



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

**MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN PARA HORNO  
SUBTERRÁNEO DE FUNDICIÓN DE ALUMINIO PARA TALLERES J.A. RAMÍREZ**

**Erick Roberto Barrios Rivera**

Asesorado por el Ing. Víctor Hugo Dardón Castillo

Guatemala, junio de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN PARA HORNO  
SUBTERRÁNEO DE FUNDICIÓN DE ALUMINIO PARA TALLERES J.A. RAMÍREZ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**ERICK ROBERTO BARRIOS RIVERA**

ASESORADO POR EL ING. VÍCTOR HUGO DARDÓN CASTILLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, JUNIO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADOR	Ing. Víctor Hugo Dardón Castillo
EXAMINADOR	Ing. Carlos Snell Chicol Morales
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN PARA HORNO SUBTERRÁNEO DE FUNDICIÓN DE ALUMINIO PARA TALLERES J.A. RAMÍREZ**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica con fecha 10 de febrero de 2020.



**Erick Roberto Barrios Rivera**

Guatemala, 8 de diciembre de 2021

Ingeniero  
Gilberto Enrique Morales Baiza  
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Morales:

Por este medio hago constar que he revisado y aprobado el trabajo de graduación del estudiante **ERICK ROBERTO BARRIOS RIVERA**, con registro académico 201114367 y CUI 2064 38206 0101, el cual lleva como título: **"MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN PARA HORNO SUBTERRÁNEO DE FUNDICIÓN DE ALUMINIO PARA TALLERES J.A. RAMÍREZ"**.

En base a lo anterior, lo someto a su consideración a efecto de continuar con el trámite respectivo para su aprobación, sin otro particular,

atentamente,



**Víctor Hugo Dardón Castillo**  
**Ingeniero Mecánico**  
**Colegiado 13053**  
**ASESOR**

Víctor Hugo Dardón Castillo  
Ingeniero Mecánico  
Colegiado 13,053

Ref.EIM.021.2023

El Coordinador del Área de Materiales de Ingeniería de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN PARA HORNO SUBTERRÁNEO DE FUNDICIÓN DE ALUMINIO PARA TALLERES J.A. RAMÍREZ** desarrollado por el estudiante: **Erick Roberto Barrios Rivera** con Registro Académico **201114367** y CUI **2064382060101** recomienda su aprobación.

*"Id y Enseñad a Todos"*



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Coordinador Área de Materiales de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, marzo 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

LNG.DIRECTOR.119.EIM.2023

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de área y la aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN PARA HORNO SUBTERRÁNEO DE FUNDICIÓN DE ALUMINIO PARA TALLERES J.A. RAMÍREZ**, presentado por: **Erick Roberto Barrios Rivera**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, mayo de 2023



Decanato  
Facultad de Ingeniería  
24189101- 24189102  
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.479.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN PARA HORNO SUBTERRANEO DE FUNDICIÓN DE ALUMINIO PARA TALLERES J.A. RAMÍREZ**, presentado por: **Erick Roberto Barrios Rivera**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Aureilia Anabela Cordova Estrada

Decana



Guatemala, junio de 2023

AACE/gaoc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Mis padres**

Rosa Lidia Rivera y Gumercindo Roberto Barrios. Por ser el pilar fundamental para lograr esta tan anhelada meta, porque este es el reflejo de todo su amor, su esfuerzo, su apoyo incondicional, su paciencia y su ejemplo, por esas madrugadas de lluvia y la completa abnegación; porque nunca nos faltó un plato de comida en la mesa, un abrigo y mucho menos un cuaderno y un lápiz, porque ninguna sucesión de palabras podrá expresar mi amor y gratitud hacia ustedes, este tercer logro también es suyo.

### **Mis hermanos**

Luis Fernando y Elsa Liseth Barrios. Por todo su amor y cuidado, por ese apoyo incondicional, por su guía y tutela tanto para la vida como en lo académico y profesional, porque bajo su consejo e impulso las cargas han sido menos pesadas y los obstáculos más fáciles de afrontar.

### **Mi cuñada**

Alaíde Bravo. Por su cariño, confianza y apoyo incondicional en todo ámbito de la vida, gracias por sus consejos.

**Mis sobrinos**

Jimena Sofia y Mateo Nicolas Barrios. Por enseñarme a amar desde lo más profundo de mi ser, por mostrarme la vida bajo nuevas perspectivas, por extraer lo mejor de mí y motivarme a mejorar y a cambiar la realidad día con día.

**Mis seres queridos**

Familiares y amigos. Por compartir conmigo las vicisitudes de la vida, es imposible listar todos los nombres de las personas que ha influido en el desarrollo de mis metas y marcado mi vida, gracias por su impulso y muestras de cariño, todos son importantes.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser la fuente del conocimiento y proveer de alimento cultural, histórico, social y científico aún bajo circunstancias adversas.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por proporcionar las herramientas para el aprendizaje técnico científico y darme la oportunidad de conocer personas valiosas.
<b>Catedráticos</b>	A todos aquellos que sin recelo aportaron su experiencia y conocimiento además de consejos y amistad.
<b>Pueblo de Guatemala</b>	Por ser el pilar de San Carlos.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	III
LISTA DE SÍMBOLOS .....	V
GLOSARIO .....	VII
RESUMEN .....	IX
OBJETIVOS.....	XI
INTRODUCCIÓN .....	XIII
1. HORNO SUBTERRÁNEO DE FUNDICIÓN DE METALES .....	1
1.1. Horno subterráneo.....	1
1.2. Combustible.....	1
1.3. Materia prima.....	2
1.4. Sistema de combustión .....	3
1.5. Infraestructura existente .....	3
1.6. Proceso de colada.....	8
1.7. Eficiencia .....	9
2. CONCEPTOS Y COMPONENTES DE UN QUEMADOR .....	13
2.1. Aceite residual .....	13
2.2. Decantación.....	14
2.3. Filtración de combustible .....	15
2.4. Transferencia de calor .....	15
2.5. Bomba para fluidos viscosos .....	17
2.6. Válvula reguladora de presión.....	19
2.7. Boquilla de atomización.....	20
2.8. Medidor de presión.....	24

2.9.	Ventilador .....	26
2.10.	Combustión .....	30
3.	DISEÑO DE QUEMADOR DE ACEITE RESIDUAL.....	33
3.1.	Almacenamiento de aceite .....	33
3.2.	Calentamiento de aceite .....	34
3.3.	Filtración de aceite .....	35
3.4.	Inyección de aceite.....	36
3.5.	Atomización de aceite.....	37
3.6.	Suministro de aire.....	37
4.	PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN .....	39
4.1.	Tratamiento del aceite combustible .....	39
4.2.	Quemador de aceite combustible .....	46
4.3.	Manejo del sistema.....	54
4.4.	Análisis de eficiencia .....	56
4.5.	Análisis económico.....	58
	CONCLUSIONES .....	61
	RECOMENDACIONES .....	63
	REFERENCIAS. ....	65
	APÉNDICES .....	67
	ANEXOS.....	71

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Vista en planta .....	3
2.	Vista en perfil izquierdo .....	4
3.	Vista en perfil derecho.....	5
4.	Vista isométrica suroeste .....	6
5.	Vista isométrica sureste .....	7
6.	Vista libre .....	8
7.	Comportamiento del aluminio con la adición de calor .....	9
8.	Decantación .....	14
9.	Filtración.....	15
10.	Bomba de engranes internos .....	18
11.	Bomba de engranes externos .....	19
12.	Válvula reductora de presión accionada por piloto.....	20
13.	Boquilla de atomización por fuerza centrífuga .....	21
14.	Boquillas de atomización asistida por flujo auxiliar .....	22
15.	Boquilla de atomización a presión de sección variable .....	23
16.	Manómetro de Bourdon.....	25
17.	Manómetro de presión absoluta.....	26
18.	Ventilador de dos etapas de flujo axial.....	27
19.	Rodete y caja de ventilador con tapa desmotada .....	28
20.	Rodete de ventilador de disco.....	28
21.	Ventilador con aspas curvas hacia atrás.....	29
22.	Ventilador con aspas curvas hacia adelante .....	29
23.	Tanque de almacenamiento.....	34

24.	Resistencia eléctrica calefactora de combustible .....	35
25.	Esquema filtro hidráulico .....	36
26.	Boquilla de atomización de salida variable.....	37
27.	Esquema general sistema de combustión.....	39
28.	Estructura soporte de tanque elevado.....	41
29.	Trazo en lámina para fabricar cono.....	42
30.	Tanque y base de aceite combustible .....	43
31.	Canasta filtrante .....	44
32.	Base y filtro hidráulico .....	45
33.	Sistema de almacenamiento, separación y filtración de aceite combustible .....	45
34.	Diagrama de puertos de conexión bomba Suntec A2RA-7710 .....	46
35.	Aumento de presión y temperatura de combustible .....	47
36.	Sonda de temperatura.....	49
37.	Dimensiones boquilla de atomización regulable .....	50
38.	Vista 3D boquilla de atomización .....	50
39.	Cañón con boquilla, válvula reguladora, transición y platina.....	51
40.	Válvula reguladora de flujo de aire .....	52
41.	Ventilador y cañón instalado en horno .....	53
42.	Vista general con el nuevo sistema.....	54

## **TABLAS**

I.	Proyección de reducción de combustible .....	57
II.	Proyección económica con relación a la eficiencia .....	59

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Agua
<b>Atm</b>	Atmósfera
<b>hp</b>	Caballos de fuerza
<b>AWG</b>	Calibre de alambre americano
<b>C</b>	Carbono
<b>cm</b>	Centímetro
<b>cSt</b>	Centistokes
<b>ρ</b>	Densidad
<b>H<sub>2</sub></b>	Dihidrógeno
<b>SO<sub>2</sub></b>	Dióxido de azufre
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>Gph</b>	Galones por hora
<b>K</b>	Grado Kelvin
<b>°</b>	Grados
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Gramo sobre centímetro cúbico
<b>kJ</b>	Kilo Joule
<b>kJ/kg K</b>	Kilo Joule sobre kilogramo por grado Kelvin
<b>kPa</b>	Kilo pascales
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>kg/m<sup>3</sup></b>	Kilogramo sobre metro cúbico
<b>lb</b>	Libras
<b>psi</b>	Libras fuerza por pulgada cuadrada



<b>lt/h</b>	Litros por hora
<b>MJ/kg</b>	Mega Joules sobre kilogramo
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>3</sup></b>	Metros cúbicos
<b>m/s</b>	Metros por segundo
<b>mm</b>	Milímetro
<b>CO</b>	Monóxido de carbono
<b>DIN</b>	Normalización alemana
<b>CFM</b>	Pies cúbicos por minuto
<b>"</b>	Pulgada
<b>Q</b>	Quetzales
<b>rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>NPT</b>	Rosca nacional de tubería
<b>%</b>	Tanto por ciento
<b>t</b>	Tiempo

## GLOSARIO

<b>Aditivo</b>	Sustancia química que se agrega a otra para mejorar sus propiedades.
<b>Atomización</b>	Fragmentación de un líquido en partes muy pequeñas.
<b>Calor latente</b>	Energía calorífica que hace que un cuerpo modifique sus enlaces moleculares sin afectar su temperatura.
<b>Calor sensible</b>	Energía calorífica que hace que un cuerpo aumente su temperatura si afectar sus enlaces moleculares.
<b>Colada</b>	Operación que se realiza para fundir algún metal.
<b>Combustión</b>	Reacción química exotérmica entre un combustible y oxígeno que se manifiesta con una llama.
<b>Crisol</b>	Recipiente que recibe el metal fundido y soporta altas temperaturas.
<b>Fuelle</b>	Contenedor de aire deformable.
<b>Hidrocarburo</b>	Sustancias compuestas únicamente por átomos de hidrógeno y carbón.
<b>Insoluble</b>	Que no se disuelve o diluye.

<b>Mesh</b>	Medida de separación de materiales de un tamiz.
<b>Micrón</b>	Milésima parte de un milímetro.
<b>Poder calorífico</b>	Máxima cantidad de energía que se puede obtener de la combustión de una sustancia.
<b>Punto de inflamabilidad</b>	Conjunto de condiciones en las que un combustible arde al tener contacto con el oxígeno.
<b>Refractario</b>	Material que tiene la propiedad de resistir altas temperaturas sin modificar su composición.
<b>Tamiz</b>	Entrelazado para separar materiales de cierta dimensión.
<b>Viscosidad</b>	Resistencia al movimiento en un fluido.

## **RESUMEN**

Talleres J.A. Ramírez es una empresa que se dedica a fabricar todo tipo de piezas de metal tanto ferrosos como no ferrosos las cuales son realizadas a través de fundición de chatarra, enfocándose principalmente en piezas para maquinaria agrícola, de molinos de nixtamal, rejillas, entre otros; Posee un horno subterráneo donde se funde aluminio, utilizando aceite residual como combustible, actualmente este es un sistema que genera alta cantidad de humos con las consecuentes pérdidas económicas por el consumo innecesario de combustible.

El presente es una investigación y propuesta de implementación para aumentar la eficiencia de combustión en el horno, lo cual se tradujo en la creación de un nuevo sistema con componentes prefabricados y listos para instalar en conjunto con partes hechas a medida según el requerimiento, realizando un acondicionamiento del combustible previo a su combustión, esto con el objetivo de reducir las emisiones producidas por el sistema actual aunado con la reducción de costos de operación, utilizando para tal fin los conceptos de quemadores diesel y quemadores de combustible bunker.



# OBJETIVOS

## General

Aumentar la eficiencia de combustión de horno subterráneo de fundición de aluminio para Talleres J.A. Ramírez.

## Específicos

1. Describir el estado actual del horno.
2. Describir el método necesario para aumentar la eficiencia de combustión con base en las propiedades del combustible.
3. Diseñar un sistema de combustión que incremente la eficiencia del actual sistema.
4. Evaluar la viabilidad física y económica del proyecto.



## INTRODUCCIÓN

La eficiencia de un sistema es un indicador del aprovechamiento de los recursos disponibles, esta puede ser la relación entre la energía máxima extraíble de un proceso en comparación con la que se está utilizando para la transformación de la materia dentro de un sistema, tal es el caso del presente documento, dentro del cual se encontrará la comparativa de la cantidad de energía que se extrae actualmente en el sistema, versus una proyección al realizar un acondicionamiento del combustible para extraer la mayor cantidad posible de energía calórica para la transformación de estado de la materia del aluminio. Esto nos lleva no solo a un uso adecuado del recurso físico sino también a la reducción del recurso económico invertido, al aumento de la utilidad y al cuidado de la salud y el medio ambiente, a través de la disposición de forma ordenada de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos, que en conjunto forman una posible solución.





# **1. HORNO SUBTERRÁNEO DE FUNDICIÓN DE METALES**

Conocer el estado del horno y el proceso de colada es importante ya que con base en esas condiciones se tendrá un punto de partida y se hará la readecuación del sistema de combustión.

## **1.1. Horno subterráneo**

Este horno es un cilindro de pared delgada hecho de material refractario (ladrillo como principal aislante y cemento con cal como mortero y revestimiento), este se encuentra incrustado en el piso, y dentro se coloca aluminio para elevar su temperatura de trabajo aproximadamente a 680 °C que será superior al punto de fusión de (663 °C) para propiciar la manipulación, utilizando como fuente de energía la combustión del aceite residual automotriz e industrial; la transmisión de calor al aluminio se realiza principalmente a través de tres mecanismos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación, siendo el fondo del cilindro del horno el contenedor del aluminio fundido.

## **1.2. Combustible**

El combustible utilizado para la combustión es aceite residual automotriz e industrial el cual no tiene un proveedor específico ni tratamiento previo; el costo de este combustible es de Q 200 por 55 galones, siendo el costo unitario de Q 3.63 el galón, sin tomar en cuenta el costo del transporte. El consumo promedio por colada es de 39.28 galones.

Para conocer las propiedades del combustible se practicó un análisis de laboratorio realizado por el Ministerio de Energía y Minas en el área de Hidrocarburos, dando como resultado los siguientes datos.

- Viscosidad cinemática, 50 °C: 298 cSt
- Gravedad API, 15.56 °C: 16.2°API
- Gravedad especifica, 15.56 °C: 0.9580
- Poder calorífico superior: 27.54 MJ/kg
- Punto de inflamabilidad: 91 °C

### **1.3. Materia prima**

El objetivo primordial del funcionamiento del horno es la fundición de metal para la formación de nuevas piezas a través de moldes; en este proceso se utiliza como materia prima aluminio, proveniente de talleres de maquinado como residuo en forma de viruta, el cual es colocado sobre la llama que incide directamente en este hasta alcanzar su punto de fusión y caiga en el fondo del horno para su posterior extracción. La cantidad promedio por colada que se funde de aluminio son 444.4lb (202 kg). Las propiedades físicas de este metal son la siguientes:

- Densidad: 2698.4 kg/m<sup>3</sup>(2.70 g/cm<sup>3</sup>)
- Punto de fusión: 933.47 K (660 °C)
- Calor sensible: 0.902 kJ/kg K
- Calor latente: 377 kJ/kg

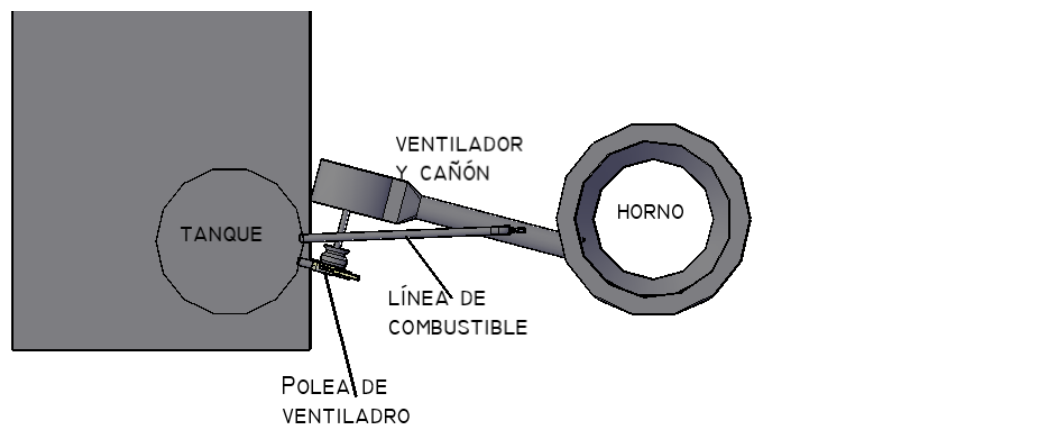
#### 1.4. Sistema de combustión

Este consta de un contenedor cilíndrico de 55 galones situado a 1.5 m del nivel de piso, en donde se almacena el combustible a utilizar en cada colada, la línea que provee el combustible está formada por tubería de hierro galvanizado de 1/2" esta posee una válvula de cierre rápido(1/4 vuelta) con la que se regula el caudal, al final de la línea de alimentación a 40 cm debajo del nivel de piso se encuentra un tapón con un agujero de aproximadamente 1/8" de diámetro por donde sale el combustible (impulsado por gravedad) previo a ser quemado; el tramo final de la línea de combustible se encuentra concéntrico y a ras del final de un tubo de 4" que encausa el flujo de aire suministrado por un ventilador conectado a este en el extremo opuesto.

