



**FACULTAD DE INGENIERÍA ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE  
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

**TESIS**

**DISEÑO DE UN QUEMADOR DE COMBUSTIBLES  
SÓLIDOS PARA ESTUDIOS FÍSICOS Y  
TÉRMICOS EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA  
MECÁNICA ELÉCTRICA**

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

**Autores:**

**Bach. Lizana Fernández Jesús Miguel**

**<https://orcid.org/0000-0002-5961-1637>**

**Bach. Velasco Rivera Erick Orlando**

**<https://orcid.org/0000-0003-2908-0617>**

**Asesor:**

**Ing. Alvarado Silva Carlos Alexis**

**<https://orcid.org/0000-0002-3588-8869>**

**Línea De Investigación:**

**Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente**

**Pimentel – Perú**

**2020**

DISEÑO DE UN QUEMADOR DE COMBUSTIBLES SOLIDOS, PARA ESTUDIOS  
FISICOS Y TERMICOS EN LA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA  
ELECTRICA.

Aprobación del Jurado

---

Mg. Carlos Alexis Alvarado Silva

**Asesor**

---

Mg. Juan Carlos Vives Garnique

**Presidente del jurado de tesis**

---

Mg. Silvia Yvone Gastiaburú Morales

**Secretaria del jurado de tesis**

---

Mg. Carlos Alexis Alvarado Silva

**Vocal del jurado de tesis**

## DEDICATORIA

*A mis padres, que con su esfuerzo y sacrificio supieron sacarme adelante, tratando que día a día sea mejor y lo que hoy soy es gracias a ellos.*

*A mis hermanos, por su apoyo, me enseñaron a ser perseverante día tras día.*

*Lizana Fernández Jesús Miguel*

*A mis padres, hermanos, a todas aquellas personas que creyeron en mí en todos los momentos de este proceso y que con sus consejos hicieron que sea persistente y perseverante.*

*Velasco Rivera Erick Orlando*

## **AGRADECIMIENTO**

*Gracias a Dios, por darme la fuerza para desarrollar este proyecto de investigación.*

*A todos y cada uno de los docentes que intervinieron en mi formación académica.*

*A mi docente tutor de tesis que con su sabiduría y experiencia supo guiar este proceso de investigación obteniendo todos los objetivos planteados.*

*A mi familia, que siempre me apoyó en los momentos más difíciles y que con todo su esfuerzo permitieron que logre mis objetivos.*

*Lizana Fernández Jesús Miguel*

*Gracias a Dios, por darme la fuerza para desarrollar este proyecto de investigación.*

*A todos y cada uno de los docentes que intervinieron en mi formación académica.*

*A mi docente tutor de tesis que con su sabiduría y experiencia supo guiar este proceso de investigación obteniendo todos los objetivos planteados.*

*Velasco Rivera Erick Orlando*

## RESUMEN

Debido a la alta demanda de energía en el mundo y la sobre explotación de pozos de petróleo, lo que a su vez genera altos niveles de contaminación, es necesario desarrollar nuevas tecnologías de generación de calor de una manera económica, sostenible y respetuosa con el medio ambiente. Uno de los combustibles para la calefacción de espacios en zonas rurales, que más crece en los países desarrollados a nivel mundial, es el pellet (pellets de madera prensada), que se fabrica a partir de los residuos de carpintería, aserrín y últimamente biopellets (generado por la combinación de aserrín y residuos sólidos biodegradables). Para que exista demanda en el uso de pellets, se deben desarrollar tecnologías para usarlos.

Existen varios tipos de quemadores de pellet en el mercado, la mayoría de ellos son importados, pero esta tecnología se puede desarrollar en el mercado nacional, reduciendo el costo de desarrollo y fabricación, para incentivar el uso y fabricación de pellets. En ese sentido, la presente investigación busca la proponer un diseño de bioquemador de combustible sólido con la finalidad no sólo de preservar el medio ambiente sino con fines académicos aprovechando los diversos residuos sólidos orgánicos que genera la agroindustria Regional de Lambayeque.

