de control, de mando eléctrico, es decir son electroválvulas o válvulas solenoides, y su función principal es la de regular, permitir o cerrar el flujo de un fluido y enviarlo hacia distintos puntos del sistema según se lo requiera, es utilizada para enviar de forma controlada el fluido de una sección hacia distintos puntos o actuadores.

**Tabla 4. Válvulas Direccionales para Sistema de Combustible**  
*Elaborado por: Los Autores*

Tipos	Descripción	Foto
Válvula direccional 2/2	Dos vías, dos posiciones, esta válvula es utilizada en sistemas donde se requiere un flujo controlado del fluido	 <p>Válvula de Combustión Fuente: Catalogo Asco Express</p>
Válvula direccional 3/2	Tres vías, dos posiciones, esta válvula es para sistemas o actuadores que necesitan retornar el fluido que no se utiliza en el proceso	 <p>Válvula Fuel Oil Fuente: Catalogo Asco RedHal Serie 8377</p>

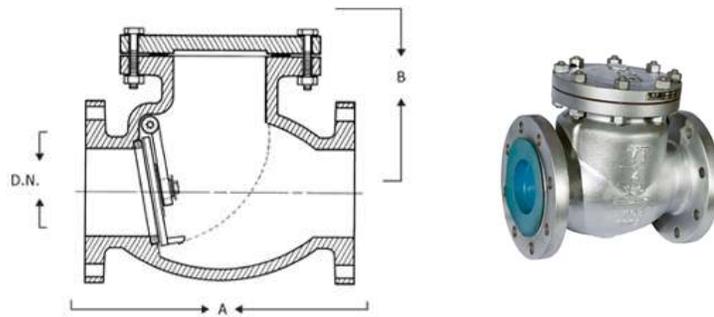
El diagrama esquemático para este tipo de válvulas se muestra en la figura 45.



**Figura 45. Diagrama de Válvula Solenoide 2/2**  
Fuente: <https://blog.satelimportadores.com/valvulas/simbologia-de-las-valvulas-tuberia/>

### **Válvula Check**

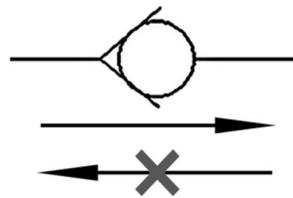
Estas válvulas también se conocen como válvulas antirretornos, se utilizan en las líneas de tubería vertical, ya que las mismas impiden el retorno del fluido por acción de la gravedad, es decir impide que se genere un contraflujo en la línea o sección de la tubería donde es instalada.



**Figura 46.** Válvula Check

**Fuente:** <http://www.eltopollo.com.mx/articulos/evite-inundaciones-usando-una-valvula-check/attachment/diagrama-de-valvula-check/>

Es importante recalcar que estas válvulas, aunque impidan el retorno de un fluido, no evitan la contrapresión que se produzca en cualquier sección de la tubería, el diagrama esquemático de esta válvula se muestra en la figura 47.



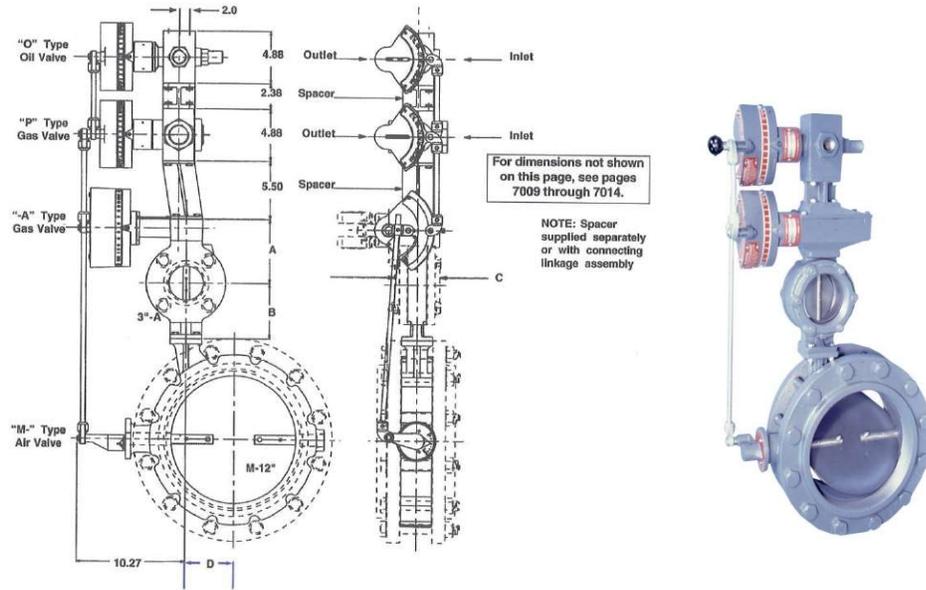
**Figura 47.** Diagrama Esquemático de Válvula Check

**Fuente:** <https://compics.wordpress.com/2016/08/14/componentes-electronicos-el-diodo/valvula-antiretorno-simil-hidraulico-del-diodo/>

### **Válvula Reguladora**

Este tipo de válvula también se la conoce como válvula de control, para el sistema de combustible de una caldera, esta válvula regula y controla el flujo de combustible lo que permite mantener la proporción adecuada de combustible en la mezcla aire-combustible.

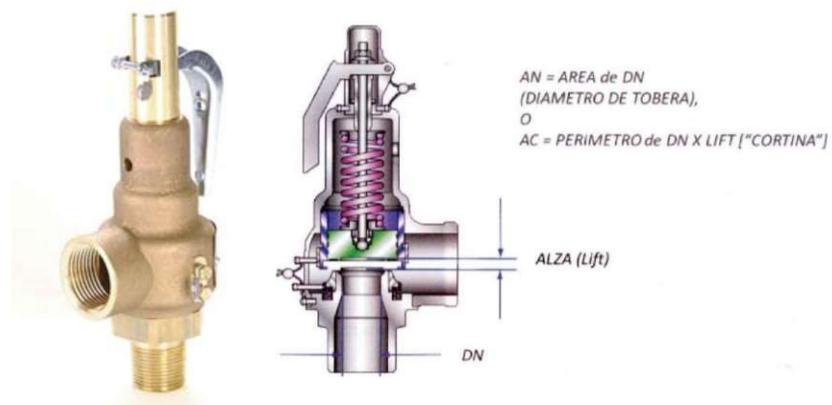
Al momento de ignición de la caldera, esta válvula permite el paso mínimo de combustible para que la caldera este encendida al mínimo es decir con una llama baja en el hogar, una vez el sistema se encuentre en la temperatura mínima requerida, la válvula empezara a modular hasta que el sistema se encuentre a la temperatura de operación requerida para que el agua cambie su estado a vapor dentro de la caldera.



**Figura 48.** Válvula Reguladora de Flujo Aire-Combustible, Marca Maxon  
**Fuente:** Catalogo Maxon Válvula de Control de Flujo Serie "A"

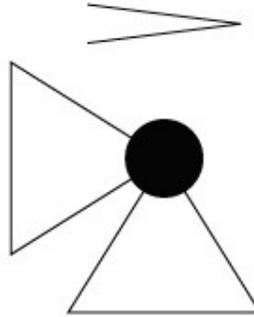
### Válvula de Alivio

La válvula de alivio es un dispositivo de seguridad mecánico, esta válvula es activada al existir una sobrepresión dentro del sistema de combustible, permitiendo que el flujo se mantenga en el rango de operación adecuado y no afecte a las tuberías y accesorios.



**Figura 49.** Válvula de Alivio, Marca Apollo  
**Fuente:** Catalogo Apollo, Válvulas de Seguridad Serie 19

La válvula de alivio se activa de forma rápida, una vez la presión estática en su interior vence a la fuerza de resistencia ejercida por un resorte ubicado en la parte superior de la válvula, su diagrama esquemático se muestra en la figura 50.

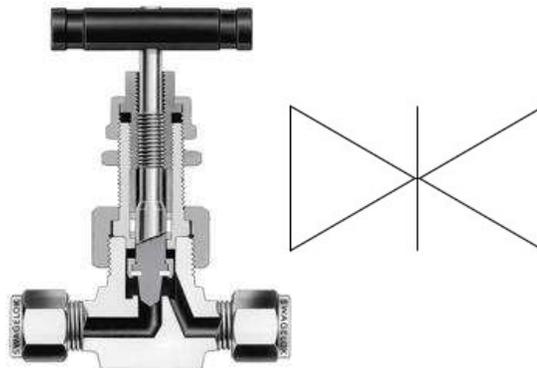


**Figura 50.** Diagrama Esquemático de la Válvula de Alivio  
**Fuente:** <https://blog.satelimportadores.com/valvulas/simbologia-de-las-valvulas-tuberia/>

### ***Válvula de Aguja***

La válvula de aguja no es más que una válvula reguladora, la cual es llamada así debido a la forma cónica de su vástago, el cual le permite hacer un sello hermético, es decir corta el paso del fluido de forma eficiente y segura.

Este tipo de válvulas son usadas en líneas de presión de alta precisión, debido a su ajuste delicado, su diagrama esquemático se muestra en la figura 51.



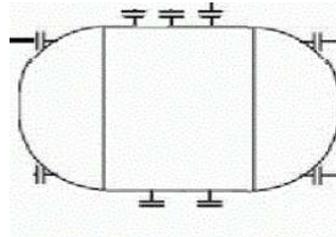
**Figura 51.** Válvula de Aguja, Diagrama Esquemático  
**Fuente:** <http://www.valvias.com/tipo-valvula-de-aguja.php>

### 2.2.4.7.7 Distribuidor de Combustible

El distribuidor de combustible o manifold es un dispositivo cilíndrico el cual mantiene el flujo y la presión del combustible de manera uniforme mientras el sistema este en operación.

Para el desarrollo de este proyecto, el distribuidor de combustible no utilizará bombas de succión para su llenado ya que lo hará por medio de la gravedad, debido a que el tanque de almacenamiento se encuentra a una altura mayor a la del distribuidor, este se mantendrá lleno durante todo el proceso de combustión.

Este dispositivo lo conforman un cilindro o cabezal; tuberías de presión las cuales se conectan a la bomba de combustible de cada quemador con sus respectivos accesorios como válvulas antirretornos, válvulas reguladoras, filtros; tuberías de baja presión las cuales se conectan desde la bomba de cada quemador de combustible hasta el distribuidor.



**Figura 52.** Diagrama Esquemático Distribuidor de Combustible

**Fuente:** <https://instrumentacionhoy.blogspot.com/2015/04/interpretar-un-p.html>

Para el diseño del distribuidor de combustible se debe de considerar, el flujo masico, el flujo volumétrico requeridos por los quemadores para mantener operativo al sistema. Con estos datos se puede determinar el diámetro interior del distribuidor, factor requerido para su diseño y construcción, los cálculos para este diseño se encuentran en el capítulo III.

## **2.2.5 Sistema de Seguridad y Control**

El combustible al ser un líquido inflamable, puede causar siniestros que causen daño no solo a la infraestructura de una organización sino también causar un alto impacto al medio ambiente y a la vida de las personas.

Por este motivo es necesario que un sistema de combustible requiere de un sistema de seguridad y control para mantener al mínimo el riesgo de accidentes en las actividades a realizar en los procesos de operación cotidiano.

A continuación, se ponen a consideración los puntos críticos a controlar y asegurar una operación adecuada del funcionamiento del sistema.

### ***2.2.5.1 Variables a Controlar***

Las variables críticas a controlar dentro de un sistema de combustible, independientemente de cuál sea el combustible a utilizar, son las siguientes:

- Presión
- Temperatura
- Volumen

Para el control de la variable volumen ya fueron mencionadas los métodos de control en el punto 2.2.4.7.3 del presente capítulo, a continuación, se describe sobre los equipos de control para las variables presión y temperatura.

#### ***2.2.5.1.1 Control de Presión***

Para el control de presión del sistema, se requiere de presostatos que indiquen la presión del sistema en diferentes puntos del mismo, es necesario recalcar que es de vital importancia que se controle a la vez la presión de vapor, ya que, al existir una sobrepresión de vapor, se debe de cortar el suministro de combustible para que se disminuya la temperatura en el interior de la caldera.

El presostato al sensar un déficit o aumento de presión de vapor en el interior de la caldera, envía una señal al motor de la válvula moduladora, la cual se encarga de variar

la entrada de combustible o de aire al quemador, con la finalidad de aumentar o disminuir la mezcla aire-combustible, con lo que se podría disminuir o aumentar la presión de vapor al interior de la caldera.

A esta acción se la conoce también como modulación de llama, ya que al aumentar o disminuir la demanda presión de vapor, el presostato es el encargado de activar el motor de la válvula moduladora para que este opere en llama baja o en llama alta, según lo requiera el proceso.

Para verificar la modulación de la llama se utiliza un sensor de llama, este dispositivo detecta o verifica la presencia de llama baja o alta al interior del hogar, este sensor es importante en cuanto control y seguridad de una caldera, ya que en caso de una sobrepresión ayuda a verificar que la llama alta se haya modulado a llama baja, y no existan accidentes graves.

#### ***2.2.5.1.2 Control de Temperatura***

El combustible a utilizar en este sistema, es una mezcla de 20% diésel y 80% bunker, lo que lo hace un combustible con una viscosidad alta, para asegurar que el combustible sea pulverizado eficientemente por el inyector, se requiere bajar la viscosidad del combustible.

Para que el combustible bunker baje su viscosidad, se aplica temperatura por medio de un dispositivo calentador o también llamado intercambiador de calor, dependiendo de la viscosidad inicial del combustible bunker, la temperatura a aplicar puede estar en un rango de 80°C a 105°C aproximadamente.

Por tal motivo es importante controlar dicha temperatura, ya que, si la temperatura es muy alta puede formarse gases que al inflamarse causen un incendio, cuando la temperatura es muy baja, el combustible no bajaría su viscosidad, lo que impediría una pulverización adecuada.

#### ***2.2.5.2 Normas de Seguridad***

Las normas de seguridad a aplicar al sistema de combustible para calderas, consideradas en este proyecto, se basan en el “Proyecto de Reglamento Técnico de

Calderas”, elaborado por el Ministerio del Trabajo, Ministerio de Energía y Minas de la Republica de Colombia, de donde se establece lo siguiente.

#### **2.2.5.2.1 Del Artículo 25, Controles Mínimos Requeridos en Calderas**

CONTROL DE SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE Y AIRE (Tren de regulación de gases, combustibles, ignición).

El tren de combustión de combustibles líquidos que no requieren precalentamiento, debe tener mínimo los siguientes elementos:

- Un filtro para aceite combustible.
- Una bomba rotatoria para suministro de combustible directamente al quemador.
- Un indicador de presión ubicado en la descarga de la bomba de combustible.
- Una válvula de cierre rápido que interrumpa el paso de combustible directamente al quemador.
- Un sistema de retorno de combustible al tanque diario, acondicionado con una válvula de alivio.
- Sensor de llama.

Tren de combustión de combustibles líquidos que requieren precalentamiento. Estos equipos deben tener mínimo los siguientes elementos:

- Calentador de aceite combustible.
- Una bomba rotatoria para suministro de combustible directamente al quemador.
- Un interruptor para corte de combustible por baja presión de combustible.
- Un interruptor para corte de combustible por alta temperatura de aceite combustible.
- Un interruptor para corte de combustible por baja temperatura de combustible.
- Un interruptor por baja presión del medio atomizante, para bloqueo de suministro de combustible.
- Una válvula de cierre rápido, que bloquee el paso de combustible en un tiempo máximo de 10 segundos.
- Sensor de llama.

### **2.2.5.2.2 Del Artículo 26, Control de Combustión**

TUBERÍAS Y ACCESORIOS DE LOS SISTEMAS DE COMBUSTIBLES LÍQUIDOS. Estos elementos deben cumplir con los siguientes requisitos:

- a. Las tuberías de venteo y llenado de tanques deben ser de hierro forjado o acero SCH 40. Para diámetros menores de 65 mm se podrá usar tubería de cobre o bronce con accesorios del mismo material y del mismo diámetro de la tubería. No se permite el uso de tuberías de aluminio.
- b. Los diámetros de las tuberías de conexión a los quemadores y sus accesorios, no deben ser menores de 9.5 mm. Las tuberías de cobre deberán tener mínimo un espesor de 0.89 mm.
- c. Las tuberías se deben anclar y soportar adecuadamente, y protegerse contra daños físicos y donde sea necesario protegerse contra la corrosión. Se deberá dejar suficiente tolerancia para expansiones, contracciones y vibraciones.
- d. Tuberías de conexión que vayan enterradas, se deben proteger contra la corrosión.
- e. Se permite utilizar tuberías para combustible, roscada, hasta un diámetro de 50mm.
- f. No se permite el uso de accesorios de hierro fundido.
- g. No se permite transferir Fuel Oil directamente al quemador mediante la presurización del tanque de combustible con aire o cualquier otro gas.
- h. El sistema de combustible deberá tener una línea de retorno desde el quemador o descarga de la bomba al tanque de suministro. Esta no debe tener válvulas u obstrucciones y se debe hacer por la parte superior del mismo tanque con bajante hasta la parte baja del mismo.
- i. La tubería de succión de la bomba de suministro de combustible debe ser hermética para evitar filtraciones de aire que puedan alterar el funcionamiento del quemador.

### **2.2.5.2.3 Del Artículo 29, Alarmas**

ALARMA PARA EL SISTEMA DE COMBUSTIBLE LIQUIDO. Estos elementos deben cumplir con los siguientes requisitos:

Alarma para el corte de combustible por muy bajo nivel de agua. Esta alarma debe accionarse cuando el nivel del agua se encuentre a 2cm por encima de la parte inferior visible del nivel.

- *Requisitos de instalación de las alarmas.*

Las alarmas deben instalarse de forma tal que cumplan los siguientes requisitos:

- Ser visibles para el operador desde su sitio normal de trabajo.
- Instalarse en un panel específico para este uso.
- Ser audibles donde se requiera.
- En zonas ruidosas su nivel sonoro debe ser tal, que el operador pueda escucharlas.

### **2.2.5.2.4 Del Artículo 30, Dispositivos de Bloqueo**

Toda caldera que su proceso de combustión, sea por combustible líquido o gaseoso, deberá disponer de un interruptor como límite de seguridad para cada uno de los siguientes casos:

- Cuando no haya medio atomizador, se debe bloquear el encendido del quemador.
- Cuando haya baja/alta presión de gas combustible al quemador, debe bloquear la arrancada o apagar el quemador en operación normal.
- Cuando haya baja presión de combustible líquido liviano/pesado al quemador, debe bloquear la arrancada, o apagar el quemador en operación normal.

### **2.2.5.2.5 Del Artículo 39, Tanques de Almacenamiento**

Para el almacenamiento y trasiego de combustibles no se permite el uso de canecas, ni recipientes diferentes a tanques contruidos específicamente para este uso.

Los tanques de almacenamiento o tanques diarios de combustible líquido deben cumplir con los siguientes requisitos mínimos:

- Se deben construir en lámina de acero de espesor adecuado para la capacidad de almacenamiento y presión atmosférica.

- Mínimo deben tener conexiones de venteo, llenado, drenaje con tapón, descarga e indicación de nivel.

- Deben tener conexión a tierra y soportes adecuados para su instalación

- Los tanques de almacenamiento deben tener una placa de identificación estampada sobre la superficie del mismo, que sea fácilmente visible con la siguiente información:

- a. Nombre del fabricante nacional o del proveedor ante el país para tanques importados.

- b. Material del tanque

- c. Espesor de la lámina.

- d. Presión de prueba hidrostática en kPa.

- e. Capacidad del tanque en litros.

- f. Flujo de evacuación en lt/min o m<sup>3</sup>/h.

- Deben tener estampado sobre la superficie de cada tanque, el símbolo de identificación del riesgo de incendio, visible desde una distancia de 5 m del tanque, (...) y la información pertinente que corresponda al tipo de combustible manejado, para cada uno de los espacios del rombo, de modo que se pueda identificar claramente el nivel del riesgo.

- Deben poseer como mínimo las siguientes conexiones:

- a. Una abertura de acceso para mantenimiento y limpieza.

- b. Facilidades para instalar (si lo requiere) el sistema de calentamiento.

- c. Conexiones para el recibo, salida y retorno del combustible.

- d. Conexiones para el indicador de nivel y de temperatura.
- e. Venteo o desfogue.
- f. Conexión para drenaje de agua con descarga a una caja colectora.
- g. Válvulas de presión y vacío para tanque de capacidad mayor a 3785lt
- h. Conexión para el rebose de combustible con descarga a una caja colectora.
- i. Aislamiento en el anillo inferior si es sometido a calentamiento.

- Todos los tanques y conexiones se deben probar para hermeticidad, la cual debe hacerse a su presión de operación, con aire, gas inerte o agua antes de ponerlo en servicio.

Deben estar acondicionados con un dispositivo para indicar el punto de llenado, ya sea de manera visual o audible, cuando el combustible en el tanque haya alcanzado el nivel de seguridad predeterminado. Los indicadores visuales no deben ser de vidrio o cualquier otro tipo similar de indicador, ya que la rotura, propiciará escape de producto del tanque.

#### ***2.2.5.2.6 Del Artículo 41, Tanque Diario***

Los tanques diarios de combustible para las calderas, deberán cumplir con los siguientes requisitos mínimos:

- a. Se permite el almacenamiento en el interior del área de calderas en uno o varios tanques diarios hasta una máxima capacidad total almacenada de 1000 litros.
- b. Se deben ubicar a una distancia mínima de 2 m de cualquier superficie de la caldera o tuberías de vapor, que se encuentren a una temperatura mayor a 50°C.
- c. Cumplir con los requisitos de seguridad referente a incombustibilidad, dique de contención de derrames, tubería de flujo de combustible de material incombustible, válvula de apertura y cierre, conexión a tierra.

#### ***2.2.5.2.7 Del Artículo 43, Tanques con Capacidades Mayores a 1000lts.***

Los tanques con capacidad superior a los 1000 litros deben tener dique para control de derrames, con una capacidad no menor a 1.5 veces la capacidad del tanque. En un conjunto de tanques el dique debe diseñarse para contener el 1.5 veces el volumen total del tanque más grande dentro de este.

#### ***2.2.5.2.8 Del Artículo 45, Sistema de Calentamiento de Combustible Líquido***

Los sistemas empleados para el calentamiento de combustibles líquidos pesados que requieren una temperatura adecuada para su atomización, deben cumplir los siguientes requisitos mínimos:

- a. Se podrá calentar combustibles líquidos pesados mediante vapor, resistencia eléctrica o agua caliente, de modo que se pueda controlar y regular con seguridad. En todo caso queda prohibido el uso directo de llama de combustión para precalentamiento de combustibles líquidos.
- b. Todo sistema de calentamiento de combustible líquido pesado deberá contar mínimo con un regulador automático de temperatura.
- c. Cuando el sistema emplea serpentines de agua caliente, el agua se debe suministrar por medio de calentadores indirectos y su máxima temperatura debe ser de 121°C.
- d. Cuando el sistema emplea calentadores eléctricos, estos se deben acondicionar con termostatos diseñados y fabricados para prevenir que la temperatura del combustible exceda su punto de chispa.
- e. La bomba de combustible, que no es parte del quemador, debe ser del tipo desplazamiento positivo, tal que cuando pare, automáticamente corte el suministro de combustible.
- f. Todo sistema de suministro de combustible debe tener una válvula de cierre rápido, manual o automática, instalada directamente a la entrada de la línea, en un lugar de fácil acceso y manipulación.

g. En un sistema de suministro de combustible a la caldera, el calentador deberá tener una válvula de alivio de presión dispuesta para descargar a la línea de retorno al tanque de suministro, dado que cualquier válvula, bomba u otro dispositivo podría impedir el alivio de la excesiva presión a causa de la expansión del aceite caliente. [32]

## CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1 Diseño de la investigación

Para la presente investigación de “Diseño de un sistema de combustible dual diésel-Bunker, para una red de alimentación de combustible a un grupo de calderas con Capacidades entre 300 y 170 BHP”, se procederá a la utilización de la investigación de diseño experimental pues que se basara en la recopilación de datos que ayudaran a la mediación y determinación de los principales aspectos que tienen como objetivo este estudio, así se podrá describir cada uno de los hechos que se planteen.

### 3.2 Tipos de investigación

De acuerdo a los objetivos que se proponen se llegó a determinar que la investigación presente se caracteriza del siguiente tipo investigativo:

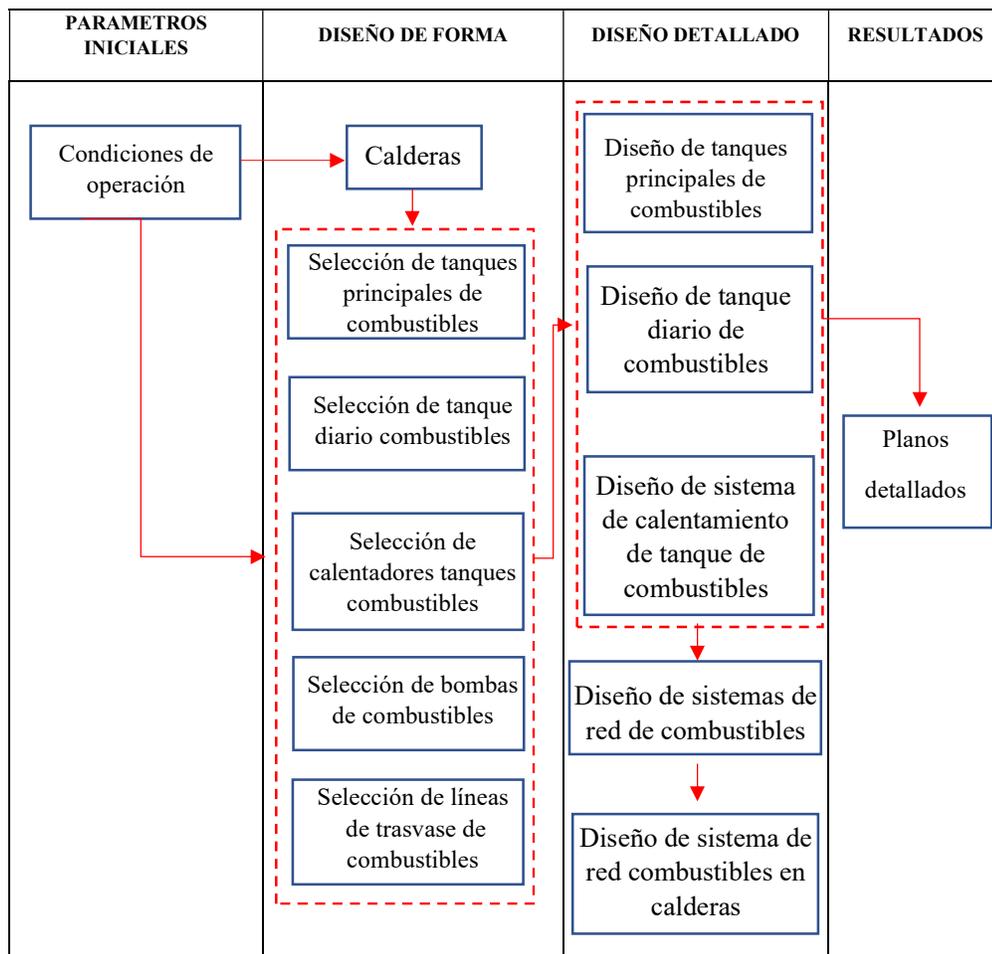
**Investigación descriptiva:** Ayuda a describir el problema de la investigación y las posibles razones y consecuencias que persisten del mismo para así esta pueda partir del paradigma critico de forma positiva ante el diseño de un sistema de red combustible.

Así como describe Sierra [9], donde expresa que dentro de esto llega a “desechar las características o rasgos de la situación, fenómeno u objeto de estudio, su función principal es la capacidad para seleccionar las características fundamentales del objeto de estudio”.

### 3.3 Diseño Conceptual

Para la realización de este diseño de un sistema de combustible dual se muestra la metodología utilizada para llevar a cabo el desarrollo, ver tabla 2.

*Tabla 5. Metodología de Diseño  
Elaborado por: Los Autores*



En el presente capítulo, acorde a los requerimientos que se presentan en una sala de calderas definidos, se observa el diseño de forma o selección de equipos empezando por la selección de tanques principales, dando comienzo con las placas de operación de cada caldera selección de bombas de combustibles de cada caldera con su respectivo distribuidor.

Una vez definido establecido el diseño de forma se ejecuta un diseño detallado de componentes del sistema, incluyendo el dimensionamiento de tanques principales, tanque diario, el sistema de calentamiento, el sistema de la red combustible dual y el rediseño de red de combustible dual para cada caldera con la guía de cuidado y operación de calderas y normas para diseño de red de tuberías que trasladan líquido.

Para el dimensionamiento de líneas de combustibles, vapor, condensado, calentadores, distribuidor de combustible, tanques se guía por las recomendaciones de acorde al tipo de trabajo que se realiza un listado a continuación.

- Energy Efficiency Handbook (handbook de eficiencia energética) (Council of Industrial boiler owners. 1997)
- Valve piping and pipeline handbook (handbook de válvulas y líneas de tuberías) (Dickenson, 1999)
- Boiler operator's handbook (handbook para operadores de calderas) (Heselton, 2005)
- Heat exchanger desing handbook (handbook de diseño de intercambiadores de calor) (Kappan, 2000)
- Fundamentos de transferencia de calor (Frank P. Incropera)
- Piping handbook (handbook para líneas de tuberías) (Swierzawski 2000)

### 3.4 Diseño de forma

#### 3.4.1 Parámetros de operación de las calderas

En este ítem se especifica las placas de las calderas para su posterior diseño de la red de combustibles dual por lo tanto especificar sus parámetros de operaciones.

**Tabla 6. Parámetros de Operación a considerar**  
*Elaborado por: Los Autores.*

<b>Marca</b>	<b>Colmaquinas</b>	<b>Colmaquinas</b>	<b>Cleaver Brooks</b>
Modelo	CCH3-300-200 3HL/H	D3E-600-200-3H	4WG-101-805-150T
Serie	HB-0018-02	A-3577	T5015-1-1
Potencia Nominal	300 BHP	600 BHP	800 BHP
Presión máxima	200 PSI	200 PSI	150 PSI
Consumo de energía	10042500 BTU/H	20085000 BTU/H	26780000 BTU/H
Capacidad de vapor	10350 LB/ H	20700 LB/H	27600 LB/H

### **3.4.2 Sistema de Combustible.**

El sistema de combustible de una caldera se basa en la relación de aire-combustible sea la ideal para que la combustión sea suficiente.

La combustión es la reacción química en la cual se genera gran cantidad de energía calorífica y luz. en todo el proceso de combustión existen dos elementos fundamentales el aire y el combustible que según el fabricante de cada caldera señala el tipo de combustible en su particularidad los más comunes son:

- Carbón
- Madera
- Gas
- Bagazo de caña de azúcar
- Diesel oil o fuel oil #2
- Bunker o fuel oil #6

Para que el tipo de combustible sea aprovechado de la mayor manera posible se utilizan componentes o accesorios como:

- Tanque de combustible
- Sistema de calentamiento (fuel oil 6)
- Quemadores de combustibles
- Accesorios de seguridad

Sin embargo, para el desarrollo de este proyecto, se considera a un grupo de calderas que trabaja con dos clases de combustibles, diésel o bunker. Se realizó la evaluación de una mezcla de combustible que se menciona a continuación en la sección 3.4.3.

### **3.4.3 Selección de Combustible a Utilizar**

Para la selección del combustible adecuado a utilizar según las características de operación de las calderas mencionadas con anterioridad, se debe considerar factores importantes como el costo del combustible, disponibilidad en el mercado, efectos e impactos en el medio ambiente.

El sistema de combustible dual diésel-bunker propuesto en este trabajo, tiene la ventaja de que si no se contara con los porcentajes adecuados de cada uno de los combustibles para realizar la mezcla de 20% diésel y 80% bunker, ya sea porque no

hubiera stock en el mercado, o que hubiese un retraso en la entrega del combustible solicitado, el sistema debe funcionar utilizando en un 100% cualquiera de los dos combustibles mencionados, hasta que se consiga el combustible faltante para realizar la mezcla.

Por tal motivo a continuación se analiza de forma individual la composición química de cada uno de los combustibles a utilizar para la mezcla propuesta.

### ***3.4.3.1 Estequiometria del Combustible Diesel***

Cualquier hidrocarburo utilizado como combustible puede expresarse como  $C_xH_y$ , expresión que se puede simplificar en  $CH_{y/x}$ , lo que se lee como, “y” cantidad de H por cada “x” cantidad de C. (Hidalgo, 2010, págs. 47-149)

Con esta primicia se determina que la formula química general para cualquier combustible hidrocarburífero quedaría expresada de la siguiente forma:



Esta fórmula química nos permite cuantificar la presencia de elementos tales como carbono, oxígeno, nitrógeno, azufre, cloro, presentes en el o los combustibles a utilizar.

A continuación, el primer combustible a analizar es el diésel 2, este combustible lo conforman los siguientes elementos:

- Carbono “C”, 87.3 átomos
- Hidrogeno “H”, 12.6 átomos
- Oxígeno “O”, 0.01 átomos
- Nitrógeno “N”, 0.003 átomos
- Azufre “S”, 0.09 átomos
- Cenizas, 0.005 átomos

*Datos a considerar:*

$$y/x = 12.6/87.3 = 0.1443$$

$$z/x = 0.01/87.3 = 0.000115$$

$$u/x = 0.003/87.3 = 0.000034$$

$$w/x = 0.09/87.3 = 0.00103$$

*Reemplazando la data, obtenemos la siguiente expresión:*



para este combustible se estima que contiene una humedad del 5%, con lo que se determina lo siguiente:

Establecemos que la cantidad de átomos de hidrogeno por cada átomo de carbono es de 0.1443. Para los elementos “z/x”, hay 0.000115, cantidad de átomos de oxígeno por átomo de carbono. Para “u/x”, hay 0.000034, cantidad de átomos de nitrógeno por átomo de carbono. Que para “w/x”, hay 0.00103, cantidad de átomos de azufre por átomo de carbono, “v/x” (cantidad de átomos de cloro por átomo de carbono), el valor es de “0” ya que son mínimos o fueron eliminados en el proceso de producción del mismo.

Obtenida la composición química del combustible, se requiere estimar la masa de aire necesaria para producir la mezcla aire combustible, con la cual se facilita quemar el combustible diésel 2.

### *Cálculo de la Masa del Aire*

Para esto se utiliza la Ec. 1, descrita a continuación, en la cual se aplica un exceso de aire “EA” del 20%, para garantizar la quema total del combustible.

*Ecuación 1. Masa del Aire Requerido*

$$m_{\text{aire}} = \left(1 + \frac{y}{4x} - \frac{z}{2x} + \frac{u}{2x} + \frac{w}{x}\right) (1 + EA)(O_2 + 3.76N_2) \left[\frac{\text{Kg aire}}{\text{Kg fuel}}\right]$$

Datos a considerar:

$m_{aire}$  = masa del aire

$EA$  = exceso de aire 20%

$MO_2$  = masa molar del oxígeno =  $16 \cdot 2 = 32$

$MN_2$  = masa molar del nitrógeno =  $14 \cdot 2 = 28$

Reemplazando la data en la Ec. 1, obtenemos lo siguiente:

$$(Ec. 1) \quad m_{aire} = \left( 1 + \frac{12.6}{4 \cdot 87.3} - \frac{0.01}{2 \cdot 87.3} + \frac{0.003}{2 \cdot 87.3} + \frac{0.09}{87.3} \right) (1 + 0.20)(32 + 3.76 \cdot 28) \left[ \frac{Kg \text{ aire}}{Kg \text{ fuel}} \right]$$

$$m_{aire} = 170.84 \left[ \frac{Kg \text{ aire}}{Kg \text{ fuel}} \right]$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que para quemar combustible diésel 2 con un exceso de aire del 20%, se requiere de 170.84 Kg de aire aproximadamente.

### ***Cálculo de la Masa del Combustible***

Una vez obtenido la masa de aire requerida para la mezcla aire combustible, se procede a determinar la masa de combustible necesaria con la que se forma la mezcla antes mencionada. Para lo cual se utiliza la Ec. 2, la cual se presenta a continuación.

#### ***Ecuación 2. Masa del Combustible***

$$m_{fuel} = M_C + \left( \frac{y}{x} \right) \cdot M_H + \left( \frac{z}{x} \right) \cdot M_O + \left( \frac{u}{x} \right) \cdot M_N + \left( \frac{w}{x} \right) \cdot M_S + \left( \frac{v}{x} \right) \cdot M_{Cl} \left[ \frac{Kg \text{ fuel}}{Kmol \text{ fuel}} \right]$$

Datos a considerar:

$m_{fuel}$  = masa del combustible

$EA$  = exceso de aire 20%

$M_O$  = masa molar del oxígeno = 16

$M_N$  = masa molar del nitrógeno = 14

$M_C$  = masa molar del carbono = 12.0115

$M_H$  = masa molar del hidrógeno = 1.00797

$M_S$  = masa molar del azufre = 32.064

$M_{Cl}$  = masa molar del nitrógeno = 35.453

*Reemplazando la data en la Ec. 2, obtenemos lo siguiente:*

$$(Ec. 2) m_{fuel} = 12.0115 + 0.1443 * 1.00797 + 0.000115 * 16 + 0.000034 * 14 + 0.00103 * 32.064 + 0 * 35.453 \left[ \frac{Kg fuel}{Kmol fuel} \right]$$

$$m_{fuel} = 12.19 \left[ \frac{Kg fuel}{Kmol fuel} \right]$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que para 170.84 Kg de aire se requiere de 12.19 Kg/Kmol de combustible para obtener una buena combustión al operar con un 20% de EA.

### ***Cálculo Razón de la Mezcla Aire-Combustible***

A continuación, se calcula la razón de la mezcla aire-combustible diésel con los datos obtenidos de la masa de aire y la masa del combustible, con ayuda de la Ec. 3.

**Ecuación 3. Razón Aire/Combustible**

$$m_{aire/fuel} = \frac{m_{aire}}{m_{fuel}}$$

Datos a considerar:

$m_{aire}$  = masa del aire

$m_{fuel}$  = masa del combustible

$EA$  = exceso de aire 20%

Reemplazando la data en la Ec. 3, obtenemos lo siguiente:

$$(Ec. 3) \quad m_{aire/fuel} = \frac{170.84}{12.19}$$

$$m_{aire/fuel} = 14.01$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que para quemar combustible diésel 2 con un exceso de aire del 20%, la razón de mezcla aire-combustible es de 14.01:1 aproximadamente.

**Cálculo Poder Calorífico Superior e Inferior**

Como siguiente paso, se debe de calcular el poder calorífico superior e inferior del combustible a utilizar. Para el cálculo del poder calorífico superior “PCS” se hará uso de la Ec. 4, y para el cálculo del poder calorífico inferior “PCI”, se utiliza la Ec. 6 respectivamente.

**Ecuación 4. Poder Calorífico Superior**

$$PCS = 0.3491 * X_C + 1.1783 * X_H + 0.1005 * X_S - 0.1034 * X_O - 0.0211 * X_{cenizas} \left[ \frac{MJ}{Kg}, db \right]$$

Datos a considerar:

$PCS$  = poder calorífico superior

$EA$  = exceso de aire 20%

$X_O$  = % masa del oxígeno =?

$X_C$  = % masa del carbono =?

$X_H$  = % masa del hidrógeno =?

$X_S$  = % masa del azufre =?

$Cenizas$  = % masa molar de cenizas =?

No se cuenta con valores para estas variables, por lo que se deben de calcular para despejar el PCS, para calcular el valor de estas variables se utiliza la Ec. 5, descrita a continuación.