#### 1.5. Infraestructura existente

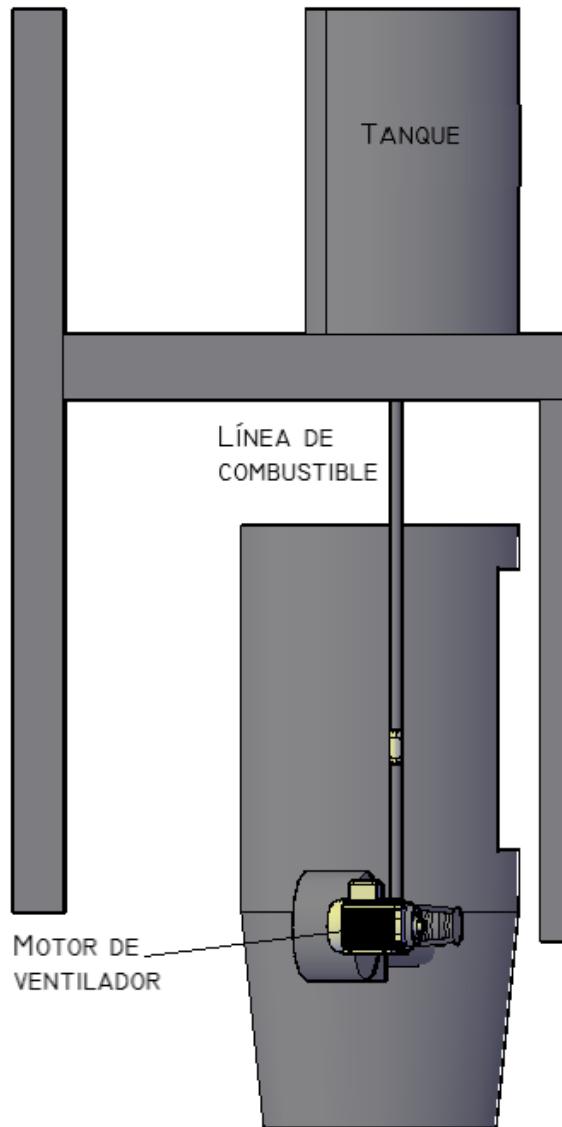
Se muestra una serie de bosquejos de los componentes existentes en el sistema actual.

Figura 1. Vista en planta



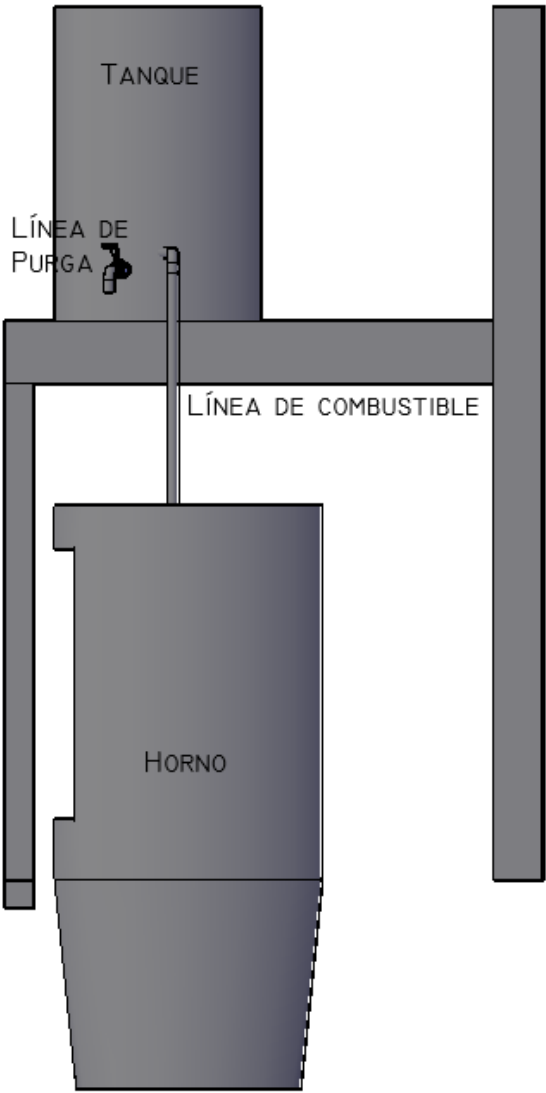
Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.

Figura 2. **Vista en perfil izquierdo**



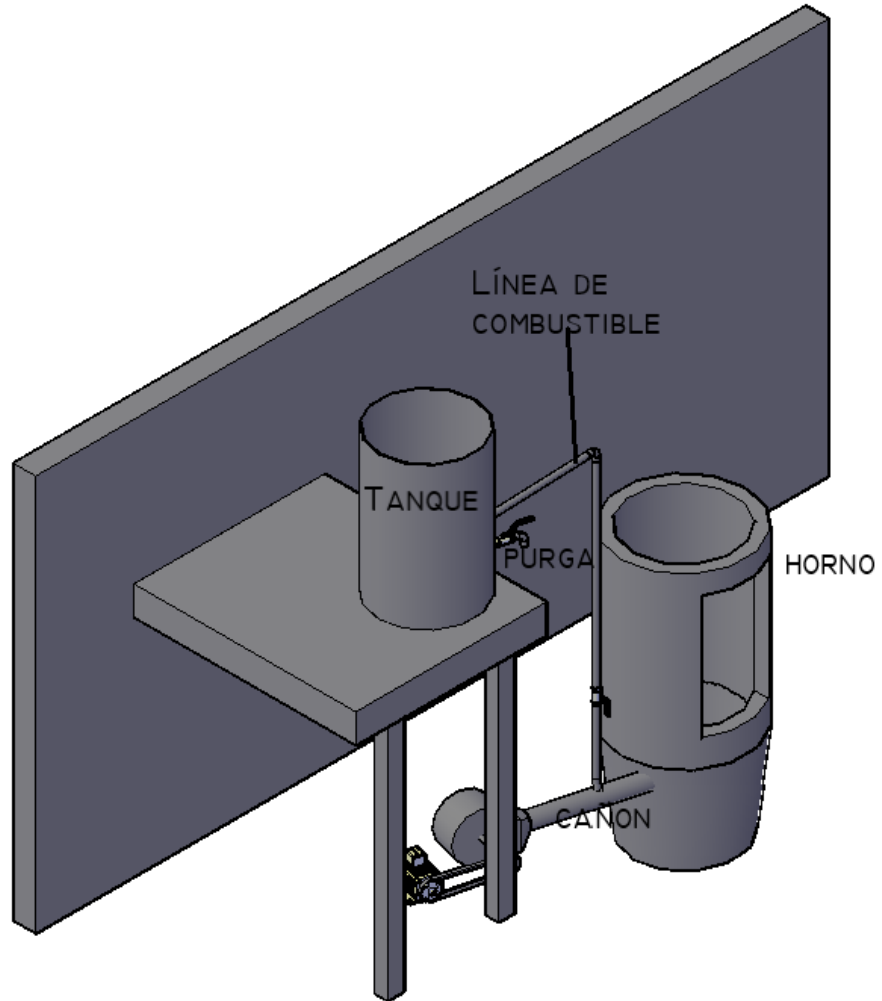
Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.

Figura 3. Vista en perfil derecho



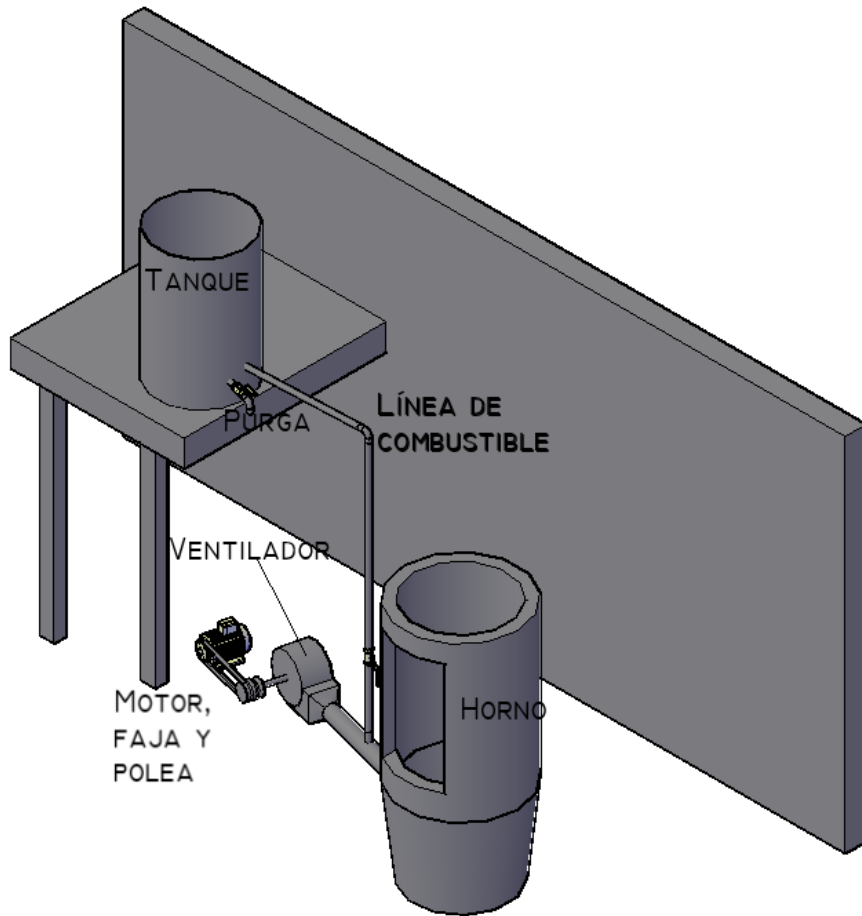
Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.

Figura 4. Vista isométrica suroeste



Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.

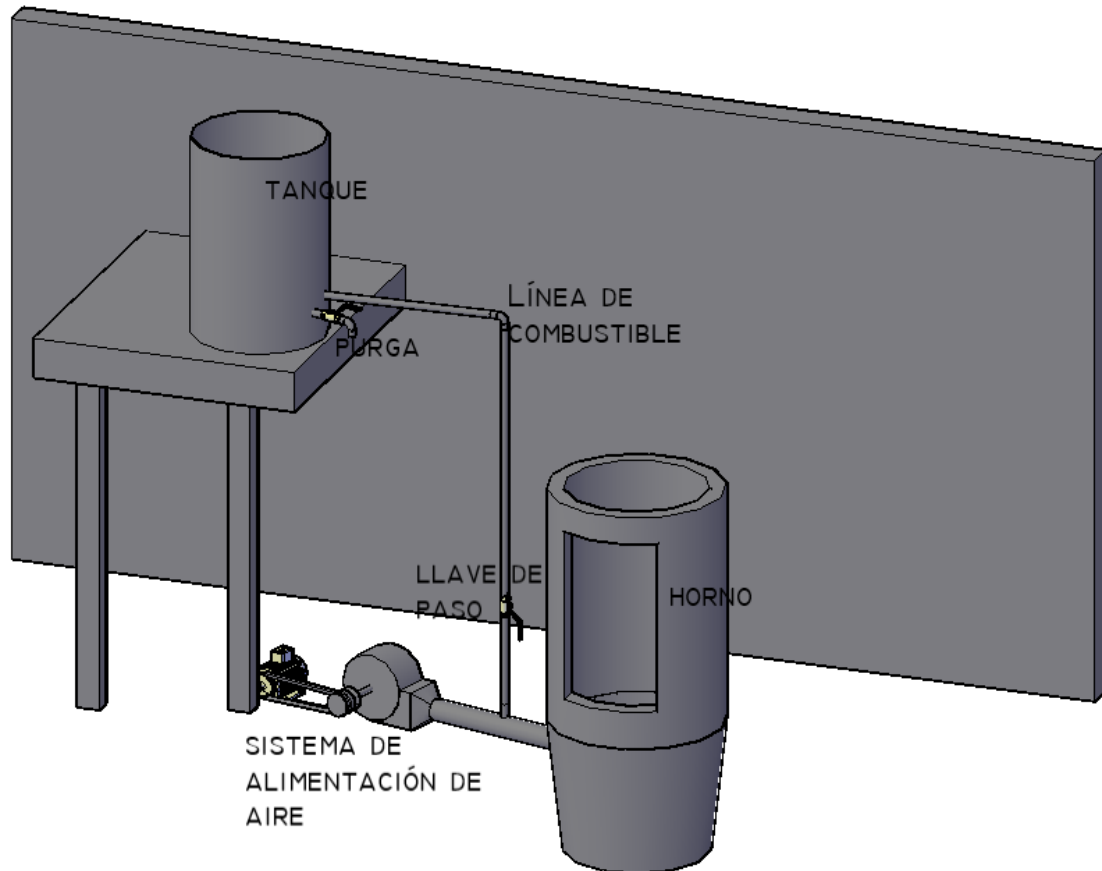
Figura 5. **Vista isométrica sureste**



Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.



Figura 6. Vista libre



Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.

## 1.6. Proceso de colada

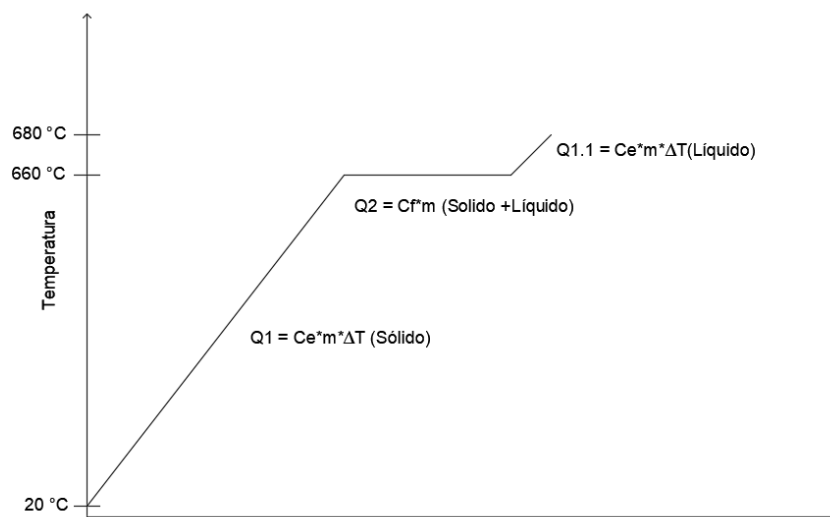
Este proceso inicia con el encendido del quemador que se hace por medio de una llama piloto, se coloca un fardo de viruta de aluminio dentro del horno sobre la llama, hasta alcanzar su punto de fusión, cuando el aluminio se encuentra en fase líquida este se extrae por medio de un recipiente y se vierte dentro un molde de metal para darle forma a la nueva pieza; es importante mencionar que la falta de un crisol en este proceso puede agregar impurezas en la colada, siendo una fuente de contaminación la incidencia directa de la llama

sobre el aluminio, pudiendo agregar a este, partículas de metales, hollín, entre otros, de igual forma de recolección del aluminio líquido en el fondo del horno propicia que pueda contener materiales ajenos por el acceso poco práctico para realizar una limpieza constante.

## 1.7. Eficiencia

En la figura 7 se muestra el comportamiento del aluminio con respecto a la adición de calor, en donde se estima que el proceso inicia a una temperatura de 20 °C con el aluminio en fase sólida; al realizar la combustión se adiciona calor a este y aumenta su temperatura manteniendo su estado inicial hasta alcanzar los 660 °C en donde se traslada a fase líquida para seguir adicionando calor hasta llegar a un aproximado de 680 °C esto con el fin de propiciar la fluidez al verter el líquido en el molde y evitar porosidades en el producto final.

Figura 7. **Comportamiento del aluminio con la adición de calor**



Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.

Para alcanzar el punto de fusión del aluminio, se necesita cierta cantidad de calor con la que se aumenta la temperatura sin afectar sus enlaces moleculares manteniendo su fase sólida, esta energía se conoce como calor sensible, y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q_1 = C_e m \Delta T$$

Donde:

$Q_1$  = Calor necesario para alcanzar el punto de fusión (kJ)

$C_e$  = Calor específico sensible (kJ/kg K)

$m$  = Masa (kg)

$\Delta T$  = Diferencia de temperatura (K)

Para pasar y mantener estable a la fase líquida, se necesita agregar más calor con el que se logra modificar los enlaces moleculares logrando que estas no se mantengan en posiciones fijas y puedan moverse entre ellas a esta energía se le conoce como calor latente, y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q_2 = C_f m$$

Donde:

$Q_2$  = Calor necesario para el cambio de fase (kJ)

$C_f$  = Calor específico latente (kJ/kg)

$m$  = Masa (kg)

El calor total necesario para el proceso es la suma del calor sensible y el calor latente.

$$Q_T = Q_1 + Q_2$$

Para el cálculo de la eficiencia se utilizaron los siguientes valores:

Poder calorífico de combustible ( $PCC$ )	=	27,540 kJ/kg
Combustible consumido promedio ( $CC$ )	=	0.148690 m <sup>3</sup>
Cantidad promedio aluminio fundido ( $m$ )	=	202 kg
Calor específico sensible aluminio ( $C_e$ )	=	0.902 kJ/kg K
Calor específico latente aluminio ( $C_f$ )	=	358 kJ/kg
Densidad de aceite combustible ( $\rho_{ac}$ )	=	957 kg/m <sup>3</sup>
Temperatura inicial ( $t_i$ )	=	20 °C(293K)
Temperatura final ( $t_f$ )	=	680 °C(953K)

$$Q_1 = 0.902 \frac{kJ}{kg * K} * 202 kg * (953 - 293)K = 120,254.64kJ$$

$$Q_2 = 358 \frac{kJ}{kg} * 202 kg = 72,316 kJ$$

$$Q_T = 120,254.64 kJ + 72,316 kJ = 192,570.64 kJ$$

El cálculo del calor ideal aportado por la combustión del aceite se hace a través de la cantidad de combustible quemado y el poder calorífico de este; se utiliza la siguiente expresión:

$$Q_A = \text{Capacidad de calor aportado por el aceite combustible}$$

$$Q_A = CC * \rho_{ac} * PCC$$

$$Q_A = 0.148690m^3 * 957 \frac{kg}{m^3} * 27,540 \frac{kJ}{kg} = 3,918,840.928 kJ$$

La eficiencia del sistema se entiende como la relación entre la energía que se necesita para la fundición del aluminio y la energía que el combustible consumido es capaz de entregar. Se utiliza la siguiente expresión:

$$\eta = \frac{Q_{Necesario}}{Q_{Aportado}} = \frac{Q_T}{Q_A}$$

$$\eta = \frac{192,570.64 \text{ kJ}}{3,918,840.928 \text{ kJ}}$$

$$\eta = 0.0491 \cong 5\%$$

## **2. CONCEPTOS Y COMPONENTES DE UN QUEMADOR**

### **2.1. Aceite residual**

Un aceite residual es todo aquel aceite lubricante, automotriz o industrial, usado, que ha cumplido su objetivo por el cual fue creado y ya no puede seguir prestando servicio debido a su degradación por tiempo de uso, o por contaminación.