### **Palabras clave:**

Combustión. Biomasa. Quemador de combustibles sólidos. Energía térmica.

## **ABSTRACT**

Due to the high demand for energy in the world and the overexploitation of oil wells, which in turn generates high levels of pollution, it is necessary to develop new heat generation technologies in an economic, sustainable and environmentally friendly way. environment. One of the fuels for space heating in rural areas, which grows the most in developed countries worldwide, is pellets (pressed wood pellets), which is manufactured from carpentry waste, sawdust and lately biopellets (generated by the combination of sawdust and biodegradable solid waste). For there to be demand in the use of pellets, technologies must be developed to use them.

There are several types of pellet burners on the market, most of them are imported, but this technology can be developed in the national market, reducing the cost of development and manufacture, to encourage the use and manufacture of pellets. In this sense, this research seeks to propose a solid fuel bioburner design in order not only to preserve the environment but also for academic purposes, taking advantage of the various organic solid waste generated by the Lambayeque Regional agro-industry.

### **Keywords**

Combustion. Biomass Solid fuel burner. Thermal energy.

## ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN .....	9
1.2.	Trabajos Previos.....	12
1.3.	Marco teórico.....	15
1.3.2.	Partes del quemador .....	16
1.3.3.	Tipos de quemadores .....	23
1.4.	Definición de términos básicos .....	27
1.5.	Formulación del Problema .....	28
1.6.	Hipótesis .....	28
1.7.	Objetivos .....	28
1.7.1.	Objetivo General.....	28
1.7.2.	Objetivos Específicos .....	28
1.8.	Justificación .....	29
1.8.1.	Justificación Económica .....	29
1.8.2.	Justificación Ambiental.....	29
1.8.3.	Justificación Social.....	29
1.8.4.	Justificación Técnica.....	29
2.1.	Tipo y Diseño de investigación .....	31
2.1.1.	Tipo de investigación .....	31
2.1.2.	Diseño de investigación.....	31
2.2.	Población y muestra .....	31
2.3.	Variables .....	31
2.3.1.	Variable independiente.....	31
2.3.2.	Variable dependiente .....	31
2.4.	Selección y diseño de quemador de combustible sólido .....	31
2.5.	Caja negra.....	32
2.6.	Operacionalización.....	34
2.7.	Técnicas e instrumentos de recolección de información .....	36
2.7.1.	Procedimientos para la recolección de información .....	36
2.7.2.	Técnicas de investigación .....	36
2.7.3.	Descripción de los instrumentos utilizados .....	37
2.8.	Diagrama de flujo de procesos .....	38
2.9.	Descripción de procesos .....	38

2.10.	Validación y confiabilidad de instrumentos.....	39
2.10.1.	Aspectos éticos.....	39
2.10.2.	Principios de rigor científico.....	39
III.	RESULTADOS.....	40
3.6.1.	Detalles de Proyecto:.....	65
3.6.2.	Parámetros de Simulación.....	65
3.6.6.	Tiempo de Análisis:.....	70
3.8.	Costos de Inversión.....	76
3.8.1.	Costos directos.....	76
3.8.2.	Costos indirectos.....	76
3.8.3.	Costo total.....	77
3.9.	Planos.....	77
3.10.	Manual de mantenimiento y operación del quemador.....	77
3.10.1.	Determinación de las causas de averías del quemador.....	77
3.10.2.	Elaboración de soluciones de averías para el quemador.....	78
3.10.3.	Instrucciones de Operación.....	82
3.11.	Recomendaciones de uso y manipulación.....	82
4.	Conclusiones.....	83
5.	Recomendaciones.....	84
	Referencias.....	85
	ANEXOS.....	86



## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Realidad Problemática**

Actualmente la influencia antropogénica, es decir, la suma de efectos producidos por la actividad humana en la tierra, está produciendo cambios sin precedentes en el medioambiente. El planeta se ha calentado un promedio 0,6 °C en los últimos años. Entre las principales consecuencias está la provisión de gases de efecto invernadero, como el metano y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Se estima que el periodo del CO<sub>2</sub> permanece en la atmósfera lleva 100 años, asimismo, el metano dura alrededor de los 114 años. Se calcula también que entre el 80% y el 65% del CO<sub>2</sub> estos elementos se separan en los océanos entre una etapa que oscila entre los 20 a los 200. (Larios M., 2008).