*Ecuación 5. Porcentaje de Masa del Elemento*

$$X_i = \left( \frac{i}{C * 1 + \frac{y}{x} * 1 + \frac{u}{x} * 1 + \frac{z}{x} * 1 + \frac{w}{x} * 1} \right) * 100$$

Datos a considerar:

$i$  = # de átomos del elemento

$X_i$  = % masa del elemento

Reemplazando la data en la Ec. 5, obtenemos lo siguiente:

$$(Ec. 5) X_c = \left( \frac{87.3}{87.3 * 1 + 0.1443 * 1 + 0.000115 * 1 + 0.000034 * 1 + 0.00103 * 1 + 0.000057 * 1} \right) * 100$$

$$X_c = 99.83\%$$

$$(Ec. 5) X_H = \left( \frac{0.1443}{87.3 * 1 + 0.1443 * 1 + 0.000115 * 1 + 0.000034 * 1 + 0.00103 * 1 + 0.000057 * 1} \right) * 100$$

$$X_H = 0.165017\%$$

$$(Ec. 5) X_o = \left( \frac{0.000115}{87.3 * 1 + 0.1443 * 1 + 0.000115 * 1 + 0.000034 * 1 + 0.00103 * 1 + 0.000057 * 1} \right) * 100$$

$$X_o = 0.0001315\%$$

$$(Ec. 5) X_N = \left( \frac{0.000034}{87.3 * 1 + 0.1443 * 1 + 0.000115 * 1 + 0.000034 * 1 + 0.00103 * 1 + 0.000057 * 1} \right) * 100$$

$$X_N = 0.00003888\%$$

$$(Ec. 5) X_S = \left( \frac{0.00103}{87.3 * 1 + 0.1443 * 1 + 0.000115 * 1 + 0.000034 * 1 + 0.00103 * 1 + 0.000057 * 1} \right) * 100$$

$$X_S = 0.001178\%$$

$$(Ec. 5) X_{cenizas} = \left( \frac{0.000057}{87.3 * 1 + 0.1443 * 1 + 0.000115 * 1 + 0.000034 * 1 + 0.00103 * 1 + 0.000057 * 1} \right) * 100$$

$$X_{ceniza} = 0.00006518\%$$

Reemplazando la data en la Ec. 4, obtenemos lo siguiente:

$$(Ec. 4) PCS = 0.3491 * 99.83 + 1.1783 * 0.165017 + 0.1005 * 0.001178 + 0.12 * 0.00003888 - 0.1034 * 0.0001315 - 0.0211 * 0.00006518 \left[ \frac{MJ}{Kg}, db \right]$$

$$PCS = 35.05 \left[ \frac{MJ}{Kg}, db \right]$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que el combustible diésel 2 tiene un poder calorífico superior aproximado de 35.05 MJ/Kg en base seca, es decir no se contempla la humedad.

A continuación, se procede a calcular el poder calorífico inferior del combustible diésel con ayuda de la Ec. 6, además se considera para este cálculo una humedad del 5%.

*Ecuación 6. Poder Calorífico Inferior*

$$PCI = PCS * \left(1 - \frac{w}{100}\right) - 2.444 * \left(\frac{w}{100}\right) - 2.444 * 8.936 \left(\frac{h}{100}\right) * \left(1 - \frac{w}{100}\right) \left[\frac{MJ}{Kg}, wb\right]$$

Datos a considerar:

**PCI** = poder calorífico inferior

**w** = humedad que contiene el combustible en % = 5

**h** = % masa o concentración del hidrógeno = 0.165017

*Reemplazando la data en la Ec. 6, obtenemos lo siguiente:*

$$(Ec. 6) PCI = 35.05 * \left(1 - \frac{5}{100}\right) - 2.444 * \left(\frac{5}{100}\right) - 2.444 * 8.936 \left(\frac{0.165017}{100}\right) * \left(1 - \frac{5}{100}\right) \left[\frac{MJ}{Kg}, wb\right]$$

$$PCI = 33.14 \left[\frac{MJ}{Kg}, wb\right]$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que el combustible diésel 2, tiene un poder calorífico inferior aproximado de 33.14 MJ/Kg en una base humedad del 5%.

### Composición de los Gases de Combustión del Diesel

Al producirse la combustión del combustible, se generan gases o humos, los cuales son contaminantes del aire, por lo tanto, es importante determinar qué elementos son emanados al ambiente por causa de las actividades industriales.

Para determinar los elementos que contenga los gases de la combustión se utilizara la Ec. 7, que a continuación se presenta.

#### Ecuación 7. Elementos de los Gases de Combustión en Moles

$$\begin{aligned}
 & CH_{y/x}O_{z/x}N_{u/x}S_{w/x}Cl_{v/x} + \left(1 + \frac{y-v}{4x} - \frac{z}{2x} + \frac{u}{2x} + \frac{w}{x}\right) (1 + EA)(O_2 + 3.76N_2) \\
 & \rightarrow CO_2 + \frac{y-v}{2x} * H_2O + (1 + EA) * 3.76N_2 * \left(1 + \frac{y-v}{4x} - \frac{z}{2x} + \frac{u}{2x} + \frac{w}{x}\right) \\
 & + \frac{w}{x}SO_2 + EA * O_2 * \left(1 + \frac{y}{4x} - \frac{z}{2x} + \frac{u}{2x} + \frac{w}{x}\right) + \frac{u}{x}NO_2 + \frac{v}{x}HCl
 \end{aligned}$$

Reemplazando la data en la Ec. 7, obtenemos los siguientes reactivos y productos:

$$\begin{aligned}
 (Ec. 7) & CH_{0.1443}O_{0.000115}N_{0.000034}S_{0.00103} \\
 & + \left(1 + \frac{12.6 - 0}{4 * 87.3} - \frac{0.01}{2 * 87.3} + \frac{0.003}{2 * 87.3} + \frac{0.09}{87.3}\right) (1 + 0.20)(O_2 + 3.76N_2) \\
 & \rightarrow CO_2 + \frac{12.6 - 0}{2 * 87.3} * H_2O + 1.2 * 3.76N_2 \\
 & * \left(1 + \frac{12.6 - 0}{4 * 87.3} - \frac{0.01}{2 * 87.3} + \frac{0.003}{2 * 87.3} + \frac{0.09}{87.3}\right) + \frac{0.09}{87.3}SO_2 + 0.2 * O_2 \\
 & * \left(1 + \frac{12.6}{4 * 87.3} - \frac{0.01}{2 * 87.3} + \frac{0.003}{2 * 87.3} + \frac{0.09}{87.3}\right) + \frac{0.003}{87.3}NO_2 + \frac{0}{87.3}HCl
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & CH_{0.1443}O_{0.000115}N_{0.000034}S_{0.00103} + 1.244 O_2 + 4.679 N_2 \\
 & \rightarrow CO_2 + 0.072165 H_2O + 4.679 N_2 + 0.00103 SO_2 + 0.207414 O_2 \\
 & + 0.000034NO_2
 \end{aligned}$$

Una vez obtenida la ecuación química, se procede a verificar si el balance de la ecuación. En este caso tanto en el reactivo como en el producto debe tener la misma cantidad de elementos además de la misma cantidad de moles, en la siguiente tabla se encuentra dicha verificación.

**Tabla 7. Verificación de Balance en la Ecuación Química Combustible Diesel 2**  
*Elaborado por: Los Autores*

<b>ECUACION QUIMICA COMBUSTIBLE DIESEL 2</b>		
<b>ELEMENTOS</b>	<b>REACTIVOS</b>	<b>PRODUCTOS</b>
<b>C</b>	1	1
<b>H</b>	0.1443	0.1443
<b>S</b>	0.00103	0.00103
<b>O</b>	2.49	2.49
<b>N</b>	9.36	9.36

Para que se produzca la combustión de este combustible los reactivos a utilizar son el aire y el combustible (la fuente de ignición no se considera en esta ecuación), el combustible diésel 2 es la unión de varios elementos, “CH<sub>0.1443</sub>O<sub>0.000115</sub>N<sub>0.000034</sub>S<sub>0.00103</sub>”, el aire es la unión de los elementos oxígeno y nitrógeno, que para un exceso de aire del 20% es de “1.244(O<sub>2</sub> + 3.76N<sub>2</sub>)”.

#### ***Volumen de los Elementos en los Gases de Combustión del Diesel***

Para el cálculo del volumen de cada elemento inmerso en los gases producidos por la quema del combustible diésel 2, se utilizará la Ec. 9, pero para ello, se debe conocer el número total de moles de los elementos presentes en los residuos de la combustión del combustible, y para determinar este valor se utilizará la Ec. 8.

A continuación, el cálculo del número total de moles “N<sub>t</sub>”.

#### ***Ecuación 8. Número Total de Moles***

$$N_t = \sum \text{Moles } X_i = \text{mol } CO_2 + \text{mol } N_2 + \text{mol } O_2 + \text{mol } SO_2 + \text{mol } NO_2 + \text{mol } HCl$$

*Datos a considerar:*

$$\text{Mol } CO_2 = 1$$

$$\mathbf{Mol\ N_2 = 4.679}$$

$$\mathbf{Mol\ SO_2 = 0.00103}$$

$$\mathbf{Mol\ O_2 = 0.207414}$$

$$\mathbf{Mol\ NO_2 = 0.000034}$$

*Reemplazando la data en la Ec. 8, obtenemos lo siguiente:*

$$(Ec. 8) N_t = 1 + 4.679 + 0.00103 + 0.207414 + 0.000034$$

$$N_t = 5.8875$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que para quemar combustible diésel 2 con un exceso de aire del 20%, el número total de moles para los gases de escape es de 5.8875 moles aproximadamente.

A continuación, se procede a determinar el porcentaje contenido de cada elemento dentro de los gases de combustión con la Ec. 9.

***Ecuación 9. Porcentaje del Elemento***

$$\%X_i = \frac{X_i}{N_t} * 100$$

*Datos a considerar:*

$$\mathbf{Mol\ CO_2 = 1}$$

$$\mathbf{Mol\ N_2 = 4.679}$$

$$\mathbf{Mol\ SO_2 = 0.00103}$$

$$\mathbf{Mol\ O_2 = 0.207414}$$

$$\mathbf{Mol\ NO_2 = 0.000034}$$

$$N_t = 5.8875$$

Reemplazando la data en la Ec. 9, obtenemos lo siguiente:

$$(Ec. 9)\%CO_2 = \frac{1}{5.8875} * 100$$

$$\%CO_2 = 16.99 \%$$

$$(Ec. 9)\%N_2 = \frac{4.679}{5.8875} * 100$$

$$\%N_2 = 79.47 \%$$

$$(Ec. 9)\%SO_2 = \frac{0.00103}{5.8875} * 100$$

$$\%SO_2 = 0.017495\%$$

$$(Ec. 9)\%O_2 = \frac{0.207414}{5.8875} * 100$$

$$\%O_2 = 3.5230\%$$

$$(Ec. 9)\%NO_2 = \frac{0.000034}{5.8875} * 100$$

$$\%NO_2 = 0.000058\%$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que los elementos del volumen total de gases de combustión de base seca y con un exceso de aire del 20%, el dióxido de carbono “CO<sub>2</sub>” se encuentra en un 16.99%, el nitrógeno en un 79.47%, el dióxido de azufre “SO<sub>2</sub>” en un 0.0175%, el dióxido de nitrógeno “NO<sub>2</sub>” en un 0.00006% y el oxígeno en un 3.52% de un total de moles para los gases de escape de 5.8875 aproximadamente.

### *Estimación de Elementos Emanados al Aire*

Para estimar los residuos de los elementos que conforman los gases de la combustión, se utilizará la Ec. 10, la cual permitirá estimar la cantidad de contaminantes por elemento, expresado en “Kg/H.

*Ecuación 10. Estimación del Contaminante Emanado [Kg/H]*

$$E_{cont} = (Q_{fuel}[Lt/h] * fuel[Kg/Lt]) * N_{cont} * \left[ \frac{PM_{cont}}{PM_{fuel}} \right]$$

Datos a considerar:

$E_{cont}$  = estimación de contaminante emanado al ambiente

$N_{cont}$  = número de moles del contaminante en la ecuación

$PM_{cont}$  = masa molar del contaminante

$PM_{fuel}$  = masa molar del combustible quemado

Los elementos contaminantes a estimar son los del producto resultado de la quema del combustible diésel 2,  $CO_2 + 0.072165 H_2O + 4.679 N_2 + 0.00103 SO_2 + 0.207414 O_2 + 0.000034 NO_2$

Reemplazando la data en la Ec. 10, obtenemos lo siguiente:

$$\begin{aligned} & (Ec. 10) E_{CO_2} \\ & = \left( 477 \frac{Gls}{H} * 3.86 \frac{Lts}{Gls} * 0.913 \frac{Kg}{Lts} \right) * (1) \\ & * \left( \frac{12 * 1 + 16 * 2}{12 * 1 + 1 * 0.1443 + 16 * 0.000115 + 14 * 0.000034 + 32 * 0.00103} \right) * 10^{-3} \\ & E_{CO_2} = 6.0729 \frac{Kg}{H} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (Ec. 10)E_{H_2O} \\
 & = \left( 477 \frac{Gls}{H} * 3.86 \frac{Lts}{Gls} * 0.913 \frac{Kg}{Lts} \right) * (0.0722) \\
 & * \left( \frac{1 * 2 + 16 * 1}{12 * 1 + 1 * 0.1443 + 16 * 0.000115 + 14 * 0.000034 + 32 * 0.00103} \right) * 10^{-3} \\
 & \quad \quad \quad E_{H_2O} = 0.1794 \frac{Kg}{H}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (Ec. 10)E_{N_2} \\
 & = \left( 477 \frac{Gls}{H} * 3.86 \frac{Lts}{Gls} * 0.913 \frac{Kg}{Lts} \right) * (4.679) \\
 & * \left( \frac{14 * 2}{12 * 1 + 1 * 0.1443 + 16 * 0.000115 + 14 * 0.000034 + 32 * 0.00103} \right) * 10^{-3} \\
 & \quad \quad \quad E_{N_2} = 18.08 \frac{Kg}{H}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (Ec. 10)E_{SO_2} \\
 & = \left( 477 \frac{Gls}{H} * 3.86 \frac{Lts}{Gls} * 0.913 \frac{Kg}{Lts} \right) * (0.00103) \\
 & * \left( \frac{32 * 1 + 16 * 2}{12 * 1 + 1 * 0.1443 + 16 * 0.000115 + 14 * 0.000034 + 32 * 0.00103} \right) * 10^{-3} \\
 & \quad \quad \quad E_{SO_2} = 0.0091 \frac{Kg}{H}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (Ec. 10)E_{O_2} \\
 & = \left( 477 \frac{Gls}{H} * 3.86 \frac{Lts}{Gls} * 0.913 \frac{Kg}{Lts} \right) * (0.207414) \\
 & * \left( \frac{16 * 2}{12 * 1 + 1 * 0.1443 + 16 * 0.000115 + 14 * 0.000034 + 32 * 0.00103} \right) * 10^{-3} \\
 & \quad \quad \quad E_{O_2} = 0.9161 \frac{Kg}{H}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (Ec. 10)E_{NO_2} \\
 & = \left( 477 \frac{Gls}{H} * 3.86 \frac{Lts}{Gls} * 0.913 \frac{Kg}{Lts} \right) * (0.000034) \\
 & * \left( \frac{14 * 1 + 16 * 2}{12 * 1 + 1 * 0.1443 + 16 * 0.000115 + 14 * 0.000034 + 32 * 0.00103} \right) * 10^{-3} \\
 & \quad \quad \quad E_{NO_2} = 0.00021 \frac{Kg}{H}
 \end{aligned}$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que los elementos del volumen total de gases de combustión de base seca y con un exceso de aire del 20%, se emanará al

ambiente 6.07 Kg/H de dióxido de carbono “CO<sub>2</sub>”, 0.1794 Kg/H de agua contaminada, 18.08 Kg/H de nitrógeno, 0.0091 Kg/H de dióxido de azufre, 0.92 Kg/H de oxígeno y 0.00021 Kg/H de dióxido de nitrógeno aproximadamente.

### ***3.4.3.2 Estequiometria del Combustible Bunker***

El combustible bunker o fuel oil está compuesto en proporción por resinas, alcanos, hidrocarburos saturados, aromáticos, entre los que contienen carbono, hidrogeno, nitrógeno, oxígeno, azufre.

Para el análisis estequiométrico de este combustible, se toma como referencia los datos obtenidos del trabajo presentado por Quintero (2014), en su tema “Optimización Del Sistema de Circulación de Fuel Oil en los Tanques de Almacenamiento de la Planta Cautivo Mediante el Uso de Agitadores de Homogenización”.

Con dichos datos, se procede al igual que con el diésel 2, determinar la formula química del combustible bunker (fuel oil 6) a partir de la formula general para combustibles a bases de hidrocarburos.

Los datos obtenidos (número de átomos de los elementos) por Quintero son los siguientes:

- Carbono “C”, 84.67 átomos
- Hidrogeno “H”, 11.02 átomos
- Oxígeno “O”, 0.38 átomos
- Nitrógeno “N”, 0.18 átomos
- Azufre “S”, 0.84 átomos
- Cenizas, 0.02 átomos

*Datos a considerar:*

$$y/x = 11.02/84.67 = 0.1302$$

$$z/x = 0.38/84.67 = 0.004488$$

$$u/x = 0.18/84.67 = 0.002159$$

$$w/x = 0.84/84.67 = 0.009921$$

Reemplazando la data, obtenemos la siguiente expresión:



Obtenida la composición química del combustible, se requiere estimar la masa de aire necesaria para producir la mezcla aire combustible, con la cual se facilita quemar el combustible bunker (fuel oil 6).

### *Cálculo de la Masa del Aire*

Para esto se utiliza la Ec. 1, en la cual se considera el análisis para un exceso de aire “EA” del 20% que garantice la quema total del combustible.

Datos a considerar:

$m_{\text{aire}}$  = masa del aire

$EA$  = exceso de aire 20%

$MO_2$  = masa molar del oxígeno =  $16 \cdot 2 = 32$

$MN_2$  = masa molar del nitrógeno =  $14 \cdot 2 = 28$

Reemplazando la data en la Ec. 1, obtenemos lo siguiente:

$$(\text{Ec. 1}) \quad m_{\text{aire}} = \left( 1 + \frac{11.02}{4 \cdot 84.67} - \frac{0.38}{2 \cdot 84.67} + \frac{0.18}{2 \cdot 84.67} + \frac{0.84}{84.67} \right) (1 + 0.20)(32 + 3.76 \cdot 28) \frac{[Kg \text{ aire}]}{[Kg \text{ fuel}]}$$

$$m_{aire} = 171.54 \left[ \frac{Kg \text{ aire}}{Kg \text{ fuel}} \right]$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que para quemar combustible fuel oil 6 con un exceso de aire del 20%, se requiere de 171.54 Kg de aire aproximadamente.

### ***Cálculo de la Masa del Combustible***

Una vez obtenido la masa de aire requerida para la mezcla aire combustible, se procede a determinar la masa de combustible necesaria con la que se forma la mezcla antes mencionada. Para lo cual se utiliza la Ec. 2.

#### *Datos a considerar:*

$m_{fuel}$  = masa del combustible

$EA$  = exceso de aire 20%

$M_O$  = masa molar del oxígeno = 16

$M_N$  = masa molar del nitrógeno = 14

$M_C$  = masa molar del carbono = 12.0115

$M_H$  = masa molar del hidrógeno = 1.00797

$M_S$  = masa molar del azufre = 32.064

$M_{Cl}$  = masa molar del nitrógeno = 35.453

*Reemplazando la data en la Ec. 2, obtenemos lo siguiente:*

$$(Ec. 2) \ m_{fuel} = 12.0115 + 0.1302 * 1.00797 + 0.004488 * 16 + 0.002159 * 14 + 0.009921 \\ * 32.064 + 0 * 35.453 \left[ \frac{Kg \ fuel}{Kmol \ fuel} \right]$$

$$m_{fuel} = 12.56 \left[ \frac{Kg \ fuel}{Kmol \ fuel} \right]$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que para 171.54 Kg de aire se requiere de 12.56 Kg/Kmol de combustible para obtener una buena combustión al operar con un 20% de EA.

### ***Cálculo Razón de la Mezcla Aire-Combustible***

A continuación, se calcula la razón de la mezcla aire-combustible diésel con los datos obtenidos de la masa de aire y la masa del combustible, con ayuda de la Ec. 3.

#### *Datos a considerar:*

$m_{aire}$  = masa del aire

$m_{fuel}$  = masa del combustible

$EA$  = exceso de aire 20%

*Reemplazando la data en la Ec. 3, obtenemos lo siguiente:*

$$(Ec. 3) \ m_{aire/fuel} = \frac{171.54}{12.56}$$

$$m_{aire/fuel} = 13.66$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que para quemar combustible fuel oil 6 con un exceso de aire del 20%, la razón de mezcla aire-combustible es de 13.66:1 aproximadamente.

### ***Cálculo Poder Calorífico Superior e Inferior***

Como siguiente paso, se debe de calcular el poder calorífico superior e inferior del combustible a utilizar. Para el cálculo del poder calorífico superior “PCS” se hará uso de la Ec. 4, y para el cálculo del poder calorífico inferior “PCI”, se utiliza la Ec. 6 respectivamente.

#### *Datos a considerar:*

***PCS*** = poder calorífico superior

***EA*** = exceso de aire 20%

***X<sub>O</sub>*** = % masa del oxígeno =?

***X<sub>C</sub>*** = % masa del carbono =?

***X<sub>H</sub>*** = % masa del hidrógeno =?

***X<sub>S</sub>*** = % masa del azufre =?

***X<sub>cenizas</sub>*** = % masa molar de cenizas =?

Para calcular el valor de estas variables se utiliza la Ec. 5, descrita a continuación.

#### *Datos a considerar:*

***i*** = # de átomos del elemento

***X<sub>i</sub>*** = % masa del elemento

Reemplazando la data en la Ec. 5, obtenemos lo siguiente:

$$(Ec. 5) X_C = \left( \frac{84.67}{84.67 * 1 + 0.1302 * 1 + 0.004488 * 1 + 0.002159 * 1 + 0.009921 * 1 + 0.000236 * 1} \right) * 100$$

$$X_C = 99.83\%$$

$$(Ec. 5) X_H = \left( \frac{0.1302}{84.67 * 1 + 0.1302 * 1 + 0.004488 * 1 + 0.002159 * 1 + 0.009921 * 1 + 0.000236 * 1} \right) * 100$$

$$X_H = 0.1535\%$$

$$(Ec. 5) X_O = \left( \frac{0.004488}{84.67 * 1 + 0.1302 * 1 + 0.004488 * 1 + 0.002159 * 1 + 0.009921 * 1 + 0.000236 * 1} \right) * 100$$

$$X_O = 0.00529\%$$

$$(Ec. 5) X_N = \left( \frac{0.002159}{84.67 * 1 + 0.1302 * 1 + 0.004488 * 1 + 0.002159 * 1 + 0.009921 * 1 + 0.000236 * 1} \right) * 100$$

$$X_N = 0.00254\%$$

$$(Ec. 5) X_S = \left( \frac{0.009921}{84.67 * 1 + 0.1302 * 1 + 0.004488 * 1 + 0.002159 * 1 + 0.009921 * 1 + 0.000236 * 1} \right) * 100$$

$$X_S = 0.0117\%$$

$$(Ec. 5) X_{cenizas} = \left( \frac{0.000236}{84.67 * 1 + 0.1302 * 1 + 0.004488 * 1 + 0.002159 * 1 + 0.009921 * 1 + 0.000236 * 1} \right) * 100$$

$$X_{ceniza} = 0.0002782\%$$

Reemplazando la data en la Ec. 4, obtenemos lo siguiente:

$$(Ec. 4) PCS = 0.3491 * 99.83 + 1.1783 * 0.1535 + 0.1005 * 0.0117 + 0.12 * 0.00254 - 0.1034 \\ * 0.00529 - 0.0211 * 0.0002782 \left[ \frac{MJ}{Kg}, db \right]$$

$$PCS = 35.03 \left[ \frac{MJ}{Kg}, db \right]$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que el combustible fuel oil 6 tiene un poder calorífico superior aproximado de 35.03 MJ/Kg en base seca, es decir no se contempla la humedad.

A continuación, se procede a calcular el poder calorífico inferior del combustible fuel oil 6 con ayuda de la Ec. 6, además se considera para este cálculo una humedad del 5%.

Datos a considerar:

*PCI* = poder calorífico inferior

*w* = humedad que contiene el combustible en % = 5

*h* = % masa o concentración del hidrógeno = 0.1535

Reemplazando la data en la Ec. 6, obtenemos lo siguiente:

$$(Ec. 6) \text{ PCI} = 35.02 * \left(1 - \frac{5}{100}\right) - 2.444 * \left(\frac{5}{100}\right) - 2.444 * 8.936 \left(\frac{0.1535}{100}\right) * \left(1 - \frac{5}{100}\right) \left[ \frac{MJ}{Kg}, wb \right]$$

$$PCI = 33.11 \left[ \frac{MJ}{Kg}, wb \right]$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que el combustible fuel oil 6, tiene un poder calorífico inferior aproximado de 33.11 MJ/Kg en una base humedad del 5%.

### ***Composición de los Gases de Combustión del Fuel Oil 6***

Para determinar los elementos que contenga los gases de la combustión se utilizara la Ec. 7, que a continuación se presenta.

Reemplazando la data en la Ec. 7, obtenemos los siguientes reactivos y productos:

$$\begin{aligned}
 & \text{(Ec. 7) } CH_{0.1302}O_{0.004488}N_{0.002159}S_{0.009921} \\
 & + \left(1 + \frac{11.02 - 0}{4 * 84.67} - \frac{0.38}{2 * 84.67} + \frac{0.18}{2 * 84.67} + \frac{0.84}{84.67}\right) (1 + 0.20)(O_2 \\
 & + 3.76N_2) \\
 & \rightarrow CO_2 + \frac{11.02 - 0}{2 * 84.67} * H_2O + 1.2 * 3.76N_2 \\
 & * \left(1 + \frac{11.02 - 0}{4 * 84.67} - \frac{0.38}{2 * 84.67} + \frac{0.18}{2 * 84.67} + \frac{0.84}{84.67}\right) + \frac{0.84}{84.67}SO_2 + 0.2 * O_2 \\
 & * \left(1 + \frac{11.02}{4 * 84.67} - \frac{0.38}{2 * 84.67} + \frac{0.18}{2 * 84.67} + \frac{3.97}{84.67}\right) + \frac{0.18}{84.67}NO_2 + \frac{0}{84.67}HCl \\
 \\
 & CH_{0.1302}O_{0.004488}N_{0.002159}S_{0.009921} + 1.2495 O_2 + 4.698 N_2 \\
 & \rightarrow CO_2 + 0.0651 H_2O + 4.698 N_2 + 0.009921 SO_2 + 0.20826 O_2 \\
 & + 0.002126 NO_2
 \end{aligned}$$

Una vez obtenida la ecuación química, se procede a verificar si el balance de la ecuación. En este caso tanto en el reactivo como en el producto debe tener la misma cantidad de elementos además de la misma cantidad de moles, en la siguiente tabla se encuentra dicha verificación.

**Tabla 8.** Verificación de Balance en la Ecuación Química Combustible Fuel Oil

6

Elaborado por: Los Autores

<b>ECUACION QUIMICA DEL FUEL OIL 6</b>		
<b>ELEMENTOS</b>	<b>REACTIVOS</b>	<b>PRODUCTOS</b>
<b>C</b>	1	1
<b>H</b>	0.13	0.13
<b>O</b>	2.5	2.5
<b>N</b>	9.398	9.398
<b>S</b>	0.01	0.01

Para que se produzca la combustión de este combustible los reactivos a utilizar son el aire y el combustible (la fuente de ignición no se considera en esta ecuación), el combustible fuel oil 6 es la unión de varios elementos,

“ $\text{CH}_{0.1302}\text{O}_{0.004488}\text{N}_{0.002159}\text{S}_{0.009921}$ ”, el aire es la unión de los elementos oxígeno y nitrógeno, que para un exceso de aire del 20% es de “ $1.2495(\text{O}_2 + 3.76\text{N}_2)$ ”.

### ***Volumen de los Elementos en los Gases de Combustión del Fuel Oil 6***

Para el cálculo del volumen de cada elemento inmerso en los gases producidos por la quema del combustible fuel oil 6, se utilizará la Ec. 9, pero para ello, se debe conocer el número total de moles de los elementos presentes en los residuos de la combustión del combustible, y para determinar este valor se utilizará la Ec. 8.

A continuación, el cálculo del número total de moles “ $N_t$ ”.

*Datos a considerar:*

$$\text{Mol } \text{CO}_2 = 1$$

$$\text{Mol } \text{N}_2 = 4.698$$

$$\text{Mol } \text{SO}_2 = 0.009921$$

$$\text{Mol } \text{O}_2 = 0.20826$$

$$\text{Mol } \text{NO}_2 = 0.002126$$

*Reemplazando la data en la Ec. 8, obtenemos lo siguiente:*

$$(Ec. 8) N_t = 1 + 4.698 + 0.009921 + 0.20826 + 0.002126$$

$$N_t = 5.92$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que para quemar combustible fuel oil 6 con un exceso de aire del 20%, el número total de moles para los gases de escape es de 5.92 moles aproximadamente.

A continuación, se procede a determinar el porcentaje contenido de cada elemento dentro de los gases de combustión con la Ec. 9.

Datos a considerar:

$$\text{Mol } CO_2 = 1$$

$$\text{Mol } N_2 = 4.698$$

$$\text{Mol } SO_2 = 0.009921$$

$$\text{Mol } O_2 = 0.20826$$

$$\text{Mol } NO_2 = 0.002126$$

$$N_t = 5.92$$

Reemplazando la data en la Ec. 9, obtenemos lo siguiente:

$$(Ec. 9)\%CO_2 = \frac{1}{5.92} * 100$$

$$\%CO_2 = 16.89 \%$$

$$(Ec. 9)\%N_2 = \frac{4.698}{5.92} * 100$$

$$\%N_2 = 79.36 \%$$

$$(Ec. 9)\%SO_2 = \frac{0.009921}{5.92} * 100$$

$$\%SO_2 = 0.1675\%$$

$$(Ec. 9)\%O_2 = \frac{0.20826}{5.92} * 100$$

$$\%O_2 = 3.52\%$$

$$(Ec. 9)\%NO_2 = \frac{0.002126}{5.92} * 100$$

$$\%NO_2 = 0.0391\%$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que los elementos del volumen total de gases de combustión de base seca y con un exceso de aire del 20%, el dióxido de carbono “CO<sub>2</sub>” se encuentra en un 16.89%, el nitrógeno en un 79.36%, el dióxido de azufre “SO<sub>2</sub>” en un 0.1675%, el dióxido de nitrógeno “NO<sub>2</sub>” en un 0.0391% y el oxígeno en un 3.52% de un total de moles para los gases de escape de 5.92 aproximadamente.

#### ***Estimación de Elementos Emanados al Aire***

Para estimar los residuos de los elementos que conforman los gases de la combustión, se utilizará la Ec. 10, la cual permitirá estimar la cantidad de contaminantes por elemento, expresado en “Kg/H.

#### **Datos a considerar:**

$E_{cont}$  = estimación de contaminante emanado al ambiente

$N_{cont}$  = número de moles del contaminante en la ecuación

$PM_{cont}$  = masa molar del contaminante

$PM_{fuel}$  = masa molar del combustible quemado

Los elementos contaminantes a estimar son los del producto resultado de la quema del combustible fuel oil 6,  $CO_2 + 0.0651 H_2O + 4.698 N_2 + 0.009921 SO_2 + 0.20826 O_2 + 0.002126 NO_2$

Reemplazando la data en la Ec. 10, obtenemos lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 & (Ec. 10)E_{CO} \\
 &= \left( 477 \frac{Gls}{H} * 3.86 \frac{Lts}{Gls} * 0.899 \frac{Kg}{Lts} \right) * (1) \\
 & * \left( \frac{12 * 1 + 16 * 2}{12 * 1 + 1 * 0.1302 + 16 * 0.004488 + 14 * 0.002159 + 32 * 0.009921} \right) * 10^{-3} \\
 & \quad \quad \quad E_{CO2} = 5.80 \frac{Kg}{H}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (Ec. 10)E_{H2O} \\
 &= \left( 477 \frac{Gls}{H} * 3.86 \frac{Lts}{Gls} * 0.899 \frac{Kg}{Lts} \right) * (0.0651) \\
 & * \left( \frac{1 * 2 + 16 * 1}{12 * 1 + 1 * 0.1302 + 16 * 0.004488 + 14 * 0.002159 + 32 * 0.009921} \right) * 10^{-3} \\
 & \quad \quad \quad E_{H2O} = 0.1546 \frac{Kg}{H}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (Ec. 10)E_{N2} \\
 &= \left( 477 \frac{Gls}{H} * 3.86 \frac{Lts}{Gls} * 0.899 \frac{Kg}{Lts} \right) * (4.698) \\
 & * \left( \frac{14 * 2}{12 * 1 + 1 * 0.1302 + 16 * 0.004488 + 14 * 0.002159 + 32 * 0.009921} \right) * 10^{-3} \\
 & \quad \quad \quad E_{N2} = 17.35 \frac{Kg}{H}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (Ec. 10)E_{SO2} \\
 &= \left( 477 \frac{Gls}{H} * 3.86 \frac{Lts}{Gls} * 0.899 \frac{Kg}{Lts} \right) * (0.009921) \\
 & * \left( \frac{32 * 1 + 16 * 2}{12 * 1 + 1 * 0.1302 + 16 * 0.004488 + 14 * 0.002159 + 32 * 0.009921} \right) * 10^{-3} \\
 & \quad \quad \quad E_{SO2} = 0.0837 \frac{Kg}{H}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (Ec. 10)E_{O2} \\
 &= \left( 477 \frac{Gls}{H} * 3.86 \frac{Lts}{Gls} * 0.899 \frac{Kg}{Lts} \right) * (0.20826) \\
 & * \left( \frac{16 * 2}{12 * 1 + 1 * 0.1302 + 16 * 0.004488 + 14 * 0.002159 + 32 * 0.009921} \right) * 10^{-3} \\
 & \quad \quad \quad E_{O2} = 0.7691 \frac{Kg}{H}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (Ec. 10) E_{NO} \\
 & = \left( 477 \frac{Gls}{H} * 3.86 \frac{Lts}{Gls} * 0.899 \frac{Kg}{Lts} \right) * (0.002126) \\
 & * \left( \frac{14 * 1 + 16 * 2}{12 * 1 + 1 * 0.1302 + 16 * 0.004488 + 14 * 0.002159 + 32 * 0.009921} \right) * 10^{-3} \\
 & E_{NO2} = 0.013 \frac{Kg}{H}
 \end{aligned}$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que los elementos del volumen total de gases de combustión de base seca y con un exceso de aire del 20%, se emanara al ambiente 5.80 Kg/H de dióxido de carbono “CO<sub>2</sub>”, 0.1546 Kg/H de agua contaminada, 17.35 Kg/H de nitrógeno, 0.0837 Kg/H de dióxido de azufre, 0.7691 Kg/H de oxígeno y 0.013 Kg/H de dióxido de nitrógeno aproximadamente.

#### **3.4.3.3 Estequiometria del Combustible Propuesto (Mezcla 20% Diesel – 80% Fuel Oil 6)**

Para el análisis estequiométrico de este combustible, se toma como referencia los datos obtenidos del análisis realizado a un litro de la muestra de la mezcla de combustible propuesta en este trabajo, 20% de combustible diésel y 80% de combustible bunker (fuel oil 6), ver ANEXO 4.

Para el análisis de viscosidad del combustible se utilizó un viscosímetro automático de baño dual CANNON CAV 4.2, el cual permite determinar viscosidades entre 0.5 cSt a 10000 cSt, a temperaturas entre 40 y 100°C, bajo la norma ASTM D-445.



**Figura 53.** *Análisis de Viscosidad, Viscosímetro Automático Cannon CAV 4.2*  
**Fuente:** Los Autores

Para el análisis de punto de inflamación o flash point, se utilizó el equipo automático PMA 4, el cual permite quemar una muestra cumpliendo el método ASTM 93 de copa cerrada para muestras de mezcla de combustible desde 5.5 cSt de viscosidad y temperatura de 40°C.



**Figura 54.** *Análisis de Punto de Inflamación, Equipo PMA 4*  
**Fuente:** Los Autores

Para determinar la cantidad de azufre que contiene la mezcla propuesta, se utilizó el equipo Horiba SLFA-2100/2800, el cual permite analizar la muestra de combustible por medio de rayos X, midiendo cantidades bajas y altas de azufre mediante el método ASTM D-4294.



**Figura 55.** Análisis de Azufre, Equipo Horiba SLFA - 2100/2800  
**Fuente:** Los Autores

Con dichos datos, se procede al igual que con los combustibles anteriores, determinar la fórmula química de la mezcla de combustible propuesta a partir de la fórmula general para combustibles a bases de hidrocarburos.

Los datos obtenidos (número de átomos de los elementos) en los análisis realizados son los siguientes:

- Carbono “C”, 87.17 átomos
- Hidrogeno “H”, 12.3 átomos
- Oxígeno “O”, 0.58 átomos
- Nitrógeno “N”, 0.096 átomos
- Azufre “S”, 0.1 átomos
- Cenizas, 0.016 átomos

Datos a considerar:

$$y/x = 12.3/87.17 = 0.1411$$

$$z/x = 0.58/87.17 = 0.006654$$

$$u/x = 0.096/87.17 = 0.001101$$

$$w/x = 0.1/87.17 = 0.001147$$

Reemplazando la data, obtenemos la siguiente expresión:



Obtenida la composición química del combustible, se requiere estimar la masa de aire necesaria para producir la mezcla aire combustible, con la cual se facilita quemar la mezcla de combustible propuesto en este trabajo.

### *Cálculo de la Masa del Aire*

Para esto se utiliza la Ec. 1, en la cual se considera el análisis para un exceso de aire “EA” del 20% que garantice la quema total del combustible.

Datos a considerar:

$m_{\text{aire}}$  = masa del aire

$EA$  = exceso de aire 20%

$MO_2$  = masa molar del oxígeno =  $16 \cdot 2 = 32$

$MN_2$  = masa molar del nitrógeno =  $14 \cdot 2 = 28$

Reemplazando la data en la Ec. 1, obtenemos lo siguiente:

$$(\text{Ec. 1}) \quad m_{\text{aire}} = \left( 1 + \frac{12.03}{4 \cdot 87.17} - \frac{0.58}{2 \cdot 87.17} + \frac{0.096}{2 \cdot 87.17} + \frac{0.1}{87.17} \right) (1 + 0.20)(32 + 3.76 \cdot 28) \frac{[\text{Kg aire}]}{[\text{Kg fuel}]}$$

$$m_{aire} = 170.15 \left[ \frac{Kg \text{ aire}}{Kg \text{ fuel}} \right]$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que para quemar la mezcla del combustible propuesto con un exceso de aire del 20%, se requiere de 170.15 Kg de aire aproximadamente.

### *Cálculo de la Masa del Combustible*

Una vez obtenido la masa de aire requerida para la mezcla aire combustible, se procede a determinar la masa de combustible necesaria con la que se forma la mezcla antes mencionada. Para lo cual se utiliza la Ec. 2.

#### Datos a considerar:

$m_{fuel}$  = masa del combustible

$EA$  = exceso de aire 20%

$M_O$  = masa molar del oxígeno = 16

$M_N$  = masa molar del nitrógeno = 14

$M_C$  = masa molar del carbono = 12.0115

$M_H$  = masa molar del hidrógeno = 1.00797

$M_S$  = masa molar del azufre = 32.064

$M_{Cl}$  = masa molar del nitrógeno = 35.453

*Reemplazando la data en la Ec. 2, obtenemos lo siguiente:*

$$(Ec. 2) \ m_{fuel} = 12.0115 + 0.1411 * 1.00797 + 0.006654 * 16 + 0.001101 * 14 + 0.001147 \\ * 32.064 + 0 * 35.453 \left[ \frac{Kg \ fuel}{Kmol \ fuel} \right]$$

$$m_{fuel} = 12.31 \left[ \frac{Kg \ fuel}{Kmol \ fuel} \right]$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que para 170.15 Kg de aire se requiere de 12.31 Kg/Kmol de combustible para obtener una buena combustión al operar con un 20% de EA.

### ***Cálculo Razón de la Mezcla Aire-Combustible***

A continuación, se calcula la razón de la mezcla aire-combustible diésel con los datos obtenidos de la masa de aire y la masa del combustible, con ayuda de la Ec. 3.