Los aceites residuales como los utilizados en este caso, tendrán características variadas, esto debido al poco o nulo cuidado que se presta en la extracción y recolección, mezclándose en el proceso cualquier tipo de aceite y viscosidad como: aceites de motor, aceites de diferencial, aceites de caja de transmisión, aceites de sistemas hidráulicos, entre otros; las propiedades y características dependerán de las bases lubricantes con las que fueron creados, los aditivos con los que se complementaron, la máquina o equipo del que se extrajo, la contaminación fuera y dentro del sistema y las condiciones de recolección y transporte con las que fue manejado.

Las impurezas encontradas comúnmente en estos residuos son los metales producidos por el desgaste de las máquinas donde prestó el servicio, ya que una de sus funciones principales es reducir la fricción y el desgaste entre las partes móviles sin llegar a eliminarlos por completo, por lo que siempre habrá presencia de estos y aún más cuando las labores de mantenimiento no se realizan a tiempo o existe contaminación dentro del sistema, haciendo que el lubricante reduzca sus propiedades y con esto aumente la fricción y desgaste provocando mayor desprendimiento de partículas metálicas.

Otras de las impurezas que se encuentran con frecuencia dentro de este residuo son: sílice, agua, gasolina, diésel, productos orgánicos, entre otros fluidos, los cuales se mezclarán con el aceite mientras este presta servicio en las diversas condiciones operación y de las labores de mantenimiento, pero en mayor medida cuando se recolecta y transporta, ya que quienes realizan esta tarea prestan poca atención al proceso de recolección y almacenamiento.

## 2.2. Decantación

La decantación o sedimentación, es un método físico de separación de mezclas, utilizada para separar una mezcla heterogénea formada por un sólido insoluble y un líquido, o dos líquidos de diferente densidad que no se disuelven entre sí (inmiscibles); este proceso se logra mediante el reposo de la mezcla, quedando la sustancia de mayor densidad en la parte inferior del recipiente que los contiene, haciendo posible su separación en recipientes distintos, para su posterior uso o tratamiento.

Figura 8. Decantación

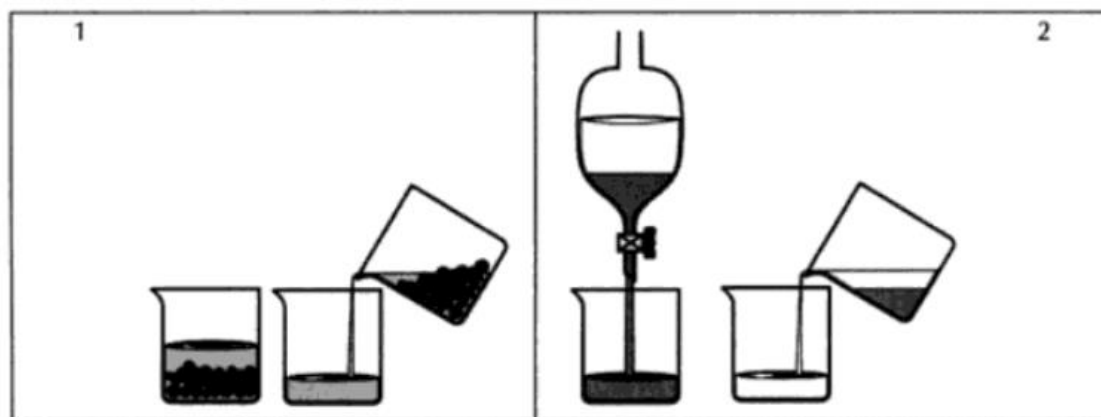


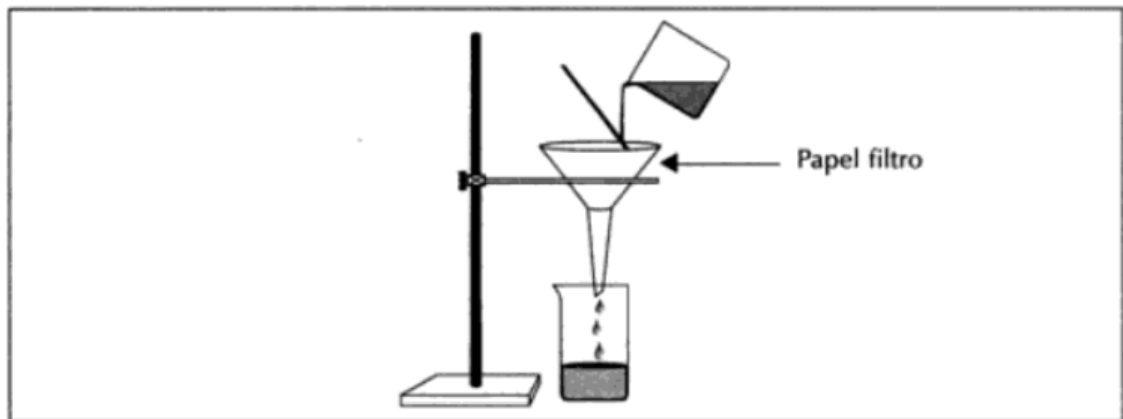
Figura 1.6 Decantación: (1) sólido insoluble en líquido; (2) líquidos inmiscibles

Fuente: Galicia (2008). *Química 1. Agua y oxígeno*.

### 2.3. Filtración de combustible

El filtrado es un método físico de separación de mezclas heterogéneas, en las que se encuentran partículas sólidas insolubles suspendidas en un líquido; esto se logra mediante el flujo del líquido a través de un medio poroso, conocido como filtro, el cual utiliza la diferencia del tamaño de la partícula para retenerla en el medio filtrante. Dentro de los materiales filtrantes más comunes se encuentra: papel poroso, carbón, arena, cerámica, tamices, entre otros.

Figura 9. Filtración



Fuente: Galicia (2008). *Química 1. Agua y oxígeno*.

### 2.4. Transferencia de calor

El calor se define como: "la forma de energía que se transfiere entre dos sistemas (o entre un sistema y el exterior) debido a una diferencia de temperatura" (Çengel, Boles, 2012, p. 60).



Para este caso se entiende como la cantidad de energía que posee una sustancia, manifestándose por medio de su temperatura, esta energía es proveniente de la transformación de otros tipos de energía, como por ejemplo la energía química que se libera de la combustión y se transfiere hacia una masa de agua aumentando su temperatura. Esta transferencia de energía siempre será en una única dirección la cual ira del sistema con mayor temperatura hacia el sistema de menor temperatura, para realizar este proceso existen tres modos: conducción, convección y radiación.

La conducción se refiere a la forma de transferencia de calor a través del contacto directo de las moléculas que interactúan en un sistema independientemente del estado físico en el que se encuentren, incluso interacciones entre sustancias con diferentes estados; esta energía se traslada a través de los movimientos moleculares (traslación aleatoria, rotación, vibración) que van de las más energéticas que tienen mayor movimiento y por tanto mayor temperatura, hacia las menos energéticas; todo esto dependerá estrictamente de las propiedades del material o sustancia que se estudia, específicamente la conducción térmica.

La convección se refiere a la forma de transferencia de calor por medio de un fluido hacia un sólido o entre fluidos, esta utiliza el flujo del fluido para la transferencia de la energía, en este proceso se utilizan dos mecanismo, siendo la conducción el primero de ellos con relación al movimiento molecular, y el segundo, el movimiento macroscópico o a gran escala que se consigue a través del movimiento del fluido, la transferencia de calor se realiza mediante una diferencia de temperatura entre las sustancias, y dependiendo del tipo de movimiento que tenga la sustancia se puede clasificar por: convección forzada, cuando el movimiento o flujo es realizado por agentes externos como pueden ser ventiladores o bombas, y la convección libre, la cual se produce por la acción de

las fuerzas de empuje provocadas por la diferencia de densidad del fluido, debido a la diferencia de temperatura; dentro de la convección forzada existen tres formas básicas de transferencia utilizadas frecuentemente en los intercambiadores de calor, las cuales son: flujo paralelo donde ambos fluidos se mueven en la misma dirección, flujo contracorriente donde los fluidos van en sentido contrario, y el flujo cruzado donde la dirección de los fluidos forman un ángulo.

En cuanto a la radiación térmica: "es la energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura finita" (Incropera, De Witt, 2000, p. 8).

Esta puede ser emitida por la materia en cualquiera de sus estados, llevada a cabo por los cambios de las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas que la componen, por lo tanto, este modo de transferencia de calor no necesita un medio físico para transmitirse ya que se transfiere a través de ondas electromagnéticas que se pueden difundir en el vacío.

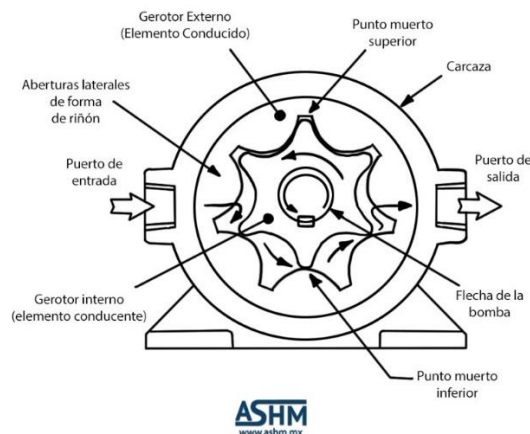
## **2.5. Bomba para fluidos viscosos**

Una bomba es un dispositivo que transforma la energía mecánica en energía hidráulica, transfiriéndola a un fluido para transportarlo por medio de tuberías. Dentro de la clasificación general existen las bombas cinéticas y las bombas de desplazamiento positivo, siendo las de desplazamiento positivo las más idóneas para impulsar fluidos con un amplio rango de viscosidad; esta clasificación se divide en bombas reciprocantes y rotativas, de las cuales nos centraremos en las rotativas dado el enfoque de la investigación.

Las bombas rotativas deben su impulso a uno o más elementos que giran debidamente ajustados dentro de una carcasa; dentro de las más comunes se encuentran las de engranes, de lóbulos, de tornillo, y de aspas.

La bomba de engranes puede ser de dos tipos: engranes internos o engranes externos, siendo la de engranes internos la más utilizada para líquidos lubricantes, independientemente del tipo, estas manejan holguras extremadamente pequeñas entre los engranes y la carcasa. Una de las características más importantes de este tipo de bombas son las presiones relativamente altas que pueden producir, dado que estas restringen el espacio del fluido a través del giro de los engranes, las limitantes están dadas por la potencia de la que se dispone (capacidad del motor) y la resistencia de los materiales que contendrán estas presiones, sin embargo, el caudal se ve afectado ya que no se manejan grandes capacidades con estos mecanismos.

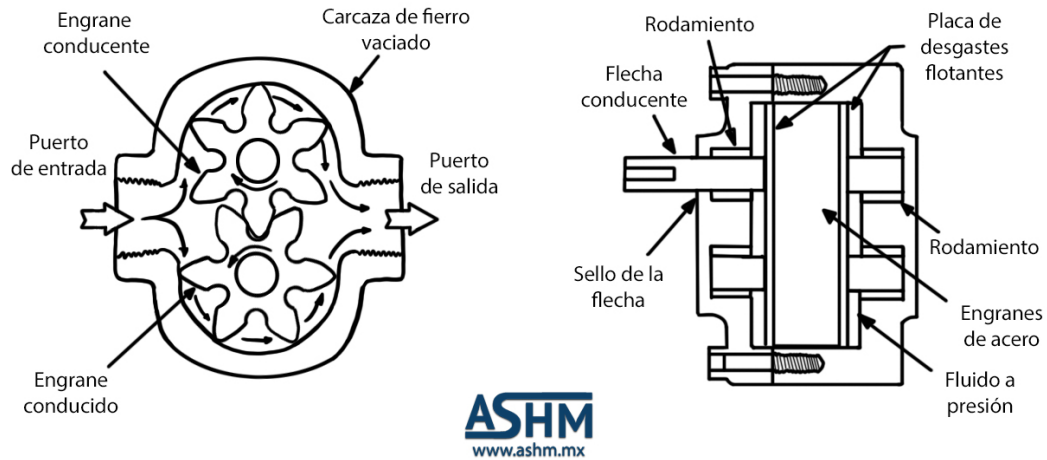
Figura 10. **Bomba de engranes internos**



Fuente: Aceros y sistemas hidráulicos de México (2017). *Variaciones de bombas de engranes.*

Consultado el 13 abril de 2020. Recuperado de <http://www.ashm.mx/blog/variaciones-de-bombas-de-engranes/>.

Figura 11. **Bomba de engranes externos**



Fuente: Aceros y sistemas hidráulicos de México (2017). *Construcción de una bomba de engranes*. Consultado el 13 abril de 2020. Recuperado de <http://www.ashm.mx/blog/construccion-de-una-bomba-de-engranes/>.

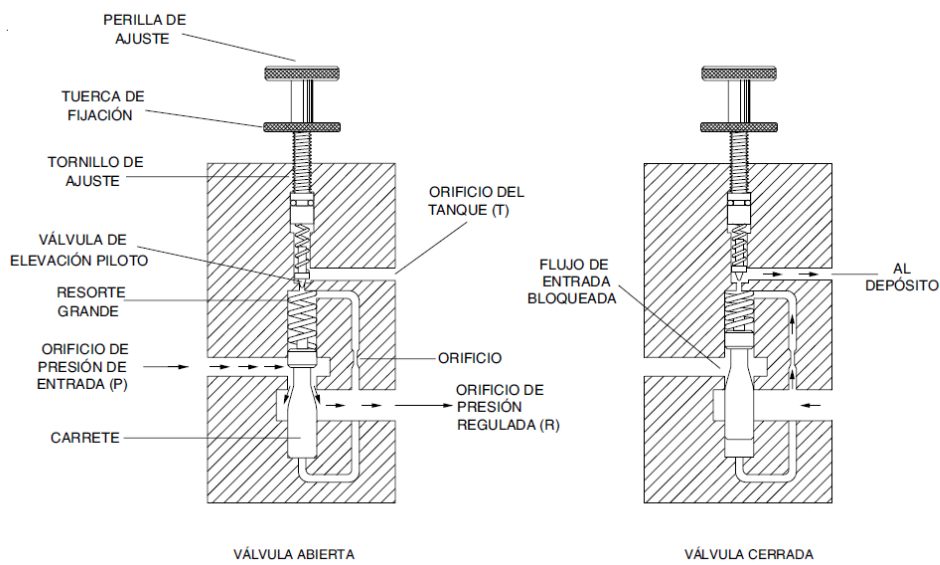
## 2.6. **Válvula reguladora de presión**

Este es un dispositivo con el que se busca regular la presión de un fluido, cerrando parcialmente su paso a través de este, su uso tiene varios fines, dentro de los cuales se puede mencionar: tener una presión estable para un proceso, proteger componentes de sobrepresiones (hasta cierto punto), y por supuesto, limitar la presión a un valor conveniente, entre otros; este tipo de válvulas “compensa los cambios de presión en el sistema ajustando las caídas de presión a través de los orificios de entrada y salida, para mantener la presión en la derivación en el nivel deseado” (Lab-Volt Ltd, 2000, p. 4-39 ).

Cuando se varía la presión esta afecta de forma directa el caudal que se proporciona. Esta válvula posee tres orificios interconectados por los que se

conduce el fluido: de ingreso con alta presión, de salida regulada y retorno al tanque. Como se observa en la figura esta posee una perilla de ajuste con la que se regula la presión deseada aguas abajo, esta acciona la válvula de elevación piloto que actúa en el resorte grande y por consiguiente en el carrete.

Figura 12. **Válvula reductora de presión accionada por piloto**



Fuente: Lab-Volt Ltd (2000). *Fundamentos de hidráulica*.

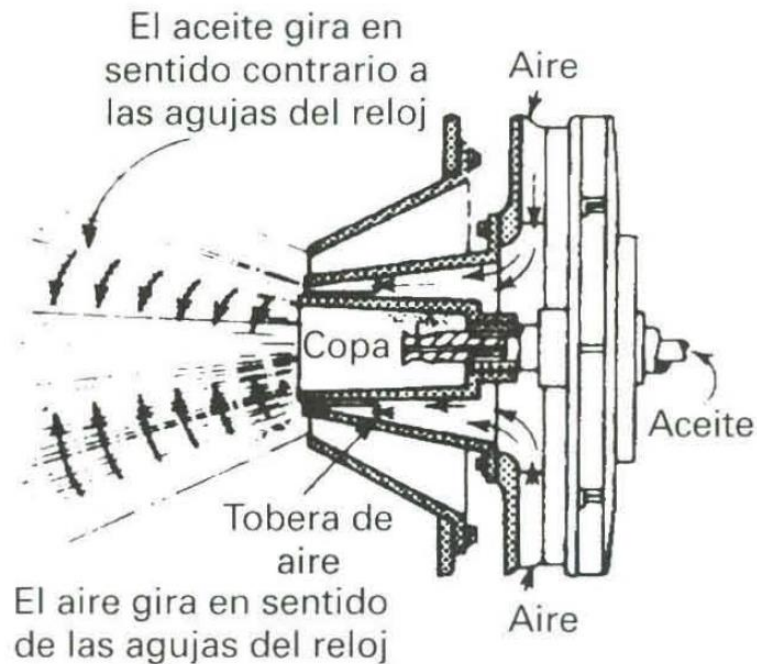
## 2.7. Boquilla de atomización

La boquilla de atomización es un elemento de vital importancia para los quemadores, esta se encarga de separar el combustible líquido en partículas muy pequeñas para facilitar el enlace con el oxígeno y contribuir con la liberación de la energía generada por la combustión. La atomización puede ser de forma asistida o mecánica, clasificándose en tres tipos básicos como lo menciona Ruano (2013) las cuales son: boquillas que inyectan el combustible a presión,

boquillas que usan un fluido auxiliar (vapor o aire comprimido), y boquillas que utilizan fuerza centrífuga.