El resto se traslada mediante un trascurso más pausado esto puede tardar un periodo de varios y cientos de miles de años, entre lo cual se incluye la meteorización química (descomposición de minerales y rocas) y la instrucción de rocas. Así como ahora somos testigos de los efectos en el cambio climático por la influencia antropogénica de años anteriores, las siguientes generaciones enfrentarán las repercusiones de la influencia antropogénica del ahora, la cual, se estima, se agravará con el paso del tiempo.

En Europa – España el Consejo Europeo de energía y Cambio Climático estableció una serie de objetivos para el 2020, entre ellos: disminuir las emanaciones de ventosidad de fin plantario en un 20% mediante de herramientas de aptitud energética y, además, causar incluso un 20% el uso de las energías renovables

A través de la directiva 2009/28/CE, el Parlamento Europeo fijó como objetivo para 2020 que el 20% de la energía final debe ser renovable. La Directiva abarca la energía generada por los biocarburantes y biolíquidos. Para este último para ser considerado, deben asistir a la simplificación de emisiones de gases de efecto invernadero con un mínimo de 35%. A partir del 1 enero de 2017, su contribución a la reducción de emisiones debiera alcanzar el 50%. La Directiva establece que, con el fin de ser concedida de financieros de apoyo, los biocarburantes y biolíquidos

deben ser clasificados como «sostenible». Esto requiere de los biocarburantes y biolíquidos que se generen utilizando materias primas procedentes tanto fuera como dentro de la región, además de las que no deben proceder de tierra que tiene alto valor de biodiversidad o grandes reservas de carbono.

Los biocombustibles pueden ser transformadas para uso en motores o se utilizan directamente como combustibles en los quemadores. Cuando se utiliza como combustibles en los quemadores que tienen ciertas ventajas, tales como: i) que no requiere específicos procesos de transformación, de tal manera que se pueden obtener de forma relativamente barata. ii) menos riguroso en especificaciones cuando se utilizan en quemadores que cuando se utiliza en los motores.

En este marco, alertados de las futuras consecuencias en este contexto energético-medioambiental y con el fin de contribuir al estudio de procesos energéticos, específicamente el de la combustión, en este proyecto de investigación científica se elaborará un diseño de un prototipo de quemador experimental de combustibles sólidos, destinado al Laboratorio de Máquinas Térmicas de la Facultad de Ingeniería Mecánico-Eléctrica de la Universidad Señor de Sipán. Se realizan estudios que permiten explicar las variables que se utilizan para el diseño del sistema, para la caracterización térmica de pellets o briquetas como combustibles alternativos. Además, se realizan los cálculos de ingeniería y los planos del diseño, se determinan los gastos que involucraría la posible construcción del quemador y, finalmente, se determinan las implicancias ambientales.

El Perú, pasa por un cambio de ejecutores de peligro ambientales, a donde cohabita peligros ancestrales y modernos, y persisten los desasosiegos infecciosos y crónicos, algunos de los cuales se asocian con papelones de intoxicación de elixir y de aire.