#### *Datos a considerar:*

$m_{aire}$  = masa del aire

$m_{fuel}$  = masa del combustible

$EA$  = exceso de aire 20%

*Reemplazando la data en la Ec. 3, obtenemos lo siguiente:*

$$(Ec. 3) \ m_{aire/fuel} = \frac{170.15}{12.31}$$

$$m_{aire/fuel} = 13.82$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que para quemar la mezcla con un exceso de aire del 20%, la razón de mezcla aire-combustible es de 13.82:1 aproximadamente.

### ***Cálculo Poder Calorífico Superior e Inferior***

Como siguiente paso, se debe de calcular el poder calorífico superior e inferior del combustible a utilizar. Para el cálculo del poder calorífico superior “PCS” se hará uso de la Ec. 4, y para el cálculo del poder calorífico inferior “PCI”, se utiliza la Ec. 6 respectivamente.

#### Datos a considerar:

**PCS** = poder calorífico superior

**EA** = exceso de aire 20%

**X<sub>O</sub>** = % masa del oxígeno =?

**X<sub>C</sub>** = % masa del carbono =?

**X<sub>H</sub>** = % masa del hidrógeno =?

**X<sub>S</sub>** = % masa del azufre =?

**X<sub>cenizas</sub>** = % masa molar de cenizas =?

Para calcular el valor de estas variables se utiliza la Ec. 5, descrita a continuación.

#### Datos a considerar:

**i** = # de átomos del elemento

**X<sub>i</sub>** = % masa del elemento

Reemplazando la data en la Ec. 5, obtenemos lo siguiente:

$$(Ec. 5) X_C = \left( \frac{87.17}{87.17 * 1 + 0.1411 * 1 + 0.006654 * 1 + 0.001101 * 1 + 0.001147 * 1 + 0.000184 * 1} \right) * 100$$

$$X_C = 99.83\%$$

$$(Ec. 5) X_H = \left( \frac{0.1411}{87.17 * 1 + 0.1411 * 1 + 0.006654 * 1 + 0.001101 * 1 + 0.001147 * 1 + 0.000184 * 1} \right) * 100$$

$$X_H = 0.1616\%$$

$$(Ec. 5) X_O = \left( \frac{0.006654}{87.17 * 1 + 0.1411 * 1 + 0.006654 * 1 + 0.001101 * 1 + 0.001147 * 1 + 0.000184 * 1} \right) * 100$$

$$X_O = 0.00762\%$$

$$(Ec. 5) X_N = \left( \frac{0.001101}{87.17 * 1 + 0.1411 * 1 + 0.006654 * 1 + 0.001101 * 1 + 0.001147 * 1 + 0.000184 * 1} \right) * 100$$

$$X_N = 0.001261\%$$

$$(Ec. 5) X_S = \left( \frac{0.001147}{87.17 * 1 + 0.1411 * 1 + 0.006654 * 1 + 0.001101 * 1 + 0.001147 * 1 + 0.000184 * 1} \right) * 100$$

$$X_S = 0.001314\%$$

$$(Ec. 5) X_{cenizas} = \left( \frac{0.000184}{87.17 * 1 + 0.1411 * 1 + 0.006654 * 1 + 0.001101 * 1 + 0.001147 * 1 + 0.000184 * 1} \right) * 100$$

$$X_{ceniza} = 0.000211\%$$

Reemplazando la data en la Ec. 4, obtenemos lo siguiente:

$$(Ec. 4) PCS = 0.3491 * 99.81 + 1.1783 * 0.1616 + 0.1005 * 0.001314 + 0.12 * 0.001261 \\ - 0.1034 * 0.00762 - 0.0211 * 0.000211 \left[ \frac{MJ}{Kg}, db \right]$$

$$PCS = 35.043 \left[ \frac{MJ}{Kg}, db \right]$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que la mezcla de combustible propuesto, tiene un poder calorífico superior aproximado de 35.03 MJ/Kg en base seca, es decir no se contempla la humedad.

A continuación, se procede a calcular el poder calorífico inferior de dicha mezcla de combustible con ayuda de la Ec. 6, además se considera para este cálculo una humedad del 5%.

Datos a considerar:

**PCI** = poder calorífico inferior

**w** = humedad que contiene el combustible en % = 2.5

**h** = % masa o concentración del hidrógeno = 0.1616

*Reemplazando la data en la Ec. 6, obtenemos lo siguiente:*

$$(Ec. 6) \text{ PCI} = 35.02 * \left(1 - \frac{2.5}{100}\right) - 2.444 * \left(\frac{2.5}{100}\right) - 2.444 * 8.936 \left(\frac{0.1616}{100}\right) * \left(1 - \frac{2.5}{100}\right) \left[ \frac{MJ}{Kg}, wb \right]$$

$$PCI = 34.05 \left[ \frac{MJ}{Kg}, wb \right]$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que el combustible propuesto, tiene un poder calorífico inferior aproximado de 34.05 MJ/Kg en una base humedad del 2.5%.

### Composición de los Gases de Combustión del Combustible Propuesto

Para determinar los elementos que contenga los gases de la combustión se utilizara la Ec. 7, que a continuación se presenta.

Reemplazando la data en la Ec. 7, obtenemos los siguientes reactivos y productos:

$$\begin{aligned}
 (\text{Ec. 7}) \quad & CH_{0.1411}O_{0.006654}N_{0.001101}S_{0.001147} \\
 & + \left(1 + \frac{12.3 - 0}{4 * 87.17} - \frac{0.58}{2 * 87.17} + \frac{0.096}{2 * 87.17} + \frac{0.1}{87.17}\right) (1 + 0.20)(O_2 \\
 & + 3.76N_2) \\
 \rightarrow & CO_2 + \frac{12.3 - 0}{2 * 87.17} * H_2O + 1.2 * 3.76N_2 \\
 * & \left(1 + \frac{12.3 - 0}{4 * 87.17} - \frac{0.58}{2 * 87.17} + \frac{0.096}{2 * 87.17} + \frac{0.1}{87.17}\right) + \frac{0.1}{87.17} SO_2 + 0.2 * O_2 \\
 * & \left(1 + \frac{12.3}{4 * 87.17} - \frac{0.58}{2 * 87.17} + \frac{0.27}{2 * 87.17} + \frac{1.31}{87.17}\right) + \frac{0.096}{87.17} NO_2 + \frac{0}{87.17} HCl
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & CH_{0.1411}O_{0.006654}N_{0.001101}S_{0.001147} + 1.2394 O_2 + 4.66 N_2 \\
 \rightarrow & CO_2 + 0.0706 H_2O + 4.66 N_2 + 0.001147 SO_2 + 0.2083 O_2 + 0.001101 NO_2
 \end{aligned}$$

Una vez obtenida la ecuación química, se procede a verificar si el balance de la ecuación. En este caso tanto en el reactivo como en el producto debe tener la misma cantidad de elementos además de la misma cantidad de moles, en la siguiente tabla se encuentra dicha verificación.

**Tabla 9.** Verificación de Balance en la Ecuación Química de la Mezcla Propuesta  
Elaborado por: Los Autores

<b>ECUACION QUIMICA DE LA MEZCLA 20% DIESEL – 80% FUEL OIL 6</b>		
<b>ELEMENTOS</b>	<b>REACTIVOS</b>	<b>PRODUCTOS</b>
<b>C</b>	1	1
<b>H</b>	0.141	0.141
<b>O</b>	2.5	2.5
<b>N</b>	9.32	9.32
<b>S</b>	0.001	0.001

Para que se produzca la combustión de este combustible los reactivos a utilizar son el aire y el combustible (la fuente de ignición no se considera en esta ecuación), el combustible propuesto al igual que el fuel oil 6 es la unión de varios elementos, “ $\text{CH}_{0.1411}\text{O}_{0.006654}\text{N}_{0.001101}\text{S}_{0.001147}$ ”, el aire es la unión de los elementos oxígeno y nitrógeno, que para un exceso de aire del 20% es de “ $1.2394(\text{O}_2 + 3.76\text{N}_2)$ ”.

### ***Volumen de los Elementos en los Gases de Combustión del Combustible Propuesto***

Para el cálculo del volumen de cada elemento inmerso en los gases producidos por la quema del combustible propuesto, se utilizará la Ec. 9, pero para ello, se debe conocer el número total de moles de los elementos presentes en los residuos de la combustión del combustible, y para determinar este valor se utilizará la Ec. 8.

A continuación, el cálculo del número total de moles “ $N_t$ ”.

*Datos a considerar:*

$$\text{Mol } \text{CO}_2 = 1$$

$$\text{Mol } \text{N}_2 = 4.66$$

$$\text{Mol } \text{SO}_2 = 0.001147$$

$$\text{Mol } \text{O}_2 = 0.2083$$

$$\text{Mol } \text{NO}_2 = 0.001101$$

*Reemplazando la data en la Ec. 8, obtenemos lo siguiente:*

$$(\text{Ec. 8}) N_t = 1 + 4.66 + 0.001147 + 0.2083 + 0.001101$$

$$N_t = 5.87$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que para quemar combustible propuesto con un exceso de aire del 20%, el número total de moles para los gases de escape es de 5.87 moles aproximadamente.

A continuación, se procede a determinar el porcentaje contenido de cada elemento dentro de los gases de combustión con la Ec. 9.

Datos a considerar:

$$\text{Mol } \text{CO}_2 = 1$$

$$\text{Mol } \text{N}_2 = 4.66$$

$$\text{Mol } \text{SO}_2 = 0.001147$$

$$\text{Mol } \text{O}_2 = 0.2083$$

$$\text{Mol } \text{NO}_2 = 0.001101$$

$$N_t = 5.87$$

Reemplazando la data en la Ec. 9, obtenemos lo siguiente:

$$(\text{Ec. 9})\% \text{CO}_2 = \frac{1}{5.87} * 100$$

$$\% \text{CO}_2 = 17.04 \%$$

$$(\text{Ec. 9})\% \text{N}_2 = \frac{4.66}{5.87} * 100$$

$$\% \text{N}_2 = 79.39 \%$$

$$(\text{Ec. 9})\% \text{SO}_2 = \frac{0.001147}{5.87} * 100$$

$$\% \text{SO}_2 = 0.01954\%$$

$$(Ec. 9)\%O_2 = \frac{0.2083}{5.87} * 100$$

$$\%O_2 = 3.5486\%$$

$$(Ec. 9)\%NO_2 = \frac{0.001101}{5.87} * 100$$

$$\%NO_2 = 0.01876\%$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que los elementos del volumen total de gases de combustión de base seca y con un exceso de aire del 20%, el dióxido de carbono “CO<sub>2</sub>” se encuentra en un 17.04%, el nitrógeno en un 79.39%, el dióxido de azufre “SO<sub>2</sub>” en un 0.01954%, el dióxido de nitrógeno “NO<sub>2</sub>” en un 0.01876% y el oxígeno en un 3.55% de un total de moles para los gases de escape de 5.87 aproximadamente.

#### ***Estimación de Elementos Emanados al Aire***

Para estimar los residuos de los elementos que conforman los gases de la combustión, se utilizará la Ec. 10, la cual permitirá estimar la cantidad de contaminantes por elemento, expresado en “Kg/H.

#### ***Datos a considerar:***

***E<sub>cont</sub>*** = estimación de contaminante emanado al ambiente

***N<sub>cont</sub>*** = número de moles del contaminante en la ecuación

***PM<sub>cont</sub>*** = masa molar del contaminante

***PM<sub>fuel</sub>*** = masa molar del combustible quemado

Los elementos contaminantes a estimar son los del producto resultado de la quema del combustible propuesto,  $CO_2 + 0.0706 H_2O + 4.66 N_2 + 0.001147 SO_2 + 0.2083 O_2 + 0.001101 NO_2$

Reemplazando la data en la Ec. 10, obtenemos lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 & (Ec. 10)E_{CO_2} \\
 &= \left( 477 \frac{Gls}{H} * 3.86 \frac{Lts}{Gls} * 0.882 \frac{Kg}{Lts} \right) * (1) \\
 & * \left( \frac{12 * 1 + 16 * 2}{12 * 1 + 1 * 0.1411 + 16 * 0.006634 + 14 * 0.001101 + 32 * 0.001147} \right) * 10^{-3} \\
 & \quad \quad \quad E_{CO_2} = 5.81 \frac{Kg}{H}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (Ec. 10)E_{H_2O} \\
 &= \left( 477 \frac{Gls}{H} * 3.86 \frac{Lts}{Gls} * 0.882 \frac{Kg}{Lts} \right) * (0.0706) \\
 & * \left( \frac{1 * 2 + 16 * 1}{12 * 1 + 1 * 0.1411 + 16 * 0.006634 + 14 * 0.001101 + 32 * 0.001147} \right) * 10^{-3} \\
 & \quad \quad \quad E_{H_2O} = 0.1678 \frac{Kg}{H}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (Ec. 10)E_{N_2} \\
 &= \left( 477 \frac{Gls}{H} * 3.86 \frac{Lts}{Gls} * 0.882 \frac{Kg}{Lts} \right) * (4.66) \\
 & * \left( \frac{14 * 2}{12 * 1 + 1 * 0.1411 + 16 * 0.006634 + 14 * 0.001101 + 32 * 0.001147} \right) * 10^{-3} \\
 & \quad \quad \quad E_{N_2} = 17.23 \frac{Kg}{H}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (Ec. 10)E_{SO_2} \\
 &= \left( 477 \frac{Gls}{H} * 3.86 \frac{Lts}{Gls} * 0.882 \frac{Kg}{Lts} \right) * (0.0012) \\
 & * \left( \frac{32 * 1 + 16 * 2}{12 * 1 + 1 * 0.1411 + 16 * 0.006634 + 14 * 0.001101 + 32 * 0.001147} \right) * 10^{-3} \\
 & \quad \quad \quad E_{SO_2} = 0.0101 \frac{Kg}{H}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (Ec. 10)E_{O_2} \\
 &= \left( 477 \frac{Gls}{H} * 3.86 \frac{Lts}{Gls} * 0.882 \frac{Kg}{Lts} \right) * (0.2083) \\
 & * \left( \frac{16 * 2}{12 * 1 + 1 * 0.1411 + 16 * 0.006634 + 14 * 0.001101 + 32 * 0.001147} \right) * 10^{-3}
 \end{aligned}$$

$$E_{O_2} = 0.88 \frac{Kg}{H}$$

$$\begin{aligned} & (Ec. 10) E_{NO_2} \\ & = \left( 477 \frac{Gls}{H} * 3.86 \frac{Lts}{Gls} * 0.882 \frac{Kg}{Lts} \right) * (0.0011) \\ & * \left( \frac{14 * 1 + 16 * 2}{12 * 1 + 1 * 0.1411 + 16 * 0.006634 + 14 * 0.001101 + 32 * 0.001147} \right) * 10^{-3} \\ & E_{NO_2} = 0.00668 \frac{Kg}{H} \end{aligned}$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que los elementos del volumen total de gases de combustión de base seca y con un exceso de aire del 20%, se emanara al ambiente 5.81 Kg/H de dióxido de carbono “CO<sub>2</sub>”, 0.1678 Kg/H de agua contaminada, 17.23 Kg/H de nitrógeno, 0.0101 Kg/H de dióxido de azufre, 0.88 Kg/H de oxígeno y 0.00668 Kg/H de dióxido de nitrógeno aproximadamente.

Las variables consideradas para la selección del combustible en el desarrollo de este proyecto son las siguientes: las propiedades físico-químicas de cada combustible seleccionado y los costos del combustible vigentes en Ecuador, la combinación de estos combustibles líquidos diésel y bunker forman el combustible dual, el cual es el resultado de la mezcla de un %diésel más un %bunker. Las características físico-químicas de estos combustibles, se presentan en la tabla 7, de las propiedades del combustible seleccionado.

**Tabla 10.** Propiedades del Combustible Fuel Oil #2 & Fuel Oil #6

**Fuente:** Libro “Calderas Industriales y Marinas”

PROPIEDADES	DIESEL OIL #2	FUEL OIL #6
Viscosidad SS a 100 °F	36 a 45	3714 a 3805
Gravedad Especifica	0.948 a 0.986	0.9503 a 0.9535
Grado API	33 a 35	16.9 a 17.4
Punto de Inflamación °F	180	285
Punto de Fluidez	44	30
Poder calorífico superior	140000 BTU/GAL	150000 BTU/GAL
Contenido de azufre	0.49	1.5
Contenido de vanadio (ppm)	1.5	120
Contenido de ceniza	-	0.04 a 0.15
Valor \$ del Galón	2.16	0.91

Considerando la mezcla de ambos combustibles, la red del sistema de combustible

dual se la define por el costo del fuel oil #6, este es bajo, sin embargo, es más contaminante para el ambiente, por lo cual se lo eligió una mezcla con el diésel oil #2 ya que sus propiedades son bajas en azufre y ceniza, este bajará las emisiones de gases, los costos de consumo de combustible por el cual se detalla el cálculo para establecer el % adecuado para cada combustible en el capítulo 4.

#### ***3.4.3.4 Cálculo del Consumo de Combustible***

Para realizar el cálculo del consumo de combustible, se debe conocer el tipo de caldera a la que se debe alimentar, las cuales, para efectos de análisis en este trabajo, son calderas pirotubulares, una vez seleccionado el tipo de combustible, se determina el tipo de sistema, en este caso será un sistema dual (diésel-bunker), se debe considerar acorde a una autonomía para establecer el volumen de los tanques principales y tanque diario.

Las calderas pirotubulares cuentan con una placa donde se especifica su capacidad en BHP (Boiler Horse Power) en base a esa capacidad se hace una relación de capacidad vs. consumo, la cuales se detallan a continuación.

Caldera #1 de 300 BHP, caldera #2 de 600 BHP, caldera #3 de 800 BHP. Por lo tanto, se eligió la #2 de 600BHP y la #3 de 800 BHP, la suma da una capacidad de 1400 BHP a ese valor se lo multiplica por un factor de conversión que lo establece el fabricante que es de 0.28 Gls/H \* BHP para combustible fuel oil. (Cleaver Brooks, 2010, pág. 17)

Con la Ec. 11, se puede calcular el consumo de combustible por hora para el proceso de generación de vapor.

#### ***Ecuación 11. Consumo de Combustible por Hora***

$$Q_{fuel\ oil} = \text{Capacidad de la caldera en BHP} \times \text{Factor de Consumo de Combustible} \frac{G}{H * BHP}$$

*Datos a considerar:*

$Q_{fuel\ oil}$  = Consumo de combustible

**Cap. Caldera** = 1400BHP

**Factor Consumo** = 0.28 Gls / H \* BHP

Reemplazando la data en la Ec. 11, obtenemos lo siguiente:

$$(Ec. 11) Q_{fuel\ oil} = 1400\ BHP \times 0.28 \frac{G}{H * BHP}$$

$$Q_{fuel\ oil} = 392\ Gls/H$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que para una capacidad de generación de vapor de 1400BHP, el consumo de combustible es de 392 galones por hora aproximadamente.

### 3.4.4 Cálculos para Diseño de Tanques de Combustible

#### 3.4.4.1 Cálculo y diseño del tanque principal de combustible

El cálculo del tanque principal o también llamado tanque de reserva, el cual debe tener una autonomía de 32 horas de almacenamiento, se detalla a continuación.

Para el diseño de tanques de almacenamiento de materias primas y productos de planta se deben efectuar bajo la norma API-ASME, para lo cual la Ec. 12, permite realizar el cálculo de tanques que trabajan a presión atmosférica y contienen productos (líquidos o sólidos) en su interior.

*Ecuación 12. Capacidad de Almacenamiento de un Tanque*

$$V_{fuel\ oil} = Consumo\ de\ Combustible\ en\ \frac{Gls}{H} \times Autonomia\ en\ H$$

Para esta ecuación se tienen los siguientes datos:

$$Q_{fuel\ oil} = 392 \text{ Gls / H}$$

$$Autonomía = 32H$$

$V_{fuel\ oil}$  = Volumen del tanque

**Autonomía** = Horas de almacenamiento del combustible

Reemplazando la data en la Ec. 12, obtenemos lo siguiente:

$$(Ec. 12) V_{fuel\ oil} = 392 \frac{Gls}{H} \times 32H$$

$$V_{fuel\ oil} = 12544 \text{ Gls}$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que, para un consumo aproximado de 392 galones de combustible, el volumen de combustible a almacenar es de 12544 galones aproximadamente, para una autonomía de 32 horas de operación.

El sistema de combustible propuesto en este proyecto, trabaja con una mezcla de combustible diésel y bunker, sin embargo, el sistema propuesto puede operar con un solo combustible o diésel o bunker.

Considerando este punto, se debe fabricar un segundo tanque con la misma capacidad de almacenamiento de 12544 galones, con esto podemos garantizar que el sistema de combustible propuesto puede satisfacer la demanda de picos de consumo de combustible.

Una vez establecido la capacidad de nuestro tanque principal nos guiamos por una tabla estándar donde se muestra información de sus dimensiones.

*Tabla 11. Diámetros para Tanques Según su Capacidad de Almacenamiento*  
*Fuente: [9]*

CAPACIDAD (GAL)	DIAMETRO MAX (M)	ESPELOR MINIMO (MM)
< 1321	1.5	3.5
1322-2642	1.85	4.0
2643-3963	2.33	4.5
3964-6605	2.65	5.0
6606-13210	3.16	6.5
13211-20000	4.0	8.0

Basándose en datos según la tabla 11, para este proyecto el tanque principal tendrá un diámetro de 3.16Mts, evaluando el posible espacio físico del área y por un mejor presupuesto, se decide diseñar el tanque con diámetro de 4Mts ya que el volumen a almacenar es de 12544 Gls aproximadamente, para establecer la altura de dicho tanque, se utiliza la siguiente la Ec. 13.

*Ecuación 13. Altura de un Tanque de Combustible*

$$L = \frac{V_{fuel\ oil\ en\ Mts^3}}{\pi * R^2}$$

Para esta ecuación se tienen los siguientes datos:

$$V_{fuel\ oil} = 12544\ Gls = 47.48\ Mts^3$$

$$Autonomía = 32H$$

$L$  = Altura del tanque

$R$  = Radio de tanque de almacenamiento del combustible

$$D = 4\ Mts$$

Reemplazando la data en la Ec. 13, obtenemos lo siguiente:

$$(Ec. 13) L = \frac{47.48 \text{ Mts}^3}{\pi * (2 \text{ Mts})^2}$$

$$L = 3.78 \text{ Mts} \approx 4 \text{ Mts}$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que, para un volumen aproximado de 47.48 Mts<sup>3</sup> de combustible, la altura del tanque de combustible a almacenar es de 4 Mts aproximadamente.

Con esta información determinamos que el sistema contara con dos tanques, uno para combustible diésel y otro para combustible bunker, cada uno con capacidad de almacenamiento de 12544 galones, un diámetro de 4Mts y una altura aproximada de 4Mts.

#### **3.4.4.2 Cálculo y Diseño del Tanque Diario**

Para el cálculo del tanque diario deberá disponer como aspecto general un mínimo de capacidad, con lo cual el combustible logre abastecer como mínimo 4 horas de operación para las calderas, se asume esa autonomía, el diseñador del sistema debe considerar las recomendaciones del fabricante de la caldera, el cual menciona, que la ubicación del tanque deberá estar lo más cerca de las calderas para la alimentación.

El tanque diario deberá contar con un sistema de calentamiento con una temperatura aproximada de 60°C, ya que es este tanque se va a efectuar la mezcla de los 2 combustibles (diésel-Bunker).

Tomando en consideración el consumo del grupo de calderas, que es de 392 Gls/H trabajando las calderas a su máxima capacidad, este valor se multiplica por la autonomía (horas de trabajo), para poder tener una capacidad de almacenamiento aproximada, el diseñador debe tener un volumen de seguridad en base a su criterio técnico, en este caso, se decide que un 10% de la capacidad total a almacenar es la más apropiada para satisfacer la demanda de combustible y mantener al grupo de calderas operativa.

Para determinar dicho valor, se debe utilizar la Ec. 12, como se muestra a continuación.

Para esta ecuación se tienen los siguientes datos:

$$Q_{fuel\ oil} = 392 \text{ Gls / H}$$

$$Autonomía = 4H$$

$$V_{fuel\ oil} = \text{Volumen del tanque}$$

$$Autonomía = \text{Horas de almacenamiento del combustible}$$

Reemplazando la data en la Ec. 12, obtenemos lo siguiente:

$$(Ec. 12) V_{fuel\ oil} = 392 \frac{Gls}{H} \times 4H$$

$$V_{fuel\ oil} = 1568 \text{ Gls}$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que, para un consumo aproximado de 392 galones de combustible, el volumen de combustible a almacenar es de 1568 galones aproximadamente, para una autonomía mínima de 4 horas de operación.

Este valor se le debe aplicar un factor de seguridad del 10%, con lo cual determinamos el volumen de almacenamiento del tanque diario con la Ec. 14, la cual presentamos a continuación.

*Ecuación 14. Capacidad del Tanque con Factor de Seguridad*

$$V_{fuel\ oil\ total} = \text{Capacidad de almacenamiento en Gls} \times \% \text{ de Factor de seguridad}$$

Para esta ecuación se tienen los siguientes datos:

$$V_{fuel\ oil} = \text{Volumen del tanque}$$

$$\text{Factor de Seguridad} = 10\%$$

Reemplazando la data en la Ec. 14, obtenemos lo siguiente:

$$(Ec. 14) V_{fuel\ oil\ total} = 1568\ Gls \times 10\%$$

$$V_{fuel\ oil} = 1724,8\ Gls \approx 1725\ Gls$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que, para un consumo aproximado de 392 galones de combustible, el volumen de combustible a almacenar en el tanque diario es de 1725 galones aproximadamente con un factor de seguridad de 10%, para una autonomía de 4 horas de operación.

Con la tabla 11, se logra encontrar el diámetro del tanque, sin embargo, bajo criterio de los autores, se debe realizar una interpolación lineal, con los parámetros de capacidad y los diámetros registrados en la tabla 12.

**Tabla 12.** Interpolación para Diámetro de Tanque Diario  
*Elaborado por: Los Autores*

Capacidad de almacenamiento en Gls (X)	Diámetros en Mts (Y)
1322	1.5
1725	
2642	1.85

Para determinar el diámetro del tanque se utiliza los datos de la tabla 12 para resolver en la Ec. 15, desarrollada a continuación.

**Ecuación 15.** Interpolación Lineal

$$y = y_1 + \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} (x - x_1)$$

Desarrollo:

$$(Ec. 15) \ y = 1.5 Mts + \frac{(1.85 Mts - 1.5 Mts)}{(2642 Gls - 1322 Gls)} (1725 Gls - 1322 Gls)$$

$$y = 1.61 Mts$$

Con este resultado se determina que, para el tanque diario, el cual, para satisfacer una autonomía de 4 horas de operación, debe tener un diámetro de 1.61 Mts aproximadamente.

A continuación, se calcula la altura del tanque diario para su posterior diseño, para esto se utiliza la Ec. 13.

Para esta ecuación se tienen los siguientes datos:

$$V_{fuel\ oil} = 1725 Gls = 6.53 Mts^3$$

$$Autonomía = 4H$$

$L$  = Altura del tanque

$R$  = Radio de tanque de almacenamiento del combustible

$$D = 1.61 Mts$$

Reemplazando la data en la Ec. 13, obtenemos lo siguiente:

$$(Ec. 13) \ L = \frac{6.53 Mts^3}{\pi * (0.805 Mts)^2}$$

$$L = 3.21 Mts$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que, para un volumen aproximado de 6.53 Mts<sup>3</sup> de combustible, la altura del tanque diario de combustible a almacenar es de 3.21 Mts aproximadamente.

### 3.4.5 Cálculo y Selección de las Bombas de Combustible

En la tabla 13, se muestra en resumen los resultados obtenidos en los cálculos realizados en los puntos 3.4.3.4 Cálculo del Consumo de Combustible, 3.4.4.1 Cálculo y Diseño del Tanque Principal de combustible y el punto 3.4.4.2 Cálculo y Diseño del Tanque Diario.

Dichos cálculos son requeridos para determinar las bombas requeridas para la operación del sistema de combustible propuesto.

**Tabla 13.** Resumen de Resultados de Cálculos Puntos 3.4.3.4, 3.4.4.1 y 3.4.4.2  
*Elaborado por: Los Autores*

	Potencia Calderas
Capacidad Calderas	1400
GPH/HP	0,28
GPH	392
Autonomía De Tanques Principales	32
Galones En 32 Horas	12544
Autonomía De Tanque Diario	4
Galones En 4 Horas	1568

#### 3.4.5.1 Cálculo del Caudal de la Bomba de Recepción

Para determinar el valor del caudal en la bomba de recepción, se debe utilizar la Ec. 16, como se muestra a continuación.

**Ecuación 16.** Caudal del Combustible

$$\dot{V}_{caudal} = \text{Capacidad de almacenamiento} \times \text{Tiempo de Descarga}$$

Para esta ecuación se tienen los siguientes datos:

$V_{fuel\ oil}$  = Volumen del tanque

$t$  = Tiempo de descarga = 3H = 180MIN

Reemplazando la data en la Ec. 16, obtenemos lo siguiente:

$$(Ec. 16) \dot{V}_{caudal} = 12544\ Gls \times 180MIN$$

$$\dot{V}_{caudal} = 69.69\ GPM = 70GPM$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que, para una descarga de 12544Gls en un tiempo de 180Min, el caudal aproximado a considerar para la bomba de recepción es de 70GPM (galones por minuto) aproximadamente.

En la tabla 14, se muestra en resumen los resultados obtenidos en el cálculo realizados para el caudal de la bomba de recepción de combustible.

**Tabla 14.** Resultado de Cálculo de Caudal para la Bomba de Recepción  
*Elaborado por: Los Autores*

<b>BOMBA DE RECEPCION</b>		
Porcentaje De Volumen A Bombear		100%
Volumen	GAL	12544
Tiempo	MIN	180
Caudal De La Bomba De Recepción	GPM	69,69

### 3.4.5.2 Cálculo del Caudal de la Bomba de Traslase

Para determinar el valor del caudal en la bomba de trasvase, se debe utilizar la Ec. 17, como se muestra a continuación.

*Ecuación 17. Caudal para Bombas de Caldera*

$$\dot{V}_{\text{Caudal Bomba Caldera}} = \frac{(\sum_{n=1} \text{Potencia de caldera}) \text{BHP} \times \text{Factor de Consumo Gls}}{t_{\text{MIN}} * \text{BHP}}$$

Para esta ecuación se tienen los siguientes datos:

**Cap. Caldera 1 = 300BHP**

**Cap. Caldera 2 = 600BHP**

**Cap. Caldera 3 = 800BHP**

**Factor Consumo = 0.28 Gls / H \* BHP**

**t = Tiempo de descarga = 30MIN**

*Reemplazando la data en la Ec. 17, obtenemos lo siguiente:*

$$(Ec. 17) \dot{V}_{\text{Caudal Bomba Caldera}} = \frac{(300 + 600 + 800) \text{BHP} * 0.28 \text{ Gls}}{30 \text{MIN} * \text{BHP}}$$

$$\dot{V}_{\text{Caudal Bomba caldera}} = 15.87 \text{ GPM}$$

El volumen a transportar es el 25% del volumen del tanque diario de combustible.

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que, para una descarga de 476Gls en un tiempo de 30Min, el caudal aproximado a considerar para la bomba de recepción es de 15.87GPM (galones por minuto) aproximadamente.

En la tabla 15, se muestra en resumen los resultados obtenidos en el cálculo realizados para el caudal de la bomba de trasvase de combustible.

**Tabla 15. Resultados de Cálculo de Caudal para la Bomba de Traslase**  
*Elaborado por: Los Autores*

<b>BOMBA DE TRASVASE</b>		
Porcentaje De Volumen A Bombear		25%
Volumen	GAL	476
Tiempo	MIN	30
Caudal De La Bomba De Traslase	GPM	15.87

### 3.4.5.3 Cálculo del Caudal de la Bombas para Calderas

Para determinar el valor del caudal en las bombas para calderas, se debe utilizar la Ec. 17, como se muestra a continuación.

Para esta ecuación se tienen los siguientes datos:

**Cap. Caldera 1 = 300BHP**

**Cap. Caldera 2 = 600BHP**

**Cap. Caldera 3 = 800BHP**

**Factor Consumo = 0.28 Gls / H \* BHP**

**t = Tiempo de descarga = 60MIN**

Reemplazando la data en la Ec. 17, obtenemos lo siguiente:

$$(Ec. 17) \dot{V}_{Caudal Bomba Caldera} = \frac{(300 + 600 + 800)BHP * 0.28 \text{ Gls}}{60MIN * BHP}$$

$$\dot{V}_{\text{Caudal Bomba caldera}} = 7.93 \text{ GPM}$$

De acuerdo al resultado obtenido, se determina que, para una potencia de 1700BHP, el caudal aproximado a considerar para las bombas de calderas es de 7.93GPM (galones por minuto) aproximadamente.

#### **3.4.5.4 Cálculo de Pérdidas de Presión por Fricción en Tuberías (Recepción, Traslase, Calderas)**

Para determinar el valor de las pérdidas de presión por fricción en las tuberías de las secciones de recepción, trasvase y calderas, se debe utilizar las tablas de las pérdidas de presión del ANEXO 5, para utilizar dichas tablas se requiere conocer de antemano, el galonaje por minuto a pasar por la tubería, el diámetro de la tubería, la viscosidad del fluido a transportar.

Si el valor requerido no se encuentra de forma directa en la tabla, se debe utilizar la Ec. 15, para interpolar y obtener el valor correspondiente a los datos con los que se cuenta al momento de realizar el cálculo.

##### **3.4.5.4.1 Pérdida de Presión por Fricción en Tubería Bomba de Recepción**

Los datos a considerar se encuentran en la tabla 16, descrita a continuación.

**Tabla 16.** Datos para Cálculo de Pérdida de Presión por Fricción Tubería Bomba de Recepción  
*Elaborado por: Los Autores*

Combustible a Transportar en GPM (X)	Pérdidas en PSI/FT (Y)
60	0.32
70	
80	0.44

Para determinar la pérdida de presión en la tubería del tanque recepción se utiliza los datos de la tabla 16 para resolver en la Ec. 15, desarrollada a continuación.

Desarrollo:

$$(Ec. 15) \ y = 0.32 \text{ PSI/FT} + \frac{\left(0.44 \frac{\text{PSI}}{\text{FT}} - 0.32 \text{ PSI/FT}\right)}{(80 \text{ GPM} - 60 \text{ GPM})} (70 \text{ GPM} - 60 \text{ GPM})$$

$$y = 0.38 \text{ PSI/FT}$$

Con este resultado se determina que, para la línea de tubería para las bombas de recepción, se tendrá una pérdida de presión por fracción de 0.38 PSI/FT aproximadamente.

#### **3.4.5.4.2 Pérdida de Presión por Fricción en Tubería Bomba de Traslase**

Para el cálculo de la pérdida de presión por fricción en la línea de tubería de la bomba de trasvase no es necesario utilizar la interpolación ya que se tomará el resultado directo de la tabla considerando los siguientes datos:

- Caudal 15 GPM
- Diámetro de tubería 2"
- Viscosidad a 40°C 5000 SSU

Con este resultado se determina que, para la línea de tubería para la bomba de trasvase, se tendrá una pérdida de presión por fracción de 0.25 PSI/FT aproximadamente.

### 3.4.5.4.3 Perdida de Presión por Fricción en Tubería Bomba de Traslase

Los datos a considerar se encuentran en la tabla 17, descrita a continuación.

**Tabla 17.** Datos para Cálculo de Perdida de Presión por Fricción Tubería Bomba de Caldera

*Elaborado por:* Los Autores

Combustible a Transportar en GPM (X)	Perdidas en PSI/FT (Y)
7	0.19
<b>7.93</b>	
<b>10</b>	0.27

Para determinar la pérdida de presión en la tubería del tanque recepción se utiliza los datos de la tabla 17 para resolver en la Ec. 15, desarrollada a continuación.

Desarrollo:

$$(Ec. 15) \ y = 0.19 \text{ PSI/FT} + \frac{\left(0.27 \frac{\text{PSI}}{\text{FT}} - 0.19 \text{ PSI/FT}\right)}{(10\text{GPM} - 7\text{GPM})} (7.93\text{GPM} - 7\text{GPM})$$

$$y = 0.22 \text{ PSI/FT}$$

Con este resultado se determina que, para la línea de tubería para la bomba de traslase, se tendrá una pérdida de presión por fricción de 0.22 PSI/FT aproximadamente.

Para lograr la selección de las bombas de combustible desde la recepción hacia los tanques principales, luego las bombas de traslase hacia el tanque diario y las bombas de cada una de las calderas, será necesario contar con su caudal apropiado acorde a la viscosidad del líquido que se va a pasar, su temperatura, su gravedad específica, su diferencial de presión, luego de este proceso se utilizara un software para la selección de bomba de cada uno de los requerimientos que se solicitan Viking.

La capacidad de galonaje de operación de cada bomba se encuentran registradas en los datos técnicos del equipo y elaborados por el fabricante de cada elemento, la bomba de recepción tiene una capacidad de galonaje de 12600Gls, es decir al contar con dos tanques principales, uno para diésel y otro para bunker, cada bomba de recepción debe tener dicha capacidad.

La capacidad de cada bomba de trasvase es de 476Gls, el sistema cuenta con dos bombas de trasvase por lo que es necesario que ambas cuenten con la misma capacidad de galonaje.

Para las bombas de calderas, cada una tiene una capacidad de galonaje diferente ya que sus potencias son distintas, las capacidades de las bombas se rigen por la capacidad de cada quemador instalado en la caldera correspondiente.

La bomba para el quemador de la caldera de 300BHP tiene una capacidad de 84Gls, la bomba para el quemador de 600BHP es de una capacidad de 160 Gls, y la bomba para el quemador de 800BHP tiene una capacidad de 233Gls. La capacidad total de las bombas de las tres calderas es igual a 476Gls.

**Tabla 18.** Características de Operación de las Bombas  
*Elaborado por: Los Autores*

	BOMBA RECEPCION	BOMBA TRASVASE	BOMBAS CALDERAS
Capacidad G	12600	476	476
Tiempo Min	180	30	60
Caudal GMP	70	15.87	7.93
Viscosidad SSU	8000	5000	3000
Delta presión PSI	50	200	100
Gravedad específica	1	1	1
Temperatura	40	50	60
Diámetro de la tubería	3"	2"	1.5"
Longitud de la tubería	132	820	460

Una vez encontrado los valores que el software nos solicita procedemos a ingresarlos para seleccionar el tipo de bomba que se necesitara cabe recalcar que debemos seleccionar bombas que estén en nuestro mercado o en referencia la serie de la bomba que el fabricante de la caldera recomienda. (Viking Selector Pump, 2020)

### 3.4.5.5 Cálculo y Selección de la Bomba de Recepción de Combustible

Para la bomba de recepción se ingresan los siguientes valores que están en la tabla 6.