Las boquillas de atomización centrífuga utilizan la fuerza centrífuga de un disco rotativo acoplado a una copa que gira a alta velocidad (3500 rpm accionado por un motor eléctrico), cuando el combustible llega al borde de la copa por la acción del giro este se separa en finas gotas para mezclarse con el aire previo a su combustión, este dispositivo puede trabajar con fluidos con altas viscosidades y rangos de caudal variados, sin embargo cuando el combustible sobrepasa los 65 cSt es recomendable precalentarlo, esta boquilla únicamente utiliza la presión para proporcionar un suministro constante de combustible.

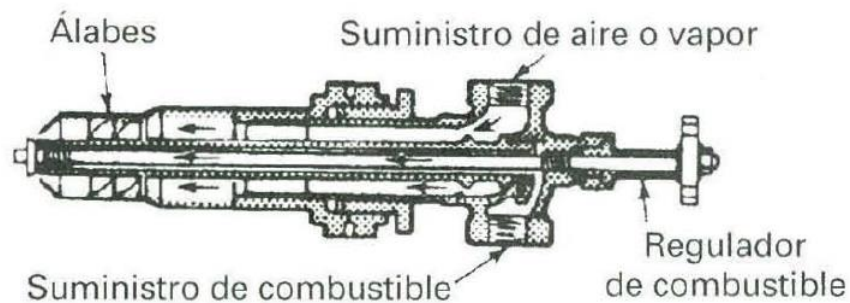
Figura 13. **Boquilla de atomización por fuerza centrífuga**



Fuente: Kohan (2000). *Manual de calderas*.

Las boquillas de atomización asistida utilizan un flujo auxiliar que puede ser aire comprimido o vapor a presión, para ambos fluidos se utiliza el mismo dispositivo con presiones entre 10 a 20 psi para aire y entre 75 a 150 psi para vapor, siendo más utilizado el vapor por cuestiones económicas, ya que el aire comprimido puede llegar a tener un coste operativo elevado, su selección depende completamente de la aplicación y condiciones; con esta boquilla se puede utilizar casi cualquier aceite combustible sin importar su viscosidad, para mayores viscosidades se deberá aumentar la presión del flujo auxiliar que se utilice para lograr la atomización adecuada.

Figura 14. **Boquillas de atomización asistida por flujo auxiliar**

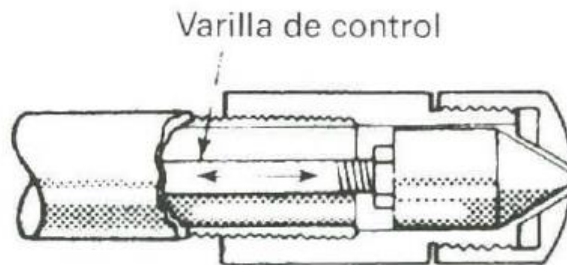


Fuente: Kohan (2000). *Manual de calderas*.

Las boquillas de atomización por presión utilizan la presión que aporta una bomba (75 - 200 psi) al fluido para luego liberar el fluido a través de un pequeño orificio, en algunos casos estriado en forma helicoidal para imprimirle turbulencia a la salida y ayudar a la mezcla con el aire, el diámetro del agujero y la presión influyen directamente en el caudal y en los casos de diámetros fijos su variación es reducida por lo que requiere de cambios de boquilla y por tanto de diámetro de orificio para variarlo de forma más amplia, para evitar este inconveniente

existen boquillas de diámetro variable como la que se muestra en la figura, la cual regula su sección de salida al girar un tornillo acoplado a una varilla.

Figura 15. **Boquilla de atomización a presión de sección variable**



Fuente: Kohan (2000). *Manual de calderas*.

La atomización depende en gran medida de la viscosidad que posee el combustible, esto porque "mientras mayor sea la viscosidad del combustible, mayor será la distancia para que se desintegre el líquido en finísimas gotas a partir de la salida del orificio del atomizador" (Ruano, 2013, p. 8).

Las altas viscosidades producirán goteos en la salida de la boquilla, llamas alargadas y combustión lenta, esto hace que sea necesario elevar la temperatura de los combustibles muy viscosos para aportar fluidez y contribuir con la atomización, especialmente si se utiliza inyección de combustible a presión.

Una boquilla de atomización a presión utiliza un agujero relativamente pequeño, entre 0.4 mm y 4 mm de diámetro, por el que pasa combustible y genera una brisa en forma cónica que puede ser de sección sólida o semisólida, siendo influenciado por un ángulo que puede variar entre 20° y 80°, todos estos factores son determinantes para la capacidad del quemador, la cual está indicada

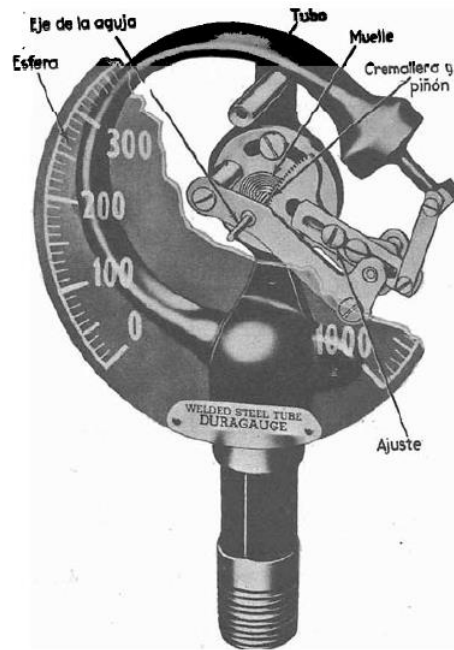


por el caudal volumétrico que puede atomizar, pudiendo encontrar boquillas desde 0.4 hasta 22 galones hora para quemadores pequeños y llegando a más de 300 galones hora para boquillas industriales. Las variaciones de presión de inyección y del diámetro de salida de las boquillas se verán reflejadas directamente en el caudal, el cual incrementará al aumentar cualquiera de los dos parámetros, mientras que la variación del ángulo permitirá que con ángulos pequeños se desarrollen llamas alargadas, y con ángulos grandes, llamas anchas, siendo la aplicación la que defina estas variantes.

## **2.8. Medidor de presión**

El medidor de presión de tubo de Bourdon es un instrumento de medición de accionamiento mecánico de elemento primario elástico, que utiliza un tubo aplanado y curvado, formando un anillo casi completo y sellado de un extremo, mientras el otro extremo se mantiene abierto y en contacto directo con la presión del sistema, este tiende a estirarse al momento que se eleva la presión dentro de él, lo que hace que la punta accione un mecanismo debidamente calibrado y conectado a un indicador que muestra la lectura de la presión, a esta presión se le conoce como presión manométrica o relativa debido a que no toma en cuenta la presión atmosférica sino solo la del sistema.

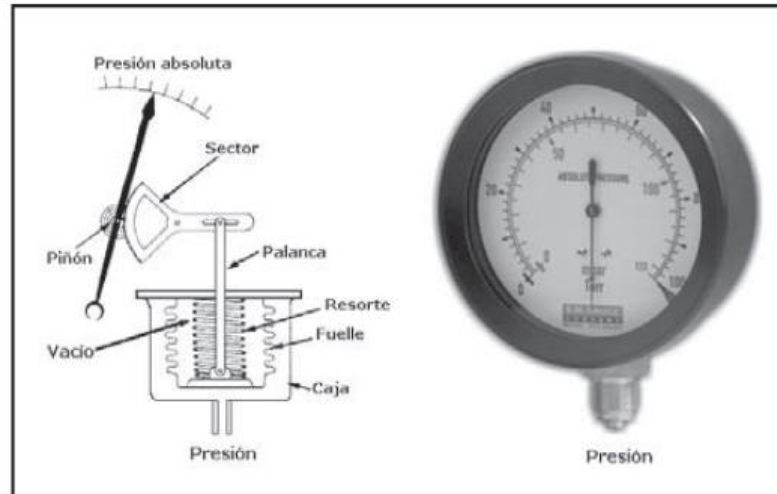
Figura 16. **Manómetro de Bourdon**



Fuente: Severns (1982). *Energía mediante vapor, aire o gas*.

También existen instrumentos que miden la presión absoluta la cual se mide con relación al cero absoluto, estos utilizan un fuelle al vacío con un muelle interno de acción opuesta al fuelle, conectados a una palanca que acciona el indicador como se muestra en la figura 17, su calibración se lleva a cabo a nivel del mar donde la presión es de 1 atm.

Figura 17. **Manómetro de presión absoluta**



Fuente: Creus (2010). *Instrumentación industrial*.

## 2.9. Ventilador

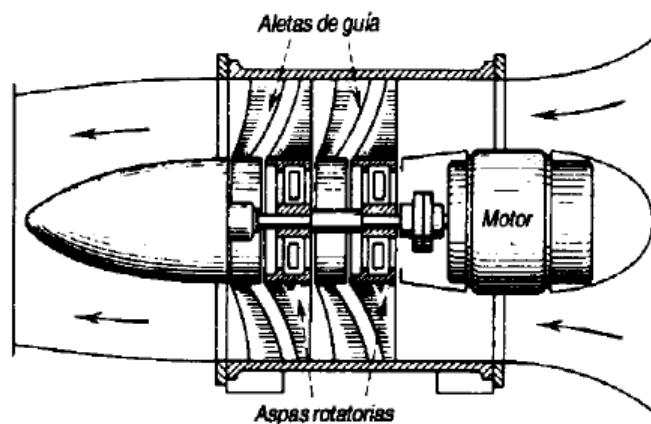
Un ventilador es una máquina utilizada para producir el flujo de un gas con un fin específico, comúnmente para trabajos de intercambio de aire, suministros de aire para quemadores y desecación, eliminación de humos, entre otros. esencialmente se puede definir como: “una rueda o impulsor giratorio rodeado de una envolvente estática o carcasa” (Severns, Degler, Miles, 1982, p. 213).

Estos funcionan generando una diferencia de presión al hacer girar el impulsor, estos dispositivos no alcanzan presiones mayores a 3.447kPa (0.5 psi), o no deben aumentar la densidad del gas en más del 7 %. Existen dos tipos esenciales de ventiladores, los cuales pueden ser axiales o radiales (centrífugos).

Los ventiladores axiales generan el flujo paralelo al eje de rotación del impulsor, estos pueden ser de hélice o de disco, los de tipo hélice se usan

comúnmente es en la circulación general del gas siendo un claro ejemplo de estos, los ventiladores domésticos; los de tipo disco usan aletas con diseño aeronáutico como se observa en la figura 18.

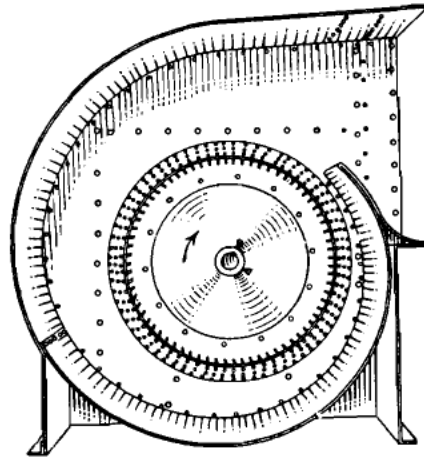
Figura 18. **Ventilador de dos etapas de flujo axial**



Fuente: Perry (1992). *Manual del ingeniero químico*.

En el caso de los ventiladores radiales o centrífugos, el gas impulsado sale en la periferia del impulsor y recibe su alimentación en el centro de este en forma axial, realizando la diferencia de presión por medio de la fuerza centrífuga generada por el giro del impulsor, en este caso la carcasa es muy importante ya que es la encargada de focalizar el flujo; hay dos tipos principales en esta categoría: de disco y de paleta (alabe múltiple).

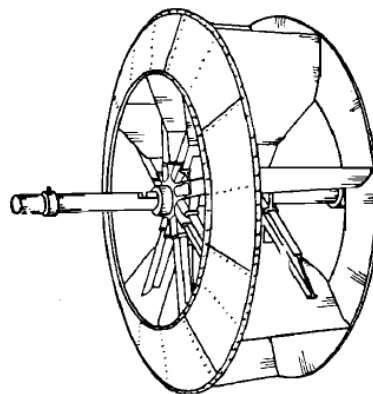
Figura 19. **Rodete y caja de ventilador con tapa desmotada**



Fuente: Severns (1982). *Energía mediante vapor, aire o gas.*

Los ventiladores centrífugos de disco poseen un impulsor con paletas que pueden ser rectas o curvadas hacia adelante o hacia atrás (ver figura 10), lo cual definirá el comportamiento del ventilador.

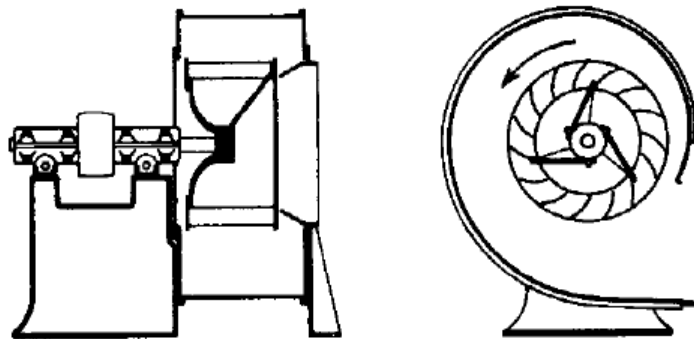
Figura 20. **Rodete de ventilador de disco**



Fuente: Severns (1982). *Energía mediante vapor, aire o gas.*

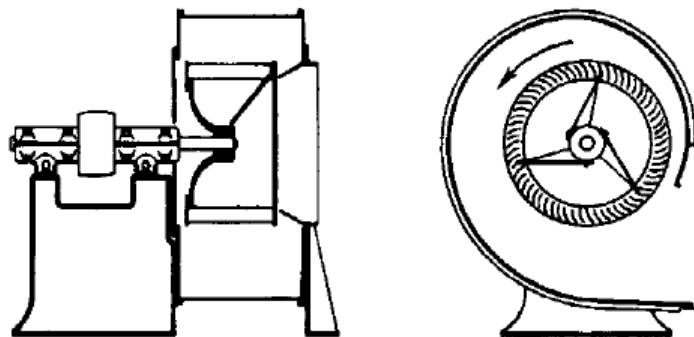
En el ventilador centrífugo de paleta o alabe múltiple, también se encuentra una clasificación parecida a la anterior, encontrando hojas curvas hacia atrás (10 a 56 aletas) o hacia adelante (20 a 46 aletas), estos trabajan con rotores de diámetro relativamente pequeño y altas velocidades.

Figura 21. **Ventilador con aspas curvas hacia atrás**



Fuente: Perry (1992). *Manual del ingeniero químico*.

Figura 22. **Ventilador con aspas curvas hacia adelante**



Fuente: Perry (1992). *Manual del ingeniero químico*.

La configuración de las aspas es esencial para manejar la velocidad del flujo del gas impulsado, obteniendo mayor velocidad cuando las paletas se curvan hacia adelante, una menor velocidad cuando se curvan hacia atrás y por consiguiente una velocidad media en el caso de aspas de perfil recto, todos para una misma velocidad de rotación.

## **2.10. Combustión**

La combustión es una reacción química que se desarrolla al unir tres componentes fundamentales: combustible, comburente, y suficiente calor, al resultado de esta se le conoce comúnmente como llama o flama, este es un proceso de oxidación que libera energía en forma de calor; en la mayoría de los casos se utiliza el oxígeno del aire como comburente el cual contiene 21 % en volumen, mientras que el combustible es toda sustancia en cualquier estado que contenga carbono, hidrogeno o azufre; a los componentes utilizados previo a la reacción se les conoce como reactivos y al resultado de la misma como productos. Es necesario que la mezcla de los elementos sea la adecuada para desarrollar y mantener el proceso, ya que el exceso o escases de cualquiera apagara la llama. La velocidad del proceso varia en gran medida, desde una combustión lenta, hasta una muy rápida que genera explosiones o detonaciones

Una combustión completa implica que cada parte del combustible reaccione con el oxígeno necesario, liberando toda la energía posible, un indicador de esto es la generación de ciertos productos. “Un proceso de combustión está completo si todo el carbono en el combustible se transforma en  $\text{CO}_2$ , todo el hidrógeno se transforma en  $\text{H}_2\text{O}$  y todo el azufre (si lo hay) se transforma en  $\text{SO}_2$ ” (Çengel, Boles, 2012, p. 776).

En la realidad este es un proceso prácticamente ideal, en la mayoría de los casos el resultado es una combustión incompleta en medidas variables, obteniendo como producto residuos de combustible y otros indicadores como C, H<sub>2</sub>, CO.

Una combustión incompleta es provocada por varios factores siendo los más comunes la falta o insuficiencia de oxígeno, una mezcla combustible-oxígeno heterogénea, temperatura de ignición demasiado baja, entre otros, el indicador más evidente de una combustión deficiente es la generación de humos, lo que provoca una reducción en la eficiencia o rendimiento del proceso al mismo tiempo que aumentan los costos de operación.

Si bien el proceso de combustión real, no es una combustión completa, se pueden alcanzar valores aceptables cercanos al ideal, con el mínimo de partículas residuales producto de una reacción incompleta y máximo de energía liberada; una relación estequiométrica indica las proporciones exactas que deben tener los reactivos para su completa transformación, los cuales dependerán completamente de la composición química del combustible; para obtener el máximo de energía en la combustión se debe tratar de alcanzar estos valores, esto implica que la mezcla aire combustible se encuentre lo más cercana posible a la mezcla estequiométrica.

Cuando la cantidad de aire no es suficiente se dice que se tiene una mezcla rica en combustible, por lo que la llama se reduce y alarga, tornándose de un color más intenso, generando humos con combustible no quemado y partículas de monóxido de carbono. En caso contrario, si se agrega demasiado aire se obtiene una mezcla pobre en combustible, generando una llama corta y limpia, tornándose de un color más brillante o pálido; se debe buscar un balance con exceso de aire (entre un 20 % y 30 %, dependiendo del combustible) respecto



al que indica la relación estequiométrica, “La combustión deberá efectuarse siempre con exceso de aire para asegurar que todo el combustible se quema correctamente y así obtener el mejor rendimiento del desprendimiento de calor. Esto también reduce la formación de humo y depósitos de hollín” (Kohan, 2000, p. 412).

El mejor indicador de una combustión relativamente buena es gas transparente o levemente gris, esto es indicio de una relación aire-combustible aceptable, la mejor opción para verificar el grado de eficiencia es utilizar un analizador de gases, con el cual se obtienen los productos de la combustión y se determina si existe exceso o escases de oxígeno.