Según estimaciones de OMS alrededor de 10 millones de residentes están aventurados a carburante de biomasa (somanta, champá, boñiga, lignito) para cocinar. El estimado de Pm 2,5 (partículas en suspensión de menos de 2,5  $\mu\text{m}$  de diámetro) de personas viviendo en estos ponederos, sería cerca de 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Pm 2,5. Este grado es dos sucesiones el grado de Pm 2,5 en Lima. Siguiendo los pasos de los depósitos por encima destacados con el meteorismo ambiental, el derramamiento concerniente para la defunción cardiovascular/cardiopulmonar sería

más o menos 1,3-1,4 debido a la relación comparada con la enchufada por la OMS de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , y la fracción de guadañas atribuibles a  $\text{Pm } 2,5$  debería ser alrededor 25%  $[(1,35-1) / 1,35]$ . Hacerse cargo de los 10 millones de habitantes que usan biomasa tienen más o menos la misma mortalidad que los habitantes de Lima, podemos apreciar que unas 3000 muertes causada por cardiopulmonares anuales, por proclamação excesiva a la  $\text{Pm } 2,5$ . Esto conlleva que puede agregar un número de muertes prematura entre niños por enfermedades como la broncomonia y neumonía.

La exposición de combustible de biomasa es asociada con el grosor de la íntima-media de la arteria carótida y de la placa aterosclerótica e hipertensión arterial. Esto genera un alto peligro cardiovascular. Esto conlleva a un alto riesgo cardiovascular. En trabajar con combustible de biomasa y en ubicarse en zonas de altura esto puede tener una consecuencia con la salud materno – perinatal, sabiendo que en zonas de altura el peso es alterado, por la hipoxia ambiental. En este proyecto se realizará en dos zonas alto como Apurímac y Huancavelica – Perú, se estable un análisis de un 52% de niños con bajo peso solo porque cocinaba con combustible de biomasa.

Dado a esta problemática en la Ciudad de Lima en el Laboratorio de Energía de la sección de ingeniería mecánica de la Pontificia Universidad Católica del Perú viene realizando estudios de funciones principales es la investigación y desarrollo tecnológico mediante los servicios de industria en temas de eficiencia energética.

Uno de los primeros servicios del laboratorio es la medición y la relación de parámetros térmicos, realizando estudios en un quemador Eco Burner que cuenta con dispositivos para la obtención de datos del poder calorífico de cada biocombustible aprovechando sus propiedades.

Esta investigación tiene como objetivo principal la modelación del quemador mediante la dinámica de fluidos computacional, cuyas técnicas emplean el método matemático de los volúmenes finitos.

El experimento que se desea realizar en el Laboratorio de Máquinas Térmicas es aproximadamente inédito, existe una limitación en investigaciones relacionadas al respecto dentro de la Universidad Señor de Sipán que aborden específicamente el

tema, sin embargo, sí se viene desarrollando en otras universidades nacionales e internacionales.

## **1.2. Trabajos Previos**

Hiroshi Tanaka (2016), Planteo un sistema de destilación térmica en la que suele utilizar la energía térmica de la biomasa quemada. Se transporta la energía térmica a través de una estufa. El destilador tiene como efecto la disfunción vertical esto consta de numero paralelas que entran en contacto con una salina, se establecen con estrechas aberturas de aire vertical. Se elaboro un efecto para realizar una investigación en el tubo de calor en la cual transporta energía térmica en la cual va desde la estufa al destilador. Nos encontramos que las temperaturas de la placa son calentadas por 100°C y 90°C, por ello se demuestra que el tubo es funcional para el trabajo. Se concluye que el agua destilada fue 1.35 kg durante dos horas de combustión.

Edwin U. (2015). Elaboro una cocina con cámara de combustión en la cual dio forma de "L", para la provincia de Urubamba. La cocina se elaboro con arcilla, se realizó trazos con la finalidad de tener 3 tipos de cámaras de diferente altura. Se realizaron pruebas de ebullición de agua (PEA), se seleccionó la cámara con eficiencia térmica y potencia, con una altura promedio de 2,5 cm y un diámetro de 12 cm, la materia fue la plancha de 1/40" de espesor, la cocina térmica mejorada fue con el método de PEA en sus 3 fases, el GAP fue el mas alto en dar eficiencia térmica y potencia fue de 1 cm. Se realizo con el PEA y el GAP tubo una eficiencia térmica de 25,74% y potencia promedio de 1,72 kW. Se concluyo que la cocina mejorada fue de la provincia de Urubamba que logro un ahorro de leña en un 64 %. Verdecia, Macías, y Gaskins (2012) en su investigación tiene como objetivo estudiar la cinética química del fenómeno de combustión de pellets utilizando como biomasa de partida los residuos de la caña de azúcar. Las partes que comprende la investigación son: magnitud a través de la hoja gaseosa como etapa controlante para los pellets, propagando a través de la túnica de ceniza como época controlante, y la alergia fabricada como época. Como conclusiones se obtiene que se produce una mayor transferencia de masa cuando los pellets son de altas relaciones de diámetro y bajas densidades. Por otro lado, la difusión a través de la capa de ceniza es la