OPCIONES DE SELECCIÓN DE BOMBA	
<b>Comience aquí</b>	
Seleccione:	Selección de bomba ▼ <a href="#">¿Que es esto?</a>
CONFIGURACIÓN DE BOMBA	
<b>Lugar</b>	
Otro ▼	
OPCIONES DE CONFIGURACIÓN DE LA BOMBA	
Construcción	Opciones de sellado
Hierro fundido ▼	Sello mecánico ▼
Chaquetas	Aprobación Sancionada
<input type="checkbox"/>	Ninguna ▼
CONFIGURACIONES DE LA APLICACIÓN	
<b>Viscosidad</b>	<b>Presión diferencial</b>
8000	50
SSU ▼	PSI ▼
<b>Temperatura</b>	<b>Gravedad específica</b>
40	1
C ▼	<a href="#">Valores predeterminados</a>
LÍMITES OPERATIVOS	
<b>Caudal</b>	
70	GPM ▼
<input type="radio"/> RPM máximas	<input type="radio"/> % De velocidad nominal máxima
<input type="text"/>	<input type="text"/>
OPCIONES DE RESULTADOS DEL SELECTOR	
<a href="#">Obtener índice de resultados</a>	
PANTALLA GRÁFICA	
Unidades de flujo	Unidades de potencia
GPM ▼	BHP ▼
	Unidades de presión
	PSI ▼
La notas del usuario	

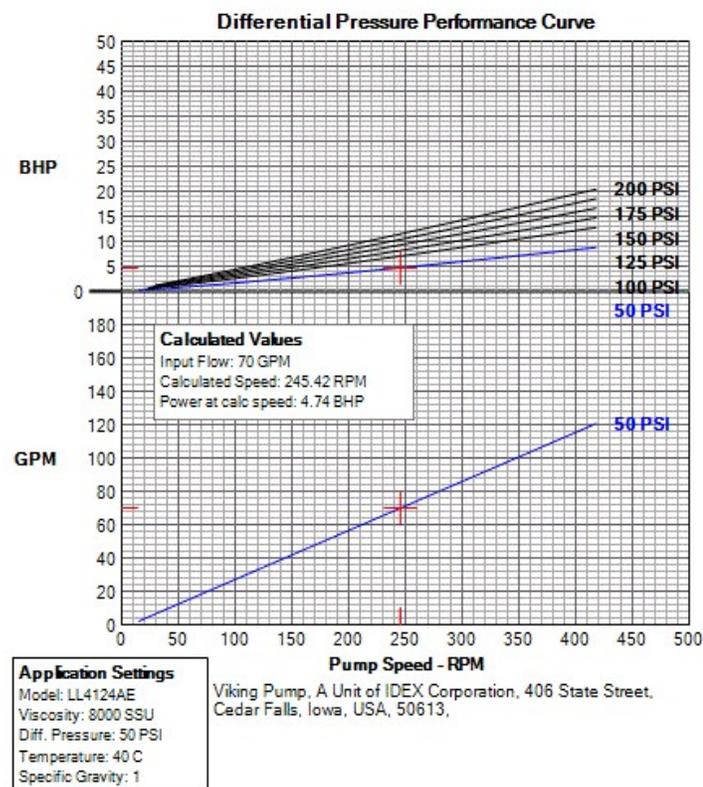
**Figura 56.** Configuración de Software para Selección de Bombas de Recepción

**Fuente:** <http://pumpselector.vikingpump.com/selectValues.aspx>

Al ingresar los datos al software, se presentan los siguientes resultados, en el cual muestra la curva y el tipo de bomba acorde a los parámetros ingresados, sin embargo, se descarta algunas bombas en base a la recomendación de Cleaver Brooks ya que ellos manejan un estándar de bomba para los fluidos pesados, fuel oil #6, luego se revisa acorde a lo que el mercado ofrece y se selecciona una bomba con las siguientes especificaciones.

**Tabla 19. Especificaciones para Bomba de Recepción**  
*Elaborado por: Los Autores*

<b>Marca:</b>	Viking
<b>Modelo:</b>	LL4124AE
<b>Caudal:</b>	70 GPM
<b>Material:</b>	Hierro Fundido
<b>Conexión de succión y descarga:</b>	3"
<b>Potencia:</b>	4.74 HP
<b>Viscosidad:</b>	8000 SSU
<b>RPM:</b>	245.72



**Figura 57. Curva de Diferencial de Presión para Bomba de Recepción**  
*Fuente: <http://pumpsselector.vikingpump.com/selectValues.aspx>*

### 3.4.5.6 Cálculo y Selección de la Bombas de Traslase de Combustible

Para la selección de las bombas de trasvase se debe considerar que su velocidad de trabajo será un 25%, por lo que en este punto se va realizar el trasvase de bunker y diésel, se va a necesitar dos bombas para cada uno de los tanques, las bombas contarán con un vibrador de frecuencia y un motor de ventilación forzado para poder bajar los Hz de las bombas y no se afecte la vida útil de las mismas.

The screenshot shows the 'PUMP SELECTION OPTIONS' software interface. It is organized into several sections:

- PUMP SELECTION OPTIONS:** Includes a 'Start here' link, a 'Select:' dropdown menu set to 'Pump selection', and a 'What is this?' link.
- PUMP CONFIGURATION:** Features a 'Location' dropdown menu set to 'Other'.
- PUMP CONFIGURATION OPTIONS:** Contains 'Construction' (Cast Iron), 'Sealing Options' (Mechanical Seal), 'Jacketing' (checkbox), and 'Sanctioned Approval' (None).
- APPLICATION SETTINGS:** Includes 'Viscosity' (5000 SSU), 'Differential Pressure' (200 PSI), 'Temperature' (50 C), and 'Specific Gravity' (1).
- OPERATING LIMITS:** Shows 'Flow Rate' (15.87 GPM) and 'Max RPM' / '% Max Rated Speed' (25%).
- SELECTOR RESULTS OPTIONS:** Contains a 'Get results index' button.
- GRAPH DISPLAY:** Includes 'Flow Units' (GPM), 'Power Units' (BHP), and 'Pressure Units' (PSI).

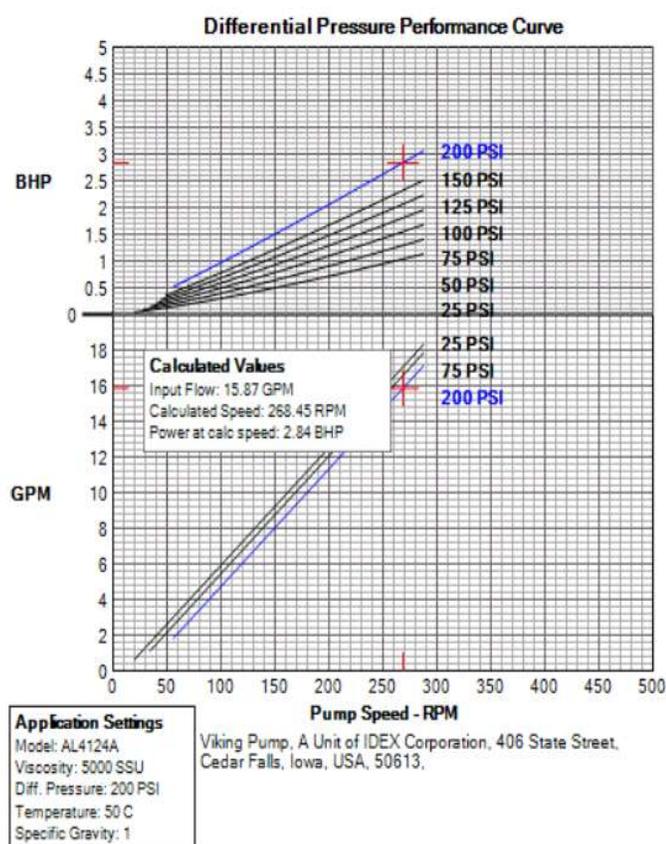
**Figura 58.** Configuración de Software para Selección de Bombas de Traslase

**Fuente:** <http://pumpselector.vikingpump.com/selectValues.aspx>

Luego el software presenta los siguientes resultados en el cual, además muestra la curva y el tipo de bomba acorde a los parámetros ingresados, sin embargo, descarto algunas bombas en base a la recomendación de Cleaver Brooks ya que ellos manejan un estándar de bomba para los flujos pesados fuel oil #6 luego se revisa acorde a lo que se tiene en el mercado y se selecciona una bomba con las siguientes especificaciones:

**Tabla 20. Especificaciones para Bomba de Trasvase**  
*Elaborado por: Los Autores*

<b>Marca:</b>	Viking
<b>Modelo:</b>	AL4124A
<b>Caudal:</b>	15.87 GPM
<b>Material:</b>	Hierro Fundido
<b>Conexión de succión y descarga:</b>	2"
<b>Potencia:</b>	2.84 HP
<b>Viscosidad:</b>	5000 SSU
<b>RPM:</b>	268.45



**Figura 59. Curva de Diferencial de Presión para Bomba de Trasvase**  
*Fuente: <http://pumpselector.vikingpump.com/selectValues.aspx>*

### 3.4.5.7 Cálculo y Selección de las Bombas de Combustible para Calderas

Para la selección de las bombas de cada una de las calderas, para su alimentación de combustible hacia su quemador se debe considerar un factor de circulación 2" a criterio

del diseñador entonces contamos con un caudal de 7.93 GPM para suministrar combustible a cada una de las calderas de un valor de 15.86 GPM, cabe recalcar que se tiene una misma tubería para recirculación de las tres calderas, con esto aseguramos que la recirculación al tanque diario va a ser constante, y nuestro tanque no va a necesitar un sistema de agitación para mantener una mezcla homogénea de los dos combustibles (bunker-diésel).

OPCIONES DE SELECCIÓN DE BOMBA		
<b>Comience aquí</b>		
Selección:	Selección de bomba <input type="button" value="¿Que es esto?"/>	
CONFIGURACIÓN DE BOMBA		
<b>Lugar</b>		
Otro <input type="button" value="▼"/>		
OPCIONES DE CONFIGURACIÓN DE LA BOMBA		
Construcción	Opciones de sellado	
Hierro fundido <input type="button" value="▼"/>	Sello mecánico <input type="button" value="▼"/>	
Chaquetas	Aprobación Sancionada	
<input type="checkbox"/>	Ninguna <input type="button" value="▼"/>	
CONFIGURACIONES DE LA APLICACIÓN		
<b>Viscosidad</b>	<b>Presión diferencial</b>	
3000 <input type="button" value="SSU ▼"/>	100 <input type="button" value="PSI ▼"/>	
<b>Temperatura</b>	<b>Gravedad específica</b>	
60 <input type="button" value="C ▼"/>	1 <input type="button" value="Valores predeterminados"/>	
LÍMITES OPERATIVOS		
<b>Caudal</b>		
7.93 <input type="button" value="GPM ▼"/>		
<input type="radio"/> RPM máximas	<input type="radio"/> % De velocidad nominal máxima	
<input type="text"/>	<input type="text"/>	
OPCIONES DE RESULTADOS DEL SELECTOR		
<input type="button" value="Obtener índice de resultados"/>		
PANTALLA GRÁFICA		
Unidades de flujo	Unidades de potencia	Unidades de presión
GPM <input type="button" value="▼"/>	BHP <input type="button" value="▼"/>	PSI <input type="button" value="▼"/>
La notas del usuario		

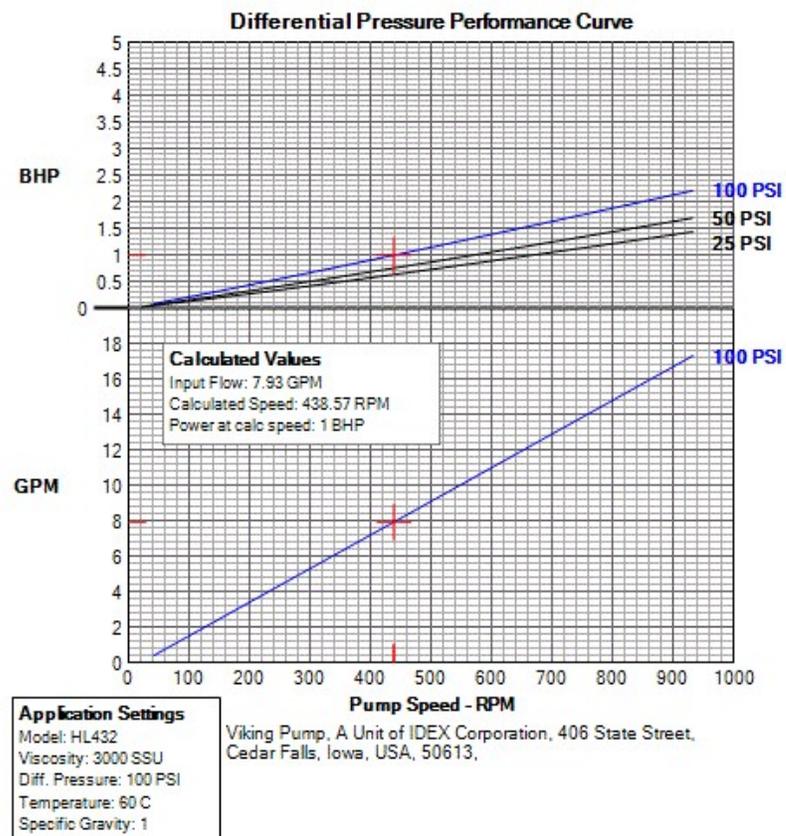
**Figura 60.** Configuración de Software para Selección de Bombas de Caldera

**Fuente:** <http://pumpselector.vikingpump.com/selectValues.aspx>

Al igual que los casos anteriores el software muestra la curva y el tipo de bomba acorde a los parámetros ingresados, sin embargo, descarto algunas bombas en base a recomendaciones de Claver Brooks ya que ellos manejan un estándar de bomba para fluidos pesados fuel oil #6 luego se revisa acorde a lo que se tiene en el mercado y se selecciona una bomba con las siguientes especificaciones.

**Tabla 21.** Especificaciones para Bomba de Caldera  
Elaborado por: Los Autores

<b>Marca:</b>	Viking
<b>Modelo:</b>	HL432
<b>Caudal:</b>	7.93 GPM
<b>Material:</b>	Hierro Fundido
<b>Conexión de succión y descarga:</b>	1 1/2"
<b>Potencia:</b>	1 HP
<b>Viscosidad:</b>	3000 SSU
<b>RPM:</b>	438.57



**Figura 61.** Curva de Diferencial de Presión para Bomba de Calderas

Fuente: <http://pumpselector.vikingpump.com/selectValues.aspx>

### 3.4.6 Cálculo y Selección de Tuberías para el Sistema de Combustible.

Para el cálculo de los diámetros y de las líneas de tuberías, se utiliza la Ec. 18, la cual se emplea para determinar el diámetro de las tuberías de acuerdo al volumen específico “ $v_s$ ” de la clase de líquido que se transporta, adicional se necesita la velocidad a la que se desplaza el fluido dentro de la tubería, dicha velocidad se la obtiene los resultados obtenidos de la tabla de Velocidades Recomendadas para Fluidos en Tuberías, tomado del libro de McCabe “Operaciones Unitarias en Ingeniería Química, 4ta Ed., de la editorial McGraw-Hill de 1991. [40]

*Ecuación 18. Cálculo del Diámetro de una Tubería*

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q * v_s}{\pi * v}}$$

Para esta ecuación se tienen los siguientes datos:

$D$  = diámetro de la tubería

$Q$  = caudal del fluido

$v_s$  = Volumen específico del fluido

$v$  = velocidad del fluido

Los resultados obtenidos al aplicar la ecuación anterior se registran en la siguiente tabla,

*Tabla 22. Diámetros de Tuberías  
Elaborado por: Los Autores*

	Unidades	BOMBA RECEPCION	BOMBA TRASVASE	BOMBA CALDERAS
Longitud de tubería	ft	132	820	460
	Mts	40	250	140
longitud por tubo	Mts	6	6	6
Numero de tubos	uni	7	42	23
Volumen específico $v_s$	m3/kg	0,985	0,985	0,985
Caudal $Q$	GPM	70	15,78	7,93
	m3/S	0,004	0,001	0,001
velocidad $v$	m/s	0.9	0.6	0.9
Diámetro de tubería	in	3	2	1,5

Cabe recalcar que el fluido que transportamos es bunker por lo cual necesita aplicar temperatura para bajar la viscosidad del fluido dentro de la tubería, la cual se pueda transportar

### **3.4.7 Cálculo y Selección de Calentadores Tanques Combustibles.**

#### ***3.4.7.1 Método de Diseño Térmico Propuesto.***

Basándose en la teoría establecida por los libros de transferencia de calor y fluido existen dos sistemas para diseñar un intercambiador de calor los cuales son:

1. El sistema de DTML (Diferencial Temperatura Media Logarítmica).
2. El sistema de NUT (Números unidades de transferencia).

Como objetivo de este proyecto es realizar el cálculo y la selección de un intercambiador de calor o más conocido como calentadores, el sistema elegido es el sistema de DTML. [41]

#### ***3.4.7.2 Estudio Termodinámico del Intercambiador de Calor.***

El estudio termodinámico consiste en determinar los parámetros que no dependen de la forma del ICTC (Intercambiador de calor de tubo y coraza) los cuales son:

1. Temperatura de entrada y de salida de los fluidos.
2. Diferencia de temperatura media logarítmica.
3. Flujo de los fluidos.
4. Calor transferido.

Las temperaturas de entrada y de salida de los fluidos, así como el caudal o flujo volumétrico de uno de los fluidos es información proporcionada por la parte interesada

ellos deben suministrar la información necesaria para comenzar con el diseño del intercambiador de calor y estudio termodinámico luego se obtiene el calor de transferencia del proceso.

Las temperaturas de entrada y de salida del intercambiador de calor para los tanques principales de combustible son las siguientes respectiva mente.

*T1 fuel in: 30°C*

*T2 fuel out: 50°C*

Las temperaturas de entrada y de salida del intercambiador de calor para el tanque diario de combustible donde se realizará la mezcla son las siguientes respectiva mente.

*T3 fuel in: 40°C*

*T4 fuel out: 60°C*

Como se logró determinar los valores iniciales para la temperatura del tanque principal con capacidad de 12500 galones, inicialmente la temperatura del fuel oil #6 es de 30°C ya que está ubicado en la parte de la costa de guayaquil y se necesita aumentar su temperatura a unos 50°C para que pueda ser bombeado hacia el tanque diario.

Para el tanque diario también se escoge la temperatura del vapor de entrada y de salida, se debe tener en consideración lo siguiente, la presión que genera la caldera de vapor es de 130 psig, lo cual se debe reducir su presión con accesorios, los cuales reducen la presión a 30 psig aproximadamente.

Para determinar de forma ágil el vapor saturado por presión, se puede utilizar herramientas tecnológicas como aplicaciones o sitios web, para este cálculo se utilizó el sitio web de la compañía Trouble Less Valves “TLV”, la cual permitió determinar la temperatura del vapor saturado con una presión de 30psig@.

Inicio > Calculador para Ingeniería > Calculadora: Tabla de Vapor Saturado por Presión

**Calculador para Ingeniería**

- Vapor
- Recuperación de Condensado
- Agua
- Aire
- Gas
- Tablas de vapor
- Tablas de Vapor de Vapor Saturado
- Tablas de Vapor (por temperatura)
- Tablas de Vapor Sobrecalentado
- Términos de Uso
- Soluciones por Productos
- Historias de éxito

### Calculadora: Tabla de Vapor Saturado por Presión

TLV ToolBox - Para iOS y Android

**Introducir Datos**

Unidades: SI(bar) ▼

Presión de Vapor: 30 psig ▼ Mostrar Opciones Avanzadas

**Resultados**

Temperatura del Vapor Saturado	134.445	°C ▼
Calor Latente del Vapor	2160.74	kJ/kg ▼
Entalpía Específica del Vapor Saturado	2726.13	kJ/kg ▼
Entalpía Específica del Agua Saturada	565.389	kJ/kg ▼
Volumen Específico del Vapor Saturado	0.590699	m³/kg ▼
Volumen Específico del Agua Saturada	0.00107409	m³/kg ▼

**Figura 62.** Tabla de Vapor Saturado por Presión.

**Fuente:** <https://www.tlv.com/global/LA/calculator/steam-table-pressure.html>

Por lo tanto, para la temperatura inicial y final del fluido de vapor sería el siguiente:

$T1 \text{ steam in: } 134.45^{\circ}\text{C}$

$T2 \text{ steam out: } 130^{\circ}\text{C}$

En base a criterios técnicos se elige un diseño de contra flujo para el intercambiador de calor, ya que se logra una mayor área de transferencia de energía calorífica.

La temperatura media logarítmica se obtiene mediante la siguiente ecuación.

**Ecuación 19.** Temperatura Media Logarítmica

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\Delta T_2 / \Delta T_1)}$$

Para un intercambiador de calor  $\Delta T_2$  y  $\Delta T_1$  son:

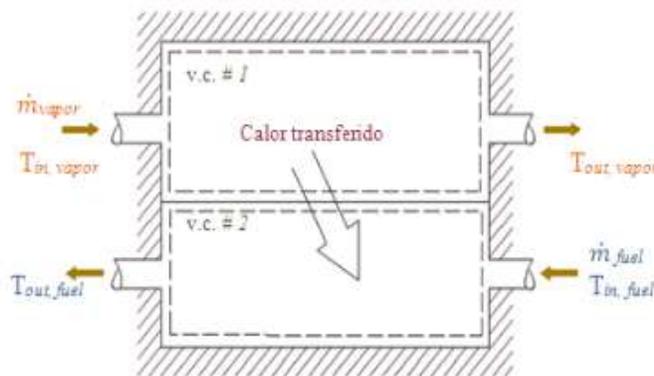
$\Delta T_2 = T1 \text{ steam in} - T2 \text{ fuel out}$

$\Delta T_1 = T2 \text{ steam out} - T1 \text{ fuel in}$

Por lo tanto, se reemplaza los valores ya establecidos para las temperaturas de entrada y salida tanto del combustible como del vapor, se elige un diseño de contra flujo para el intercambiador de calor, ya con una reducción de presión de vapor, a menor presión existe una mejor transferencia de energía calorífica.

Para obtener el calor transferido y el flujo masico de vapor del intercambiador de calor, se debe elegir el volumen de control “vc”, cuyo limite este sobre la trayectoria del flujo del calor.

Se puede elegir el volumen de ambos fluidos como volumen de control por lo cual se escoge el volumen del fuel oil 6 (vc #2).



**Figura 63.** Volumen de Control del Intercambiador  
Fuente: [41]

Para el balance de energía y encontrar la energía transferida del combustible se va a necesitar utilizar la siguiente ecuación.

**Ecuación 20.** Calor Transferido por el Combustible

$$\dot{q}_{fuel, in} = \rho_{fuel} * Q_{pump} * C_p fuel * \Delta T fuel$$

Para esta ecuación se tienen los siguientes datos:

**$\dot{q}_{fuel\ in}$**  : Calor transferido del combustible

**$\rho_{fuel}$**  : Densidad relativa del fuel oil 6

**$Q$**  : Caudal de bomba

**$Cp_{fuel}$**  : Poder calorífico del fuel oil 6

**$\Delta T_{fuel}$**  : Diferencial de temperatura del fuel oil 6

Luego que se obtiene el calor transferido por el combustible, se debe encontrar el flujo masico del vapor para lo cual se aplica la siguiente ecuación.

*Ecuación 21. Calor Transferido por el Vapor*

$$\dot{q}_{steam\ out} = \dot{m}_{steam} * Cp_{steam} * \Delta t_{steam}$$

Para esta ecuación se tienen los siguientes datos:

**$\dot{q}_{steam\ out}$**  = Calor transferido por el vapor

**$\dot{m}_{steam}$**  = Flujo masico del vapor

**$Cp_{steam}$**  = Poder calorífico del vapor

**$\Delta t_{steam}$**  = Diferencial de temperatura del vapor

Para calcular el flujo masico del vapor, se deben reemplazar el valor del  $Cp_{steam}$  que es igual a 1, luego despejar el flujo masico en la cual por conservación de energía se efectúa la siguiente relación según el libro de Incropera, considerando lo siguiente:

$$\dot{q}_{fuel\ in} = \dot{q}_{steam\ out}$$

Realizando el despeje de Ec. 20 en Ec. 21, donde Ec. 21 queda de la siguiente manera.

*Ecuación 22. Flujo Másico de Vapor*

$$\dot{m}_{steam} = \frac{\dot{q}_{steam\ out}}{\Delta t_{steam}}$$

Para la fase del diseño del intercambiador se debe utilizar un coeficiente de transferencia de calor, para obtener el área aproximada del intercambiador de calor se determina el flujo del combustible que va a pasar por la coraza, y el flujo de vapor que va a pasar por los tubos.

El área de un intercambiador de calor se obtiene por medio de la siguiente ecuación.

*Ecuación 23. Área del Intercambiador de Calor*

$$A : \frac{\dot{q}}{U \Delta t \ln}$$

En el diseño del intercambiador de calor se escoge el tubo de ½” con diámetro interior de 21.3mm.

En la siguiente tabla se encuentra los datos para establecer el diseño de los intercambiadores de calor para los tanques principales de combustible, tanto para el tanque principal de diesel y el tanque principal de bunker, cabe recalcar que no es necesario un intercambiador de calor en el tanque de diesel, sin embargo, para este trabajo se plantea un diseño. Adicional se diseña el intercambiador para el tanque diario ya que este tendrá la mezcla de combustible propuesto, la cual tiene una temperatura de salida de 60°C para ser transportado por las bombas de trasvase hacia la caldera, la cual tiene un sistema de calentamiento al quemador a una temperatura de 90°C.

*Tabla 23. Resultados, Cálculo de Intercambiadores de Calor  
Elaborado por: Los Autores*

<b>CALCULO DE INTERCAMBIADOR DE CALOR BUNKER</b>					
	<b>UNIDADES</b>	<b>TANQUE DIARIO</b>		<b>TANQUE PRINCIPAL</b>	
<b>DIAMETRO INTERIOR DE TUBERIA</b>	in	21,30		21,30	
	Mts	0,0213		0,0213	
<b>FLUJO DEL INTERCAMBIADOR</b>	GPM	15,87		15,00	
		<b>CALIENTE</b>	<b>FRIO</b>	<b>CALIENTE</b>	<b>FRIO</b>
<b>TEMPERATURA DE ENTRADA</b>	°C	<b>134,45</b>	<b>40</b>	<b>134,45</b>	<b>30</b>
<b>TEMPERATURA DE SALIDA</b>	°C	<b>130</b>	<b>60</b>	<b>130</b>	<b>50</b>
<b>VALOR DE U</b>		30		30	
<b>DENSIDAD RELATIVA</b>			0,985		0,985
<b>PODER CALORÍFICO COMBUSTIBLE</b>			0,50		0,50
<b>CALOR ENTREGADO</b>	BTU/H		<b>140.588,23</b>		<b>132.909,04</b>
	KW		41,20		38,95
<b>DTM</b>	°C		81,98		92,01
	°F		147,56		165,61
<b>EFICIENCIA DEL INTERCAMBIADOR</b>	%		0,95		0,95
<b>PERDIDAS EN TUBERIA</b>	%		0,02		0,02
<b>CALOR ENTREGADO DE CALDERA</b>	BTU/H		<b>151.007,77</b>		<b>142.759,45</b>
<b>CALOR LATENTE @ 30psi</b>	BTU/Lb		929,70		929,70
<b>FLUJO DE VAPOR @ 30 PSI</b>	Lb/H		162,4		33,3
<b>AREA</b>	Ft <sup>2</sup>		31,76		26,75
	Mts <sup>2</sup>		2,95		2,49
<b>LONGITUD</b>	Mts		44,11		37,16
<b>LONGITUD ESTADAR DE TUBO</b>	Mts		5,80		5,80
<b>NUMERO DE TUBOS</b>			7,61		6,41
<b>NUMERO DE PASOS</b>			2,00		2,00
<b>VELOCIDAD</b>	Mt/s		20		20
<b>VOLUMEN ESPECIFICO</b>					
<b>PRESIÓN DE ENTRADA</b>	PSI		120		8,5
<b>DIÁMETRO SELECCIONADO</b>					3/4"
<b>PRESIÓN DE SALIDA</b>	PSI		30		2
<b>DIÁMETRO SELECCIONADO</b>	in		1.25		1.25

Los resultados registrados en la tabla 22, provienen de la resolución de las ecuaciones planteadas en la sección 3.4.7.2 Estudio Termodinámico del Intercambiador de Calor.

## CAPITULO IV: ANALISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se presentan los resultados obtenidos en los cálculos realizados en el capítulo 3, a la vez se plantean las conclusiones y las recomendaciones relacionadas al desarrollado del diseño propuesto por los autores.

### 4.1 Dimensiones de Tanques de Almacenamiento de los Combustibles

Las dimensiones y capacidades de almacenamiento de los tanques requeridos para cubrir la demanda de consumo de cada una de las calderas, se encuentran registrados en la siguiente tabla.

*Tabla 24. Características de Tanques de Almacenamiento del Combustible  
Elaborado por: Los Autores*

	TANQUE PRICIPAL FUEL OIL	TANQUE PRICIPAL DIESEL	TANQUE DIARIO MEZCLA 20% DIESEL - 80% FUEL OIL
<b>MODELO</b>	VERTICAL - SOLDADO	VERTICAL - SOLDADO	VERTICAL - SOLDADO
<b>ALTURA</b>	4 Mts	4 Mts	3.25 Mts
<b>DIAMETRO</b>	4 Mts	4 Mts	1.65 Mts
<b>ESPEJOR DE LA PLANCHA</b>	8 mm	8 mm	8 mm
<b>CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO</b>	12550 Gls	12550 Gls	1725 Gls

Los tanques deben ser elaborados con planchas de acero negro, considerando para los tanques principales y el tanque diario lo descrito previamente en este trabajo dentro de los puntos 2.2.5.2.5, 2.2.5.2.6 y 2.2.5.2.7 respectivamente.

Además, se debe de considerar para la construcción de los tanques mencionados, aplicar la normativa API 650, el cual trata sobre la construcción de tanques verticales de acero soldados para almacenamiento de petróleos y sus derivados.

## 4.2 Selección de Bombas de Recepción, Traslase y Calderas

Las bombas y las características requeridas para cada una de ellas, las cuales cumplen con las exigencias de trabajo para cada sección de operación en el sistema de combustible dual propuesto por los autores, se encuentran registradas en la tabla planteada a continuación.

*Tabla 25. Bombas de Combustible Requeridas para el Sistema Propuesto  
Elaborado por: Los Autores*

<b>BOMBA</b>	<b>RECEPCION</b>	<b>TRASVASE</b>	<b>CALDERAS</b>
Cantidad:	1	2	3
Marca:	Viking	Viking	Viking
Modelo:	LL4124AE	AL4124A	HL432
Caudal:	70 GPM	15.87 GPM	7.93 GPM
Material:	Hierro Fundido	Hierro Fundido	Hierro Fundido
Conexión de succión y descarga:	3"	2"	1 1/2"
Potencia:	4.74 HP	2.84 HP	1 HP
Viscosidad:	8000 SSU	5000 SSU	3000 SSU
RPM:	245.72	268.45	438.57
Galones a Bombear:	12600	476	476
Tiempo (min):	180	30	60
Temperatura de operación (°C):	40	50	60

Las bombas seleccionadas son de la marca Viking ya que se utilizó la plataforma digital de la marca para determinar las cualidades de la bomba a utilizar en los diferentes puntos de succión de combustible dentro del sistema propuesto.

Si no se encontraran dichas bombas en el mercado, se pueden seleccionar bombas de otras marcas con la condición de que estas cumplan con las características descritas en la tabla anterior, ya que son las necesarias para que el sistema funcione de forma adecuada, ver ANEXO 6 y 7.

### 4.3 Líneas de Tuberías para el Sistema de Combustible Dual Propuesto

La cantidad y características de las líneas de combustible para cada sección del sistema propuesto, se encuentran registradas en la siguiente tabla.

*Tabla 26. Tuberías para el Sistema de Combustible Propuesto  
Elaborado por: Los Autores*

	<i>Unidades</i>	<i>BOMBA RECEPCION</i>	<i>BOMBA TRASVASE</i>	<i>BOMBA CALDERAS</i>
Longitud de tubería	ft	132	820	460
Diámetro de tubería	in	3	2	1,5
Volumen específico	m <sup>3</sup> /kg	0,985	0,985	0,985
Caudal	GPM	70	15,78	7,93
	m <sup>3</sup> /S	0,004	0,001	0,001
velocidad	m/s	1	1	1

En la tabla de esta sección se consideran de forma global las longitudes de las tuberías para cada sección del sistema de combustible dual propuesto en este trabajo, considerando para la sección de recepción dos líneas de combustible, para la sección de trasvase dos líneas de combustible, para la sección de calderas tres líneas de combustible de alta presión y tres líneas de combustible para baja presión.

#### 4.3.1 Líneas de Tuberías de Vapor para los Intercambiadores de Calor

Las tuberías de vapor necesarias para los intercambiadores de vapor se registran a continuación.

*Tabla 27. Tuberías de Vapor para Intercambiadores de Calor  
Elaborado por: Los Autores*

	<i>Unidades</i>	<i>INTERCAMBIADOR TANQUE PRINCIPAL</i>	<i>INTERCAMBIADOR TANQUE DIARIO</i>
Longitud de tubería	ft	820	460
Velocidad	m/S	20	20
Caudal	kg/h	158	149,5
Presión de entrada	psi	120	120
Diámetro de tubería	in	0,75	0,75
Presión de salida	psi	30	30
Diámetro de tubería	in	1,25	1,25

Para las líneas de vapor de los intercambiadores de calor, en la table de esta sección se consideran las longitudes totales para transportar el vapor requerido que bajar la viscosidad del combustible, facilitando el flujo del mismo.

Para ambos intercambiadores se requieren una línea vapor para alta presión y una línea de vapor para baja presión.

#### **4.3.2 Diseño P&ID**

Con los datos obtenidos en el capítulo 3, se procede a realizar los diagramas del *Diseño de un sistema de combustible dual diésel-bunker, para una red de alimentación de combustible a un grupo de calderas con capacidades entre 300 y 1700 BHP.*

Los diagramas son elaborados en el programa AutoCAD P&ID de *AUTODESK*. Por sus siglas P&ID significa, Pipe and Instrumentation Desing, en español, Diseño de Tuberías e Instrumentación.

Dicho programa nos permite ilustrar de forma esquemática de la relación funcional de las tuberías, la instrumentación, y los equipos que intervengan en el sistema que se desee plasmar. Este programa permite a los ingenieros y diseñadores elaborar y verificar el diseño de un proyecto, permitiendo disminuir errores estructurales además de reducir tiempos de entrega de diseños, ya que el programa cuenta con librerías con elementos relacionados a sistemas prediseñados, sean estos hidráulicos, mecánicos o eléctricos. (IAC, 2021, párr. 3-10)

En presente diseño tiene un P&ID para cada sección, así como un P&ID general donde se presenta en conjunto al sistema de combustible dual propuesto en este trabajo, los planos estructurales para los intercambiadores de calor, tanque diario y principal, se encuentran en los ANEXOS 8, 9, 10.

### 4.3.2.1 P&ID Caldera #1, 300BHP

Para la sección de 300BHP, se presenta el siguiente diseño.

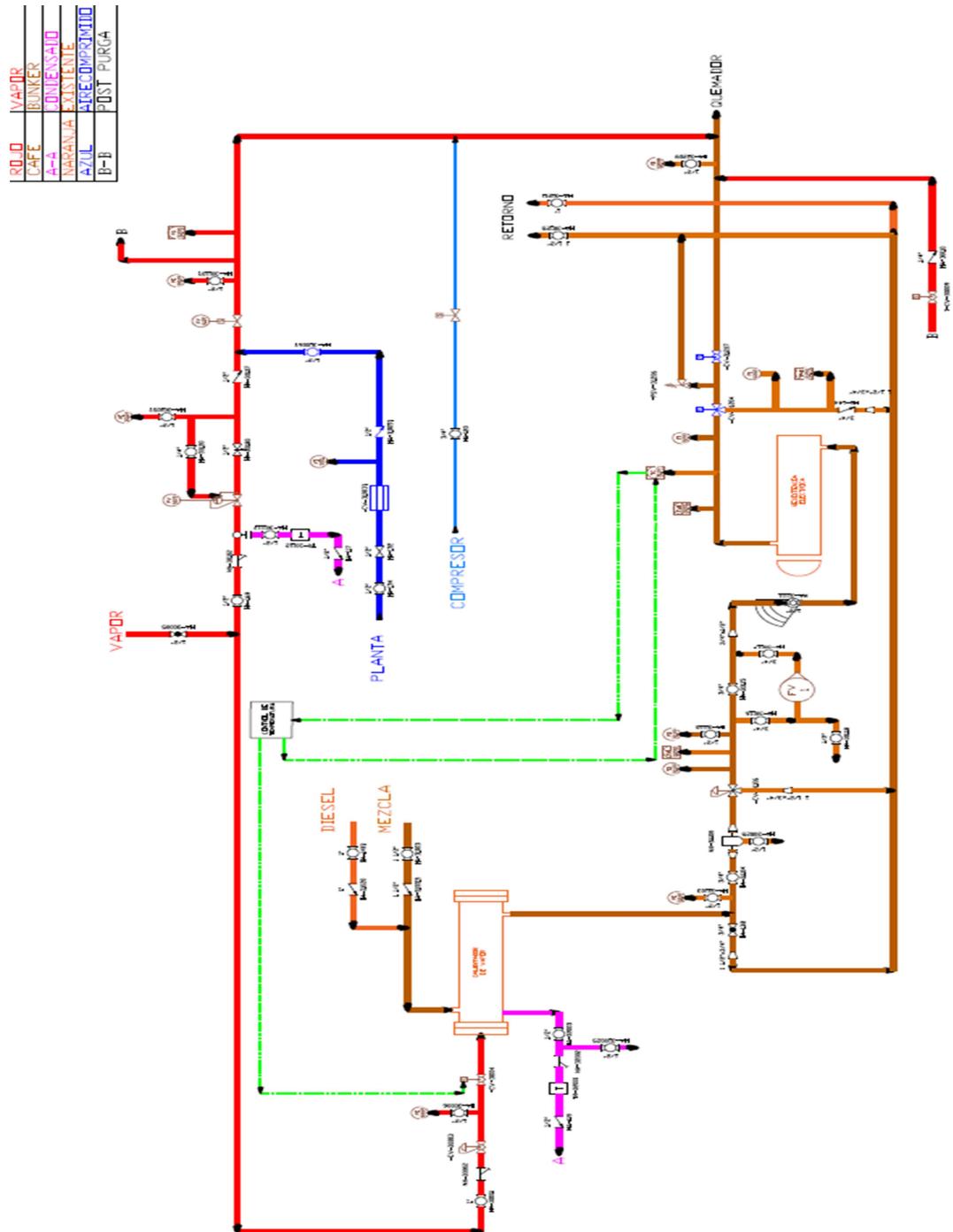


Figura 64. Diseño P&ID Sección 300BHP  
Elaborado por: Los Autores

### 4.3.2.2 P&ID Caldera #2, 600BHP

Para la sección de 600BHP, se presenta el siguiente diseño.

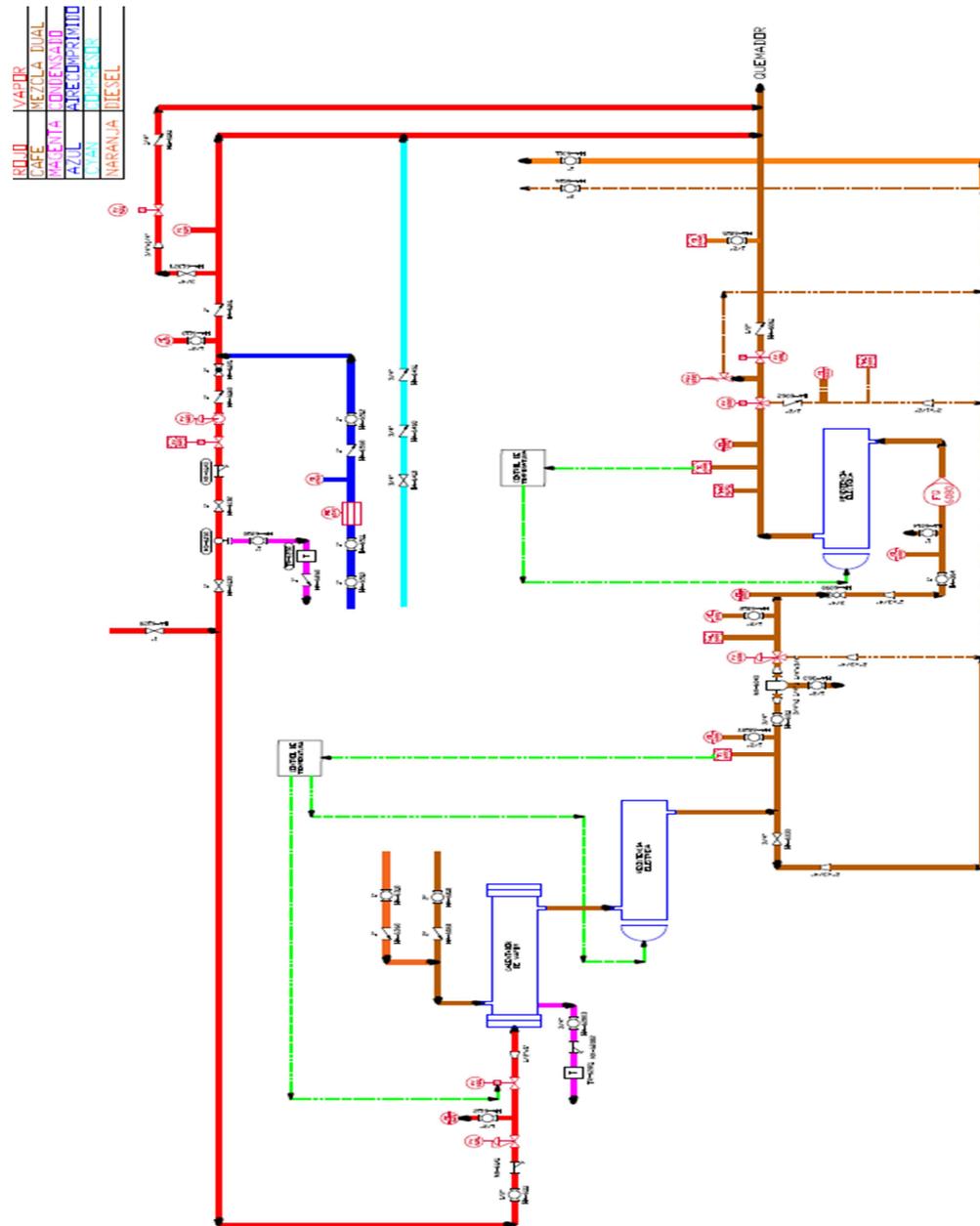


Figura 65. Diseño P&ID Sección 600BHP  
Elaborado por: Los Autores

### 4.3.2.3 P&ID Caldera #3, 800BHP

Para la sección de 800BHP, se presenta el siguiente diseño.