### **3. DISEÑO DE QUEMADOR DE ACEITE RESIDUAL**

Dadas las propiedades y condiciones del combustible, se presentará una serie de elementos que propician su atomización y combustión, buscando extraer de este la mayor cantidad de energía calorífica para el proceso de fundición de aluminio.

#### **3.1. Almacenamiento de aceite**

Para propiciar la separación de agua, y sólidos de tamaño y peso considerable se propone realizar un contenedor cilíndrico con un cono invertido en la parte inferior y en el vértice instalar un tubo con una llave de paso como se observa en la figura 23, esto con el objetivo de recolectar y focalizar los contaminantes en el fondo del tanque a través de la decantación para luego ser drenados; la línea de alimentación deberá ser tomada en la parte cilíndrica del tanque para evitar que los contaminantes decantados ingresen en ella.

Figura 23. **Tanque de almacenamiento**

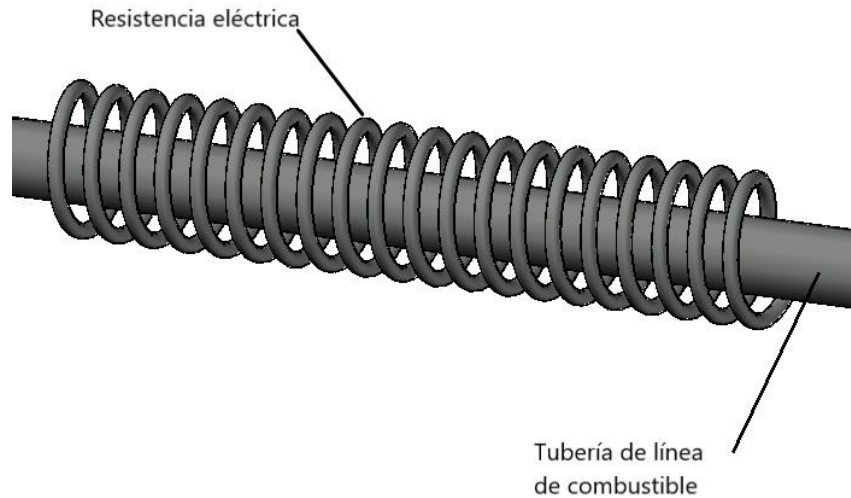


Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.

### 3.2. **Calentamiento de aceite**

Dado que el aceite combustible tiende a ser viscoso (300cSt o más) es necesario elevar la temperatura de este con la finalidad de reducirla y propiciar la fluidez para su atomización, al mismo tiempo que facilita la combustión por tener una temperatura más cercana al punto de inflamabilidad; para este proceso se necesita un método seguro y controlado, por lo que se opta por la instalación de una resistencia eléctrica alrededor del tramo de 0.6 m de la línea de combustible, como se muestra en la figura 24; ya que el punto de inflamabilidad del aceite es de 91 °C, este se calentará a 86 °C como máximo.

Figura 24. **Resistencia eléctrica calefactora de combustible**



Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.

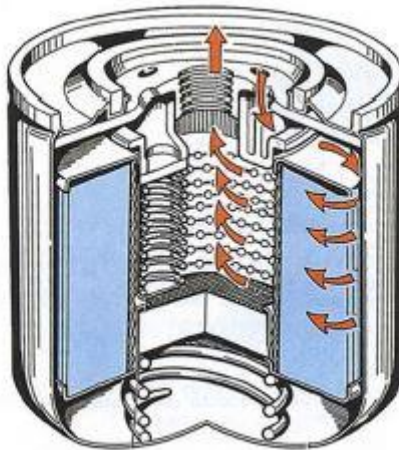
### 3.3. **Filtración de aceite**

El primer filtro por el que se hará pasar el aceite será a la entrada del tanque de almacenamiento, se fabricará por medio de varias capas de malla tamizadora con un máximo de 2 mm (10 mesh), este tamiz se encargará de retener los contaminantes de mayor tamaño como materia orgánica, basura, piedras y cualquier sólido que mida más de 2 mm, este filtro será desmontable para su limpieza y mantenimiento.

El segundo filtro a utilizar es un filtro de papel comúnmente utilizado en los vehículos o en sistemas hidráulicos, estos filtros tienen varias capacidades de retención por lo que se opta por un filtro que pueda retener partículas de hasta 20 micrones con una eficiencia mínima del 60 %, este filtro se instalará en la línea de alimentación previo al ingreso de la bomba, asegurando así que la bomba no

se dañe con sólidos y que la boquilla de atomización no se obstruya, además de retener partículas nocivas para la salud y medio ambiente que podrían liberarse en los humos.

Figura 25. **Esquema filtro hidráulico**



Fuente: Ingeniero marino (2022). *Circuito de lubricación. MCIA (2° Parte)*. Consultado el 22 de marzo de 2023. Recuperado de <https://ingenieromarino.com/circuito-de-lubricacion-mcia/>.

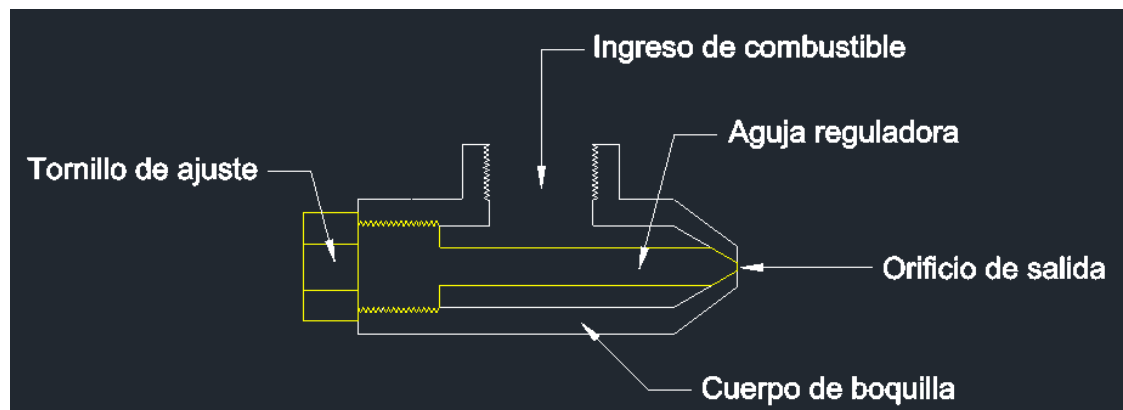
### 3.4. **Inyección de aceite**

La forma de inyectar el aceite combustible será a través de una bomba de engranes internos diseñada específicamente para impulsar aceite residual o *fueloil* no. 4, esta proporciona un caudal volumétrico máximo de 2.5 gph (9.46 lt/h) a una presión máxima de 150 psi (10.34 bar) con un régimen de giro de motor de 3450 rpm, el caudal y por tanto la presión se podrán regular a través de una válvula reguladora de presión y será monitoreada por un manómetro, la regulación también puede realizarse por medio de un variador de frecuencia con el que se puede manipular la velocidad de giro del motor eléctrico que accionará la bomba, el motor a utilizar es monofásico de 1/7 de hp a 3450 rpm según requerimientos del fabricante de la bomba.

### 3.5. Atomización de aceite

Para atomizar el aceite se fabricará una boquilla con sección de salida regulable a través de un tornillo con un pin como se muestra en la figura 26, cuando la boquilla está completamente cerrada la punta del pin encaja con el orificio de salida, para abrir el paso se debe girar el tornillo en contra de las manecillas del reloj, esto atrasará el pin gradualmente, liberando la sección de salida hasta dejarla completamente libre, el suministro de aceite ingresará por la parte superior, acoplándola por enrosque a la línea de alimentación, la presión de trabajo máxima será de 110 psi (7.58 bar) con una velocidad de flujo para su máxima abertura de 0.8366 m/s aproximadamente.

Figura 26. **Boquilla de atomización de salida variable**



Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.

### 3.6. Suministro de aire

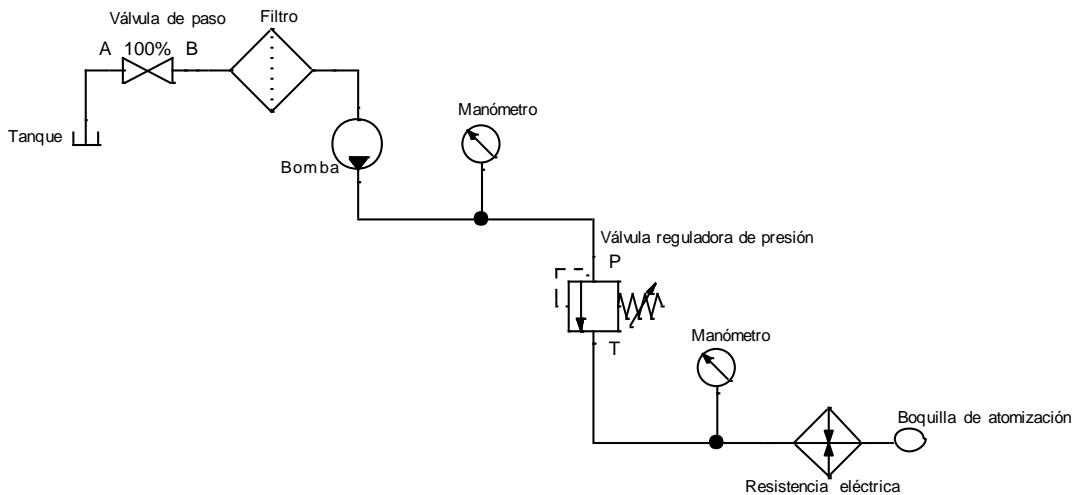
Para alimentar aire a la combustión, se utilizará un ventilador centrífugo de paletas de 300 CFM, este asegurará un suministro suficiente para el rango de caudales que puede proporcionar la bomba seleccionada anteriormente, a este

se le adaptará un sistema de regulación de flujo en el ducto, el cual restringirá el paso por medio de una válvula tipo mariposa.

## 4. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN

Para la instalación del nuevo sistema se debe acondicionar el área y ubicar los componentes de forma adecuada haciendo uso eficiente del espacio y tener fácil acceso para el armado, manipulación y mantenimiento de todo el sistema, también es importante no desmontar el sistema actual hasta que el nuevo sea instalado y haya cumplido con los requerimientos mínimos.

Figura 27. Esquema general sistema de combustión



Fuente: elaboración propia, realizado con FluidSIM-H.

### 4.1. Tratamiento del aceite combustible

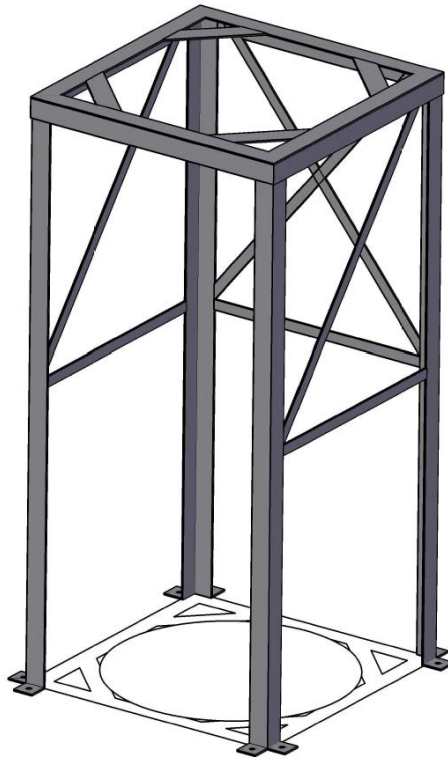
Inicialmente se debe fabricar la base del tanque elevado para el aceite combustible, la cual debe descansar sobre una superficie plana y nivelada,



idealmente una plancha de concreto de 8 cm de espesor, la estructura debe soportar el peso del recipiente y el aceite, asumiendo que este puede contener 66 galones (0.25m<sup>3</sup>) con un peso aproximado de 239 kg, es recomendable que se pueda montar y desmontar de forma rápida y fácil para su posterior limpieza y mantenimiento o en su defecto fijarlo permanentemente, se debe considerar el espacio libre necesario para la manipulación de la válvula de purga que se ubica en el extremo inferior del cono invertido y la salida de la línea de alimentación de combustible.

Se recomienda una estructura hecha de acero ASTM A36 utilizando soldadura al arco con electrodo revestido, para el soporte principal se debe utilizar perfil angular de 2" con espesor de 2.7 mm, con este se dará forma a cuatro columnas principales que en la parte inferior tendrán dos pestañas de anclaje fabricadas por el mismo perfil, este anclaje será a través de un perno para concreto, para la parte superior se debe fabricar un marco con el mismo perfil de las columnas, en los vértices del marco se deben colocar de forma oblicua perfiles planos de 2" que servirán de soporte al tanque y para darle estabilidad se debe arriostrar las columnas con perfiles planos de 1" en la parte intermedia, ver figura 28.

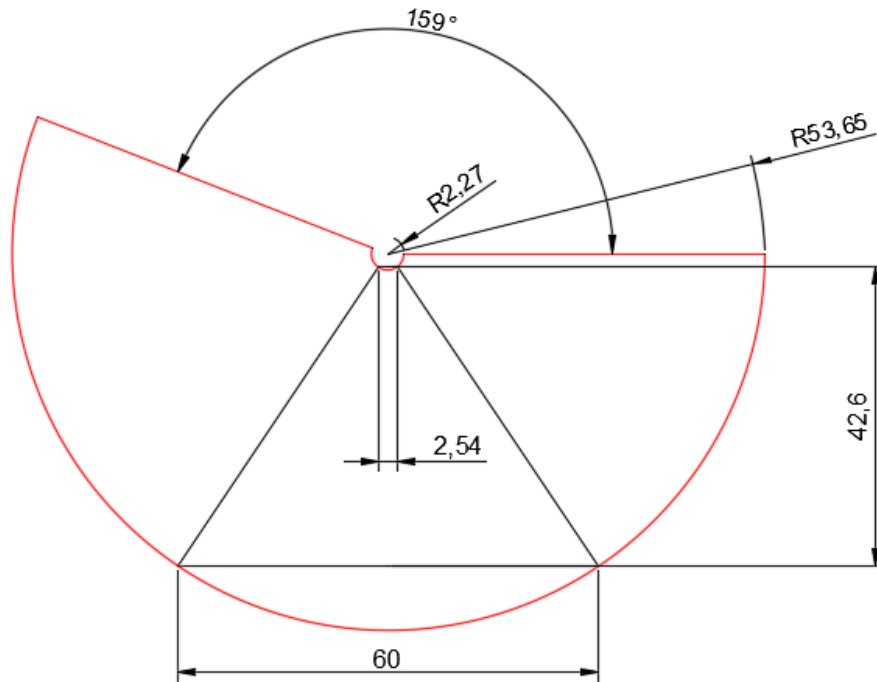
Figura 28. **Estructura soporte de tanque elevado**



Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.

Para la fabricación del tanque se debe retirar el fondo de un tonel de 55 galones (prefabricado), se debe dibujar y cortar la sección plana del cono truncado en una lámina de hierro negro de 1/32" de espesor, como se muestra en la figura 29, tomando en cuenta el diámetro inicial, el diámetro final y la altura.

Figura 29. Trazo en lámina para fabricar cono

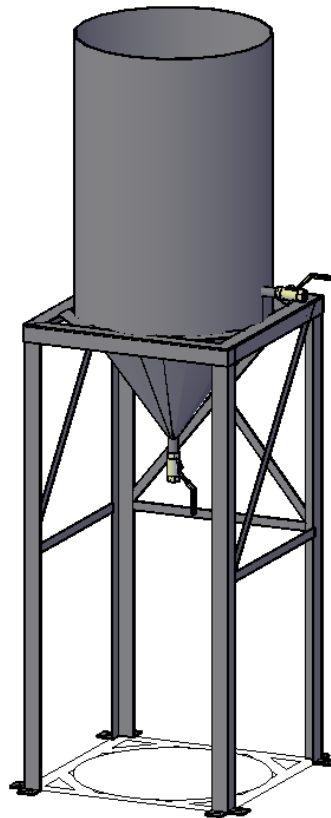


Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.

Luego del corte, se deben unir con soldadura de electrodo revestido las secciones rectas dándole forma al cono, posteriormente ubicarlo en el cilindro y fijarlo a este a una altura de 7 cm por encima de la base del tonel dejando este espacio libre para su apoyo sobre la estructura donde descansará, por último, soldar una rosca hembra de hierro galvanizado (unión o manguito) de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro en el extremo inferior del cono, donde deberá roscar un niple de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro por 4" de largo y roscar en el extremo libre una válvula de cierre rápido tipo bola de  $\frac{1}{2}$ ", idealmente esta debe conectarse a una manguera que conduzca la purga a un recipiente de desecho; en la parte lateral del cilindro a una altura de 15 cm a partir de la base, debe colocarse el inicio de la línea de combustible, esto con una rosca hembra de hierro galvanizado (unión o manguito) de  $\frac{1}{2}$ " con

su respectivo niple y válvula, para luego conducirla por medio de tubería de hierro galvanizado de ½" a la siguiente etapa.

Figura 30. **Tanque y base de aceite combustible**

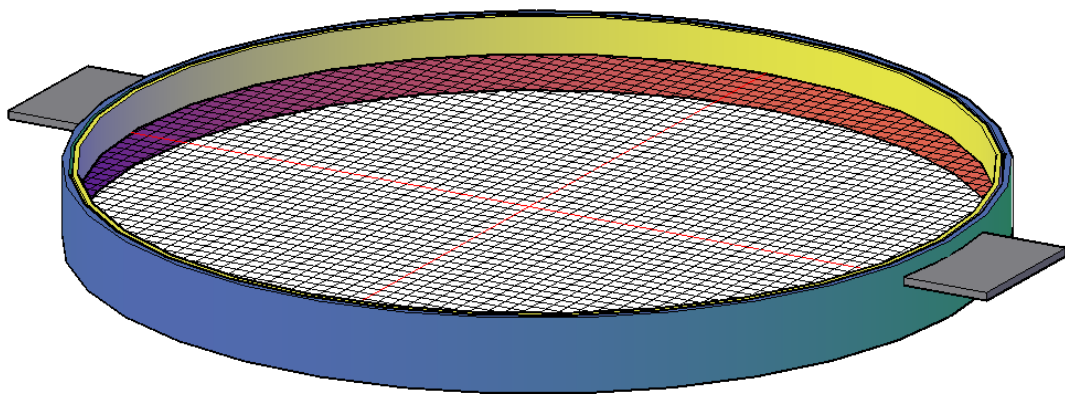


Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.