etapa controlante de todo el proceso de combustión.

Cancino, Restrepo, y Oliveira (2007) en su trabajo tienen como objetivo analizar el enjuiciamiento de calcinación en un quemador de modelo recompensa, de intervención atmosférica, utilizando metano como combustible. Se apoya en un software orientado a la dinámica de fluidos computacional, donde se destaca el uso del modelo Eddy Dissipation Concept para el fenómeno de cinética-turbulencia. Como resultados, los investigadores logran visualizar las zonas de recirculación de los reactivos y los productos, siendo importante su captación en las zonas cercanas a la llama. La relación de transferencia de calor en la pared del quemador son propios del régimen laminar del proceso. Por último, se observa que teniendo la fase gaseosa una velocidad de 0.48 m/s, las llamas tienen estabilidad dentro del quemador.

Vicente (2017) en su trabajo de investigación realiza diversos estudios físicos y térmicos a diversos modelos de briquetas de hojas de caña de azúcar, según su acondicionamiento o modo de elaboración (densificación y aglomeración), con el objetivo de definir su potencial como combustible. Se realizaron caracterizaciones físico-químicas y algunos procesos de pre-tratamiento (reducción granulométrica y lavado). Los ensayos de evaluación de las briquetas son el de resistencia al impacto, de compresión, de esponjamiento, y de combustión. Una de las conclusiones a las que se llega es que mediante el proceso de lavado, se redujo en gran medida el porcentaje de álcalis, el cual perjudicaba el modo de formación de las cenizas, pues disminuía su punto de fusión y provocaba ensuciamiento, corrosión e incrustaciones en el quemador. Además, este pre-tratamiento logra un menor porcentaje de azufre y de cenizas, reduciendo a su vez la transmisión de óxidos de azufre y de residuos generados luego de la combustión. Finalmente, se observa que el lavado aumenta el poder calorífico de la hoja de caña de azúcar.

Quispe, Saavedra, y Rispoli (2014) en su trabajo de investigación estudiaron el comportamiento térmico de una cámara de combustión, alimentada por bagazo de caña de azúcar, usado en la producción de panela granulada (azúcar orgánica), con la finalidad de aumentar su eficiencia energética, reducir costos de elaboración de la panela, y garantizar la autonomía energética de la planta de producción. Los

investigadores de la Universidad de Piura utilizan el software MATLAB para un primer modelo analítico y el software ANSYS FLUENT para complementar el estudio con un modelo numérico. Mencionaron tres casos de relaciones de aire primario-secundario: 70-30%, 60-40% y 50-50%; y dos casos de alimentación de aire secundario: utilizando solo tubos, y utilizando tanto tubos como la puerta misma de alimentación de bagazo. Como resultado se obtiene que los gases de combustión pueden alcanzar la temperatura de 1500 K si se opta por la alternativa de alimentar aire secundario únicamente mediante tubos y, a la vez, si la proporción de aire primario-secundario es de 50-50%.

Vinces y Poggi (2014) estudiaron las implicancias tecnológicas, sociales y ambientales de aprovechar los residuos forestales como biomasa mediante un proceso de torrefacción. Tienen como objetivo convertir dichos residuos en un dendrocombustible de alta densidad energética, compactable, triturable y de baja relación oxígeno-carbono. El estudio abarca las siguientes etapas: producción de pellets de biomasa leñosa torrefactada, análisis del flujo de procesos (torrefacción, secado y enfriado), aprovechamiento del calor residual, y distribución de los pellets. Se concluye que es factible satisfacer ciertas necesidades energéticas con esta tecnología, especialmente en las zonas rurales del Perú.