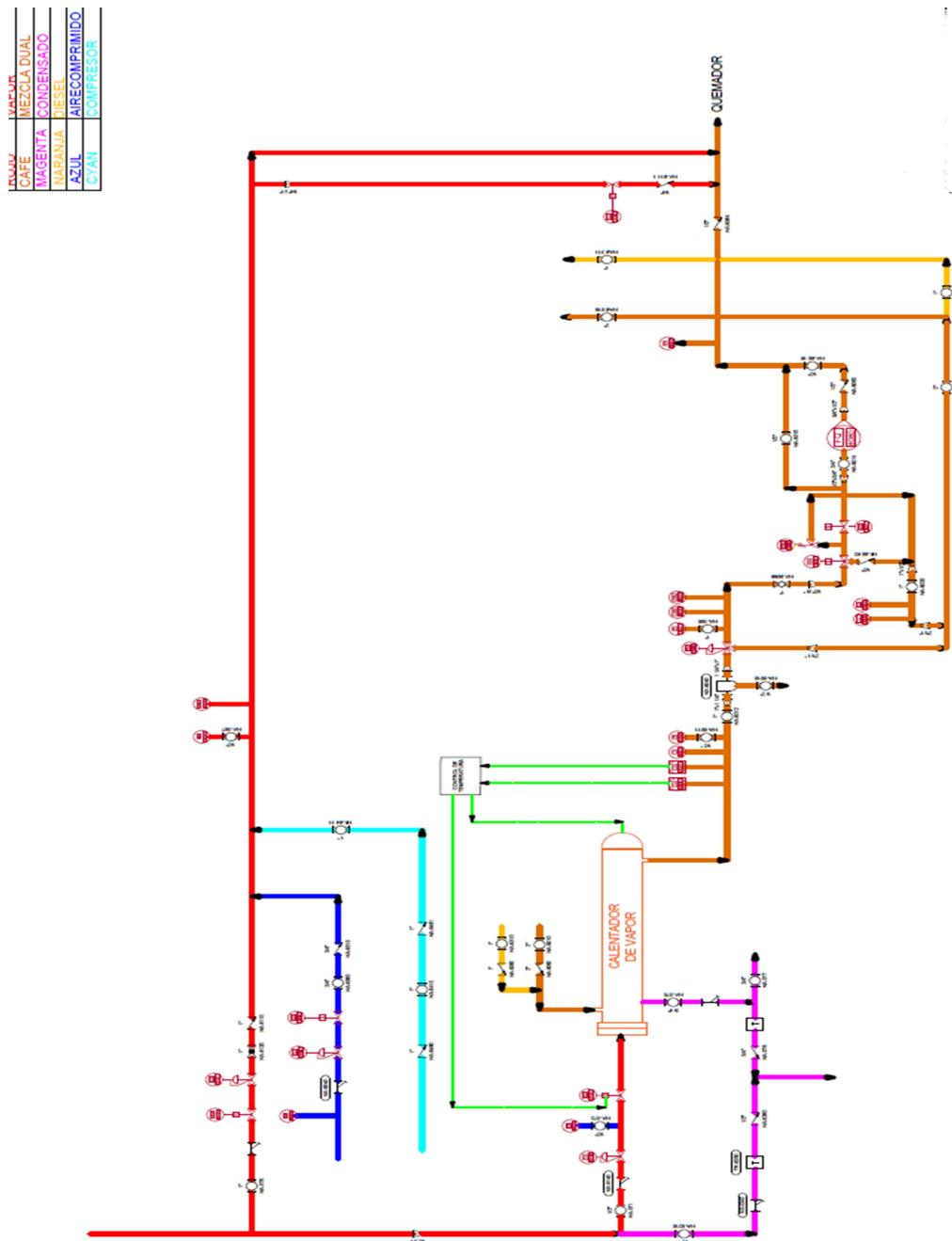
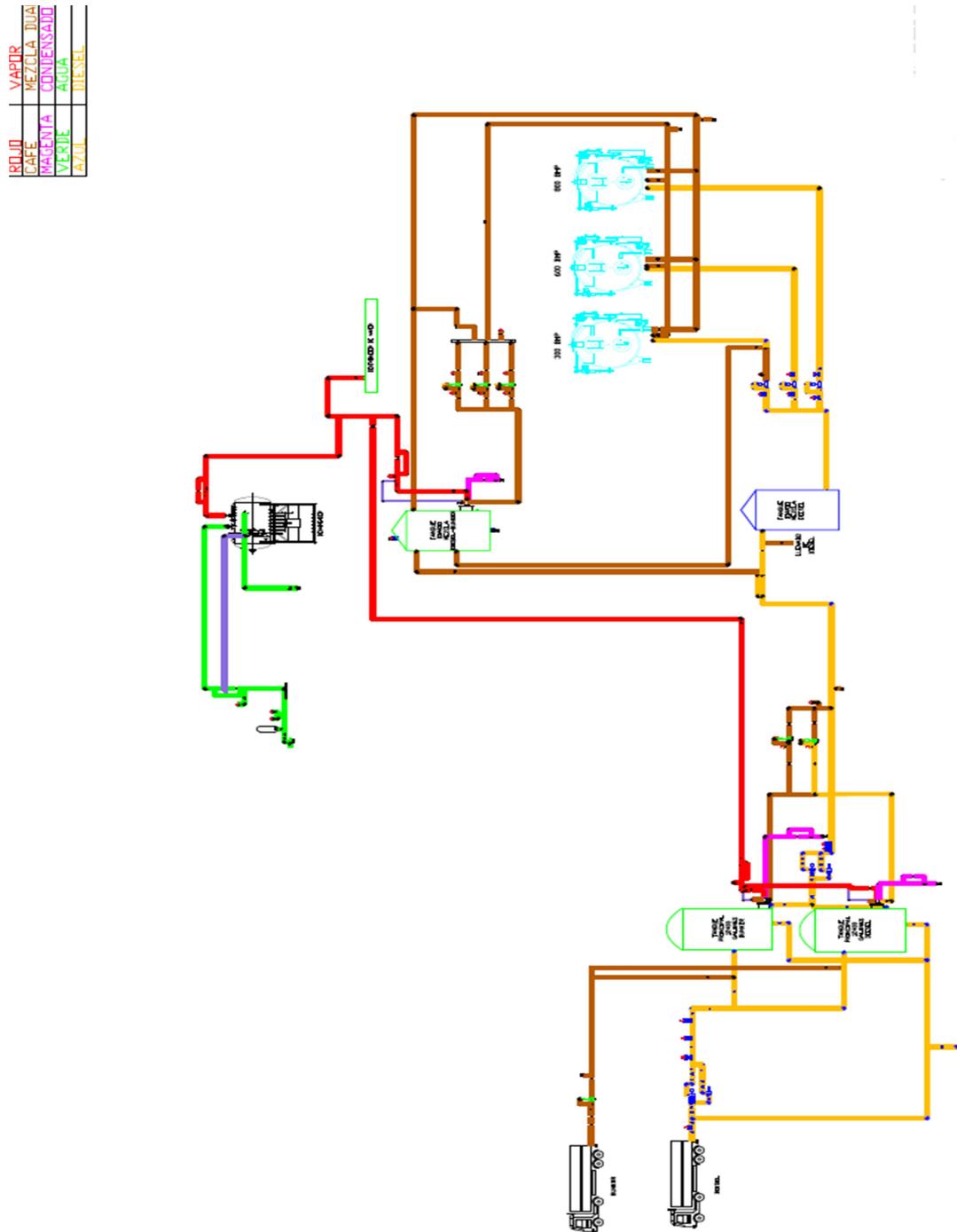


Figura 66. Diseño P&ID Sección 800BHP  
Elaborado por: Los Autores

#### 4.3.2.4 P&ID General, 1700BHP

Para el sistema de combustible propuesto, se presenta el siguiente diseño.



*Figura 67. Diseño P&ID Sistema de Combustible Dual Diesel-Bunker  
Elaborado por: Los Autores*

#### 4.4 Mezcla de Combustible 20% Diesel – 80% Bunker

Tanto a la mezcla propuesta como a los combustibles que la conforman, se les realizo estequiometria contemplando un 20% de exceso de aire, obteniendo los siguientes resultados:

- Para el diésel 2:  $CH_{0.1443}O_{0.000115}N_{0.000034}S_{0.00103} + 1.244 O_2 + 4.679 N_2 \rightarrow CO_2 + 0.072165 H_2O + 4.679 N_2 + 0.00103 SO_2 + 0.207414 O_2 + 0.000034NO_2$
- Para el fuel oil 6:  $CH_{0.1302}O_{0.004488}N_{0.002159}S_{0.009921} + 1.2495 O_2 + 4.698 N_2 \rightarrow CO_2 + 0.0651 H_2O + 4.698 N_2 + 0.009921 SO_2 + 0.20826 O_2 + 0.002126 NO_2$
- Para la mezcla de combustible propuesto:  
 $CH_{0.1411}O_{0.006654}N_{0.001101}S_{0.001147} + 1.2394 O_2 + 4.66 N_2 \rightarrow CO_2 + 0.0706 H_2O + 4.66 N_2 + 0.01147 SO_2 + 0.2083 O_2 + 0.001101 NO_2$

Los elementos químicos que conforman cada uno de los combustibles tratados en este trabajo, se presentan en la tabla a continuación.

**Tabla 28. Reactivos y Productos por Mol de Combustible**  
*Elaborado por: Los Autores*

	FORMULA QUIMICA	1 MOL DIESEL 2		1 MOL FUEL OIL 6		1 MOL MEZCLA 20% DIESEL - 80% FUEL OIL 6			
		CH <sub>0.1443</sub> O <sub>0.000115</sub> N <sub>0.000034</sub> S <sub>0.00103</sub>	#MOLES	MASA (Gr)	CH <sub>0.1302</sub> O <sub>0.004488</sub> N <sub>0.002159</sub> S <sub>0.009921</sub>	#MOLES	MASA (Gr)	CH <sub>0.1411</sub> O <sub>0.006654</sub> N <sub>0.001101</sub> S <sub>0.001147</sub>	#MOLES
REACTIVOS	COMBUSTIBLE	1	12,188	1	12,55	1	12,30		
	AIRE (O <sub>2</sub> +3,76N <sub>2</sub> )	1,244	137,28	1,2495	137,28	1,2394	137,28		
PRODUCTOS	CO <sub>2</sub>	1	44	1	44	1	44		
	H <sub>2</sub> O	0,072165	18	0,0651	18	0,0706	18		
	N <sub>2</sub>	4,679	28	4,698	28	4,66	28		
	SO <sub>2</sub>	0,00103	64	0,009921	64	0,001147	64		
	O <sub>2</sub>	0,207414	32	0,20826	32	0,2083	32		
	NO <sub>2</sub>	0,000034	46	0,002126	46	0,001101	46		

Antes de proceder a verificar si los resultados de los productos obtenidos en las estequiometrias de los combustibles mencionados en este trabajo, se utiliza como primera verificación lo establecido en [34], donde se establece que, en un análisis de gases, si contiene una proporción de CO<sub>2</sub> <12.5%, la mezcla aire combustible seria pobre o mala.

**Tabla 29. Verificación de Proporción de CO en Gases de Combustión**  
**Elaborado por: Los Autores**

PARAMETRO %CO <sub>2</sub>	DIESEL 2		FUEL OIL 6		MEZCLA 20% DIESEL - 80% FUEL OIL 6	
	% CO <sub>2</sub>	ESTADO	% CO <sub>2</sub>	ESTADO	% CO <sub>2</sub>	ESTADO
>12	16,99	OK	16,89	OK	17,04	OK

La quema de cada uno de los combustibles, bajo un exceso aire del 20%, mantiene una tendencia >12% de CO<sub>2</sub>, lo que indica que el combustible se quemaría completamente, y que el quemador de combustible funciona de forma adecuada durante la operación.

Como siguiente paso, se debe determinar si los contaminantes en los gases que se emanan al ambiente por la quema del combustible se encuentran entre los límites máximos permisibles establecidos por la norma de emisiones al aire desde fuentes fijas, registrada en la legislación del Ministerio del Ambiente.

Dichos límites máximos permisibles de concentración de emisiones de contaminantes al aire para calderas, se encuentran en el anexo 3 del libro VI del texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente. [43]

Para la evaluación de la concentración de contaminantes (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>) emanados al aire durante la quema del combustible, se la determinara con la ecuación presentada a continuación.

**Ecuación 24. Concentración del Contaminante en mg/Nm<sup>3</sup>**

$$Concentracion_{contaminante} = \frac{ppm_{cont} * PM}{22.4}$$

Datos a considerar:

$ppm_{cont}$  = partículas por millón= % del contenido del elemento \* 10<sup>6</sup>/100

$PM$  = peso molecular del contaminante (SO<sub>2</sub>= 64; NO<sub>2</sub>=46)

Fuel oil 6:

$$\%SO_2 = 0.1675$$

$$\%NO_2 = 0.0391$$

Mezcla:

$$\%SO_2 = 0.01954$$

$$\%NO_2 = 0.01876$$

**Tabla 30.** Evaluación de Contaminantes Emanados al Aire ( $NO_2$  y  $CO_2$ )  
Elaborado por: Los Autores

PARAMETROS A VERIFICAR mg/Nm <sup>3</sup>	DIESEL 2		FUEL OIL 6		MEZCLA 20% DIESEL - 80% FUEL OIL 6	
	VALOR [mg/Nm <sup>3</sup> ]	ESTADO	VALOR [mg/Nm <sup>3</sup> ]	ESTADO	VALOR [mg/Nm <sup>3</sup> ]	ESTADO
$NO_2 \leq 434$	1,1911	OK	802,95	NOK	384,02	OK
$SO_2 \leq 600$	499,86	OK	4785,71	NOK	558,29	OK

Considerando los resultados obtenidos en la evaluación de la concentración de contaminantes emanados al ambiente, para un EA de 20%, el combustible diésel 2 cumple con los parámetros establecidos en la norma actual.

El combustible fuel oil 6, para un EA del 20%, excede los parámetros de la normativa aplicada, mientras que, para la mezcla de combustible propuesta, evaluada con el mismo porcentaje de EA, cumple con los límites permisibles de concentración de contaminantes emanados al aire por calderas.

#### 4.5 Presupuesto Estimado para Realizar el Proyecto

En la siguiente tabla se presenta en resumen el presupuesto estimado para realizar el proyecto. Este presupuesto fue cotizado por la empresa, Técnica, Montaje y Mantenimiento Cruz S.A. “Tecnocruz”. Empresa guayaquileña que cuenta con más

de 20 años de experiencia en la elaboración de proyectos de ingeniería y mantenimiento de generadores de vapor.

**Tabla 31. Resumen de Costo del Proyecto**  
*Elaborado por: Los Autores*

Chambers 227 y 5 de Junio Guayaquil - Ecuador Tel.:(593) 4 2590-630				
<b>Resumen de Estimación de Costos y Gastos</b>				
<b>ELABORADO POR:</b>	Los Autores		<b>FECHA:</b>	15-ene-21
<b>REVISADO POR:</b>	Tutor		<b>NUMERO:</b>	1
<b>APROBADO POR:</b>				
<b>ATENCION A:</b>	Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil			
<b>CARRERA:</b>	INGENIERIA INDUSTRIAL			
<b>NOMBRE DE PROYECTO:</b> "Diseño de un sistema de combustible dual diésel-bunker, para una red de alimentación de combustible a un grupo de calderas con capacidades entre 300 y 1700 BHP".				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>PRECIO</b>		
1	Fabricación y montaje de sistema de combustible diésel-bunker	\$	336.799,40	
2	Mano de obra por montaje de sistema eléctrico	\$	50.465,00	
3	Ingeniería básica de diseño, memorias de cálculo, especificación técnica de materiales, Planos PI&D del sistema de combustible diésel-bunker.	\$	3.500,00	
4	Gastos administrativos (Pólizas de seguro, fianzas, certificados etc.)	\$	7.808,98	
		<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$</b>	<b>350.508,38</b>
		<b>IVA 12%</b>	<b>\$</b>	<b>42.061,01</b>
		<b>TOTAL</b>	<b>\$</b>	<b>392.569,39</b>

El ANEXO 11 detalla el presupuesto estimado, elaborado para ejecutar este proyecto.

Esta cotización no contempla obra civil, pruebas o ensayos no destructivos (análisis de gases, pruebas hidrostáticas, monitoreos de operatividad de los equipos).

Como muestra la tabla 31, el costo estimado para este proyecto es de 392.569,39 USD americanos aproximadamente, incluido el IVA. Hay que considerar que este presupuesto este sujeto a cambios ya que es posible que aumenten los precios por la importación de equipos necesarios para el funcionamiento del sistema.

Es importante mencionar que, para este tipo de proyectos, los contratistas solicitan como forma de pago un anticipo del 50% del precio total de la obra, un 40% debe ser cancelado durante los avances del proyecto y el 10% restante cuando se termine de realizar las pruebas de operación del sistema.

#### 4.6 Análisis del Costo del Vapor-Combustible

El costo por la generación de vapor de una caldera depende de las siguientes variables:

- a) Poder calorífico del combustible a utilizar.
- b) La cantidad de combustible que se requiera para generar vapor (Lb/H).
- c) El costo por galón de combustible a utilizar.
- d) Las horas de trabajo del equipo generador de vapor (caldera).
- e) La eficiencia de operación de la caldera.

Estas variables son indispensables para determinar el beneficio energético y económico que percibiría una industria al usar la mezcla 80-20 de combustible propuesta en este trabajo, o utilizar cualquiera de combustibles que intervienen en la mezcla, como el diésel 2 o el fuel oil 6.

El análisis de costos de la materia prima energética, se lo realiza de forma anual, para determinar los costos por uso del combustible diésel y bunker se consideran los siguientes puntos:

- Para determinar el vapor generado en Lb/H durante un año de operación de cada caldera, se requiere multiplicar los BHP de la caldera por el factor de 34.5 Lb/H que tiene un BHP, como se muestra en la siguiente ecuación.

*Ecuación 25. Vapor Generado por Año en Lb/H*

$$Lb_{vapor*anual} = BHP_{caldera} * 34.5 \frac{Lb}{BHP * H} * 10H_{dias} * 340 \frac{dias}{año}$$

*Ecuación 26. Galonaje de Combustible Anual*

$$Gal_{fuel*anual} = Tasa_{consumo\ fuel} * 10H_{dias} * 340 \frac{dias}{año}$$

- Para el cálculo del consumo anual de los combustibles diésel o bunker, se utilizará las fórmulas para hallar las tasas de consumo de combustible por hora, ver el ANEXO 12, para lo cual se requiere

conocer con antelación el poder calorífico del combustible a usar, la eficiencia de la caldera y la energía de entrada y de salida de cada caldera. Las ecuaciones descritas a continuación ayudaran a determinar las variables mencionadas.

**Ecuación 27. Poder Calorífico del Combustible en BTU/Gal**

$$Poder\ Calorifico_{BTU/Gal} = PCI_{fuel} \left[ \frac{MJ}{Kg} \right] * 947.82 \left[ \frac{BTU}{MJ} \right] * Factor_{fuel} \left[ \frac{Kg}{Lt} \right] * 3.86 \left[ \frac{Lts}{Gal} \right]$$

Para determinar el factor combustible, se debe conocer la gravedad específica “GE” del mismo, para los combustibles diésel se utilizará como GE un típico de 0.967 con lo que el factor es de 0.913 Kg/Lt, para el fuel oil 6 se toma una GE típico de 0.9519, por lo que el factor será de 0.899 Kg/Lt, el GE de la mezcla propuesta es de 0.9334 con lo que el factor a usar es de 0.882 Kg/Lt.

**Ecuación 28. Energía de Salida en BTU/H**

$$E_{salida} = BHP_{caldera} * 33.475 \frac{BTU}{BHP * H}$$

**Ecuación 29. Energía de Entrada en BTU/H**

$$E_{entrada} = \frac{E_{salida}}{\% \text{ Eficiencia de la caldera}}$$

**Ecuación 30. Tasa de Consumo de Combustible en Gal/H**

$$Tasa_{consumo\ fuel} = \frac{E_{entrada}}{Poder\ Calorifico_{BTU/Gal}} * 1000$$

- Para el cálculo del costo del combustible a utilizar durante un año de operación de la caldera, se debe considerar el precio actualizado por galón de combustible, establecido en el mercado ecuatoriano. Para este

caso se utilizará los precios establecidos por la agencia EP PETROECUADOR, ver ANEXO 13, en donde se encontrarán los precios del diésel y el fuel oíl 6 vigentes hasta febrero del 2021, en esta lista de precios no se consideran el IVA ni el costo del transporte.

#### 4.6.1 Costo Anual por Consumo de Combustible Diesel

Para reducir errores en los cálculos, se hace uso de una hoja de cálculo de Excel para determinar los valores de las variables planteadas en esta sección, ingresando las ecuaciones descritas en los puntos antes mencionados.

Utilizando la Ec. 27, se obtiene que el poder calorífico del combustible diésel es de 132780 BTU/Gal, aproximadamente. Con las Ec. 28, 29 y 30, se registran los siguientes resultados.

*Tabla 32. Registro de Resultados, Cálculo Tasa de Consumo de Diesel 2  
Elaborado por: Los Autores*

<b>DIESEL 2 (PCI 132780 BTU/Gal)</b>				
<b>CALDERA</b>	<b>BHP</b>	<b>ENERGIA DE ENTRADA (BTU/H)</b>	<b>ENERGIA DE SALIDA (BTU/H)</b>	<b>TASA DE CONSUMO (Gal/H)</b>
1	300	11815	10043	89
2	600	23629	20085	178
3	800	31506	26780	237
<b>TOTAL</b>	<b>1700</b>	<b>66950</b>	<b>56908</b>	<b>504</b>

Una vez determinadas las tasas de consumo del combustible diésel 2, para cada caldera, se procede a calcular el costo que se genera al utilizar este combustible durante 340 días, es decir durante un año de operación de la planta, dichos resultados se encuentran registrados en la siguiente tabla, elaborada por medio de las Ec. 25 y 26 respectivamente.

**Tabla 33. Costo Anual por Consumo de Combustible Diesel 2**  
*Elaborado por: Los Autores*

<b>Diésel 2</b>			
<b>Caldera</b>	<b>Lbs vapor-anual</b>	<b>Gal anual @ 85%</b>	<b>Costo anual-comb</b>
300BHP	26910000	302487	\$ 469.460,06
600BHP	53820000	604974	\$ 938.920,12
800BHP	71760000	806632	\$ 1.251.893,49
<b>Total (1700BHP)</b>	<b>152490000</b>	<b>1714094</b>	<b>\$ 2.660.273,67</b>

Según los resultados obtenidos, para generar 152490000 Lbs de vapor al año, se requieren quemar alrededor de 1714094 Gls de combustible diésel 2, lo que costaría un total aproximado de \$ **2.660.273,67** dólares americanos.

#### 4.6.2 Costo Anual por Consumo de Combustible Bunker (Fuel Oil 6)

Utilizando la Ec. 27, se obtiene que el poder calorífico del combustible bunker o fuel oil 6, es de 134745 BTU/Gal, aproximadamente. Con las Ec. 28, 29 y 30, se registran los siguientes resultados.

**Tabla 34. Registro de Resultados, Cálculo Tasa de Consumo de Fuel Oil 6**  
*Elaborado por: Los Autores*

<b>FUEL OIL 6 (PCI 134745 BTU/Gal)</b>				
<b>CALDERA</b>	<b>BHP</b>	<b>ENERGIA DE ENTRADA (BTU/H)</b>	<b>ENERGIA DE SALIDA (BTU/H)</b>	<b>TASA DE CONSUMO (Gal/H)</b>
1	300	11815	10043	87
2	600	23629	20085	175
3	800	31506	26780	234
<b>TOTAL</b>	<b>1700</b>	<b>66950</b>	<b>56908</b>	<b>497</b>

Una vez determinadas las tasas de consumo del combustible fuel oil 6, se procede a calcular el costo que se genera al utilizar este combustible durante 340 días, es decir durante un año de operación de la planta, dichos resultados se encuentran registrados en la siguiente tabla, para el cálculo del galonaje anual se utiliza la Ec. 26.

**Tabla 35. Costo Anual por Consumo de Combustible Fuel Oil 6**  
*Elaborado por: Los Autores*

<b>Fuel Oil 6</b>			
<b>Caldera</b>	<b>Lbs vapor-anual</b>	<b>Gal anual @ 85%</b>	<b>Costo anual-comb</b>
300BHP	26910000	298119	\$ 274.269,17
600BHP	53820000	596237	\$ 548.538,35
800BHP	71760000	794983	\$ 731.384,46
<b>Total (1700BHP)</b>	<b>152490000</b>	<b>1689339</b>	<b>\$ 1.554.191,98</b>

Según los resultados obtenidos, para generar 152490000 Lbs de vapor al año, se requieren quemar alrededor de 1689339 Gls de combustible fuel oil 6, lo que costaría un total aproximado de \$ **1.554.191,98** dólares americanos.

#### 4.6.3 Costo Anual por Consumo de Mezcla de Combustible Propuesta

Utilizando la Ec. 27, se obtiene que el poder calorífico del combustible propuesto 20% diésel – 80% fuel oil 6, es de 141242 BTU/Gal, aproximadamente. Con las Ec. 28, 29 y 30, se registran los siguientes resultados.

**Tabla 36. Registro de Resultados, Cálculo Tasa de Consumo de Mezcla de Combustible Propuesta**  
*Elaborado por: Los Autores*

<b>MEZCLA 20% DIESEL - 80% FUEL OIL 6 (PCI 141242 BTU/Gal)</b>				
<b>CALDERA</b>	<b>BHP</b>	<b>ENERGIA DE ENTRADA (BTU/H)</b>	<b>ENERGIA DE SALIDA (BTU/H)</b>	<b>TASA DE CONSUMO (Gal/H)</b>
1	300	11815	10043	84
2	600	23629	20085	167
3	800	31506	26780	223
<b>TOTAL</b>	<b>1700</b>	<b>66950</b>	<b>56908</b>	<b>474</b>

Una vez determinadas las tasas de consumo del combustible propuesto por los autores, para cada una de las calderas, se procede a calcular el costo que se genera al utilizar este combustible durante 340 días, es decir durante un año de operación de la

planta, dichos resultados se encuentran registrados en la siguiente tabla, para el cálculo del galonaje anual se utiliza la Ec. 26.

**Tabla 37. Costo Anual por Consumo de Combustible Propuesto**  
*Elaborado por: Los Autores*

<b>Mezcla 80-20</b>			
<b>Caldera</b>	<b>Lbs vapor-anual</b>	<b>Gal anual @ 85%</b>	<b>Costo anual-comb</b>
300BHP	26910000	284407	\$ 298.627,24
600BHP	53820000	568814	\$ 597.254,49
800BHP	71760000	758418	\$ 796.339,32
<b>Total (1700BHP)</b>	<b>152490000</b>	<b>1611639</b>	<b>\$ 1.692.221,05</b>

Según los resultados obtenidos, para generar 152490000 Lbs de vapor al año, se requieren quemar alrededor de 1611639 Gls de la mezcla de combustible diese - fuel oil 6, lo que costaría un total aproximado de **\$ 1.692.221,05** dólares americanos.

#### **4.7 Análisis de Recuperación de la Inversión del Proyecto**

Para la plasmar el proyecto planteado en este trabajo, “*Diseño de un sistema de combustible dual diésel-bunker, para una red de alimentación de combustible a un grupo de calderas con capacidades entre 300 y 1700 BHP*”, se requiere de un presupuesto estimado de **\$ 392.569,39** dólares americanos.

En esta sección se busca determinar si el proyecto genera un ahorro para la industria o empresa interesada en el mismo, el tiempo en que se puede recuperar la inversión estimada, y si la propuesta planteada es viable de ejecutar.

##### **4.7.1 Ahorro Estimado del Proyecto**

Para estimar el ahorro anual que se generaría al utilizar la mezcla de combustible propuesto, se debe realizar una diferencia entre el costo anual más elevado que se genera al usar un solo combustible (en este caso es el diésel 2), y el costo anual por consumo del combustible propuesto, como muestra la siguiente ecuación.

**Ecuación 31. Ahorro Anual por Combustible Propuesto**

$$\text{Ahorro}_{\text{anual}} = \text{Costo Anual}_{\text{diesel 2}} - \text{Costo Anual}_{\text{mezcla propuesta}}$$

Para esta ecuación se tienen los siguientes datos:

$$\text{Costo Anual}_{\text{diesel 2}} = \$ 2.660.273,67$$

$$\text{Costo Anual}_{\text{mezcla propuesta}} = \$ 1.692.221,05$$

Reemplazando la data en la Ec. 31, obtenemos lo siguiente:

$$\text{(Ec. 31) Ahorro}_{\text{anual}} = \$ 2.660.273,67 - \$ 1.692.221,05$$

$$\text{Ahorro}_{\text{anual}} = \$ 968.052,62$$

Para estimar el ahorro mensual que se generaría al utilizar la mezcla de combustible propuesto, se utiliza la siguiente ecuación.

**Ecuación 32. Ahorro Mensual por Combustible Propuesto**

$$\text{Ahorro}_{\text{mensual}} = \frac{\text{Ahorro}_{\text{anual}}}{\text{meses de operación}}$$

Para esta ecuación se tienen los siguientes datos:

$$\text{Ahorro}_{\text{anual}} = \$ 968.052,62$$

$$\text{meses de operación} = 12$$

Reemplazando la data en la Ec. 32, obtenemos lo siguiente:

$$\text{(Ec. 32) Ahorro}_{\text{mensual}} = \$ \frac{968.052,62}{12}$$

$$\mathbf{Ahorro}_{\text{mensual}} = \$ 80.671,052$$

Para este proyecto se estima un ahorro anual de \$ 968.052,62 y un ahorro mensual de \$ 80.671,052 dólares americanos. Una vez determinado el ahorro mensual que genera el proyecto, se procede a determinar el tiempo de recuperación de la inversión, con la ecuación descrita a continuación.

*Ecuación 33. Tiempo de Recuperación de la Inversión*

$$\mathbf{TRI} = \frac{\mathbf{Inversión\ Estimada}}{\mathbf{Ahorro}_{\text{mensual}}}$$

Para esta ecuación se tienen los siguientes datos:

**TRI**= tiempo de recuperación de la inversión

**Inversión Estimada**= \$ 392.569,39

**Ahorro** *mensual*= \$ 80.671,052

Reemplazando la data en la Ec. 33, obtenemos lo siguiente:

$$(\mathbf{Ec. 33})\mathbf{TRI} = \frac{\$ 392.569,39}{\$ 80.671,052}$$

$$\mathbf{TRI} = 4.87 = 5$$

Se estima un tiempo de recuperación de la inversión de 5 meses contabilizados desde que el sistema de combustible dual, propuesto por los autores, empiece a operar.

## 4.7.2 Viabilidad del Proyecto

Para determinar la viabilidad del proyecto propuesto, se requiere utilizar de procedimientos de análisis económicos, tales como el Valor Actual Neto “VAN”, el cual permite evaluar un proyecto, mediante el precio neto del proyecto, es decir llevar todos los flujos de caja futuros al periodo inicial del mismo.

El segundo método a utilizar para el análisis de viabilidad del proyecto, es el de la Tasa Interna de Retorno “TIR” o Tasa de Rendimiento, este método permite determinar la rentabilidad del proyecto analizado, dando como resultado la aceptación o el rechazo del proyecto.

### 4.7.2.1 Cálculo del VAN

Para el cálculo del VAN, se considera la siguiente ecuación.

*Ecuación 34. Cálculo del Valor Actual Neto*

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Para esta ecuación se tienen los siguientes datos:

$V_t$  = flujo de caja por periodo=?

$I_0$  = Desembolso de la inversión = \$ 392.569,39

$n$  = #de periodos

$k$  = tasa de interés del sector financiero= 10.21%

Para calcular el flujo de caja o anualidad se utilizará la siguiente ecuación.

*Ecuación 35. Flujo de Caja, Anualidad*

$$V_t = \frac{\text{Ahorro}_{\text{anual}}}{(1 + k)^t}$$

Reemplazando la data en la Ec. 35, obtenemos lo siguiente:

$$(\text{Ec. 35}) V_t = \frac{\$ 968.052,62}{(1 + 0.1021)^1}$$

$$V_t = \$ 878.370,95$$

Reemplazando la data en la Ec. 35 en Ec. 34, obtenemos lo siguiente:

$$(\text{Ec. 34}) VAN = \frac{\$ 878.370,95}{(1 + 0.1021)^1} - \$ 392.569,39$$

$$VAN = \$ 404.428,11$$

**Decisión:** Al ser el valor del VAN > 0, indica que el proyecto es viable de realizarse.

#### 4.7.2.2 Cálculo del TIR

Para el cálculo del TIR, se considera la siguiente ecuación.

**Ecuación 36.** Cálculo de la Tasa Interna de Rentabilidad

$$TIR = \left( \frac{V_t}{I_0} - 1 \right) * 100$$

Para esta ecuación se tienen los siguientes datos:

$V_t$  = flujo de caja por periodo = \$ 878.370,95

$I_0$  = Desembolso de la inversión = \$ 392.569,39

**TREMA** = tasa de retorno mínima aceptada = k

**k** = tasa de interés del sector financiero = 10.21%

Reemplazando la data en la Ec. 36, obtenemos lo siguiente:

$$(Ec. 36) TIR = \left( \frac{\$ 878.370,95}{\$ 392.569,39} - 1 \right) * 100$$

$$TIR = 123.75\%$$

**Decisión:** Al ser el valor del  $TIR > TREMA$ ,  $123.75\% > 10.21\%$ , indica que el proyecto es factible de realizar ya que la recuperación de inversión es alta.

## CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en los cálculos y análisis realizados en el desarrollo del presente trabajo, los autores concluyen lo siguiente:

- Para el sistema de combustible dual diésel-bunker presentado en este proyecto se determina que, el sistema dispondrá de 3 tanques tipo vertical soldado. De los cuales 2 tanques son principales, 1 para el almacenamiento del combustible diésel y 1 para el almacenamiento del combustible bunker; las capacidades de almacenamiento individual de dichos tanques son de 12550 Gls; ambos tanques tendrán una altura de 4 Mts, con un diámetro exterior de 4 Mts y un espesor de 8 mm. El tercer tanque es el tanque diario, donde se mezclarán ambos combustibles cuya capacidad de almacenamiento es de 1725 Gls; este tanque tendrá una altura de 3.25 Mts, un diámetro exterior de 1.65 Mts y un espesor de 8 mm.
- Para el bombeo de combustible se establece que, el sistema requiere de un total de 6 bombas de combustible. Para la recepción del combustible se utilizará una bomba, con la cual se llenarán los tanques principales de almacenamiento diésel y bunker, dicha bomba tendrá una conexión de carga y descarga de 3in, una potencia de 4.74 HP, lo que permitirá operar con un caudal de 70 GPM a una temperatura ambiente, con dichas características se podrá bombear 12600 Gls en 3 horas.  
Para el trasvase de los combustibles se utilizara dos bombas, las cuales suministran el combustible al tanque diario, estas bombas tendrán una conexión de carga y descarga de 2in, una potencia de 2.84 HP, lo que permitirá operar bajo un caudal de 15.87 GPM a una temperatura de 50°C, por las características descritas se podrá bombear 476 Gls en 30 min, por lo que, la bomba para combustible bunker debe operara por 90 min para llenar 1380 Gls que es el 80% de la capacidad del tanque mientras que para la bomba de trasvase para diésel solo operara por 30 min con lo que se bombearían un total de 1725 Gls.  
Para cada caldera se requerirá una bomba de 1 HP, que permitirá bombear 7.93 GPM a una temperatura de 60°C, con lo que se asegura el abastecimiento a los quemadores de combustible.
- Para la distribución del combustible hacia los diferentes puntos del sistema se determina que, el diámetro para las tuberías de la sección de recepción de combustible para los tanques principales debe ser de 3in, Schedule 40, cada tanque principal tendrá una línea de combustible de alta presión.  
Para la sección de trasvase el diámetro de las tuberías debe ser de 2in, Schedule 40, esta sección tendrá dos líneas de alta presión, las mismas saldaran desde cada tanque principal hacia el tanque diario.

Para la sección de calderas el diámetro de las tuberías debe ser de 1 ½ in, Schedule 40, esta sección tendrá una línea de alta presión y una de baja presión para retorno del combustible que no se utilice en el proceso de alimentación al quemador de combustible, estas líneas serán independientes para cada caldera con el fin de que la presión de alimentación se mantenga constante.

- Para una capacidad de 1700BHP, producida por tres calderas, que operan por 10 horas durante 340 días, se define que, dichas calderas logran generar 152490000 Lbs de vapor al año, requiriendo de 1611639 Gls de la mezcla diésel-bunker para producir dicha cantidad de vapor al año, de los cuales 1289311.2 Gls son de bunker y 322327.8 Gls son de diésel, dicha mezcla tendrá un costo de \$ 1.692221,05 dólares.
- De acuerdo al análisis del proyecto se decide que, el mismo es viable para una industria que lo aplique este combustible como recurso energético, debido a que, permite generar un ahorro anual de \$ 968.052,62 dólares aproximadamente; el tiempo de recuperación es de 5 meses una vez entre en operación.