En la parte superior del tanque se debe colocar una canasta con 2 lienzos superpuestos de malla tamizadora de 2 mm (10 mesh), teniendo en cuenta que debe ser de fácil remoción para su mantenimiento y limpieza, se propone fabricar un juego de anillos que servirán de soporte y fijación de la malla, el anillo principal podrá ser fabricado con un perfil plano de 2" de ancho por 1/8" con un diámetro 2 cm menor que el diámetro del tanque contenedor para que este pueda encajar

dentro de él, se deberá colocar dos platinas de 8 cm x 5 cm que servirán de soporte y agarradores para su manipulación; en la parte interna del anillo principal debe colocarse el soporte del anillo secundario que servirá para asegurar a presión los lienzos de malla, este puede ser un anillo fijo del mismo material del principal o varios soportes distribuidos equitativamente en la circunferencia, el diámetro del anillo secundario deberá ser 0.5 cm menor que el anillo principal, este se puede fabricar con un perfil plano de 1" de ancho por 1/8" de espesor.

Figura 31. **Canasta filtrante**



Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.

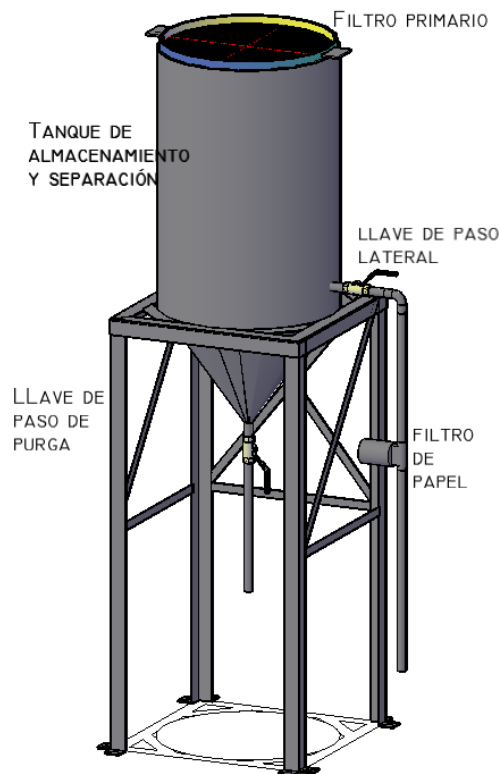
La siguiente etapa del tratamiento del aceite consiste en el paso de este a través de un filtro de papel, el cual se colocará a la salida de la válvula lateral del tanque después de la válvula de bola, para tal propósito se debe instalar la base del filtro, esta cuenta con dos orificios roscados uno de entrada y el otro de salida, en el ingreso irá enroscada una tubería de hierro galvanizado proveniente de la válvula, colocada la base se debe enroscar el filtro y en el orificio de salida seguirá un tramo de tubería galvanizada que conduce a la siguiente etapa.

Figura 32. **Base y filtro hidráulico**



Fuente: Donaldson Company (2023). *Engine liquid filtration guide*. Consultado 22 de marzo de 2023. Recuperado de <https://www.donaldson.com/es-mx/engine/filters/resources/>.

Figura 33. **Sistema de almacenamiento, separación y filtración de aceite combustible**

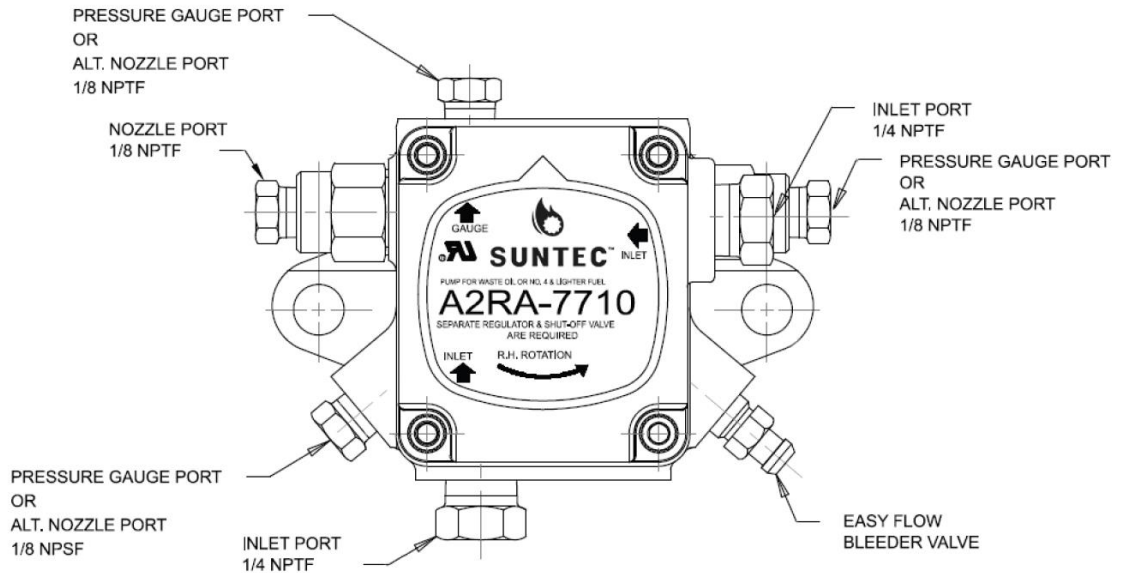


Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.

## 4.2. Quemador de aceite combustible

Después del tratamiento del aceite combustible, este será succionado por una bomba de engranes Suntec A2RA-7710 con su respectivo motor eléctrico el cual se colocará bajo el tanque de almacenamiento realizando un cambio de conducto de tubería de hierro galvanizado a manguera, esto con el fin de tener flexibilidad en la ubicación final de la bomba; los puertos de conexión de la bomba se indican en la siguiente figura. El primer manómetro deberá ser instalado en uno de los puertos designados para este fin y debe poseer un rango de medición de 0 a 200 psi, con este manómetro de monitoreará la presión máxima que entrega la bomba.

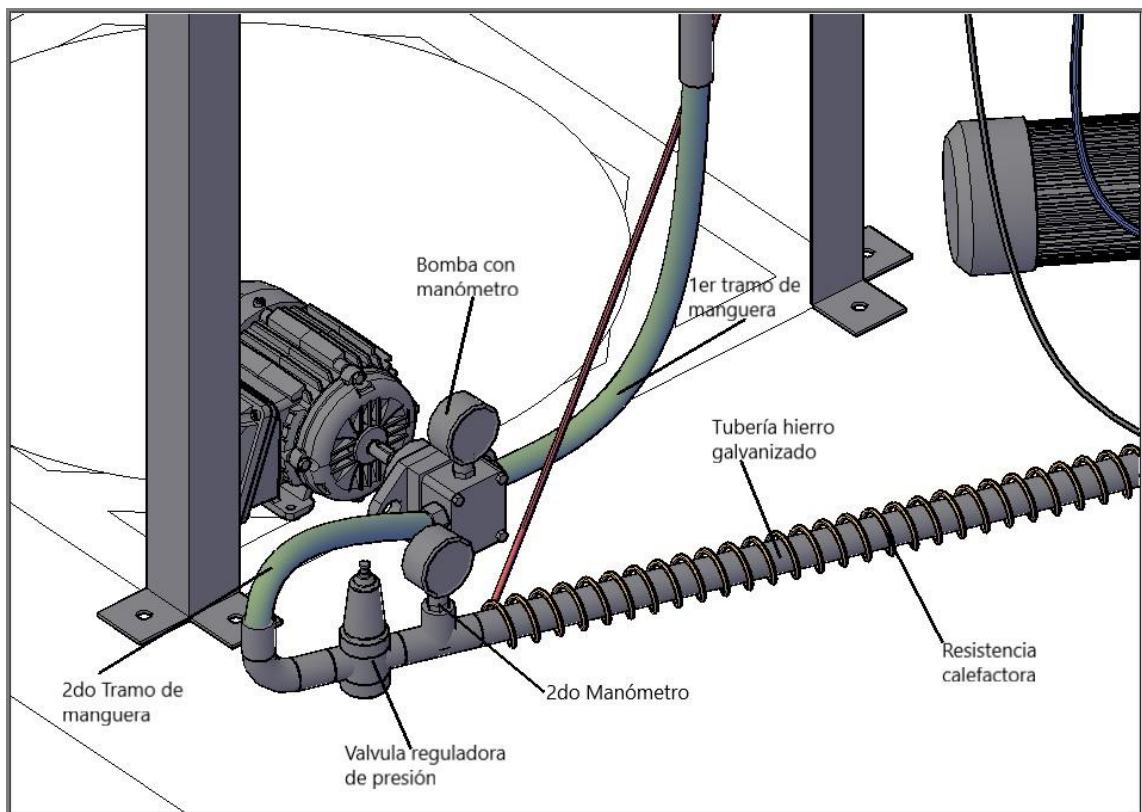
Figura 34. Diagrama de puertos de conexión bomba Suntec A2RA-7710



Fuente: Suntec Industries (2019), *Model A2RA-7710 installation information.*

La conducción del combustible después de la bomba deberá ser con manguera, esta debe soportar presión hasta de 150 psi y poseer resistencia térmica de hasta 100 °C o más ya que se encontrará cerca del horno y de la resistencia calefactora, este será un pequeño tramo hasta llegar nuevamente a tubería de hierro galvanizado. A continuación, se debe colocar la válvula reguladora de presión y en la salida de esta, el segundo manómetro con las mismas características que el anterior, este con el fin de monitoreará la presión de inyección final de combustible.

Figura 35. **Aumento de presión y temperatura de combustible**

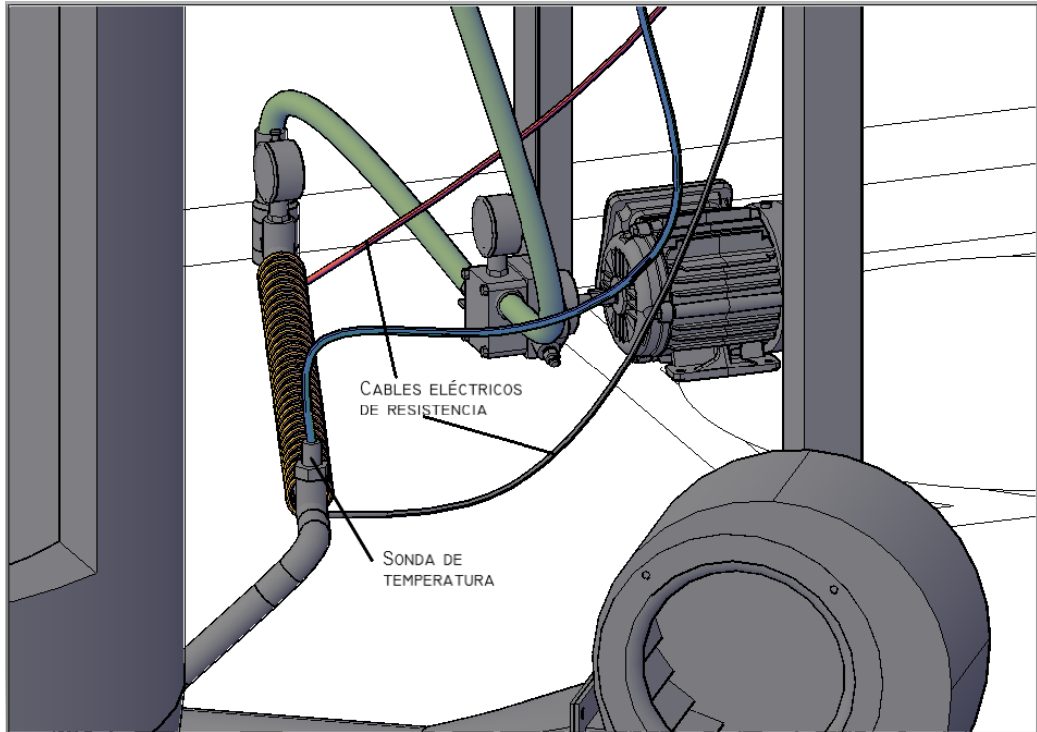


Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.



El último paso para el tratamiento del aceite combustible consiste en la instalación de una resistencia eléctrica calefactora que será fabricada con un alambre de Nicromo 8 AWG a la que se le dará forma de espiral alrededor de 0.60 m de tubo de hierro galvanizado dejando como máximo 4 mm de separación entre ellos y un mínimo de 2 mm para evitar descargas eléctricas en la tubería, para esto, se necesita un material aislante eléctrico que soporte altas temperaturas por lo que se opta por instalar alzas de cerámica en los extremos y una en el centro para evitar el contacto directo con el tubo, la forma de controlar la temperatura será a través de un sensor de temperatura DS18B20 roscado, instalado dentro de la tubería en contacto directo con el aceite combustible después de la resistencia, el cual emitirá una señal que será recibida por un microcontrolador Arduino Pro Mini ATMEGA328P, el cual se programará para encender la resistencia mientras la temperatura del fluido sea menor que 86 °C y al llegar a esta mantenerla entre el rango de 84 y 86 °C, para verificar el valor de la temperatura y llevar un mejor control, se instalará y programara una pantalla en donde se podrá observar su valor.

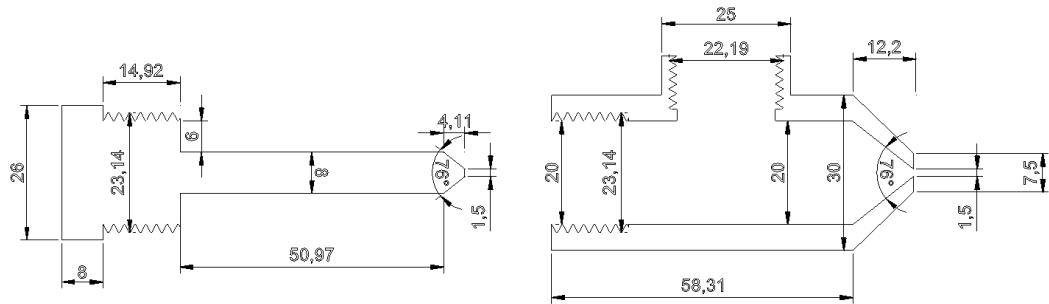
Figura 36. Sonda de temperatura



Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.

Parte elemental del quemador es la boquilla de atomización la cual se fabricará por medio de maquinado, el material a utilizar puede ser acero 1018, dado que es fácil de maquinar y soportar altas temperaturas, además, la pieza no estará sometida a esfuerzos mecánicos y es relativamente económico, por lo tanto, el material cumple con los requerimientos. El diseño específico se muestra en la siguiente figura.

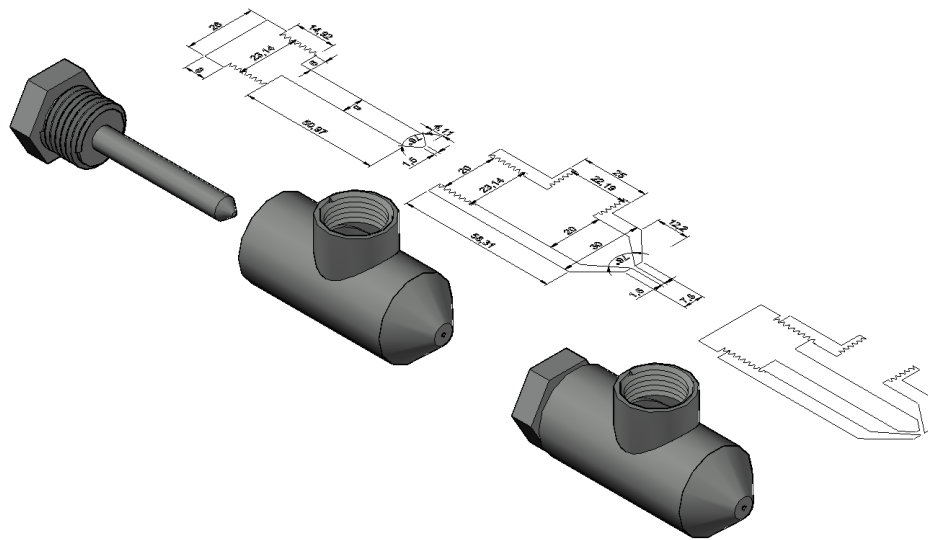
Figura 37. Dimensiones boquilla de atomización regulable



Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.

Para el roscado del pin se recomienda una rosca *whitworth* DIN 11 de 7/8, mientras que la rosca de la parte superior en donde se enroscará la línea de combustible se recomienda una rosca NPT DIN 13 M24.

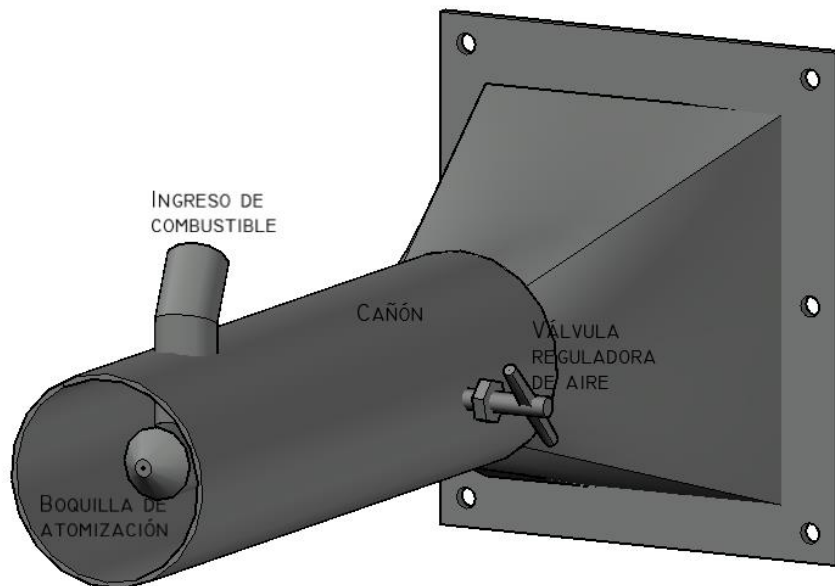
Figura 38. Vista 3D boquilla de atomización



Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.