## RECOMENDACIONES

Por la experiencia adquirida durante la realización de este trabajo, los autores plantean las siguientes recomendaciones, dirigidas a investigadores de proyectos de características similares a lo plasmado en la presente obra:

- Para la fabricación de tanques para combustible de tipo verticales-soldados, considere la normativa API 650, en donde se encuentran los cálculos estructurales y parámetros de seguridad a considerar para este tipo de equipo estacionario.  
Adicional se recomienda automatizar el sistema, para tener un mejor control del llenado de cada uno de los tanques, instale medidores de nivel combustible en cada uno de ellos para así evitar derrames o desabastecimientos, acorde a lo mencionado en este trabajo en el punto 2.2.4.7.3 sobre indicadores de nivel. En cuanto a seguridad contra incendios, se recomienda seguir las recomendaciones del Acuerdo Ministerial 1257 sobre el Reglamento de Prevención, Mitigación y Protección Contra Incendios. En cuanto a la seguridad de las instalaciones se recomienda lo planteado en el punto 2.2.5.2 sobre normas de seguridad, además del ANEXO 14 sobre el análisis de trabajo seguro.
- Para las bombas de combustible se recomienda realizar un plan de mantenimiento preventivo que permita mantener el sistema operativo. Para evitar que las bombas sufran desgaste abrasivo de sus elementos internos, se recomienda un mantenimiento periódico de su sistema de filtración para el combustible.
- Para el diseño de las líneas de combustible tanto de alta como baja presión, se recomienda utilizar la normativa ANSI / ASME B31.4. al momento de seleccionar las tuberías, se debe considerar que las mismas cumplan con normativas de calidad como la API 5L y sus diferentes grados, ASTM A 53M y sus diferentes grados, CSA Z245, ASTM A106, ASTM A 252, AS 1163, IPS 190.
- Para mantener un consumo de combustible controlado, es recomendable verificar que el sistema no presente fugas, las bombas de combustible no presenten averías y que la proporción de aire sea la adecuada para asegurar que el combustible sea quemado en su totalidad sin producir CO y que su poder calorífico sea utilizado al máximo. Si se requiere disminuir el consumo de combustible, se recomienda el uso de aditivos para combustible, que aumentan el poder calorífico del mismo.  
Para verificar que el combustible es quemado adecuadamente, se recomienda realizar un análisis de gases para verificar la aceptación de la concentración de contaminantes emanados al aire por la quema del combustible.

- En caso de que aumente el precio de los combustibles utilizados para la mezcla de 20% diésel y 80% bunker, es recomendable recalcular el tiempo de recuperación de la inversión “TRI” ya que este aumentaría porque son directamente proporcional, de la misma manera se recomienda recalcular el ahorro que genera el proyecto ya que este rubro disminuirá si aumenta el precio del combustible.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alvarado, R. (2001). *Cálculo de Sistema de Vapor Para la Industria de Concentrado de Maracuyá*. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- [2] García, J. & Pilco, G. (2012). *Auditoria Energética del Sistema de Condensación y Retorno de Vapor del Hospital de Especialidades "Eugenio Espejo"*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica.
- [3] Guiot, J. & Ramos, D. (2018). *Diseño de un Economizador para una Caldera de 500BHP*. Bogotá, Colombia: Fundación Universidad de América, Programa de Ingeniería Mecánica.
- [4] Tapia, R. & Luna, J. (2019). *Diseño de Distribución de Vapor para una Industria Panificadora de Guayaquil*. Guayaquil, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, Ingeniería Industrial.
- [5] Franz, E. (2012). *Informe Técnico, Comparativa de Caldera Piro-tubular y Caldera Acuotubular*. Disponible en: [https://www.bosch-industrial.com/files/fb013\\_sp.pdf](https://www.bosch-industrial.com/files/fb013_sp.pdf)
- [6] Arnabat, I. (2020). *Calor Sensible y Latente*. Glosario de Términos Industriales Sobre Climatización y Refrigeración. Disponible en: <https://www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/glosario-terminos-industriales-climatizacion-refrigeracion.html#calor-sensible-y-latente>
- [7] Torres, O. & Rivera, M. (2015). *Análisis e Implementación para la Conversión de Quemadores a un Sistema Dual de Combustible Líquido y Gas Natural en el Horno de Paletizado*. Villa de Álvarez, México: Instituto Tecnológico de Colima.
- [8] Severns, W., Degler, H. & Miles, J. (2007). *La Producción de Energía Mediante Vapor, Aire o Gas*. Primera Edición. España. Editorial Reverté, S.A.
- [9] Datosmacro. (2020). *Precio del Petróleo OPEP por Barril*. Disponible en: <https://datosmacro.expansion.com/materias-primas/opec>
- [10] EP PETROECUADOR. (2016). *Informe Estadístico 2016*. Disponible en: <https://www.eppetroecuador.ec/wpcontent/uploads/downloads/2018/02/INFORME-ESTAD%C3%8DSTICO-2016.pdf>
- [11] EP PETROECUADOR. (2020). *Informe Estadístico Enero-Junio 2020*. Disponible en: <https://www.eppetroecuador.ec/wpcontent/uploads/downloads/2020/07/INFORME->

ESTAD%C3%8DSTICO-2020.pdf

- [12] NTE INEN (2013). *Productos Derivados del Petróleo. Diesel*. Norma Técnica Ecuatoriana, NTE INEN 1489:2012. Séptima Revisión, Primera Edición.
- [13] RECOPE. (2016). *Manual de Productos. Diesel & Fuel Oil*. Refinadora Costarricense de Petróleo, S.A. Costa Rica.
- [14] Educarchile. (2020). Recurso energético no renovable, Diesel. Disponible en: <https://www.aprendeconenergia.cl/diesel/>
- [15] NTE INEN (2002). *Productos Derivados del Petróleo. Fuel Oil*. Norma Técnica Ecuatoriana, NTE INEN 1983:2002. Primera Revisión, Primera Edición.
- [16] Avella, E. (2012). *Biocombustibles, Promisión o Falacia*. Revista Momento No. 44. Pág. 35-43. Bogotá, Colombia. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/momento/rt/printerFriendly/38738/67830#:~:text=Efectivamente%20en%20una%20combusti%C3%B3n%20completa,carbono%20que%20no%20alcanzan%20a>
- [17] Fenercom, (2012). *Guía Básica de Calderas Industriales Eficientes*. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. Madrid, España.
- [18] Intriago, A. (2015). *Diseño Térmico y Mecánico de un Intercambiador de Calor para Fuel Oil Bajo las Normas TEMA*. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción.
- [19] Kern, D. (1999). *Procesos de Transferencia de Calor*. Trigésima Primera Reimpresión. México. Compañía Editorial Continental S.A. de C.V.
- [20] Widman International SRL. (2019). *Filtros de Combustible para Surtidores y Tanques de Distribución*. Santa Cruz, Bolivia. Disponible en: <https://www.widman.biz/Productos/bulk.php>
- [21] Bilbao, M. & Málaga, A. (2014). *Contaje de Partículas*. Lubrication Management, IK4-TECNKER. Disponible en: [https://lubrication-management.com/wp-content/uploads/sites/3/2014/07/Contaje\\_de\\_part%C3%ADculas\\_ES.pdf](https://lubrication-management.com/wp-content/uploads/sites/3/2014/07/Contaje_de_part%C3%ADculas_ES.pdf)
- [22] José Luis R. (2020). *Como Funciona una Bomba Hidráulica*. Como Funciona. Disponible en: <https://como-funciona.co/una-bomba-hidraulica/>
- [23] Orlan Rober (2020). *Características y Funcionamientos de los Manómetros*. Instrumentos Mecánicos. Disponible en: [http://www.orlanrober.com.ar/pdf/notas\\_tecnicas/Instrumentos%20Mecanicos.%20Caracteristicas%20y%20funcionamiento.pdf](http://www.orlanrober.com.ar/pdf/notas_tecnicas/Instrumentos%20Mecanicos.%20Caracteristicas%20y%20funcionamiento.pdf)

- [24] Wika (2016). *Utilización y Ventajas de los Manómetros de Membrana*. Disponible en: <https://www.bloginstrumentacion.com/productos/presion/utilizacin-ventajas-de-los-manmetros-de-membrana/>
- [25] Satel (2020). *Manómetro de Tubo Bourdon. Instrumentación Industrial*. Disponible en: [https://blog.satelimportadores.com/instrumentacion\\_industrial/manometros/](https://blog.satelimportadores.com/instrumentacion_industrial/manometros/)
- [26] Dulhoste, J., Guillen, M. & Riobó, Yoan. (2020). *Medidores de Flujo Volumétrico y Masico*. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. Disponible en: [http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/djean/index\\_archivos/INST\\_Flujo/medidoresflujovolumetrico/flujevolumetricobase.html](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/djean/index_archivos/INST_Flujo/medidoresflujovolumetrico/flujevolumetricobase.html)
- [27] CRE, (2014). *Disposiciones Administrativas de Carácter General en Materia de Medición Aplicable al Servicio de Almacenamiento de Petrolíferos y Petroquímicos*. Comisión Reguladora de Energía. México.
- [28] J-Rohi. (2016). *Cintas para Medición de Tanques*. Cintas de Medición a Vacío. Bogotá, Colombia. Disponible en: <https://j-rohi.com/cintas-medicion-de-tanques/>
- [29] Vega. (2020). *Medición de Nivel de Radar sin Contacto*. Producto Vegapuls. Barcelona, España. Disponible en: <https://www.vega.com/es-es/productos/cat%C3%A1logo-de-productos/medici%C3%B3n-de-nivel/radar>
- [30] Guerrero, P. (2013). *Estimación de Costos en Proyectos Metalmecánicos, y su Aplicación al Área Petrolera*. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica. Quito, Ecuador.
- [31] TLV. (2020). *Tipos de Válvulas y sus Aplicaciones*. Teoría de Vapor. Kakogawa, Japón. Disponible en: <https://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/types-of-valves.html>
- [32] Ministerio del Trabajo (2014). *Proyecto de Reglamento Técnico de Calderas*. Ministerio del Trabajo, Ministerio de Minas y Energía. Colombia. Disponible en: [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/35207387/fenalcojuridica\\_461.pdf?response-content-disposition=attachment%3B%20filename%3DFenalcojuridica\\_461.pdf&X-Amz-Algorithm](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/35207387/fenalcojuridica_461.pdf?response-content-disposition=attachment%3B%20filename%3DFenalcojuridica_461.pdf&X-Amz-Algorithm)
- [33] Vargas, A. (1984). *Calderas Industriales y Marinas*. Guayaquil, Ecuador.
- [34] Cleaver Brooks (2010). *Boiler Care Handbook*. Milwaukee, USA. Disponible en: <https://archive.org/details/boilercarehandbo00clea/page/n19/mode/2up>

- [35] Hidalgo, J. (2010). *Cálculo, Diseño y Verificación del Sistema de Manejo de Gases de Salida de un Incinerador Experimental de Residuos y Desechos Hospitalarios*. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Guayaquil, Ecuador.
- [36] Quintero, M. (2014). *Optimización Del Sistema de Circulación de Fuel Oil en los Tanques de Almacenamiento de la Planta Cautivo Mediante el Uso de Agitadores de Homogenización*. Universidad Estatal Península de Santa Elena. Carrera de Ingeniería en Petróleo. La Libertad, Ecuador.
- [37] Viking (2007). *Viking Engineering Data*. Disponible en: [http://vp.salesmrc.com/pdfs/Sec\\_510.pdf](http://vp.salesmrc.com/pdfs/Sec_510.pdf)
- [38] Viking (2020). *Viking Selection Pump*. Disponible en: <http://pumpselector.vikingpump.com/selectValues.aspx>
- [39] Viking (2020). *Viking Selection Pump*. Disponible en: <http://www.bombaslesa.com/sitio-wp/wp-content/uploads/2015/07/Viking-Serie-32-y-432.pdf>
- [40] Desconocido (2020). *Diseño del Sistema de Tuberías y Cálculos de las Bombas*. Disponible en: <http://www.ugr.es/~aulavirtualpfcicq/descargas/documentos/BOMBAS%20Y%TUBERIAS.pdf>
- [41] Intriago, A. (2015). *Diseño Térmico y Mecánico de un Intercambiador de Calor para Fuel Oil Bajo las Normas TEMA*. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Guayaquil, Ecuador.
- [42] IAC (2021). *AutoCAD P&ID. Ingeniería Asistida por Computadora*. Disponible en: <http://iac.com.co/autocad-pyid/>
- [43] Ministerio del Ambiente (2015). *Anexo 3 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente Norma de Emisiones al Aire Desde Fuentes Fijas*. Decreto Ejecutivo Edición Especial N.º 387. Quito, Ecuador. Disponible en: [https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento\\_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015\\_0.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf)
- [44] Cleaver Brooks, Inc. (2019). *Boiler Efficiency. Facts You Should Know About Firetube Boilers And Boiler Efficiency*. Milwaukee, USA. Disponible en: <http://cleaver-brooks.com>
- [45] EP PETROECUADOR. (2021). *Estructura de Precios Enero-Febrero 2021*. Disponible en: <https://www.eppetroecuador.ec/wp->

content/uploads/downloads/2021/01/ESTRUCTURA-DE-PRECIOS-ENERO-2021-D.E.-1222.pdf

**ANEXO 1. Total, de Combustibles Derivados del Petróleo Despachados por EP  
PETROECUADOR de Enero – Junio 2020. [11]**

Producto	AÑO 2020						Enero - Junio		Var % 2019
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	2020	2019	
									
<b>GASOLINAS:</b>	2.518.428	2.421.946	1.584.143	720.335	1.150.806	1.754.258	10.149.919	14.873.959	-31,76
Súper	225.256,21	213.668	130.748	37.335	82.524	135.521	825.052	1.445.793	-42,93
Extra	1.079.405	1.054.287	710.108	334.558	497.343	752.318	4.439.998	6.454.222	-31,25
Ecopais	1.214.787	1.154.013	743.289	348.443	570.940	866.419	4.887.871	6.973.942	-26,91
<b>ABSORBER</b>	-	-	-	-	-	-	-	222	-
<b>DIÉSEL 1:</b>	1.793	1.298	1.216	567	896	943	6.713	8.756	-23,34
Terrestre - Industrial	1.793	1.298	1.216	567	896	943	6.713	8.756	-23,34
Marino Internacional	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>DIÉSEL 2:</b>	837.845	769.098	758.089	464.697	565.137	665.945	4.060.812	4.964.151	-18,20
Industrial - Otros	709.664	635.909	646.927	406.544	478.261	568.145	3.445.451	4.193.822	-17,84
Eléctrico	44.844	46.101	64.451	30.907	33.498	36.592	256.393	265.676	-3,49
Marino	83.337	87.088	46.712	27.246	53.378	61.208	358.968	504.653	-28,87
<b>DIÉSEL PREMIUM</b>	1.981.687	1.850.055	1.299.631	754.422	1.087.540	1.478.547	8.451.882	11.083.435	-23,74
<b>FUEL OIL # 4:</b>	341.206	454.403	388.809	182.808	241.624	309.763	1.928.612	4.408.262	-56,25
Nacional - Industrial	151.196	133.680	142.013	99.977	126.083	138.419	791.368	898.602	-11,93
Eléctrico	177.350	298.706	225.219	82.831	104.971	144.282	1.033.359	1.424.200	-27,44
Marino	12.660	32.017	21.577	-	10.569	27.062	103.886	2.085.580	-96,02
<b>ASFALTO:</b>	111.940	84.507	45.257	2.623	12.911	60.304	317.542	646.475	-50,88
AP-20	101.422	77.206	42.166	2.623	11.373	57.207	291.997	601.694	-51,47
RC-250	10.519	7.301	3.091	-	1.538	3.097	25.545	44.781	-42,96
<b>SOLVENTES:</b>	15.501	11.366	7.012	810	4.203	12.946	52.526	76.400	-31,32
Mineral Turpentine	6.467	4.602	3.570	70	1.068	3.071	18.848	30.194	-37,58
Rubber Solvent	9.034	6.764	4.042	747	3.215	9.875	33.678	46.207	-27,24
<b>SPRAY OIL</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>GLP</b>	1.134.913	1.053.964	1.178.662	998.062	1.071.118	1.112.904	6.549.623	6.714.451	-2,45
<b>JET A-1</b>	264.140	232.642	146.791	38.467	42.808,67	49.892	774.741	1.349.260	-42,58
Nacional	59.925	55.981	37.700	10.782	10.222	14.240	188.829	353.101	-46,52
Internacional	204.216	176.661	109.091	27.685	32.587	35.652	585.912	996.159	-41,18
<b>AVGAS</b>	4.470	3.418	3.340	1.927	2.312	1.879	17.444	21.745	-19,78
Nacional	3.266	3.154	2.967	1.348	1.983	1.732	14.450	18.704	-22,75
Internacional	1.204	264	373	578	329	246	2.994	3.041	-1,54
<b>NAFTA BASE 90 (Sector Eléctrico)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>PESCA ARTESANAL</b>	87.951	77.036	67.383	52.713	68.954	81.985	436.021	491.900	-11,36
<b>RESIDUO:</b>	40.929	65.610	30.862	16.562	26.286	51.438	231.687	408.070	-43,22
Industrial	8.724	8.948	8.261	6.490	9.738	23.500	65.661	15.648	-13,17
Eléctrico	32.205	56.662	22.581	10.071	16.548	27.938	165.026	332.423	-50,06
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>7.340.802</b>	<b>7.036.345</b>	<b>5.611.795</b>	<b>3.234.000</b>	<b>4.274.875</b>	<b>6.680.904</b>	<b>32.977.522</b>	<b>45.047.286</b>	<b>-26,79</b>
<b>AZUFRE (Kg)</b>	<b>358.370</b>	<b>600.850</b>	<b>181.320</b>	<b>411.360</b>	-	<b>305.530</b>	<b>1.857.230</b>	<b>2.621.230</b>	<b>-26,15</b>
<b>GAS NATURAL (MMBTU)</b>	676.397	637.382	734.128	779.423	740.825	326.980	3.895.135	5.033.778	-22,62
<b>GAS NATURAL LICUADO (MMBTU)</b>	153.842	133.437	76.811	9.060	43.212	79.764	496.126	686.089	-26,81
<b>LUBRICANTES (Gls) (b)</b>	147.755	200.006	141.380	84.483	117.114	145.340	837.078	1.071.941	-21,91

**Notas:**  
a) Incluye volúmenes transferidos a las estaciones de servicio de propiedad de EP PETROECUADOR para su comercialización.  
b) Incluye un volumen de 301.855 Gls. Que se utilizó para preparación de combustible para pesca artesanal.

**Fuente:** Gerencia de Comercialización Nacional, EP PETROECUADOR.

Suma 1+2+3

**ANEXO 2. Consumo de Combustibles Derivados del Petróleo por Sector,  
Despachados por EP PETROECUADOR de Enero – Junio 2020. [11]**

 <b>DESPACHOS POR SECTORES DE LA ABASTECEDORA EP PETROECUADOR (a)</b> Cifras en barriles									
PRODUCTOS POR SECTOR	AÑO 2020						Enero - Junio		Var % 20/19
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	2020	2019	
<b>AÉREO</b>	268.610	236.060	150.130	40.394	45.121	51.871	792.185	1.371.005	-42,22
Avgas	4.470	3.418	3.340	1.827	2.312	1.979	17.444	21.745	-19,78
Jet A-1	264.140	232.642	146.791	38.467	42.809	49.892	774.741	1.349.260	-42,58
<b>AGRÍCOLA</b>	13.545	7.694	10.225	26.157	37.756	20.442	115.819	153.653	-24,62
GLP	13.545	7.694	10.225	26.157	37.756	20.442	115.819	153.653	-24,62
<b>AUTOMOTRIZ</b>	4.491.888	4.237.942	2.863.607	1.468.404	2.279.049	1.224.536	18.525.510	24.938.632	-28,58
Diesel 2	57.452	57.295	41.395	18.490	27.705	37.090	239.436	329.511	-27,34
Diesel Premium	1.923.013	1.763.817	1.245.427	738.823	1.068.395	1.439.479	8.178.953	10.817.765	-24,39
Super	218.756	208.614	125.175	33.642	78.174	131.241	795.602	1.412.189	-43,66
Extra	1.073.521	1.049.506	705.855	332.290	494.650	758.442	4.414.263	6.384.702	-30,86
Ecopais	1.210.568	1.150.344	739.358	345.073	567.715	853.036	4.866.094	6.961.550	-30,10
GLP	8.580	8.367	5.396	1.176	2.410	5.233	31.162	32.915	-5,32
<b>CEMENTERO</b>	2.010	2.233	1.343	-	-	1.119	8.281	14.986	-57,08
Residuo	2.010	2.233	1.343	-	-	1.119	8.281	14.986	-57,08
<b>DOMÉSTICO</b>	1.020.861	957.571	1.095.736	934.842	979.811	1.024.663	6.013.486	5.956.511	0,96
GLP	1.020.861	957.571	1.095.736	934.842	979.811	1.024.663	6.013.486	5.956.511	0,96
<b>ELÉCTRICO</b>	254.400	401.469	312.251	123.809	155.017	208.812	1.455.757	2.022.299	-28,01
Diesel 2	34.940	36.291	54.403	23.689	26.490	30.307	206.060	212.986	-3,25
Diesel Premium	9.905	9.810	10.048	7.298	7.048	6.286	50.333	52.690	-4,47
Fuel Oil # 4	177.350	296.706	225.219	82.831	104.971	144.282	1.033.359	1.424.200	-27,44
Residuo	32.205	56.662	22.581	10.071	16.548	27.938	166.005	332.423	-50,06
<b>INDUSTRIAL</b>	746.400	643.124	597.553	412.982	492.055	604.962	3.497.077	4.266.049	-18,03
Asfáltos	111.940	84.507	45.257	2.623	12.911	60.304	317.542	646.475	-50,68
Diesel 1	1.793	1.298	1.216	567	896	943	6.713	8.796	-23,34
Diesel 2	353.447	308.201	310.321	253.125	276.804	307.626	1.809.724	1.935.681	-6,51
Diesel Premium	24.631	23.991	20.166	10.258	10.612	17.428	107.096	117.564	-8,52
Super	5.255	4.538	4.701	3.176	4.044	3.952	25.665	28.943	-11,33
Extra	1.519	1.545	1.615	864	1.361	1.595	8.520	44.963	-81,06
Ecopais	4.141	3.506	3.881	3.277	3.108	3.336	21.228	11.978	77,23
Fuel Oil # 4	145.033	128.492	136.173	96.665	122.559	131.795	760.738	859.542	-11,50
GLP	91.927	80.332	67.305	35.887	51.140	62.666	389.157	571.373	-31,89
Residuo	6.714	6.714	6.938	6.430	8.619	15.219	50.696	40.733	24,46
<b>NAVIERO</b>	295.706	224.854	192.454	97.847	125.476	154.231	1.090.247	1.439.452	-24,03
Diesel 2	158.703	131.187	136.673	92.474	107.580	106.548	733.365	930.716	-21,20
Diesel Premium	32.655	60.492	33.021	4.789	6.633	20.250	157.838	106.071	48,80
Fuel Oil # 4	12.660	32.017	21.577	-	10.569	27.062	103.886	2.065.560	-95,02
Super	1.150	493	610	469	235	329	3.286	3.802	-13,96
Extra	460	511	325	15	42	18	1.392	2.716	-48,74
Ecopais	59	164	47	70	117	23	479	297	61,28
<b>PESQUERO</b>	129.514	117.583	91.876	63.355	104.721	115.421	622.470	721.766	-13,76
Diesel 2	41.550	40.533	24.489	10.642	35.749	33.411	186.373	229.793	-18,89
Diesel Premium	10	12	4	-	14	24	63	58	8,16
Extra	4	2	1	-	4	1	12	15	-16,67
Pesca Artesanal	87.951	77.036	67.363	52.713	68.954	81.985	436.021	491.900	-11,36
<b>PETROLERO</b>	192.366	195.439	190.008	64.332	90.569	154.746	887.461	1.376.574	-35,53
Diesel 2	161.049	165.781	100.561	59.058	63.802	144.470	835.521	1.272.774	-34,35
Diesel Premium	1.379	1.744	1.014	542	1.000	1.367	7.932	41.957	-81,10
Fuel Oil # 4	6.163	5.186	5.840	3.282	3.524	6.624	30.630	39.060	-21,58
Super	95	23	262	48	71	-	499	859	-41,91
Extra	2.881	2.702	2.309	1.369	1.286	2.261	12.808	21.807	-41,27
Ecopais	-	-	23	23	-	23	70	117	-39,87
<b>PRODUCTOS ESPECIALES</b>	15.501	11.366	7.612	818	4.283	12.946	52.526	76.702	-31,52
Abrazos Oil	-	-	-	-	-	-	-	222	-100,00
Solventes	15.501	11.366	7.612	818	4.283	12.946	52.526	76.480	-31,32
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>7.340.802</b>	<b>7.035.345</b>	<b>5.511.795</b>	<b>3.234.000</b>	<b>4.274.675</b>	<b>5.580.904</b>	<b>32.977.522</b>	<b>45.047.266</b>	<b>-26,79</b>

**Notas:** Información provisional sujeta a revisión.  
 a) Incluye volúmenes transferidos a las estaciones de servicio de propiedad de EP PETROECUADOR para su comercialización.  
**Fuente:** Gerencia de Comercialización Nacional, EP Petroecuador

### ANEXO 3. Códigos y Rangos ISO 4406-1999. [21]

Ejemplo contaminación 22/21/18

Rango de partículas por 100 ml



Code	More Than	Up to & Including
24	8,000,000	16,000,000
23	4,000,000	8,000,000
22	2,000,000	4,000,000
21	1,000,000	2,000,000
20	500,000	1,000,000
19	250,000	500,000
18	130,000	250,000
17	64,000	130,000
16	32,000	64,000
15	16,000	32,000
14	8,000	16,000
13	4,000	8,000
12	2,000	4,000
11	1,000	2,000
10	500	1,000
9	250	500
8	130	250
7	64	130
6	32	64
5	16	32
4	8	16
3	4	8
2	2	4
1	1	2

ANEXO 4. Resultado de Análisis Mezcla de Combustible 20% Diesel – 80% Bunker  
(Fuel Oil 6). [Los Autores]

		<h1>INFORME DE RESULTADOS</h1>			
COORDINACION GENERAL DE CONTROL DE CALIDAD REFINERIA LA LIBERTAD		<b>AH-RLL-CCA-CEX-0002-2021</b>		Acreditación N° OAE LE C 11-008 LABORATORIO DE ENSAYOS	
<b>Análisis Externo</b>					
<b>DATOS DEL CLIENTE</b>					
Nombre:	LEONARDO SOSA ARCE				
Dirección:	TERCER CALLEJON Q Y LA 27				
Teléfono:	0982847143				
<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>					
Tipo de muestra:	BUNKER	Cantidad:	1 Litro		
Identificación:	CH-EXT-0002	Hora de muestreo:	11H30		
Lugar de Toma:	-	Punto de Muestreo:	-		
Fecha de muestreo:	20-ene-21	Fecha Recepción muestra:	20-ene-21		
<b>DATOS DEL ANALISIS</b>					
Temperatura: °C	21,0	Humedad:	48%		
Fecha Inicio del Análisis:	20-ene-21	Fecha de Emisión Informe:	20-ene-21		
Fecha Fin del Análisis:	20-ene-21				
<b>PARAMETROS</b>		<b>UNIDAD</b>	<b>METODO</b>	<b>RESULTADO</b>	
			<b>ASTM</b>		
Gravedad API, 60/60 °F	° API		D-1298	20,1	
Gravedad Específica, 60/60 °F	-		-	0,9334	
Punto de Inflamación	° C		D-83	78	
Agua y Sedimento *	%V		D-1796	0,025	
Viscosidad Cinemática a 50 °C	mm <sup>2</sup> /s		D-445	81,0	
Azufre	%P		D-4294	1,307	
<b>OBSERVACIONES GENERALES</b>					
					
* Los resultados analizados en este informe, corresponden únicamente a los:					
* No se debe reproducir el informe, excepto en su totalidad, sin la aprobación expresa de este laboratorio.					
* Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación.					

ANEXO 5. Tabla de Perdida de Presión por Fricción Viking Pump. [37]

FIG. 10

PRESSURE LOSSES FROM PIPE FRICTION

(New Schedule 40 Steel Pipe)

Loss in Pounds Per Square Inch Per Foot of Pipe\*

GPM	PIPE SIZE	VISCOSITY, SSU																
		32 (Water)	50	100	200	400	600	800	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10,000
1½	¾	.033	.050	.14	.28	.60	.87	1.2	1.5	3.3	4.5	6.0	7.5	8.8				
	½	.013	.020	.055	.11	.24	.35	.47	.60	1.3	1.8	2.4	3.0	3.5	4.2	5.0	5.4	6.0
	¼	.0038	.0065	.018	.038	.080	.12	.16	.20	.40	.60	.80	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
	1	.0010	.0025	.0070	.015	.030	.045	.060	.075	.15	.23	.30	.36	.45	.52	.60	.67	.73
3½	½	.080	.10	.13	.27	.56	.85	1.1	1.4	2.8	4.3	5.6	7.0	8.5	9.8			
	¾	.014	.015	.044	.090	.18	.28	.36	.45	.90	1.4	1.9	2.3	2.8	3.2	3.7	4.1	4.6
	1	.0045	.0060	.016	.035	.070	.10	.13	.18	.35	.50	.70	.85	1.0	1.2	1.3	1.6	1.8
	1½	.0011	.0020	.0055	.011	.023	.035	.046	.059	.12	.17	.24	.29	.34	.40	.46	.52	.59
5	¾	.029	.045	.060	.13	.26	.40	.52	.65	1.3	2.0	2.6	3.2	4.0	4.5	5.2	6.0	6.5
	1	.0090	.0092	.018	.050	.10	.15	.20	.25	.50	.72	1.0	1.3	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5
	1½	.0022	.0028	.0079	.016	.033	.050	.066	.083	.17	.25	.33	.41	.50	.56	.66	.72	.83
	2	.0012	.0015	.0041	.0090	.018	.027	.036	.045	.090	.13	.18	.23	.27	.32	.36	.40	.45
7	¾	.055	.075	.090	.18	.36	.55	.73	.90	1.8	2.8	3.6	4.5	5.5	6.2	7.3	8.1	9.0
	1	.016	.025	.032	.070	.14	.21	.28	.35	.70	1.1	1.4	1.8	2.1	2.5	2.8	3.1	3.5
	1½	.0040	.009	.011	.023	.046	.070	.092	.11	.23	.35	.46	.60	.70	.80	.92	1.0	1.1
	2	.0019	.0021	.0060	.013	.025	.038	.050	.062	.13	.19	.25	.31	.37	.45	.50	.55	.62
10	¾	.10	.14	.14	.26	.52	.80	1.1	1.3	2.6	4.0	5.2	6.4	8.0	9.0			
	1	.030	.045	.047	.10	.20	.30	.40	.50	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
	1½	.0080	.013	.016	.033	.066	.10	.13	.17	.34	.50	.68	.85	1.0	1.2	1.3	1.5	1.7
	2	.0035	.0055	.0085	.018	.036	.053	.071	.090	.18	.27	.35	.45	.54	.62	.71	.81	.90
15	1	.064	.092	.14	.15	.30	.45	.60	.75	1.5	2.3	3.0	3.8	4.5	5.2	6.0	7.0	7.5
	1½	.016	.025	.025	.050	.10	.15	.20	.25	.50	.75	1.0	1.3	1.5	1.8	2.0	2.3	2.5
	2	.0075	.011	.013	.026	.052	.080	.11	.13	.28	.40	.52	.66	.80	.92	1.1	1.2	1.3
	3	.0022	.0036	.0047	.010	.020	.030	.040	.050	.10	.15	.20	.25	.30	.35	.40	.45	.50
18	1	.090	.12	.17	.18	.36	.54	.70	.90	1.8	2.7	3.6	4.5	5.4	6.1	7.0	8.0	9.0
	1½	.023	.030	.033	.060	.12	.18	.24	.30	.60	.90	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.8	3.0
	2	.011	.016	.016	.032	.064	.098	.13	.16	.32	.49	.64	.82	.98	1.1	1.3	1.5	1.6
	3	.0031	.0050	.0056	.012	.024	.036	.050	.060	.12	.18	.24	.30	.36	.42	.50	.55	.60
20	1	.11	.15	.20	.28	.40	.60	.80	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
	1½	.028	.040	.060	.065	.13	.20	.26	.32	.65	1.0	1.3	1.6	2.0	2.3	2.6	3.0	3.2
	2	.013	.018	.019	.036	.071	.11	.15	.18	.36	.53	.70	.80	1.1	1.3	1.5	1.7	1.8
	3	.0039	.0058	.0061	.013	.026	.040	.054	.067	.13	.20	.27	.34	.40	.48	.54	.60	.67
25	1½	.042	.060	.075	.080	.16	.25	.34	.42	.82	1.3	1.6	2.1	2.5	2.9	3.4	3.7	4.2
	2	.020	.029	.035	.045	.090	.13	.18	.23	.45	.67	.90	1.1	1.3	1.6	1.8	2.0	2.3
	3	.0058	.0083	.0085	.017	.033	.050	.069	.083	.17	.25	.33	.42	.50	.60	.69	.78	.83
	4	.0025	.0036	.0038	.0080	.016	.025	.032	.038	.080	.14	.16	.20	.25	.29	.32	.36	.38
30	1½	.060	.083	.10	.10	.20	.30	.40	.50	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
	2	.027	.040	.045	.054	.11	.16	.21	.28	.52	.80	1.1	1.4	1.6	1.9	2.1	2.4	2.8
	3	.0080	.012	.016	.020	.040	.060	.080	.10	.20	.30	.40	.50	.60	.70	.80	.90	1.0
	4	.0034	.0047	.0048	.0095	.019	.030	.038	.047	.098	.15	.19	.24	.30	.35	.38	.44	.47
35	1½	.080	.11	.13	.13	.23	.35	.46	.59	1.1	1.8	2.3	2.9	3.5	4.0	4.6	5.2	5.9
	2	.037	.052	.065	.065	.13	.19	.25	.32	.62	.94	1.3	1.6	1.9	2.3	2.5	2.8	3.2
	3	.011	.015	.020	.023	.046	.070	.094	.12	.23	.35	.46	.59	.70	.81	.94	1.1	1.2
	4	.0045	.0065	.009	.011	.023	.035	.045	.056	.11	.17	.22	.28	.35	.40	.45	.51	.56
40	1½	.047	.066	.078	.080	.15	.22	.29	.36	.72	1.1	1.5	1.8	2.2	2.5	2.9	3.2	3.6
	2	.013	.020	.024	.026	.053	.080	.11	.13	.30	.40	.53	.68	.80	.92	1.1	1.2	1.3
	3	.0056	.0084	.011	.013	.025	.039	.050	.064	.13	.19	.25	.31	.39	.45	.50	.58	.64
	4	.0020	.0025	.0025	.0053	.011	.016	.022	.027	.055	.082	.11	.13	.16	.20	.22	.25	.27
50	1½	.072	.097	.10	.10	.18	.28	.36	.46	.90	1.4	1.8	2.3	2.8	3.2	3.6	4.0	4.6
	2	.020	.029	.033	.033	.067	.10	.13	.17	.34	.50	.68	.83	1.0	1.1	1.3	1.5	1.7
	3	.0085	.012	.016	.016	.032	.050	.064	.080	.16	.24	.32	.40	.50	.59	.64	.72	.80
	4	.0030	.0045	.0060	.0068	.014	.020	.028	.035	.070	.10	.13	.17	.20	.24	.28	.31	.35
60	1½	.10	.14	.16	.16	.22	.32	.43	.54	1.0	1.6	2.2	2.8	3.2	3.8	4.3	4.9	5.4
	2	.029	.040	.044	.044	.080	.12	.16	.20	.40	.60	.80	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
	3	.012	.017	.022	.019	.038	.059	.078	.097	.19	.29	.38	.49	.59	.70	.78	.88	.97
	4	.0040	.0060	.0080	.0080	.017	.025	.032	.040	.081	.13	.16	.20	.25	.28	.32	.37	.40
80	2	.050	.068	.086	.093	.10	.16	.22	.28	.52	.80	1.0	1.3	1.6	1.9	2.2	2.5	2.8
	3	.020	.028	.037	.045	.050	.079	.10	.13	.26	.39	.50	.65	.79	.90	1.0	1.1	1.3
	4	.0070	.010	.012	.012	.022	.032	.044	.054	.11	.17	.22	.28	.32	.37	.44	.50	.54
	5	.0018	.0027	.0030	.0035	.0072	.011	.015	.018	.036	.056	.074	.091	.11	.13	.15	.17	.18
90	2	.063	.082	.10	.11	.12	.18	.25	.30	.60	.90	1.2	1.5	1.8	2.2	2.5	2.8	3.0
	3	.025	.035	.045	.052	.058	.089	.11	.14	.29	.44	.58	.73	.89	1.0	1.1	1.3	1.4
	4	.0089	.013	.016	.022	.025	.037	.049	.060	.13	.19	.25	.30	.37	.42	.49	.55	.60
	5	.0022	.0034	.0040	.0040	.0081	.013	.016	.020	.040	.062	.081	.10	.13	.14	.16	.18	.20
100	2	.080	.10	.13	.13	.20	.28	.34	.46	.88	1.0	1.3	1.7	2.0	2.4	2.8	3.1	3.4
	3	.032	.043	.055	.060	.063	.099	.13	.16	.33	.50	.63	.80	.99	1.1	1.3	1.5	1.6
	4	.011	.015	.019	.024	.027	.040	.053	.068	.14	.21	.27	.35	.40	.47	.53	.61	.68
	5	.0028	.0040	.0046	.0046	.0091	.014	.018	.023	.045	.070	.092	.11	.14	.16	.18	.21	.23

\* For liquids with a specific gravity other than 1.00, multiply the value from the above table by the specific gravity of the liquid. For old pipe, add 20% to the above values. Figures to right of dark line are laminar flow. Figures to left of dark line are turbulent flow.

To convert the above values to kPa (kilopascals) per metre of pipe, multiply by 22.6. To convert the above values to kg per cm<sup>2</sup> per metre of pipe, multiply by 0.23.

FIG. 10 (Continued)

**PRESSURE LOSSES FROM PIPE FRICTION**

(New Schedule 40 Steel Pipe)

Loss in Pounds Per Square Inch Per Foot of Pipe\*

GPM	PIPE SIZE	VISCOSITY, SSU												
		15,000	20,000	25,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	80,000	90,000	100,000	150,000	250,000
1½	1¼	.37	.50	.62	.73	1.0	1.3	1.5	1.7	1.9	2.2	2.5	3.7	6.2
	1½	.20	.27	.35	.40	.53	.69	.80	.92	1.1	1.2	1.3	2.0	3.5
	2	.075	.10	.13	.15	.20	.25	.30	.35	.40	.46	.50	.75	1.3
3½	2½	.036	.050	.060	.072	.095	.12	.14	.17	.20	.23	.25	.36	.60
	1¼	.88	1.2	1.5	1.7	2.4	2.9	3.5	4.0	4.5	5.1	5.9	8.8	
	1½	.47	.60	.80	.92	1.2	1.6	1.8	2.3	2.5	2.8	3.1	4.7	8.0
5	2	.18	.23	.29	.35	.46	.57	.70	.85	.93	1.1	1.2	1.8	2.9
	2½	.085	.11	.14	.17	.22	.28	.34	.40	.45	.50	.55	.85	1.4
	1½	.66	.89	1.1	1.3	1.8	2.3	2.7	3.2	3.6	4.1	4.5	6.6	
7	2	.25	.33	.41	.50	.67	.82	1.0	1.2	1.3	1.5	1.7	2.5	4.1
	2½	.13	.16	.21	.25	.33	.41	.50	.59	.66	.75	.81	1.3	2.1
	3	.050	.070	.085	.10	.13	.17	.20	.24	.28	.30	.34	.50	.85
10	1½	.92	1.3	1.6	1.9	2.5	3.1	3.8	4.5	5.0	5.5	6.1	9.2	
	2	.35	.46	.59	.70	.93	1.1	1.4	1.7	1.9	2.1	2.4	3.5	5.8
	2½	.17	.23	.28	.34	.45	.55	.68	.80	.90	1.0	1.1	1.7	2.8
15	3	.070	.095	.12	.15	.19	.24	.29	.34	.38	.43	.47	.70	1.2
	1½	1.3	1.8	2.3	2.7	3.5	4.5	5.4	6.3	7.1	8.0	8.9	13.0	21.0
	2	.40	.65	.84	1.0	1.3	1.7	2.0	2.4	2.8	3.0	3.3	4.0	8.4
18	2½	.25	.33	.40	.49	.64	.80	.98	1.1	1.3	1.5	1.6	2.5	4.0
	3	.10	.14	.17	.20	.27	.35	.40	.48	.55	.61	.69	1.0	1.7
	2	.75	1.0	1.3	1.5	2.0	2.5	3.0	3.6	4.1	4.6	5.0	7.5	
20	2½	.36	.50	.60	.72	.95	1.2	1.4	1.7	2.0	2.3	2.5	3.6	5.0
	3	.15	.20	.25	.30	.40	.50	.60	.70	.80	.90	1.0	1.5	2.5
	4	.050	.066	.085	.10	.13	.17	.21	.24	.28	.31	.34	.50	.85
25	2	.90	1.2	1.5	1.8	2.4	3.0	3.7	4.3	4.9	5.4	6.0	9.0	
	2½	.44	.59	.72	.88	1.1	1.4	1.7	2.0	2.3	2.6	2.9	4.4	7.2
	3	.18	.25	.30	.36	.50	.60	.71	.85	.98	1.1	1.2	1.8	3.0
30	4	.060	.080	.10	.13	.17	.20	.25	.28	.32	.37	.41	.60	1.0
	2	1.0	1.3	1.7	2.0	2.7	3.4	4.1	4.8	5.4	6.1	6.8	10.0	
	2½	.49	.65	.80	.96	1.3	1.6	1.9	2.3	2.6	2.9	3.2	4.9	8.0
35	3	.20	.28	.34	.41	.54	.69	.80	.95	1.1	1.2	1.3	2.0	3.4
	4	.069	.090	.11	.14	.18	.23	.28	.31	.36	.41	.46	.69	1.1
	2½	.60	.80	1.0	1.2	1.6	2.0	2.4	2.9	3.2	3.7	4.0	6.0	10.0
40	3	.25	.35	.42	.51	.70	.85	1.0	1.1	1.3	1.6	1.7	2.5	4.2
	4	.085	.11	.14	.18	.23	.28	.35	.40	.45	.52	.58	.85	1.4
	6	.016	.022	.028	.032	.043	.053	.064	.074	.085	.095	.11	.16	.28
50	2½	.72	.99	1.2	1.4	1.9	2.4	2.8	3.4	4.0	4.5	4.9	7.2	
	3	.30	.40	.50	.61	.81	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	3.0	5.0
	4	.10	.13	.18	.21	.28	.34	.42	.49	.55	.64	.70	1.0	1.8
60	6	.020	.026	.033	.040	.051	.065	.078	.092	.10	.12	.13	.20	.33
	2½	.85	1.1	1.4	1.7	2.3	2.8	3.4	4.0	4.5	5.0	5.5	8.5	
	3	.35	.48	.60	.72	.95	1.2	1.4	1.7	1.9	2.1	2.4	3.5	6.0
80	4	.12	.16	.20	.25	.32	.40	.50	.55	.64	.73	.80	1.2	2.0
	6	.023	.030	.039	.046	.060	.076	.091	.10	.12	.13	.15	.23	.39
	2½	.97	1.3	1.6	2.0	2.5	3.2	3.8	4.5	5.0	5.8	6.3	9.7	
90	3	.40	.55	.69	.82	1.1	1.3	1.6	1.9	2.2	2.5	2.7	4.0	6.9
	4	.14	.18	.23	.28	.37	.46	.57	.65	.73	.83	.90	1.4	2.3
	6	.027	.035	.045	.052	.070	.089	.10	.12	.14	.16	.19	.27	.45
100	2½	1.2	1.6	2.0	2.4	3.2	4.0	4.8	5.5	6.4	7.3	8.0	12.0	
	3	.50	.70	.85	1.0	1.4	1.7	2.0	2.4	2.8	3.1	3.4	5.0	8.5
	4	.17	.23	.29	.35	.46	.60	.70	.81	.90	1.0	1.1	1.7	2.9
120	6	.033	.044	.055	.065	.086	.11	.13	.15	.17	.19	.22	.33	.55
	3	.60	.81	1.0	1.3	1.6	2.0	2.5	2.9	3.2	3.7	4.0	6.0	10.0
	4	.20	.27	.35	.41	.55	.70	.84	.99	1.1	1.3	1.4	2.0	3.5
150	6	.040	.052	.065	.079	.10	.13	.15	.18	.20	.24	.26	.40	.65
	8	.014	.018	.023	.027	.036	.045	.054	.063	.072	.081	.090	.14	.23
	3	.80	1.1	1.4	1.7	2.2	2.8	3.2	3.8	4.3	5.0	5.4	8.0	
180	4	.27	.36	.46	.55	.74	.91	1.1	1.3	1.5	1.7	1.8	2.7	4.6
	6	.052	.070	.090	.10	.14	.18	.21	.25	.28	.31	.35	.52	.90
	8	.018	.024	.030	.036	.048	.060	.072	.085	.096	.11	.12	.18	.30
200	3	.91	1.2	1.6	1.9	2.5	3.0	3.7	4.3	4.9	5.5	6.1	9.1	
	4	.30	.40	.51	.62	.83	1.0	1.3	1.4	1.6	1.8	2.1	3.0	5.1
	6	.060	.079	.10	.12	.15	.20	.23	.27	.31	.36	.39	.60	.79
250	8	.020	.027	.034	.040	.055	.067	.080	.095	.11	.12	.13	.20	.34
	3	1.0	1.4	1.7	2.1	2.8	3.4	4.0	4.7	5.4	6.1	6.9	10.0	
	4	.35	.45	.60	.70	.91	1.1	1.4	1.6	1.8	2.1	2.3	3.5	6.0
300	6	.065	.085	.11	.13	.18	.22	.26	.30	.35	.38	.44	.65	1.1
	8	.023	.030	.037	.045	.060	.073	.090	.10	.12	.13	.15	.23	.37

FIG. 10 (Continued)

**PRESSURE LOSSES FROM PIPE FRICTION**

(New Schedule 40 Steel Pipe)

Loss in Pounds Per Square Inch Per Foot of Pipe\*

GPM	PIPE SIZE	VISCOSITY, SSU																
		32 (Water)	50	100	200	400	600	800	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10,000
120	2	.11	.14	.15	.18	.18	.24	.32	.40	.80	1.1	1.5	2.0	2.4	2.9	3.2	3.7	4.0
	2½	.045	.060	.075	.078	.078	.12	.15	.19	.40	.60	.77	.99	1.2	1.3	1.5	1.8	1.9
	3	.015	.020	.026	.032	.032	.050	.065	.080	.16	.25	.32	.40	.50	.56	.65	.72	.80
	4	.0040	.0057	.0072	.010	.011	.017	.022	.028	.054	.083	.11	.14	.17	.19	.22	.24	.28
140	2½	.060	.078	.10	.11	.11	.14	.18	.23	.45	.68	.90	1.1	1.3	1.6	1.8	2.0	2.3
	3	.020	.027	.034	.038	.038	.058	.076	.095	.19	.29	.38	.46	.58	.66	.76	.85	.95
	4	.0054	.0075	.0098	.011	.013	.020	.025	.031	.063	.10	.13	.16	.20	.23	.25	.29	.32
	6	.00067	.0010	.0013	.0013	.0024	.0037	.0050	.0060	.012	.018	.024	.030	.037	.042	.050	.055	.060
150	2½	.065	.085	.11	.13	.14	.19	.24	.50	.70	.95	1.2	1.4	1.6	1.9	2.2	2.4	2.4
	3	.022	.030	.038	.040	.040	.060	.080	.10	.20	.30	.40	.50	.60	.70	.80	.90	1.0
	4	.0060	.0085	.011	.013	.014	.021	.027	.035	.078	.10	.14	.17	.21	.24	.27	.32	.35
	6	.00075	.0011	.0013	.0013	.0026	.0040	.0052	.0065	.013	.020	.026	.032	.040	.047	.052	.058	.065
160	2½	.077	.10	.11	.11	.15	.20	.25	.50	.75	1.0	1.3	1.5	1.8	2.0	2.3	2.5	2.5
	3	.025	.035	.044	.050	.050	.065	.087	.11	.22	.33	.44	.55	.65	.76	.87	.98	1.1
	4	.0070	.0095	.012	.014	.015	.022	.030	.037	.071	.11	.15	.18	.22	.26	.30	.33	.37
	6	.00086	.0012	.0015	.0015	.0028	.0042	.0055	.0070	.014	.021	.028	.035	.041	.049	.055	.064	.070
180	2½	.10	.12	.15	.18	.18	.23	.29	.58	.87	1.1	1.5	1.8	2.0	2.3	2.6	2.9	2.9
	3	.032	.042	.053	.065	.071	.074	.10	.12	.25	.37	.50	.62	.74	.85	1.0	1.1	1.2
	4	.0084	.012	.015	.016	.016	.025	.032	.041	.081	.13	.17	.21	.25	.30	.32	.37	.41
	6	.0011	.0016	.0020	.0027	.0031	.0047	.0063	.0080	.016	.023	.031	.040	.047	.055	.063	.070	.080
200	2½	.12	.14	.18	.19	.20	.25	.32	.63	.96	1.3	1.6	1.9	2.2	2.5	2.8	3.2	3.2
	3	.040	.052	.064	.075	.078	.081	.11	.13	.27	.42	.55	.70	.81	.95	1.1	1.2	1.3
	4	.010	.014	.018	.020	.020	.027	.036	.045	.090	.14	.18	.23	.28	.32	.36	.41	.45
	6	.0013	.0019	.0025	.0032	.0035	.0052	.0070	.0089	.018	.026	.035	.045	.052	.060	.070	.079	.089
250	3	.060	.075	.092	.10	.11	.11	.14	.17	.35	.50	.68	.84	1.0	1.2	1.4	1.5	1.7
	4	.016	.021	.026	.031	.033	.035	.045	.058	.11	.18	.23	.29	.35	.40	.45	.52	.58
	6	.0020	.0028	.0035	.0042	.0044	.0066	.0088	.011	.022	.033	.044	.055	.066	.077	.088	.099	.11
	8	.00051	.00079	.0010	.0013	.0015	.0022	.0027	.0037	.0075	.011	.015	.019	.023	.028	.030	.034	.037
300	3	.085	.10	.13	.15	.17	.18	.20	.40	.60	.80	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.0
	4	.022	.030	.036	.042	.044	.045	.055	.070	.14	.21	.28	.35	.42	.48	.55	.62	.70
	6	.0028	.0040	.0050	.0058	.0060	.0080	.010	.013	.026	.040	.052	.065	.080	.090	.10	.11	.13
	8	.00070	.0011	.0014	.0017	.0018	.0027	.0033	.0045	.0090	.013	.018	.023	.027	.031	.035	.040	.045
400	3	.15	.18	.21	.25	.26	.27	.28	.56	.84	1.1	1.4	1.7	1.8	2.1	2.4	2.8	2.8
	4	.040	.050	.060	.070	.073	.075	.078	.090	.18	.28	.37	.46	.55	.64	.72	.82	.90
	6	.0047	.0065	.0080	.0097	.010	.010	.014	.017	.035	.051	.070	.089	.10	.12	.14	.16	.17
	8	.0012	.0018	.0023	.0027	.0027	.0035	.0045	.0060	.012	.018	.024	.030	.035	.041	.047	.053	.060
450	4	.048	.060	.073	.088	.095	.098	.10	.10	.20	.30	.40	.50	.60	.70	.80	.90	1.0
	6	.0060	.0080	.010	.012	.013	.013	.016	.020	.040	.060	.080	.10	.12	.14	.16	.18	.20
	8	.0016	.0022	.0029	.0033	.0033	.0040	.0050	.0066	.013	.020	.027	.034	.040	.046	.053	.060	.068
	10	.00052	.00075	.00095	.0012	.0012	.0016	.0022	.0028	.0055	.0082	.011	.014	.016	.019	.022	.025	.028
500	4	.060	.071	.090	.11	.12	.13	.13	.13	.23	.35	.46	.57	.70	.80	.90	1.0	1.1
	6	.0074	.010	.012	.014	.016	.016	.018	.022	.044	.065	.086	.10	.13	.15	.18	.20	.22
	8	.0018	.0026	.0034	.0041	.0043	.0045	.0055	.0063	.015	.023	.030	.037	.045	.051	.060	.066	.075
	10	.00061	.00090	.0011	.0013	.0013	.0018	.0024	.0030	.0060	.0090	.012	.015	.018	.021	.025	.027	.030
600	4	.085	.10	.12	.14	.17	.20	.23	.25	.28	.42	.55	.70	.82	.93	1.0	1.2	1.4
	6	.010	.014	.016	.020	.022	.023	.024	.026	.051	.079	.10	.13	.16	.18	.21	.23	.26
	8	.0026	.0036	.0046	.0054	.0056	.0058	.0066	.0090	.018	.028	.036	.045	.054	.061	.071	.081	.090
	10	.00086	.0012	.0016	.0020	.0021	.0022	.0029	.0036	.0072	.011	.015	.018	.022	.025	.029	.033	.036
750	4	.13	.15	.18	.22	.27	.28	.29	.30	.34	.51	.70	.88	1.1	1.2	1.3	1.5	1.8
	6	.015	.020	.025	.028	.030	.031	.032	.032	.064	.10	.12	.16	.20	.22	.25	.29	.32
	8	.0040	.0055	.0065	.0081	.0090	.0095	.010	.011	.023	.034	.045	.055	.066	.080	.090	.10	.11
	10	.0013	.0018	.0022	.0027	.0028	.0028	.0036	.0045	.0090	.014	.018	.022	.027	.032	.036	.041	.045
800	6	.018	.024	.027	.032	.032	.033	.033	.035	.070	.10	.13	.17	.21	.25	.28	.31	.35
	8	.0046	.0062	.0080	.0095	.010	.011	.011	.012	.024	.036	.048	.060	.072	.084	.096	.10	.12
	10	.0014	.0020	.0026	.0032	.0033	.0033	.0038	.0050	.0098	.015	.020	.025	.029	.034	.040	.045	.050
	12	.00060	.00090	.0011	.0014	.0015	.0015	.0019	.0024	.0047	.0070	.0095	.012	.014	.017	.019	.022	.024
1000	6	.028	.035	.040	.050	.057	.065	.072	.079	.086	.13	.17	.21	.26	.30	.35	.39	.45
	8	.0070	.0093	.011	.014	.014	.015	.015	.015	.030	.045	.060	.075	.090	.10	.11	.12	.15
	10	.0022	.0030	.0038	.0047	.0047	.0048	.0049	.0060	.012	.018	.024	.030	.036	.042	.048	.055	.060
	12	.00095	.0013	.0017	.0020	.0022	.0022	.0024	.0030	.0060	.0090	.012	.015	.018	.021	.024	.027	.030
1050	6	.030	.037	.045	.054	.062	.070	.078	.085	.090	.13	.18	.23	.28	.31	.36	.40	.46
	8	.0080	.010	.012	.015	.015	.016	.016	.016	.031	.047	.063	.080	.094	.10	.12	.13	.16
	10	.0025	.0034	.0043	.0047	.0050	.0051	.0051	.0064	.013	.020	.026	.032	.039	.045	.051	.060	.065
	12	.0010	.0014	.0018	.0022	.0024	.0025	.0025	.0031	.0062	.0093	.013	.016	.019	.022	.026	.029	.032

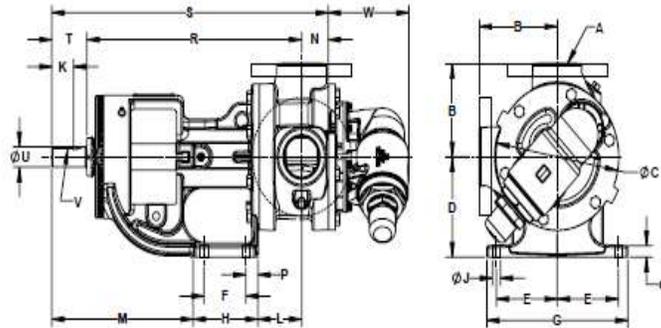
GPM	PIPE SIZE	VISCOSITY, SSU												
		15,000	20,000	25,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	80,000	90,000	100,000	150,000	250,000
120	3	1.2	1.6	2.0	2.5	3.2	4.0	4.9	5.8	2.5	7.5	8.0		
	4	.40	.53	.70	.84	1.1	1.4	1.7	2.0	2.2	2.5	2.8	4.0	7.0
	6	.080	.10	.13	.15	.21	.26	.31	.36	.41	.47	.52	.80	1.3
	8	.023	.035	.045	.055	.072	.090	.11	.13	.14	.16	.18	.23	.45
140	3	1.4	1.9	2.4	2.9	3.8	4.7	5.8	6.8	7.6	8.5	9.5		
	4	.47	.62	.81	.99	1.3	1.6	2.0	2.3	2.5	2.8	3.2	4.7	8.1
	6	.091	.12	.15	.18	.25	.30	.36	.42	.48	.55	.60	.81	1.5
	8	.031	.042	.052	.063	.085	.10	.13	.15	.17	.19	.21	.31	.52
150	3	1.5	2.0	2.5	3.1	4.0	5.1	6.1	7.1	8.1	9.1			
	4	.51	.68	.88	1.0	1.4	1.7	2.1	2.4	2.7	3.2	3.5	5.1	8.8
	6	.099	.13	.16	.19	.26	.32	.38	.46	.51	.57	.65	.99	1.6
	8	.033	.045	.055	.066	.090	.11	.13	.16	.18	.21	.23	.33	.55
160	4	.55	.71	.92	1.1	1.5	1.8	2.3	2.6	3.0	3.4	3.6	5.5	9.2
	6	.10	.14	.18	.21	.28	.35	.41	.48	.55	.62	.70	1.0	1.8
	8	.036	.048	.060	.072	.096	.12	.14	.17	.19	.21	.24	.36	.60
	10	.015	.020	.025	.030	.039	.049	.058	.070	.079	.090	.099	.15	.25
180	4	.61	.80	1.0	1.3	1.7	2.1	2.5	2.9	3.2	3.7	4.1	6.1	10.0
	6	.12	.16	.20	.23	.31	.40	.47	.55	.61	.70	.79	1.2	2.0
	8	.040	.052	.068	.080	.11	.13	.16	.19	.21	.24	.28	.40	.68
	10	.017	.022	.027	.033	.044	.055	.066	.077	.088	.099	.11	.17	.27
200	4	.70	.90	1.2	1.4	1.9	2.3	2.8	3.2	3.6	4.2	4.5	7.0	
	6	.13	.18	.22	.26	.35	.45	.51	.60	.70	.78	.85	1.3	2.2
	8	.045	.060	.075	.090	.12	.15	.18	.21	.24	.28	.30	.45	.75
	10	.018	.025	.030	.036	.048	.060	.071	.085	.098	.11	.12	.18	.30
250	4	.85	1.1	1.5	1.8	2.3	2.8	3.5	4.0	4.5	5.2	5.8	8.5	
	6	.17	.22	.28	.32	.44	.55	.64	.75	.86	1.0	1.1	1.7	2.8
	8	.056	.074	.092	.11	.15	.18	.22	.26	.30	.34	.37	.56	.92
	10	.023	.030	.038	.046	.060	.075	.090	.10	.12	.14	.15	.23	.38
300	4	1.0	1.3	1.8	2.1	2.8	3.5	4.2	4.7	5.4	6.2	7.0	10.0	
	6	.20	.26	.33	.40	.51	.65	.78	.90	1.0	1.2	1.3	2.0	3.3
	8	.068	.090	.11	.13	.18	.22	.27	.31	.35	.40	.45	.68	1.1
	10	.028	.036	.045	.055	.062	.090	.11	.13	.15	.17	.18	.28	.45
400	4	1.4	1.8	2.3	2.8	3.7	4.6	5.5	6.4	7.3	8.2	9.1		
	6	.26	.35	.45	.51	.70	.88	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.6	4.5
	8	.090	.12	.15	.18	.24	.30	.36	.41	.47	.54	.60	.90	1.5
	10	.037	.048	.060	.073	.096	.12	.15	.17	.19	.22	.25	.37	.60
450	4	1.5	2.0	2.6	3.1	4.2	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0		
	6	.30	.40	.50	.60	.80	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	3.0	5.0
	8	.10	.14	.17	.20	.28	.34	.40	.46	.54	.61	.68	1.0	1.7
	10	.042	.055	.070	.082	.11	.14	.16	.19	.22	.25	.28	.42	.70
500	4	1.7	2.3	2.9	3.5	4.6	5.7	7.0	8.0	9.0	10.0			
	6	.33	.44	.55	.66	.87	1.0	1.3	1.5	1.8	2.0	2.2	3.3	5.5
	8	.11	.15	.19	.23	.30	.37	.45	.51	.60	.66	.74	1.1	1.9
	10	.046	.060	.075	.091	.12	.15	.18	.21	.25	.28	.30	.46	.75
600	4	2.0	2.8	3.5	4.2	5.5	6.9	8.3	9.5					
	6	.40	.51	.65	.80	1.0	1.3	1.5	1.8	2.1	2.4	2.6	4.0	6.5
	8	.13	.18	.23	.27	.36	.45	.54	.63	.72	.81	.90	1.3	2.3
	10	.055	.072	.090	.11	.15	.18	.22	.25	.29	.32	.37	.55	.90
750	6	.50	.65	.82	1.0	1.3	1.6	2.0	2.3	2.5	2.9	3.2	5.0	8.2
	8	.17	.22	.28	.34	.45	.55	.65	.79	.90	.98	1.1	1.7	2.8
	10	.070	.090	.11	.14	.18	.23	.27	.32	.37	.41	.46	.70	1.1
	12	.032	.043	.055	.066	.090	.11	.14	.16	.18	.20	.23	.32	.55
800	6	.52	.70	.89	1.0	1.4	1.6	2.1	2.3	2.7	3.1	3.5	5.2	8.9
	8	.18	.24	.30	.36	.48	.60	.71	.84	.95	1.0	1.2	1.8	3.0
	10	.072	.096	.12	.15	.19	.25	.29	.34	.40	.45	.50	.72	1.2
	12	.035	.046	.060	.070	.096	.12	.15	.17	.18	.21	.25	.35	.60
1000	6	.65	.86	1.1	1.3	1.7	2.2	2.6	3.0	3.5	3.9	4.5	6.5	
	8	.23	.30	.37	.45	.60	.74	.90	1.0	1.1	1.3	1.5	2.3	3.7
	10	.091	.12	.15	.18	.25	.30	.36	.42	.49	.55	.61	.91	1.5
	12	.045	.059	.075	.090	.12	.15	.18	.21	.24	.27	.30	.45	.75
1050	6	.70	.90	1.1	1.3	1.8	2.3	2.7	3.1	3.6	4.1	4.7	7.0	
	8	.24	.31	.40	.47	.62	.80	.94	1.0	1.2	1.3	1.5	2.4	4.0
	10	.098	.13	.16	.20	.26	.32	.39	.45	.51	.59	.65	.98	1.6
	12	.047	.061	.080	.095	.13	.16	.19	.22	.25	.29	.31	.47	.80

ANEXO 6. Características de Bombas de Recepción y Traslado de Combustible.  
[38]

Section	1401
Page	1401.10
Issue	C

**UNIVERSAL PRODUCT LINE:**  
**CAST IRON — NON-JACKETED PUMPS**  
SERIES 124A, 124AE, 4124A, 4124AE, 4124B, 324A, 4324A

**DIMENSIONS – G THROUGH Q & M SIZES**



These dimensions are average and not for construction purposes. Certified prints on request.

NOTE: Dimensions "N" through "W" on next page

Model Number		A (in)		B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M
Packed	Mechanical Seal													
G124A	G4124A	① 1	in	2.50	3.66	2.75	1.62	1.31	4.00	2.38	0.34	0.57	1.21	4.87
	G4124B		mm	64	93	70	41	33	102	60	9	14	31	124
H124A HL124A	H4124A	① 1.5	in	3.00	4.75	3.50	2.75	2.25	6.75	3.50	0.47	0.99	3.38	5.19
	HL4124A HL4124B		mm	76	121	89	70	57	171	89	12	25	86	132
AK124A AL124A	AK4124A	① 2	in	4.50	6.75	5.25	2.88	2.00	6.75	4.03	0.41	1.67	2.82	8.84
	AL4124A AK4124B		mm	114	171	133	73	51	171	102	10	42	72	225
K124A KK124A	K4124A	① 2	in	5.12	8.00	5.50	4.00	2.75	9.25	4.00	0.53	1.42	3.00	9.38
	KK4124A KK4124B		mm	130	203	140	102	70	235	102	13	36	76	238
L124A/AE	L4124A/AE	① 2	in	6.50	10.25	7.00	4.38	4.00	10.00	5.38	0.53	1.42 ③	3.38	9.12
	L4124B		mm	165	260	178	111	102	254	137	13	36 ③	86	232
LQ124A/AE	LQ4124A/AE	② 2.5	in	7.19	10.25	7.00	4.38	4.00	10.00	5.38	0.53	1.42 ③	3.38	9.12
	LQ4124B		mm	183	260	178	111	102	254	137	13	36 ③	86	232
LL124A/AE	LL4124A/AE	② 3	in	7.19	10.25	7.00	4.38	4.00	10.00	5.38	0.53	1.42 ③	3.38	9.12
	LL4124B		mm	183	260	178	111	102	254	137	13	36 ③	86	232
LS124A	LS4124A	② 3	in	7.19	10.25	7.00	4.38	4.00	10.00	5.38	0.53	2.55	4.75	9.12
	LS4124B		mm	183	260	178	111	102	254	137	13	65	121	232
Q124A	Q4124A	② 4	in	8.25	14.00	8.75	4.12	4.00	10.00	6.00	0.69	3.58	6.62	11.12
	Q4124B		mm	210	356	222	105	102	254	152	18	91	168	282
M124A	M4124A	② 4	in	9.50	17.35	10.00	5.00	6.00	12.00	8.53	0.69	3.50	7.75	8.10
			mm	241	441	254	127	152	305	217	18	89	197	206

① Ports are tapped for standard (NPT) pipe. Other thread standards available.

② Ports are suitable for use with Class 125 ANSI cast iron.

③ Ports are suitable for Class 150 ANSI steel or stainless steel companion flanges or flanged fittings.

④ "K" dimension for L, LQ & LL sizes is for "A" and "B" models. "K" dimension for L, LQ & LL size "AE" models is 1.30" (33.0 mm).

## VIKING® GENERAL PURPOSE PUMPS SERIES 32 AND 432

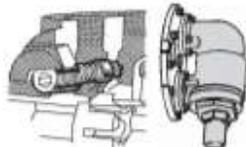
Section	310
Page	310.1
Issue	G

### FEATURES

**SERIES 32 and 432 Pump**  
3 GPM (.7 m<sup>3</sup>/hr) Size Shown. Packed  
or Mechanical seal type.  
Valve on casing.



**SERIES 432 Pump**  
5 GPM (1 m<sup>3</sup>/hr) Mechanical seal type.  
Shown with valve on head.



"C", "F" &  
"FH" Sizes "J" through  
"N" Sizes

#### SAFETY RELIEF VALVE ON CASING OR HEAD (Standard Equipment, All Sizes)

The integral safety relief valve on casing or head permits by-passing of liquid from discharge back to suction side of pump. Reverse valve when reversing pump rotation on large pumps. Small pumps with relief valve built with right hand suction as standard. Left hand special.



#### STEAM JACKETED HEAD (On Request)

Jacketed head or plate permits temperature control of the liquid being pumped. Jacketed plate available on "G" through "LL" size pumps. Jacketed head available on "Q" through "N" sizes. Relief valve not available with jacketed head or plate. For complete jacketed pumps, see Section 430.



#### UPRIGHT, OPPOSITE AND RIGHT ANGLE PORTS (Standard Equipment)

"C", "F" and "FH" size pumps furnished with upright port casings; "G" size pump with opposite port casing and "H" through "N" size pumps with right angle port casings. Right hand port determined by location of side port when facing pump from shaft end. Left hand casing furnished only on special order.



#### MECHANICAL SEAL

"G", "H" and "HL" sizes illustrated. All General Purpose pumps are available with packed stuffing boxes. Mechanical seals are available on "C" through "HL" size pumps as standard. The seal is a rotary type packaged unit that is simple and self-adjusting. It works WITH rather than against pressure.

#### ① Pressure Range

250 PSI (17 BAR) for 100 SSU (21 cSt) and above  
("C" through "FH" Size)  
② 100 PSI (7 BAR) for less than 100 SSU (21 cSt)

100 PSI (7 BAR) for 100 SSU (21 cSt) and above  
("G" through "LL" Size)  
50 PSI (3 BAR) for less than 100 SSU (21 cSt)

75 PSI (5 BAR) for 100 SSU (21 cSt) and above  
("Q" through "N" Size)  
50 PSI (3 BAR) for less than 100 SSU (21 cSt)

#### ① Temperature Range

-60°F. to +450°F. (-51°C. to +232°C.)

#### ① Viscosity Range

31 SSU to 250,000 SSU  
(1.0 cP to 55,000 cSt)

② **GPM ½ - 1½ - 3 - 5 - 10 - 20 - 35 -  
50 - 90 - 140 - 200 - 280 - 450  
(m<sup>3</sup>/hr .11 - .34 - .7 - 1 - 2 - 4.5 - 8  
11 - 20 - 32 - 45 - 64 - 102)**  
(Nominal Rating)

Viking General Purpose Series 32 pumps are extremely well suited for light, medium and intermittent service handling a variety of liquids. The smaller sizes "C", "F" and "FH" are constructed for heavier duty service. Mechanical seal equipped General Purpose pump models in sizes from "C" thru "HL" shown in this section are available with Underwriters label for handling fuel oil. Model numbers for these pumps must be designated by a suffix -X. "UL" listed models can be equipped with integral relief valve. The additional sizes of unmounted General Purpose pumps are illustrated on the following page. Also for continuous service and for handling viscous liquids, see Viking's line of heavy-duty pumps, Section 630.

① See following pages or consult factory for specific recommendations on individual models or sizes.

② Nominal capacities based on handling thin liquids.

③ 150 PSI (10 BAR) handling fuel oil less than 100 SSU (21 cSt).

Metric conversions are based on US measurements and rounded to the nearest whole number.

# VIKING® GENERAL PURPOSE PUMPS

## SERIES 32 AND 432

Section	310
Page	310.3
Issue	G

### UNMOUNTED PUMPS

#### CONSTRUCTION — 32 AND ① 432 SERIES ("C", "F" AND "FH" SIZES)

Pump Construction	Casing	Head	Rotor and Shaft	Idler	Idler Pin	Casing Bushing		⑤ Internal Relief Valve
						Packed	④ Mech. Seal	
Standard Construction	Iron	Iron	Steel	Steel	Nitralloy	Carbon Graphite	Carbon Graphite	Iron
Bronze Fitted	Iron	Iron	Bronze	Bronze	Steel	Carbon Graphite	Carbon Graphite	Iron
All Bronze	Bronze	Bronze	Bronze	Bronze	Stainless Steel	Carbon Graphite	Carbon Graphite	Bronze

#### CONSTRUCTION — 32 AND ① 432 SERIES ("G", "H" AND "HL" SIZES)

Pump Construction	Casing	Head	Rotor	Idler	Rotor Shaft	Idler Pin	Bushings		Internal Relief Valve
							Packed	Seal	
Standard Construction	Iron	Iron	Iron	③ Iron	Steel	Steel	Bronze	Carbon Graphite	Iron
Steel Fitted	Iron	Iron	Steel	③ Iron	Steel	Steel	Bronze	Carbon Graphite	Iron
Bronze Fitted	Iron	Iron	⑤ Bronze	Bronze	Stainless Steel	Steel	Bronze	Carbon Graphite	Iron
All Bronze	Bronze	Bronze	⑤ Bronze	Bronze	Stainless Steel	Stainless Steel	Bronze	Carbon Graphite	Bronze

#### CONSTRUCTION — 32 SERIES ("J" THROUGH "N" SIZES)

Pump Construction	Casing	Head	Rotor	Idler	Rotor Shaft	Idler Pin	Bushings	Internal Relief Valve
Standard Construction	Iron	Iron	Iron	Iron	Steel	Steel	Bronze	Iron
Steel Fitted	Iron	Iron	Steel	④ Iron	Steel	Steel	Bronze	Iron
Bronze Fitted	Iron	Iron	⑥ Bronze	Bronze	Stainless Steel	Steel	Bronze	Iron

#### SPECIFICATIONS — UNMOUNTED PUMPS

Model Number	Port Size	Nominal Pump Rating	Motor HP Required at Rated Speed Pumping 100 SSU Liquid			Maximum Recommended Discharge Pressure PSIG			Maximum Recommended Temperature for Catalogued Pump °F. (°C.)		Steel Fitted Construction Recommended Above This Viscosity SSU (cSt)	Maximum Hydrostatic Pressure PSIG (BAR)	Approximate Shipping Weight With Valve Pounds (KG)		
			GPM (m³/hr)	RPM	25 PSI (2 BAR)	50 PSI (3 BAR)	100 PSI (7 BAR)	Less Than 100 SSU	Fuel Oil Less Than 100 SSU	100 SSU and up				Packed	Mech. Seal
C32	C432	1/4	1/2 (11)	1800	1/4	1/4	1/4	① 100	① 150	② 250	③ 300 (149)	④ 225 (107)	750 (50)	5 (2.3)	
F32	F432	1/2	1 1/2 (34)	1800	1/4	1/4	1/4	① 100	① 150	② 250	③ 300 (149)	④ 225 (107)	750 (50)	6 2.7	
FH32	FH432	1/2	3 (68)	1800	1/4	1/4	1/2	① 100	① 150	② 250	③ 300 (149)	④ 225 (107)	750 (50)	6 2.7	
G32	G432	1	5 (1.1)	1200	1/2	1/2	3/4	50	.....	100	300 (149)	225 (107)	⑤ 25,000 (5,500)	400 (28)	15 6.8
H32	H432	1	10 (2.3)	1200	1/2	3/4	1 1/2	50	.....	100	300 (149)	225 (107)	⑤ 25,000 (5,500)	400 (28)	20 9.1
HL32	HL432	1 1/2	20 (4.5)	1200	3/4	1 1/2	2	50	.....	100	300 (149)	225 (107)	⑤ 7,500 (1,650)	400 (28)	26 11.8
J32	.....	1 1/4	20 (4.5)	420	3/4	1 1/2	3	50	.....	100	300 (149)	.....	⑤ 7,500 (1,650)	400 (28)	55 25
K32	.....	1 1/2	35 (8)	420	1	2	5	50	.....	100	300 (149)	.....	25,000 (5,500)	400 (28)	65 29.5
KK32	.....	2	50 (11)	420	1 1/2	3	5	50	.....	100	300 (149)	.....	7,500 (1,650)	400 (28)	70 31.8
L32	.....	2	90 (20)	420	3	5	10	50	.....	100	300 (149)	.....	25,000 (5,500)	400 (28)	120 54.5
LQ32	.....	② 2 1/2	90 (20)	420	3	5	10	50	.....	100	300 (149)	.....	25,000 (5,500)	400 (28)	125 56.8
LL32	.....	③ 3	140 (32)	520	5	7 1/2	15	50	.....	100	300 (149)	.....	7,500 (1,650)	400 (28)	135 61.3
Q32	.....	③ 3	200 (45)	350	7 1/2	10	.....	50	.....	75	300 (149)	.....	7,500 (1,650)	400 (28)	335 152.1
M32	.....	④ 4	280 (63)	280	10	15	.....	50	.....	75	300 (149)	.....	25,000 (5,500)	400 (28)	500 227
N32	.....	⑤ 5	450 (102)	280	15	25	.....	50	.....	75	300 (149)	.....	2,500 (550)	400 (28)	670 304.2

① Buna N elastomer used in Mechanical Seal of 432 Series pumps.

② Valve integral with pump casing. Right-hand port standard.

③ "C" size pump has steel idler.

④ "Q" size pump has steel idler.

⑤ Mechanical Seal pumps not recommended on applications with viscosities above 15,000 SSU (3,300 cSt).

⑥ Parts are suitable for use with 125# ANSI cast iron or 150# ANSI steel companion flanges or flanged fittings. All others tapped for standard pipe.

⑦ 50 PSI (3 BAR) maximum for bronze fitted pumps.

⑧ 100 PSI (7 BAR) maximum for bronze fitted pumps.

⑨ With extra clearance, pumps can be used to 500 PSI (34 BAR) on intermittent duty.

⑩ With special construction, temperature to 500°F. can be handled with seal pumps and to 650°F. with packed pumps.

⑪ Not available in steel fitted construction.

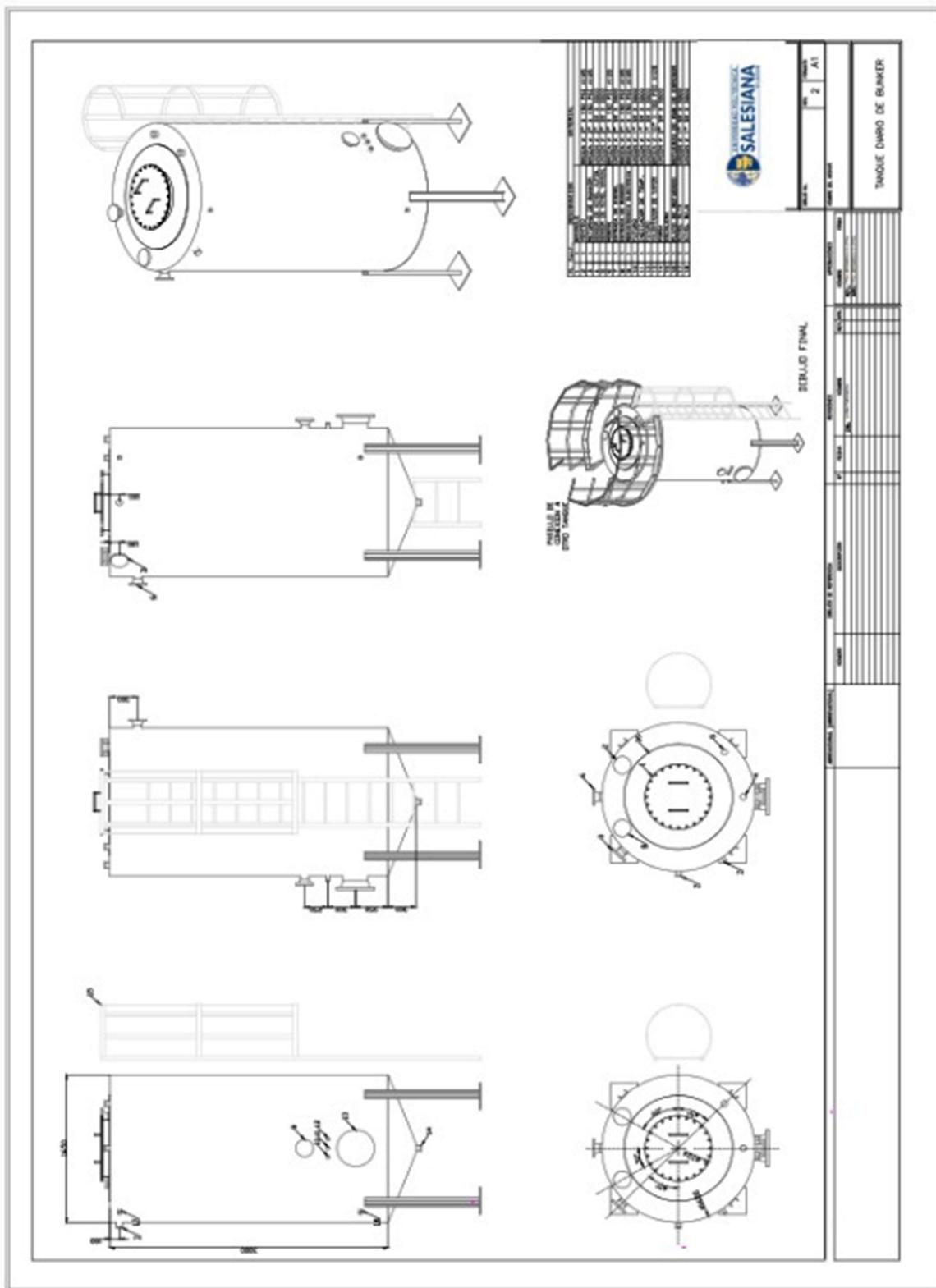
⑫ Mechanical seal seal has bronze bushing.

⑬ Check factory before using bronze rotors at viscosities normally requiring steel fitted construction.