El cañón debe ser fabricado de un tubo de hierro galvanizado de 3" de diámetro nominal con 1.22 mm de espesor, en uno de los extremos deberá fabricarse, con lamina negra de 1.5 mm de espesor, la transición de sección circular de tubo a sección cuadrada de la boca de salida del ventilador y colocar una platina de 1/16" de espesor para el acople con tornillos a la boca del ventilador; a 3 cm del extremo libre debe colocarse el inicio de la boquilla y centrarse dentro del cañón, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 39. **Cañón con boquilla, válvula reguladora, transición y platina**

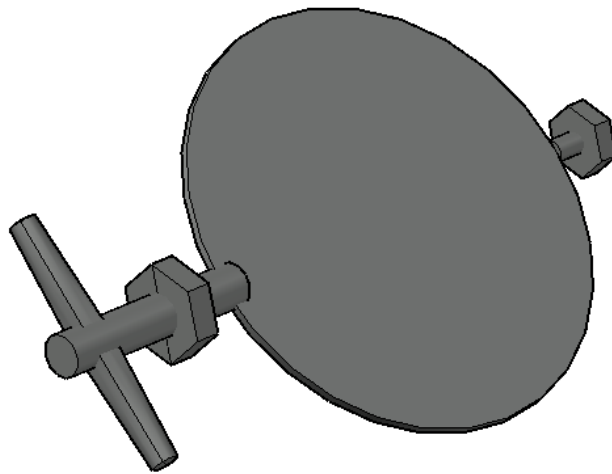


Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.

En el tramo recto del tubo, previo a la boquilla, se debe instalar la válvula reguladora tipo mariposa que será fabricada de lámina de 2 mm de espesor en forma circular con dos pines roscados que servirán de soporte y eje, en donde se colocarán roscas para asegurar la posición de la válvula, adicionalmente en uno

de los pines se debe colocar un soporte en forma de cruz, con el fin de manipular y observar la posición de la válvula, las cuales deben coincidir.

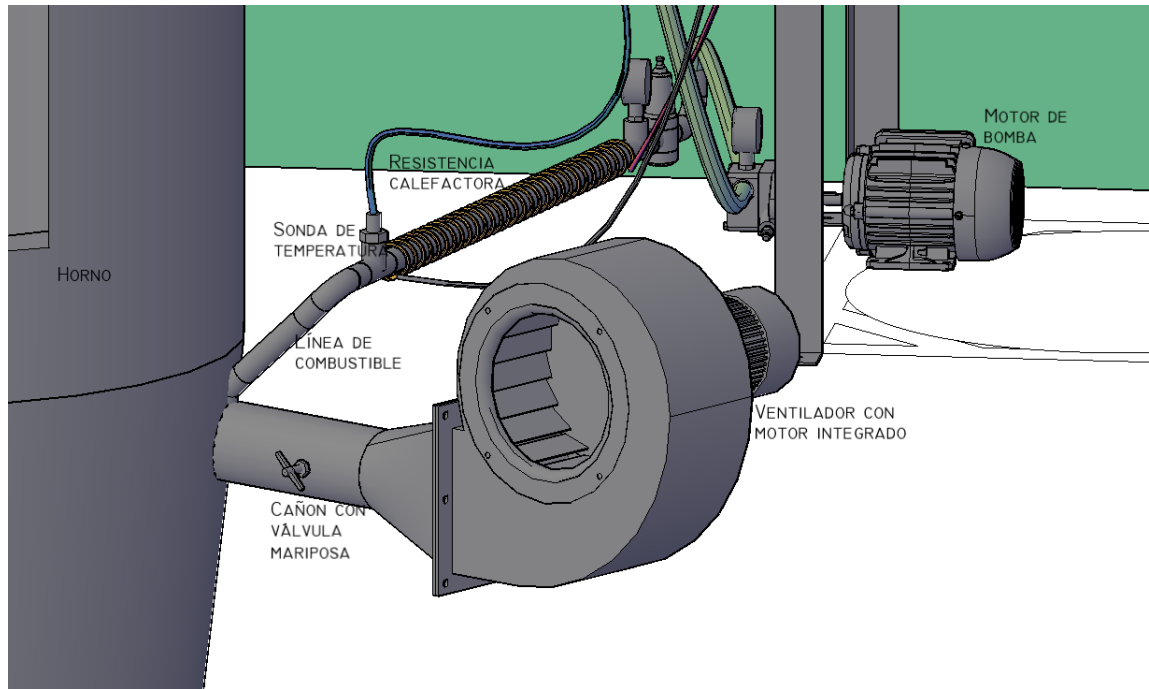
Figura 40. **Válvula reguladora de flujo de aire**



Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.

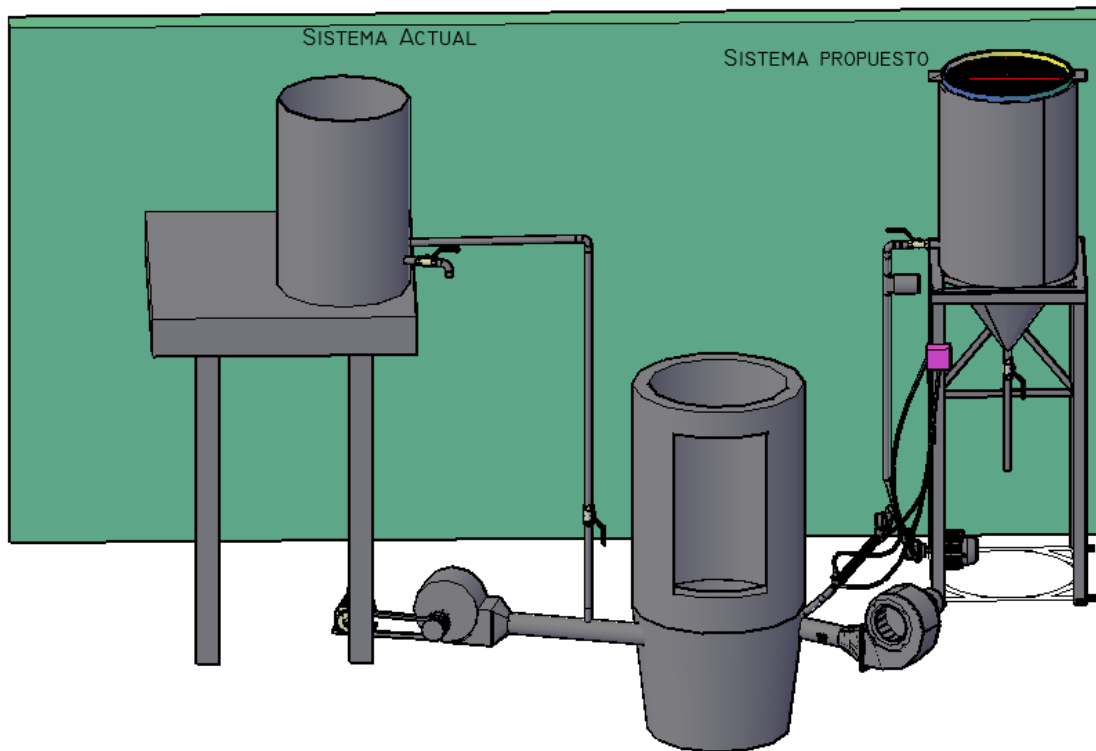
Para la instalación del nuevo sistema de alimentación de aire se debe acondicionar el área donde se colocará el ventilador y cañón, dado que se busca poseer los dos sistemas por alguna eventualidad debe realizar una excavación en la parte opuesta del cañón actual y realizar un agujero de 3.5" de diámetro en un costado del horno para el ingreso del nuevo cañón, la forma de la excavación debe ser rectangular con espacio suficiente para la manipulación de los componentes, las dimensiones exactas las dictará el ventilador al momento de su adquisición, se recomienda realizar una caja de block tabique con un espacio libre de 15 cm por lado entre la pared y el ventilador, la profundidad dependerá de la posición de la boca de salida de aire del ventilador y del tamaño del mismo.

Figura 41. Ventilador y cañón instalado en horno



Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.

Figura 42. Vista general con el nuevo sistema



Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.

### 4.3. Manejo del sistema

Inicialmente se debe verificar que las llaves de paso estén cerradas para proceder a llenar el tanque con aproximadamente 55 galones de aceite combustible y dejar reposar idealmente por 48 horas para asegurar la separación de sólidos y líquidos insolubles más densos que pueda contener, el tiempo de reposo dependerá del estado en el que se encuentre el aceite, como mínimo deberá reposar 24 horas, luego de cumplir el tiempo mínimo de reposo se debe realizar la purga abriendo la llave de paso que se ubica en el vértice del cono en la parte inferior del tanque, el tiempo de purga no será estándar, este será

determinado por el operario a través de la observación del flujo de la purga, al inicio de esta se espera observar sedimentos como tierra y partículas metálicas, posteriormente se espera observar agua y por último un flujo de aceite relativamente limpio, punto en el que inmediatamente debe cerrarse la llave de purga.

Luego de realizar la purga del tanque se debe abrir la llave de paso lateral, y con la bomba sin accionar abrir el tornillo cebador de la bomba(ver figura 34), esto con el objetivo de llenar de aceite la línea de combustible y cebar la bomba por medio de la fuerza de gravedad, si el aceite fuera muy viscoso será necesario accionar la bomba hasta que en el tornillo de purga de la bomba salga aceite, en este momento debe apretar el tornillo cebador(*easy flow bleender valve*), a continuación se debe observar la boquilla de atomización y accionar la bomba hasta que el aceite salga, punto en el que se debe encender el dispositivo calefactor y esperar hasta que la pantalla indique 86 °C de temperatura; la forma de encendido inicial se hará a través de una llama piloto externa que se colocará a la salida del cañón, enseguida se inicia con la inyección de aceite y se acciona el ventilador hasta formar la llama.

Para establecer la llama adecuada se debe observar el color y longitud de esta, la cual debe mostrarse estable con un color amarillo brillante, sin llegar a tocar las paredes del horno ya que provocaría generación de hollín; una llama muy clara o pálida indica exceso de aire mientras que una llama anaranjada o roja exceso de combustible, en ambos casos es una combustión deficiente que generará humos y por lo consiguiente contaminación, esto se logra modificar a través del regulador de aire ubicado en el cañón; cuando se observan llamas con chispas puede ser signo de exceso de aire, baja presión de inyección, combustible muy viscoso, o mala pulverización; otro signo de baja presión de inyección puede ser goteo en la salida de la boquilla, llamas muy largas indican



que la combustión tarda en producirse y las razones pueden ser que la apertura de la boquilla es demasiado grande o el combustible está muy frío; gracias a los mecanismos de regulación instalados se pueden modificar estos parámetros para obtener una combustión óptima.

#### **4.4. Análisis de eficiencia**

El análisis de eficiencia inicial demostró que el sistema actual tiene una eficiencia aproximada del 5 %, esto se dedujo con la cantidad de aluminio fundido y la cantidad de aceite quemado, haciendo la relación entre la energía requerida para el cambio de fase del aluminio, con la energía máxima extraíble del aceite combustible.

El análisis partirá de una cantidad promedio de 202 kg (444 lb) de aluminio a fundir, con la quema promedio de 39.28 galones de aceite, que se traduce a una energía necesaria de 192,570.64 kJ, con capacidad de aporte calorífico del aceite combustible de 3,918,840.93 kJ, datos con los que se obtuvo la eficiencia inicial. Es evidente que la energía teórica aportada sobrepasa la cantidad necesaria para realizar el proceso, también es importante mencionar que en este caso influyen las pérdidas de calor por radiación, convección y conducción, adicional a las pérdidas ocasionadas por las deficiencias de la combustión, por lo que la eficiencia nunca alcanzará el 100 %.

La base para realizar el análisis será el consumo de combustible, dado que, a través de este, se estará evidenciando el aprovechamiento de la energía de la que dispone, para lo cual se debe conocer el poder calorífico por galón de aceite, obteniéndolo de la siguiente forma:

$$PCG = PCS * \rho_{ac}$$

Donde:

PCG: Poder calorífico por galón (kJ/gal)

PCS: Poder calorífico superior (kJ/kg) = 27540 kJ/kg

$\rho_{ac}$ : Densidad de aceite (kg/lt) = 0.957 kg/lt

Entonces:

$$PCG = 27,540 * 0.957 = 26,355.78 \frac{kJ}{lt}$$

Dando como resultado 99,624.84 kJ/gal, de lo que actualmente se está aprovechando un 4.91 % que se traduce a 4,891.58 kJ/gal; en la siguiente tabla se muestra una proyección con respecto a la reducción del consumo de combustible.

Tabla I. **Proyección de reducción de combustible**

Eficiencia (%)	Combustible consumido (Galones)	Energía aprovechada (kJ/gal)
4.91	39.28	4,891.58
5	38.66	4,981.24
10	19.33	9,962.48
<b>20</b>	<b>9.66</b>	<b>19,924.97</b>
<b>30</b>	<b>6.44</b>	<b>29,887.45</b>
40	4.83	39,849.94
50	3.87	49,812.42
60	3.22	59,774.90
70	2.76	69,737.39
80	2.42	79,699.87
90	2.15	89,662.36
100	1.93	99,624.84

Fuente: elaboración propia.

Se estima que en la primera fase del proyecto se pueda alcanzar entre 20 % y 30 % de eficiencia, lo que significaría una reducción importante en el consumo de combustible, se deben hacer pruebas en todo el proceso y encontrar los puntos óptimos de mezcla, en conjunto con los mecanismos implementados de regulación de parámetros.

#### **4.5. Análisis económico**

El costo por galón de aceite es de Q3.63, actualmente se tiene un consumo promedio de 39.28 galones por colada, por lo tanto el costo total de combustible por colada es de Q142.59, si se toma de referencia la eficiencia que se proyecta del 20 %, el consumo se reduciría a 9.66 galones, por lo que el costo por colada disminuiría a Q35.07, proyectando así, un ahorro por colada de Q107.53 que significa un 75.41 % menos, si se realizan 2 coladas por semana se tiene un ahorro anual aproximado en combustible de Q11,183.56 sin contar los ahorros por transporte y gestión por la compra de menos combustible.

Tabla II. **Proyección económica con relación a la eficiencia**

Eficiencia (%)	Combustible consumido (Galones)	Costo por colada	Ahorro por colada	Ahorro anual
4.91	39.28	Q142.59	Q -	Q -
5	38.66	Q140.34	Q2.26	Q235.48
10	19.33	Q70.17	Q72.43	Q7,532.94
<b>20</b>	<b>9.66</b>	<b>Q35.07</b>	<b>Q107.53</b>	<b>Q11,183.56</b>
<b>30</b>	<b>6.44</b>	<b>Q23.38</b>	<b>Q119.22</b>	<b>Q12,399.17</b>
40	4.83	Q17.53	Q125.07	Q13,006.98
50	3.87	Q14.05	Q128.55	Q13,369.40
60	3.22	Q11.69	Q130.91	Q13,614.79
70	2.76	Q10.02	Q132.58	Q13,788.44
80	2.42	Q8.78	Q133.82	Q13,916.80
90	2.15	Q7.80	Q134.80	Q14,018.73
100	1.93	Q7.01	Q135.59	Q14,101.74

Fuente: elaboración propia.

Se estima que la inversión económica para realizar el proyecto oscila alrededor de Q 16,000.00, costo que tendría un tiempo estimado de retorno de inversión de 1 año con 5 meses aproximadamente.



## CONCLUSIONES

1. El horno y su quemador es un sistema antiguo compuesto de elementos rudimentarios que cumplen con su objetivo, sin embargo, esto se logra con un alto consumo de recursos, lo que genera pérdidas económicas, baja productividad y afecciones al medio ambiente y a la salud debido a las emisiones producidas por el mal manejo del combustible.
2. Dado el alto e irregular grado de viscosidad y contaminación que tiende a mostrar el combustible a utilizar, es necesario el tratamiento y acondicionamiento a través de decantación, filtros y aumento de temperatura y presión para su atomización y combustión.
3. El diseño propuesto cumple con los requerimientos teóricos mínimos para aumentar la eficiencia del actual sistema, esto implica la adquisición y fabricación de nuevos componentes para establecer un sistema controlado de combustión, con el que se podrá regular los parámetros de aire y combustible a niveles específicos.
4. La proyección de eficiencia muestra una reducción considerable del consumo de combustible, lo que refleja un aumento en la eficiencia del sistema y aumento en la rentabilidad del proceso, con la consecuente reducción en las emisiones ambientales, mostrando una proyección de recuperación de la inversión a corto plazo, con elementos de fácil adquisición en el mercado.



## RECOMENDACIONES

1. Realizar análisis de gases con frecuencia, tanto para establecer los parámetros óptimos del sistema que proporcionen la mayor eficiencia, como para monitorear el desempeño del mismo
2. Realizar análisis de aceites con frecuencia para establecer patrones de propiedades y utilizarlos para configurar los parámetros óptimos del sistema.
3. Duplicar el contenedor de aceite e instalar un visor de nivel para determinar el momento y la cantidad idónea de purga a realizar, además de propiciar la decantación en conjunto con la disponibilidad de combustible.
4. Utilizar un crisol para evitar la contaminación del material fundido y facilitar su extracción y limpieza.





## REFERENCIAS

1. Aceros y Sistemas Hidráulicos de México (17 de julio, 2017). *Variaciones de bombas de engranes*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.ashm.mx/blog/variaciones-de-bombas-de-engranes/>.
2. Aceros y Sistemas Hidráulicos de México (10 de julio, 2017). *Construcción de una bomba de engranes*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.ashm.mx/blog/construccion-de-una-bomba-de-engranes/>.
3. Çengel, Y. Boles, M. (2012). *Termodinámica*. México: McGraw Hill.
4. Creus, A. (2010). *Instrumentación industrial*. México: Alfaomega Grupo Editor.
5. Donaldson (2021). *Engine Liquid Filtration Guide (Catalog No. F110024 ENG (4/21))*. Minneapolis: Autor.
6. Galicia, A. Pérez, R. Castellanos, M. (2008). *Química 1 agua y oxígeno*. México: UNAM.
7. García Soutullo, R. (febrero de 2016). *Circuito de lubricación. MCIA (2º Parte)*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://ingenieromarino.com/circuito-de-lubricacion-mcia/>.

8. Incoprera, F. De Witt, D. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. México: Prentice Hall.
9. Kohan, A. (2000). *Manual de calderas*. España: McGraw Hill.
10. Lab-Volt (Quebec) Ltd. (2003). *Fluidos fundamentos de hidráulica*. Canadá: Autor.
11. Mott, R. (2006). *Mecánica de fluidos*. México: Pearson Educación.
12. Perry, R. (1992). *Manual del Ingeniero químico*. México: McGraw Hill.
13. Ruano, R. (marzo, 2013). Boquillas de atomización. Quemadores. *Ingeniería Energética General*, IEG-09032013, 1-13.
14. Severns, W. Degler, H. Miles, J. (1982) *La producción de energía mediante el vapor de agua el aire y los gases*. España: Reverté S.A.
15. Suntec (2019). *Model A2RA-7710, -7712 & -7720 Installation Information (Form 2103)*. Glasgow Kentucky: Autor.