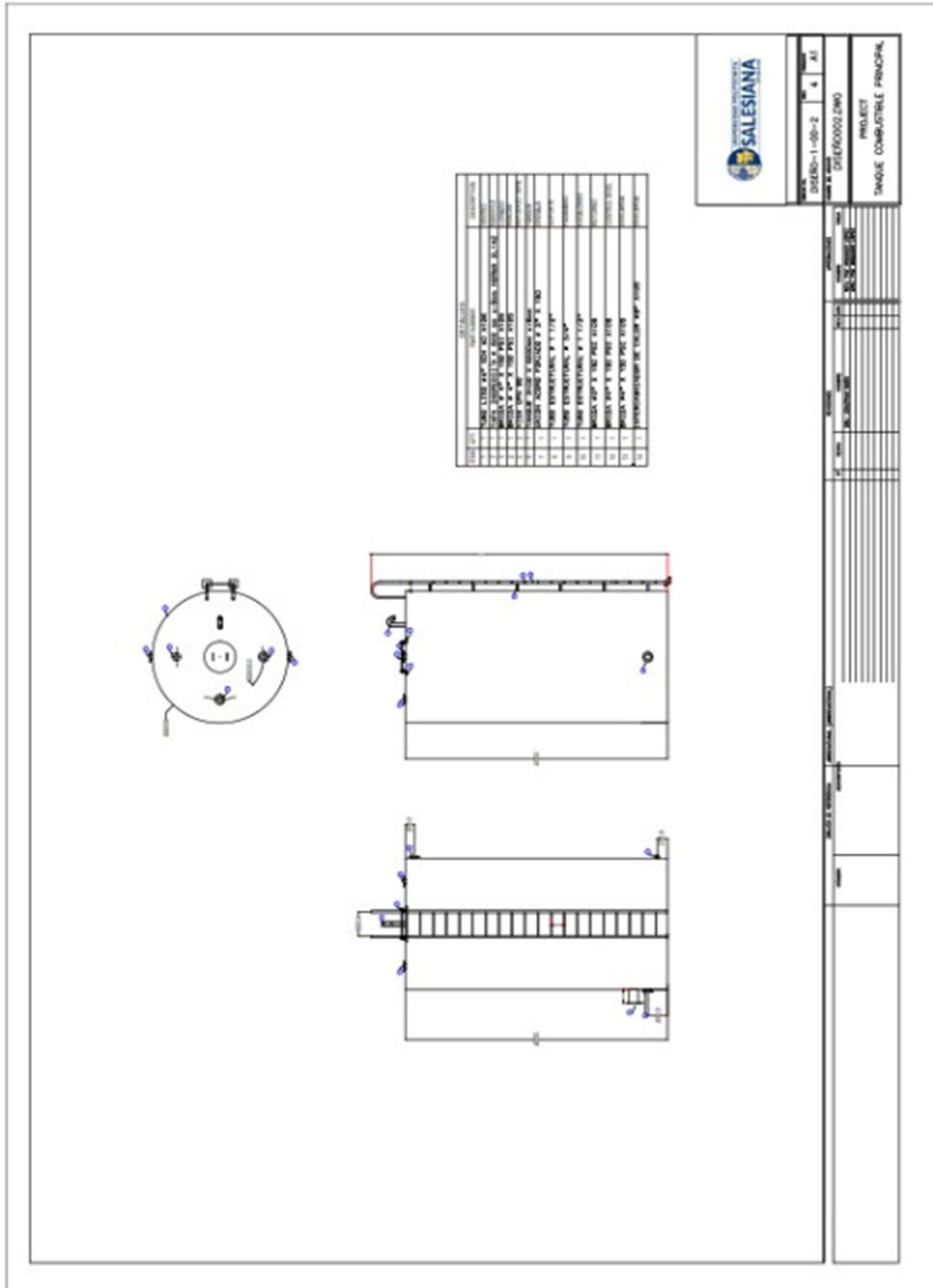
Metric conversions are based on US measurements and rounded to the nearest whole number.



ANEXO 9. Plano para Fabricación del Tanque Diario. [Los Autores]



ANEXO 10. Plano para Fabricación del Tanque Principal. [Los Autores]



## ANEXO 11. Presupuesto Estimado para Ejecutar el Proyecto. [Los Autores]

Chambers 227 y 5 de Junio

Guayaquil - Ecuador  
Tel.:(593) 4 2590-630



### Estimación de Costos del Proyecto

<b>ELABORADO POR:</b>	Los Autores	<b>FECHA:</b>	15-ene-21
<b>REVISADO POR:</b>	PhD. Fabrizio López	<b>NUMERO:</b>	1
<b>APROBADO POR:</b>			
<b>ATENCION A:</b>	Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil		
<b>CARRERA:</b>	INGENIERIA INDUSTRIAL		
<b>NOMBRE DE PROYECTO:</b> "Diseño de un sistema de combustible dual diésel-bunker, para una red de alimentación de combustible a un grupo de calderas con capacidades entre 300 y 1700 BHP".			

ITEM	DESCRIPCION	PRECIO	TOTAL
1	<b>SISTEMA DE COMBUSTIBLE DIESEL-BUNKER</b>		\$336.799,40
1.1	<b>SISTEMA DE RECEPCIÓN Y LLENADO DE TANQUES PRINCIPALES DE COMBUSTIBLE</b>	\$33.584,17	
	Incluye 2 bombas Viking KK4124 3"x3", base para bombas, filtros de succión, válvulas de succión y descarga con bypass para los filtros, purga de agua de tanques		
1.2	<b>SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE BUNKER (TANQUE PRINCIPAL)</b>	\$14.378,00	
	Intercambiadores de calor tubulares instalados en la tapa de inspección de cada tanque. Sistema retráctil para dar mantenimiento a los calentadores		
1.3	<b>SISTEMA DE MEDICIÓN DE COMBUSTIBLE DIESEL-BUNKER</b>	\$15.632,99	
	Instalación de un contador mecánico de 3"x3" con válvulas de ByPass		
1.4	<b>SISTEMA DE BOMBAS DE TRASVASE DE COMBUSTIBLE</b>	\$22.381,00	
	Incluye 2 bombas 2"x2" Viking KK4124 para bunker, motor reductor, filtros de succión con ByPass, válvulas para la succión y descarga de combustible. Interconexión a tubería de descarga.		
1.5	<b>LÍNEA DE VAPOR PARA CALENTADORES TANQUES PRINCIPALES</b>	\$8.617,00	
	Tuberías de vapor desde línea de 2" hasta los tanques. Incluye reductora de presión de vapor y sistema de trampeo		
1.6	<b>TANQUE PRINCIPALES Y TANQUE DIARIO DE COMBUSTIBLE DIESEL-BUNKER</b>	\$104.526,00	
	Fabricación y montaje de tanque vertical con tapas, capacidad aproximada 1700 GLS de combustible. Intercambiador de calor retráctil, termómetro, sensor de temperatura, sensor de nivel.		
1.7	<b>SUMINISTRO DE VAPOR DEL DISTRIBUIDOR A LA TUBERÍA DE 2" EN LA SALA DE CALDERAS PARA ALIMENTAR ZONA DE TANQUES PRINCIPALES DE COMBUSTIBLE</b>	\$1.267,00	
	Instalación de tuberías de vapor y soportes.		
1.8	<b>SUMINISTRO DE VAPOR PARA TANQUE DIARIO, TOMA DESDE LA TUBERÍA DE 2" HACIA TANQUES PRINCIPALES DE COMBUSTIBLE</b>	\$3.194,00	
	Instalación de tuberías de vapor, líneas de condensado hacia drenaje.		

1.9	<b>SISTEMA DE BOMBEO DE COMBUSTIBLE DIESEL BUNKER PARA LAS CALDERAS</b>	\$21.339,00	
	3 bombas Viking HL432, filtros y válvulas para cada bomba, 3 válvulas Ful Flo		
1.10	<b>DESCARGA A LAS BOMBAS DE COMBUSTIBLE HASTA LAS 3 CALDERAS</b>	\$7.337,00	
	Incluye tres ramales, uno por caldera, un retorno, y soportaría		
1.11	<b>LÍNEAS DE VAPOR Y ACCESORIOS PARA CALENTADORES DE BUNKER DE LAS CALDERAS DE 300 Y 600 BHP COLMÁQUINAS</b>	\$7.517,00	
	Instalación de líneas de vapor y accesorios		
1.12	<b>CONTROLES Y ACCESORIOS PARA LAS CALDERAS DE 300 Y 600 BHP COLMÁQUINAS</b>		
	Elementos de control Fenwall; acuastatos, reguladoras de presión combustible y vapor, trampas, solenoide, filtros de combustible, manómetros de presión de combustible y vapor.	\$12.534,96	
	Elementos para atomización de combustible por vapor en calderas de 300 y 600 BHP	\$12.158,28	
	Válvula reguladora Maxon más accesorios de montaje	\$4.894,00	
	Medidor de flujo de combustible para caldera 300 BHP	\$3.770,00	
1.13	<b>TABLERO DE CONTROL PARA TANQUES PRICIPALES Y TANQUE DIARIO, CONTROL DE TEMPERATURA DE LOS MISMOS</b>	\$5.570,00	
1.14	<b>TABLERO DE CONTROL PARA BOMBAS DE RECEPCIÓN Y TRASVASE DE COMBUSTIBLE</b>	\$2.478,00	
1.15	<b>AISLAMIENTO TÉRMICO PARA LINEAS DE VAPOR DE CALENTADORES DE COMBUSTIBLE</b>	\$5.156,00	
1.16	<b>MANO DE OBRA MONTAJE DEL SISTEMA ELECTRICO</b>		
1.16.1	Mano de obra por instalación de elementos electromecánicos	\$43.415,00	
1.16.2	Mano de obra por arranque, puesta en marcha y verificación de operación	\$3.200,00	
1.16.3	Mano de obra por montaje y arranque del kit de Caldera CLEAVER BROOKS	\$3.850,00	
2	<b>INGENIERÍA</b>		
	Ingeniería básica de diseño, memorias de cálculo, especificación técnica materiales, Planos PI&D del sistema de combustible diésel-bunker.		\$3.500,00
3	<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS.</b>		
	Pólizas de seguro, fianzas, certificados etc.		\$ 7.808,98

	<b>SUBTOTAL</b>	\$ 350.508,38
	<b>IVA 12%</b>	\$ 42.061,01
	<b>TOTAL</b>	\$ 392.569,39

## ANEXO 12. Tasas de Consumo por Combustible Quemado por Eficiencia de la Caldera. [44]

NATURAL GAS FUEL BURNING RATES (THERMS/HR.) AT VARIOUS EFFICIENCIES

Boiler Size B Hp	Fuel - To - Steam Efficiency																
	60.0	62.5	65.0	67.5	70.0	72.5	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85
100	55.8	53.6	51.5	49.6	47.9	46.2	44.7	44.1	43.5	43.0	42.4	41.9	41.4	40.9	40.4	39.9	39.4
125	69.8	67.0	64.4	62.0	59.8	57.7	55.8	55.1	54.4	53.7	53.0	52.3	51.7	51.1	50.4	49.8	49.3
150	83.7	80.4	77.3	74.4	71.8	69.3	67.0	66.1	65.2	64.4	63.6	62.8	62.0	61.3	60.5	59.8	59.1
200	111.6	107.2	102.0	99.2	95.7	92.4	89.3	88.1	87.0	85.9	84.8	83.7	82.7	81.8	80.7	79.7	78.8
250	139.5	133.9	128.8	124.0	119.6	115.5	111.6	110.1	108.7	107.3	106.0	104.6	103.4	102.1	100.9	99.7	98.5
300	167.4	160.7	154.5	148.8	143.5	138.6	133.9	132.2	130.5	128.8	127.2	125.5	124.0	122.5	121.0	119.6	118.2
350	195.3	187.5	180.3	173.6	167.4	161.6	156.2	154.2	152.2	150.2	148.3	146.5	144.7	142.9	141.2	139.5	137.9
400	223.2	214.3	206.0	198.4	191.3	184.7	178.6	176.2	173.9	171.7	169.5	167.5	165.3	163.3	161.4	159.4	157.6
500	279.0	267.8	257.5	248.0	239.1	230.9	223.2	220.3	217.4	214.6	211.9	209.3	206.7	204.2	201.7	199.3	197.0
600	334.8	321.4	309.0	297.6	287.0	277.1	267.8	264.3	260.9	257.5	254.3	251.0	248.0	245.0	242.0	239.1	236.3
700	390.6	374.9	360.5	347.2	334.8	323.2	312.5	308.3	304.3	300.4	296.6	293.0	289.3	285.8	282.3	279.0	275.7
800	446.4	428.5	412.0	396.8	382.6	369.4	357.1	352.4	347.8	343.4	339.0	335.0	330.6	326.6	322.7	318.8	315.1

Gas = 1,000 BTU/CF       $\frac{\text{Output (BTU/Hr)}}{\text{FTSE}} = \text{Input (BTU/Hr)}$       FTSE = Fuel - to - Steam Efficiency       $\frac{\text{Input (BTU/Hr)}}{\text{Hr}} = \text{Therms/}$

table 5

NO. 2 OIL FUEL BURNING RATES (GPH) AT VARIOUS EFFICIENCIES

Boiler Size B Hp	Fuel - To - Steam Efficiency																			
	60.0	62.5	65.0	67.5	70.0	72.5	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88
100	40.0	38.5	37.0	35.5	34.0	33.0	32.0	31.5	31.0	30.5	30.5	30.0	29.5	29.0	29.0	28.5	28.0	28.0	27.5	27.0
125	50.0	48.0	46.0	44.5	42.5	41.0	40.0	39.5	39.0	38.0	38.0	37.5	37.0	36.5	36.0	35.5	35.0	35.0	34.5	34.0
150	60.0	57.5	55.0	53.0	51.0	49.5	48.0	47.0	46.5	46.0	45.5	45.0	44.5	43.5	43.0	42.5	42.0	41.5	41.0	41.0
200	79.5	76.5	73.5	71.0	68.5	66.0	64.0	63.0	62.0	61.5	60.5	60.0	59.0	58.5	57.5	57.0	56.5	55.5	55.0	54.5
250	99.5	95.5	92.0	88.5	85.5	82.5	79.5	78.5	77.5	76.5	75.5	74.5	74.0	73.0	72.0	71.0	70.5	69.5	68.5	68.0
300	119.5	115.0	110.5	106.5	102.5	99.0	95.5	94.5	93.0	92.0	91.0	89.5	88.5	87.5	86.5	85.5	84.5	83.5	82.5	81.5
350	139.5	134.0	129.0	124.0	119.5	115.5	111.0	108.5	107.5	106.0	104.5	103.5	102.0	101.0	99.5	98.5	97.5	96.0	95.0	
400	159.5	153.0	147.0	141.5	136.5	132.0	127.5	126.0	124.0	122.5	121.0	119.5	118.0	116.5	115.0	114.0	112.5	111.0	110.0	108.5
500	199.5	191.5	184.0	177.0	171.0	165.0	159.5	157.5	155.5	153.5	151.5	149.5	147.5	146.0	144.0	142.5	140.5	139.0	137.5	136.0
600	239.0	229.5	220.5	212.5	205.0	198.0	191.5	189.0	186.5	184.0	181.5	179.5	177.0	175.0	173.0	171.0	169.0	167.0	165.0	163.0
700	279.0	268.0	257.5	248.0	239.0	231.0	223.0	220.0	217.5	214.5	212.0	209.0	206.5	204.0	201.5	199.0	197.0	194.5	192.5	190.0
800	319.0	306.0	294.5	283.5	273.5	264.0	255.0	251.5	248.5	245.0	242.0	239.0	236.0	233.5	230.5	227.5	225.0	222.5	220.0	217.5

No. 2 Oil = 140,000 BTU/Gal.       $\frac{\text{Output (BTU/Hr)}}{\text{FTSE}} = \text{Input (BTU/Hr)}$       FTSE = Fuel - to - Steam Efficiency       $\frac{\text{Input (BTU/Hr)}}{140,000 \text{ BTU/Gal.}} = \text{GPH}$

table 6

NO. 6 OIL FUEL BURNING RATES (GPH) AT VARIOUS EFFICIENCIES

Boiler Size B Hp	Fuel - To - Steam Efficiency																			
	60.0	62.5	65.0	67.5	70.0	72.5	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88
100	37.0	35.5	34.5	33.0	32.0	31.0	30.0	29.5	29.0	28.5	28.5	28.0	27.5	27.0	27.0	26.5	26.0	26.0	25.5	25.5
125	46.5	44.5	43.0	41.5	40.0	38.5	37.0	36.5	36.0	36.0	35.5	35.0	34.5	34.0	33.5	33.2	33.0	32.5	32.0	31.5
150	56.0	53.5	51.5	49.5	48.0	46.0	44.5	44.0	43.5	43.0	42.5	42.0	41.5	41.0	40.5	40.0	39.5	39.0	38.5	38.0
200	74.5	71.5	68.5	66.0	64.0	61.5	59.5	58.5	58.0	57.0	56.5	56.0	55.0	54.5	54.0	53.0	52.5	52.0	51.5	50.5
250	93.0	89.5	86.0	82.5	79.5	77.0	74.5	73.5	72.5	71.5	70.5	69.5	69.0	68.0	67.0	66.5	65.5	65.0	64.0	63.5
300	111.5	107.0	103.0	99.0	95.5	92.5	89.5	88.0	87.0	86.0	85.0	83.5	82.5	81.5	80.5	79.5	79.0	78.0	77.0	76.0
350	130.0	125.0	120.0	115.5	111.5	107.5	104.0	103.0	101.5	100.0	99.0	97.5	96.5	95.5	94.0	93.0	92.0	91.0	90.0	89.0
400	149.0	143.0	137.5	132.5	127.5	123.0	119.0	117.5	116.0	114.5	113.0	111.5	110.0	109.0	107.5	106.5	105.0	104.0	102.5	101.5
500	186.0	178.5	171.5	165.5	159.5	154.0	149.0	147.0	145.0	143.0	141.0	139.5	138.0	136.0	134.5	133.0	131.5	130.0	128.5	127.0
600	223.0	214.0	206.0	198.5	191.5	184.5	178.5	176.0	174.0	171.5	169.5	167.5	165.5	163.5	161.5	159.5	157.5	155.5	154.0	152.0
700	260.5	250.0	240.5	231.5	223.0	215.5	208.5	205.5	203.0	200.5	198.0	195.5	193.0	190.5	188.0	186.0	184.0	181.5	179.5	177.5
800	297.5	285.0	274.5	264.5	255.0	246.5	238.0	235.0	232.0	229.0	226.0	223.0	220.5	217.5	215.0	212.5	210.0	207.5	205.0	203.0

No. 6 Oil = 150,000 BTU/Gal.       $\frac{\text{Output (BTU/Hr)}}{\text{FTSE}} = \text{Input (BTU/Hr)}$       FTSE = Fuel - to - Steam Efficiency       $\frac{\text{Input (BTU/Hr)}}{150,000 \text{ BTU/Gal.}} = \text{GPH}$

table 7

ANEXO 13. Costos de los Combustibles del Mercado Ecuatoriano, Agencia EP  
PETROECUADOR. [45]



**PRECIOS DE VENTA EN TERMINAL PARA LAS COMERCIALIZADORAS  
CALIFICADAS Y AUTORIZADAS A NIVEL NACIONAL**

PERIODO DE VIGENCIA: DEL 12 DE ENERO AL 10 DE FEBRERO DE 2021

DECRETOS EJECUTIVOS No. 338, 799, 352, 619, 724, 894, 1158 y 1222

PRODUCTO	Unidad de medida	PRECIO EN TERMINAL (Incluye el 12% del I.V.A.) Expresado en US\$
<b>SECTOR PETROLERO MINERO</b>		
ABSORBER PETROLERO	Galones	\$ 1,551898
DIESEL 1 PETROLERO	Galones	\$ 1,551898
DIESEL 2 PETROLERO	Galones	\$ 1,551898
DIESEL PREMIUM PETROLERO	Galones	\$ 1,719673
FUEL OIL PETROLERO	Galones	\$ 0,908812
GASOLINA EXTRA PETROLERO	Galones	\$ 1,651042
EXTRA CON ETANOL PETROLERO	Galones	\$ 1,668286
GASOLINA SUPER PETROLERO	Galones	\$ 1,728223

<b>SECTOR INDUSTRIAL</b>		
DIESEL 1 INDUSTRIAL	Galones	\$ 1,551898
DIESEL 2 INDUSTRIAL	Galones	\$ 1,551898
DIESEL PREMIUM INDUSTRIAL	Galones	\$ 1,719673
EXTRA INDUSTRIAL	Galones	\$ 1,651042
EXTRA CON ETANOL INDUSTRIAL	Galones	\$ 1,668286
SUPER INDUSTRIAL	Galones	\$ 1,728223
FUEL OIL No. 6 INDUSTRIAL	Galones	\$ 0,919628
FUEL OIL LIVIANO	Galones	\$ 0,908812
GAS LICUADO DE PETROLEO (GLP) INDUSTRIAL	Kilogramos	\$ 0,695714
RESIDUO CEMENTERO	Galones	\$ 0,658896
RESIDUO INDUSTRIAL	Galones	\$ 0,658896
MINERAL TURPENTINE	Galones	\$ 1,618909
RUBBER SOLVENT	Galones	\$ 1,538221
CEMENTOS ASFALTICOS NO OBRA PUBLICA	Kilogramos	\$ 0,298480
ASFALTOS INDUSTRIALES NO OBRA PUBLICA	Kilogramos	\$ 0,298480
CEMENTOS ASFALTICOS OBRA PUBLICA	Kilogramos	\$ 0,298480
ASFALTOS INDUSTRIALES OBRA PUBLICA	Kilogramos	\$ 0,298480

<b>SECTOR NAVIERO</b>		
DIESEL PREMIUM MARINO	Galones	\$ 1,719673
DIESEL PREMIUM TURISTA	Galones	\$ 1,719673
DIESEL 2 MARINO	Galones	\$ 1,551898
DIESEL 2 NACIONAL	Galones	\$ 1,551898
GASOLINA EXTRA	Galones	\$ 1,651042
EXTRA ETANOL MARINO	Galones	\$ 1,668286

<b>SECTOR USO PARTICULAR Y PESCA DEPORTIVA</b>		
DIESEL 2 INTERNACIONAL	Galones	\$ 1,551898
DIESEL PREMIUM INTERNACIONAL	Galones	\$ 1,719673
EXTRA CON ETANOL INTERNACIONAL	Galones	\$ 1,651042
EXTRA INTERNACIONAL	Galones	\$ 1,651042
SUPER INTERNACIONAL	Galones	\$ 1,728223

<b>SECTOR AUTOMOTRIZ</b>		
GASOLINA EXTRA AUTOMOTRIZ	Galones	\$ 1,579000
GASOLINA EXTRA CON ETANOL AUTOMOTRIZ	Galones	\$ 1,579000
DIESEL 2 / DIESEL PREMIUM (AUTOMOTRIZ)	Galones	\$ 1,191197
GASOLINA SUPER AUTOMOTRIZ	Galones	\$ 1,789419
DIESEL 2 TRANSP. DE CARGA PESADA PLACA INTERNACIONAL	Galones	\$ 1,551898
DIESEL PREMIUM TRANSP. DE CARGA PESADA PLACA INTERNACIONAL	Galones	\$ 1,719673
GAS LICUADO DE PETROLEO (G.L.P.) TAXIS	Kilogramos	\$ 0,188384

Nota: Precios conforme la metodología establecida en el Decreto Ejecutivo No. 1222

<b>SECTORES PESQUERO, ATUNERO, CAMARONERO, PESCA ARTESANAL Y ELÉCTRICO</b>		
PRODUCTO	Unidad de medida	PRECIO EN TERMINAL (Incluye el 12% del I.V.A.) Expresado en US\$
DIESEL 2 PESQUERO	Galones	\$ 1,191197
DIESEL 2 CAMARONERO	Galones	\$ 1,191197
DIESEL PREMIUM CAMARONERO	Galones	\$ 1,191197
DIESEL 2 ATUNERO	Galones	\$ 1,191197
DIESEL PREMIUM ATUNERO	Galones	\$ 1,191197
DIESEL 2 ELÉCTRICO	Galones	\$ 0,900704
FUEL OIL 4 ELÉCTRICO LIBERTAD	Galones	\$ 0,537800
CRUDO REDUCIDO ELÉCTRICO 5.000 S.R.	Galones	\$ 0,421084
GAS LICUADO DE PETROLEO (G.L.P.) AGRICOLA	Kilogramos	\$ 0,188384
GAS LICUADO DE PETROLEO (G.L.P.) DOMÉSTICO	Kilogramos	\$ 0,106667
GASOLINA EXTRA CAMARONERO	Galones	\$ 1,651042
GASOLINA EXTRA CON ETANOL CAMARONERO	Galones	\$ 1,668286
GASOLINA EXTRA PESQUERO	Galones	\$ 1,579000
GASOLINA EXTRA CON ETANOL PESQUERO	Galones	\$ 1,579000
GASOLINA PESCA ARTESANAL	Galones	\$ 0,799120

Nota: Precios conforme la metodología establecida en el Decreto Ejecutivo No. 1222

DECRETOS EJECUTIVOS No. 338, 799, 352, 724, 894 y 1158

<b>SECTOR NAVIERO INTERNACIONAL</b>		
PRODUCTO	Unidad de medida	PRECIO EN TERMINAL (Incluye el 12% del I.V.A.) Expresado en US\$
DIESEL PREMIUM MARINO	Galones	\$ 1,719673
MDO 1 (MARINE GASOIL)	Toneladas	\$ 497,951566
MDO 2 (MARINE GASOIL)	Toneladas	\$ 497,951566

PERIODO DE VIGENCIA: DEL 12 DE ENERO AL 10 DE FEBRERO DE 2021

**ANEXO 14. Formatos de Análisis de Trabajo Seguro (ATS). Los Autores**

		<b>ANÁLISIS DE TRABAJO SEGURO (ATS)</b>	
1. IDENTIFICACIÓN			FECHA:
Proyecto:		Empresa:	Proceso/Actividad: Construcción de Tanque
2. ALCANCE DEL ATS			
<input type="checkbox"/> Actividad operacional de rutina <input type="checkbox"/> Actividad operacional no rutinaria		<input type="checkbox"/> Apoyo a la emisión de PTR <input type="checkbox"/> Apoyo a la gestión de cambios	
3. ANALISIS DE TRABAJO SEGURO			
ACTIVIDADES	PELIGROS / RIESGOS IDENTIFICADOS	MEDIDAS PREVENTIVAS	
- Inspección visual de herramientas y del área de trabajo	-Riesgo biológico -Caídas al mismo nivel -Caídas de Herramientas sobre pies.	- Lavado y desinfección de manos, colocar guantes/ mascarilla/ toallas de papel en contenedor de desechos peligrosos. - Transitar por lugares libres de obstáculos. - Mantener Orden y Limpieza. - Uso de Herramientas en buen estado y que cumplan con normas de seguridad.	
- Traslado de herramientas y materiales	-Caídas al mismo nivel -Sobreesfuerzo -Caídas de Herramientas y materiales -Golpes y cortes	- Transitar por lugares libres de obstáculos. - Mantener Orden y Limpieza. - Uso de Herramientas en buen estado. - Uso de equipo mecánico para traslado y movimiento de materiales. - Uso de guantes de seguridad, gafas de seguridad y EPP según actividad. - Almacenamiento adecuado de equipos y herramientas.	
- Corte y preparación del material	-Postura forsoza -Proyección de partículas -Golpes y cortes -Conato de incendio	- Transitar por lugares libres de obstáculos. - Mantener Orden y Limpieza. - Pausas activas - Uso de guantes de seguridad, gafas de seguridad, protector facial, mandil de cuero, mangas de cuero y EPP según actividad. - Extintor en área de trabajo. - Área despejada de combustibles, químicos, plásticos, entre otros elementos inflamables.	
- Armado de tanque	-Postura forsoza -Proyección de partículas -Golpes y cortes -Conato de incendio -Caída a mismo y distinto nivel -Caída de objetos y materiales -Atrapamiento	- Transitar por lugares libres de obstáculos. - Mantener Orden y Limpieza. - Pausas activas - Uso de guantes de seguridad, gafas de seguridad, protector facial, mandil de cuero, mangas de cuero, respirador para gases, y EPP según actividad. - Extintor en área de trabajo. - Área despejada de combustibles, químicos, plásticos, entre otros elementos inflamables. - Uso de árnes de seguridad y equipos para trabajos en altura. - Liberación médica del personal. - Liberación de equipos y herramientas para trabajos en altura. - Concentración durante el desarrollo de las actividades.	
- Soldadura de tanque	-Postura forsoza -Proyección de partículas -Golpes y cortes -Conato de incendio -Caída a mismo y distinto nivel -Caída de objetos y materiales -Atrapamiento	- Transitar por lugares libres de obstáculos. - Mantener Orden y Limpieza. - Pausas activas - Uso de guantes de seguridad, gafas de seguridad, protector facial, mandil de cuero, mangas de cuero, respirador para gases, y EPP según actividad. - Extintor en área de trabajo. - Área despejada de combustibles, químicos, plásticos, entre otros elementos inflamables. - Uso de árnes de seguridad y equipos para trabajos en altura. - Liberación médica del personal. - Liberación de equipos y herramientas para trabajos en altura. - Concentración durante el desarrollo de las actividades.	
- Limpieza de área soldadas y aplicación de pintura	- Caídas a distinto nivel - Golpes - Caídas a mismo nivel - Proyección de partículas - Manejo de sustancias químicas	- Liberación de equipos para trabajos en altura. - Liberación médica. - Líneas de vida, y uso de EPP para trabajos en altura. - Uso de guantes y gafas de seguridad. - Delimitación de área de trabajo. - Orden y limpieza. - Uso de EPP según ficha de seguridad de sustancias químicas.	

- Orden y Limpieza	- Caídas al mismo y distinto nivel. - Polvos.	- Liberación de equipos para trabajos en altura. - Liberación médica. - Líneas de vida y uso de EPP para trabajos en altura. - Uso de guantes y gafas de seguridad.
--------------------	--	--

**4. OBSERVACIONES**


**5. EPI / EPC NECESARIO**

<input type="checkbox"/> Casco	<input type="checkbox"/> Zapatos punta de acero	<input type="checkbox"/> Mascarilla	<input type="checkbox"/> Botas de PVC p/a	<input type="checkbox"/> Otros (Especifique):	arnes - eslinga para arnes - tapón
<input type="checkbox"/> Gafas	<input type="checkbox"/> Guantes	<input type="checkbox"/> Chaleco reflectivo	<input type="checkbox"/> Conos		auditivo - barbiquejo

**6. PERSONAL INVOLUCRADO**

NOMBRE Y APELLIDOS	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
01.							
02.							
03.							
04.							
05.							
06.							
07.							
08.							
09.							
10.							
11.							
12.							
13.							
14.							
15.							
16.							
17.							
18.							

<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>	<b>Verificado por:</b>
Nombre y apellido:			
Fecha:			

## ANÁLISIS DE TRABAJO SEGURO (ATS)

1. IDENTIFICACION				FECHA:	
Proyecto:		Empresa:		Proceso/Actividad:	Instalación de Tuberías
2. ALCANCE DEL ATS					
<input type="checkbox"/> Actividad operacional de rutina <input type="checkbox"/> Actividad operacional no rutinaria			<input type="checkbox"/> Apoyo a la emisión de PTR <input type="checkbox"/> Apoyo a la gestión de cambios		
3. ANÁLISIS DE TRABAJO SEGURO					
ACTIVIDADES	PELIGROS / RIESGOS IDENTIFICADOS	MEDIDAS PREVENTIVAS			
- Inspección visual de herramientas y del área de trabajo	-Riesgo biológico -Caídas al mismo nivel -Caídas de Herramientas sobre pies.	- Lavado y desinfección de manos, colocar guantes/ mascarilla/ toallas de papel en contenedor de desechos peligrosos. - Transitar por lugares libres de obstáculos. - Mantener Orden y Limpieza. - Uso de Herramientas en buen estado y que cumplan con normas de seguridad.			
- Traslado de herramientas y materiales	-Caídas al mismo nivel -Sobreesfuerzo -Caídas de Herramientas y materiales -Golpes y cortes	- Transitar por lugares libres de obstáculos. - Mantener Orden y Limpieza. - Uso de Herramientas en buen estado. - Uso de equipo mecánico para traslado y movimiento de materiales. - Uso de guantes de seguridad, gafas de seguridad y EPP según actividad. - Almacenamiento adecuado de equipos y herramientas.			
- Corte y preparación del material	-Postura forsoza -Proyección de partículas -Golpes y cortes -Conato de incendio	- Transitar por lugares libres de obstáculos. - Mantener Orden y Limpieza. - Pausas activas - Uso de guantes de seguridad, gafas de seguridad, protector facial, mandil de cuero, mangas de cuero y EPP según actividad. - Extintor en área de trabajo. - Área despejada de combustibles, químicos, plásticos, entre otros elementos inflamables.			
- Montaje de Tuberías, armado y acople de piezas	-Postura forsoza -Proyección de partículas -Golpes y cortes -Conato de incendio -Caída a mismo y distinto nivel -Caída de objetos y materiales -Atrapamiento	- Transitar por lugares libres de obstáculos. - Mantener Orden y Limpieza. - Pausas activas - Uso de guantes de seguridad, gafas de seguridad, protector facial, mandil de cuero, mangas de cuero, respirador para gases, y EPP según actividad. - Extintor en área de trabajo. - Área despejada de combustibles, químicos, plásticos, entre otros elementos inflamables. - Uso de árnes de seguridad y equipos para trabajos en altura. - Liberación médica del personal. - Liberación de equipos y herramientas para trabajos en altura. - Concentración durante el desarrollo de las actividades.			
- Soldadura y ajuste de líneas de Tubería	-Postura forsoza -Proyección de partículas -Golpes y cortes -Conato de incendio -Caída a mismo y distinto nivel -Caída de objetos y materiales -Atrapamiento	- Transitar por lugares libres de obstáculos. - Mantener Orden y Limpieza. - Pausas activas - Uso de guantes de seguridad, gafas de seguridad, protector facial, mandil de cuero, mangas de cuero, respirador para gases, y EPP según actividad. - Extintor en área de trabajo. - Área despejada de combustibles, químicos, plásticos, entre otros elementos inflamables. - Uso de árnes de seguridad y equipos para trabajos en altura. - Liberación médica del personal. - Liberación de equipos y herramientas para trabajos en altura. - Concentración durante el desarrollo de las actividades.			

- Limpieza de área soldadas y aplicación de pintura	- Caídas a distinto nivel - Golpes - Caídas a mismo nivel - Proyección de partículas - Manejo de sustancias químicas	- Liberación de equipos para trabajos en altura. - Liberación médica. - Líneas de vida, y uso de EPP para trabajos en altura. - Uso de guantes y gafas de seguridad. - Delimitación de área de trabajo. - Orden y limpieza. - Uso de EPP según ficha de seguridad de sustancias químicas.
- Orden y Limpieza	- Caídas al mismo y distinto nivel. - Polvos.	- Liberación de equipos para trabajos en altura. - Liberación médica. - Líneas de vida y uso de EPP para trabajos en altura. - Uso de guantes y gafas de seguridad.

**4. OBSERVACIONES**


**5. EPI / EPC NECESARIO**

- |                                |   |   |   |   |                                    |
|--------------------------------|---|---|---|---|------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Casco | <input type="checkbox"/> Zapatos punta de acero | <input type="checkbox"/> Mascarilla         | <input type="checkbox"/> Botas de PVC p/a | <input type="checkbox"/> Otros (Especifique): | arnes - eslinga para arnes - tapón |
| <input type="checkbox"/> Gafas | <input type="checkbox"/> Guantes                | <input type="checkbox"/> Chaleco reflectivo | <input type="checkbox"/> Conos            |   | auditivo - barbiquejo              |

**6. PERSONAL INVOLUCRADO**

NOMBRE Y APELLIDOS	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
01.							
02.							
03.							
04.							
05.							
06.							
07.							
08.							
09.							
10.							
11.							
12.							

<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>	<b>Verificado por:</b>
Nombre y apellido:			
Fecha:			

## ANÁLISIS DE TRABAJO SEGURO (ATS)

1. IDENTIFICACIÓN				FECHA:
Proyecto:		Empresa:		Proceso/Actividad: Pruebas y puesta en marcha de Sistema
2. ALCANCE DEL ATS				
<input type="checkbox"/> Actividad operacional de rutina <input type="checkbox"/> Actividad operacional no rutinaria		<input type="checkbox"/> Apoyo a la emisión de PTR <input type="checkbox"/> Apoyo a la gestión de cambios		
3. ANÁLISIS DE TRABAJO SEGURO				
ACTIVIDADES	PELIGROS / RIESGOS IDENTIFICADOS	MEDIDAS PREVENTIVAS		
- Inspección visual de herramientas y del área de trabajo	-Riesgo biológico -Caídas al mismo nivel -Caídas de Herramientas sobre pies.	- Lavado y desinfección de manos, colocar guantes/ mascarilla/ toallas de papel en contenedor de desechos peligrosos. - Transitar por lugares libres de obstáculos. - Mantener Orden y Limpieza. - Uso de Herramientas en buen estado y que cumplan con normas de seguridad.		
- Traslado de herramientas y materiales	-Caídas al mismo nivel -Sobreesfuerzo -Caídas de Herramientas y materiales -Golpes y cortes	- Transitar por lugares libres de obstáculos. - Mantener Orden y Limpieza. - Uso de Herramientas en buen estado. - Uso de equipo mecánico para traslado y movimiento de materiales. - Uso de guantes de seguridad, gafas de seguridad y EPP según actividad. - Almacenamiento adecuado de equipos y herramientas.		
- Interconexión de sistema	-Postura forzoza -Proyección de partículas -Golpes y cortes -Caída de objetos	- Transitar por lugares libres de obstáculos. - Mantener Orden y Limpieza. - Pausas activas - Uso de guantes de seguridad, gafas de seguridad, protector facial, mandil de cuero, mangas de cuero y EPP según actividad. - Uso de equipos y elementos mecánicos para interconexión de elementos del sistema. - Inspección de puntos de interconexión.		
- Llenado de Tanque de Almacenamiento para pruebas Hidrostáticas	-Sobreesfuerzo -Proyección de partículas -Golpes -Caída a mismo y distinto nivel -Caída de objetos y materiales	- Transitar por lugares libres de obstáculos. - Mantener Orden y Limpieza. - Pausas activas - Uso de guantes de seguridad, gafas de seguridad, y EPP según actividad. - Uso de armas de seguridad y equipos para trabajos en altura. - Liberación médica del personal. - Liberación de equipos y herramientas para trabajos en altura. - Concentración durante el desarrollo de las actividades.		
- Vaciado de sistema	-Sobreesfuerzo -Proyección de partículas -Golpes -Caída a mismo y distinto nivel -Caída de objetos y materiales	- Transitar por lugares libres de obstáculos. - Mantener Orden y Limpieza. - Pausas activas - Uso de guantes de seguridad, gafas de seguridad, y EPP según actividad. - Uso de armas de seguridad y equipos para trabajos en altura. - Liberación médica del personal. - Liberación de equipos y herramientas para trabajos en altura. - Concentración durante el desarrollo de las actividades.		
- Orden y Limpieza	- Caídas al mismo y distinto nivel. - Polvos.	- Liberación de equipos para trabajos en altura. - Liberación medica. - Líneas de vida y uso de EPP para trabajos en altura. - Uso de guantes y gafas de seguridad.		

**4. OBSERVACIONES**


**5. EPI / EPC NECESARIO**

- |                                |   |   |   |   |
|--------------------------------|---|---|---|---|
| <input type="checkbox"/> Casco | <input type="checkbox"/> Zapatos punta de acero | <input type="checkbox"/> Mascarilla         | <input type="checkbox"/> Botas de PVC p/a | <input type="checkbox"/> Otros (Especifique): <u>arnes - eslinga para arnes - tapón</u> |
| <input type="checkbox"/> Gafas | <input type="checkbox"/> Guantes                | <input type="checkbox"/> chaleco reflectivo | <input type="checkbox"/> Conos            | <u>auditivo - barbiquejo</u>  |

**6. PERSONAL INVOLUCRADO**

NOMBRE Y APELLIDOS	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
01.							
02.							
03.							
04.							
05.							
06.							
07.							
08.							
09.							
10.							
11.							
12.							
13.							
14.							
15.							
16.							
17.							
18.							

<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>	<b>Verificado por:</b>
Nombre y apellido:			
Fecha:			