# APÉNDICES

## Apéndice 1. Formato de toma de datos

Talleres J.A. Ramírez

Bitácora de Fundiciones

No.	Fecha	Hora Inicio	Hora Fin	Tipo de Metal	Cantidad de Aceite Consumido	Cantidad de Metal Fundido
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

Por Estudiante: Erick Barrios

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Horno en funcionamiento**



Fuente: [Fotografía de Erick Barrios] (Mixco, Guatemala. 2020). Colección particular.  
Guatemala.

### Apéndice 3. Manipulación de horno



Fuente: [Fotografía de Erick Barrios] (Mixco, Guatemala. 2020). Colección particular.  
Guatemala.



# ANEXOS

## Anexo 1. Cotización bombas y motor

				
<b>61 AÑOS DE SERVICIO A LA INDUSTRIA</b>				
<b>EMPRESA:</b> ATT: ERICK BARRIOS FECHA: 10 DE MARZO DE 2020				
<b>COTIZACIÓN No. E-20037947</b>				
Estimado Sr. Barrios,				
Por este medio se adjunta cotización de los productos solicitados. Todos nuestros productos son de la más alta calidad, importados de Europa y Estados Unidos. Cualquier consulta ó requerimiento adicional, no dude en comunicarse con nosotros ó visite nuestra página web <a href="http://WWW.ORIONGUATEMALA.COM">WWW.ORIONGUATEMALA.COM</a> estamos para servirle.				
ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO	TOTAL
1	1	Bomba para quemador de diesel <b>A2RA-7737</b> rotación derecha 10-20psi 3,450RPM.	Q1,344.00	Q1,344.00
2	1	Bomba para quemador de diesel <b>A2VA-7116</b> rotación derecha 3GPH 100-150psi 3,450 RPM 2GPH 150-200psi 3,450 RPM	Q1,109.47	Q1,109.47
3	1	Motor eléctrico de 1/7HP 3,450RPM 115/60 para quemador diesel.	Q1,260.00	Q1,260.00
				<b>Q3,713.47</b>
<b>NOTA:</b>				
<b>TIEMPO DE ENTREGA:</b> Inmediato <b>LUGAR DE ENTREGA:</b> SA. CALLE 3-21 ZONA 9 <b>FORMA DE PAGO:</b> Efectivo; Tarjeta de Crédito; Transferencia bancaria; Cheque de Caja. <b>Crédito 30 días con Orden de Compra -si aplica -</b> <b>SI ESTÁ REGISTRADO, EMITIR A NOMBRE DE:</b> ORION REPRESENTACIONES INTERNACIONALES, S.A. <b>COTIZACIÓN VÁLIDA POR 2 DÍAS.</b> <b>Retención ISR del 5% / Sujeto a retención definitiva</b>				
<b>DEPARTAMENTO DE VENTAS</b> <b>ORION REPRESENTACIONES INTERNACIONALES, S.A.</b> Tel. (502) 2331-0546 / 2361-7473 (502) 2361-7478 / 2361-7479 Fax: (502) 2331-8586 E-mail: <a href="mailto:ventas@orionguatemala.com">ventas@orionguatemala.com</a> Nit. 691063-7				

Fuente: Orión representaciones internacionales, S.A. (2020). Cotización No. E-20037947.



## Anexo 2. Cotización quemadores diésel



International Solutions, S. A.



CADINSA



Guatemala, 25 de febrero de 2020  
Oferta 20-026Z

Señor  
**ERICK BARRIOS**  
Ciudad de Guatemala

Estimado señor Barrios:

Por este medio tenemos el agrado de cotizarles lo siguientes

<u>ITEM</u>	<u>CA</u>	<u>Unidad</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>PRECIO U</u>	<u>PRECIO TOTAL</u>
1	1	Und	QUEMADOR DIESEL DE 0.5 A 3 GAL MARCA WAYNE	Q15,900.00	Q15,900.00
2	1	Und	QUEMADOR DIESEL DE 3 A 7 GAL MARCA WAYNE	Q19,900.00	Q19,900.00
<b>TOTAL</b>				<b>Q35,800.00</b>	

**VALIDEZ DE LA OFERTA:**

30 días.

**FORMA DE PAGO:**

Contra entrega

Sin otro particular, y en espera de sus noticias, nos suscribimos.

Atentamente,

Ing. Juan Carlos Pallais  
CADINSA  
E-mail: [ventas@cadinsa.com](mailto:ventas@cadinsa.com)





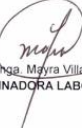
Firma y Sello de aceptación  
CLIENTE

---

Telefax : (502) 24418931 Cel: (502) 57040146 [ventas@cadinsa.com](mailto:ventas@cadinsa.com) [www.cadinsa.com](http://www.cadinsa.com)

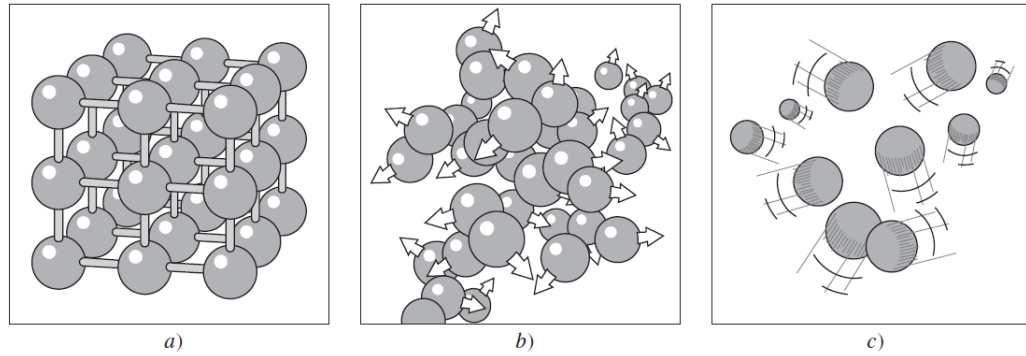
Fuente: CADINSA (2020). *Oferta 20-026Z.*

### Anexo 3. Resultados de análisis de aceite

	<b>LABORATORIOS TÉCNICOS</b>	PÁGINA 1 DE (1)																								
		LAB-REP-0038-2020 ORDEN No. L-0004-2020 GUATEMALA, 15-01-2020																								
<b>RESULTADOS DE ANÁLISIS</b>																										
MUESTRA: <b>Aceite Combustible</b> PRESENTADA POR: Servicio Industrial Ramírez RESPONSABLE DEL MUESTREO: Erick Barrios de Servicio Industrial Ramírez PROCEDENCIA: Servicio Industrial Ramírez. Referencia de la muestra: M-1 LOCALIZACIÓN: Guatemala, Guatemala FECHA DE MUESTREO: Noviembre 2019 FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA Y PAPELERÍA: 09-01-2020 FECHA DE ANÁLISIS: Del 13 al 15-01-2020 PRECIO DE ANÁLISIS: \$ 56.00 ANALISTA: Jhonatan Ríos																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th>MÉTODO DE ANÁLISIS</th> <th>ESPECIFICACIÓN (a)</th> <th>RESULTADOS (b)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PUNTO DE INFLAMABILIDAD, °C</td> <td>ASTM D-93</td> <td>—————</td> <td>91</td> </tr> <tr> <td>PODER CALORÍFICO SUPERIOR, MJ/Kg</td> <td>ASTM D-240</td> <td>—————</td> <td>(d) 27.54</td> </tr> <tr> <td>GRAVEDAD API, 15.56 °C, °API</td> <td>ASTM D-287</td> <td>—————</td> <td>16.2</td> </tr> <tr> <td>GRAVEDAD ESPECÍFICA, 15.56°C</td> <td>ASTM D-287</td> <td>—————</td> <td>0.9580</td> </tr> <tr> <td>VISCOSIDAD CINEMÁTICA, 50 °C, mm<sup>2</sup>/s (c)</td> <td>ASTM D-445</td> <td>—————</td> <td>296</td> </tr> </tbody> </table>			DESCRIPCIÓN	MÉTODO DE ANÁLISIS	ESPECIFICACIÓN (a)	RESULTADOS (b)	PUNTO DE INFLAMABILIDAD, °C	ASTM D-93	—————	91	PODER CALORÍFICO SUPERIOR, MJ/Kg	ASTM D-240	—————	(d) 27.54	GRAVEDAD API, 15.56 °C, °API	ASTM D-287	—————	16.2	GRAVEDAD ESPECÍFICA, 15.56°C	ASTM D-287	—————	0.9580	VISCOSIDAD CINEMÁTICA, 50 °C, mm <sup>2</sup> /s (c)	ASTM D-445	—————	296
DESCRIPCIÓN	MÉTODO DE ANÁLISIS	ESPECIFICACIÓN (a)	RESULTADOS (b)																							
PUNTO DE INFLAMABILIDAD, °C	ASTM D-93	—————	91																							
PODER CALORÍFICO SUPERIOR, MJ/Kg	ASTM D-240	—————	(d) 27.54																							
GRAVEDAD API, 15.56 °C, °API	ASTM D-287	—————	16.2																							
GRAVEDAD ESPECÍFICA, 15.56°C	ASTM D-287	—————	0.9580																							
VISCOSIDAD CINEMÁTICA, 50 °C, mm <sup>2</sup> /s (c)	ASTM D-445	—————	296																							
<b>OBSERVACIONES:</b> <p>a) En el Acuerdo Ministerial No. 364-2019 no existen especificaciones para este producto.                  b) Los resultados son válidos solo para el volumen de muestra presentada en este laboratorio.                  c) 1 mm<sup>2</sup> /s es equivalente a 1 cSt.                  d) El valor de 27.54 MJ/Kg es equivalente a 6579 Kcal/Kg y a 11841 Btu/Lb.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">                   Ing. Jhonatan Ríos                  AREA DE HIDROCARBUROS             </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">                   Vo. Bo. Inga Mayra Villatoro                  COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS             </div> </div>																										
Ministerio de Energía y Minas/Dirección: Diagonal 17, 29-78, Zona 11 las Charcas / PBX: (502) 2419 6464 El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico																										
@MEMguatemala /MEMguatemala www.mem.gob.gt																										

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (2020). Lab-Rep-038-2020.

#### Anexo 4. Disposición de átomos según su fase

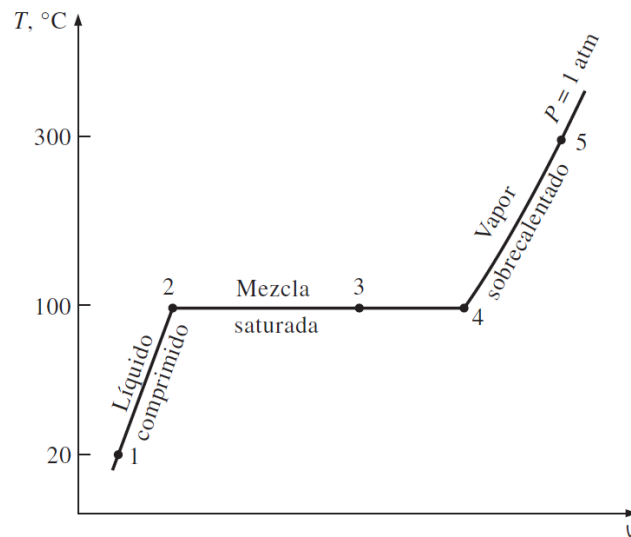


**FIGURA 3-5**

Disposición de los átomos en diferentes fases: *a)* las moléculas están en posiciones relativamente fijas en un sólido, *b)* grupos de moléculas se apartan entre sí en la fase líquida y *c)* las moléculas se mueven al azar en la fase gaseosa.

Fuente: Çengel (2012), *Termodinámica*.

#### Anexo 5. Diagrama T-v para el proceso de calentamiento del agua



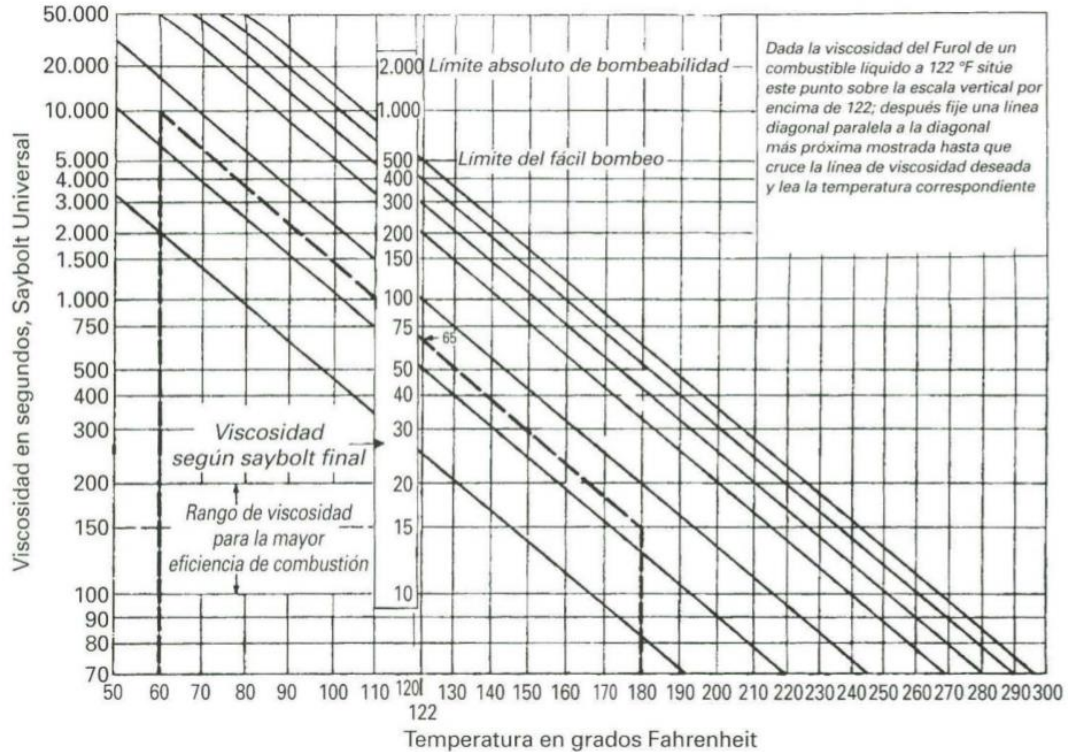
Fuente: Çengel (2012), *Termodinámica*.

## Anexo 6. Fracciones típicas de combustibles petrolíferos

Tipo de combustible	Peso específico	Densidad, API	Peso, lb/galón	Poder calorífico	
				BTU/libra	Millones BTU/barril
Combustible residual	1,0	10	8,337	18.540	6,5
N.º 4 fuel-oil	0,966	15	8,053	18.840	6,35
Destilación fuerte	0,910	24	7,587	19.190	6,1
Destilación suave	0,865	32	7,215	19.490	5,95
Queroseno	0,825	40	6,879	19.750	5,7

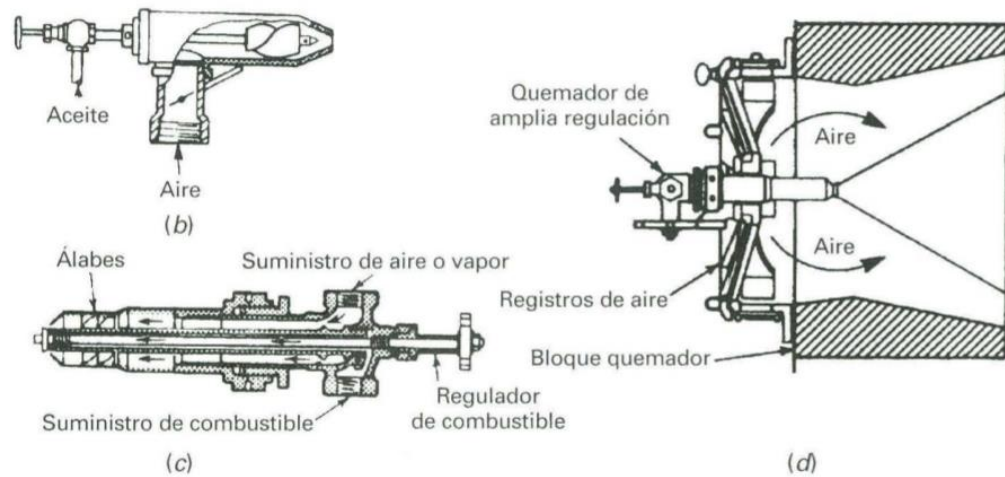
Fuente: Kohan (2000). *Manual de calderas.*

## Anexo 7. Aumento de temperatura según viscosidad



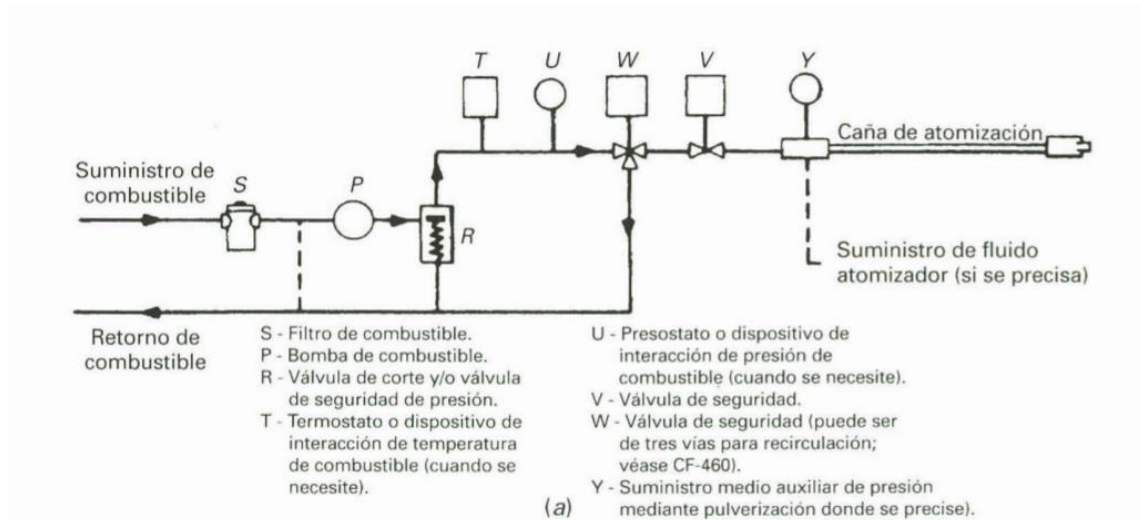
Fuente: Kohan (2000). *Manual de calderas.*

## Anexo 8. Boquillas atomizadoras por aire o vapor



Fuente: Kohan (2000). *Manual de calderas*.

## Anexo 9. Tren de válvulas de combustible recomendado por la asociación nacional contra incendios



Fuente: Kohan (2000). *Manual de calderas*.