La organización Soluciones Prácticas (2015) ha desarrollado en Perú un sistema de cocción, llamado Fogón Mejorado, que elimina todo el humo generado en la cocina, mejora el aprovechamiento energético de la biomasa (leña, bosta de vacunos y bosta de alpacas) y evita enfermedades respiratorias relacionadas a esta actividad doméstica. Este sistema es capaz de concentrar y acumular una gran parte de energía térmica, permitiendo el ahorro del combustible y un menor tiempo de cocción; asimismo, optimiza el área de transferencia de calor de las ollas. El sistema está compuesto de una mesa o plataforma, que es la base sobre la que se colocan las ollas; el cuerpo del fogón, donde se realiza la combustión; chimenea, a través de la cual se liberan los gases de combustión fuera de la vivienda; y el embarrado, que es el acabado del sistema.

### 1.3. Marco teórico

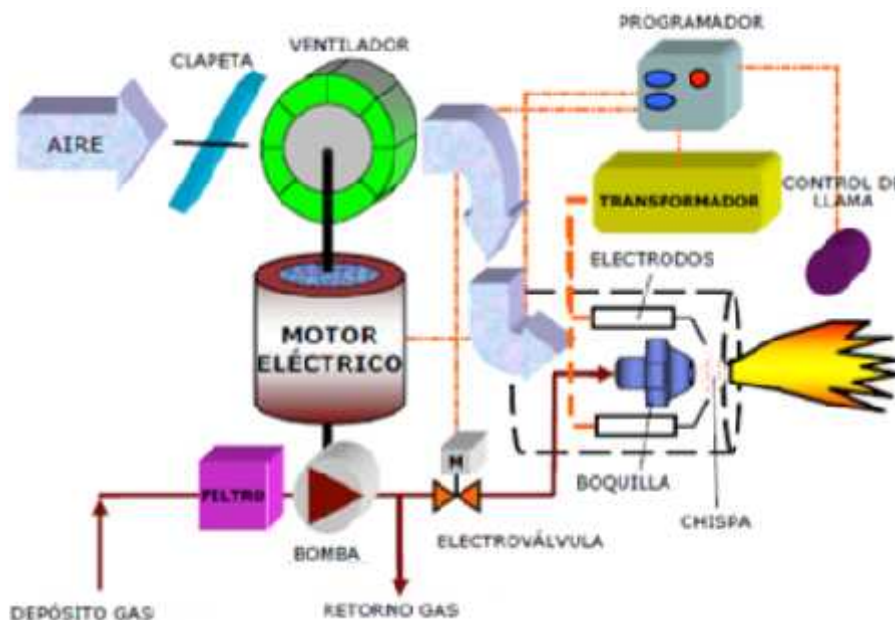
#### 1.3.1. Quemador

El quemador es un mecanismo que nos lavativa a provocar la calcinación.

Dependiendo del carburante a hartar, alteran los estilos de los quemadores. Requiriendo desintegrar a obstrucción el carburante y combustionar lo requerimos precalentarlo para flojear su untuosidad y rendimiento atomizarlo por espacios automáticos ayudándonos con clima comprimido o gas.

Un quemador está compuesto por numerosas partes, pero revisando las funciones de cada una, sus partes principales se agrupan conforme Figura 1.

- Abastecimiento de Aire: Ventilador (Turbina), Difusor.
- Utilización de Combustible: Válvulas solenoides, Bombas de combustible, Ductos de combustible, Boquillas.
- Encendido del Quemador: Transformador de ignición, Detector de llama



**Figura 1:** Partes Principales de un Quemador. Fuente: <https://steam-logic.com/blog/>

### **1.3.2. Partes del quemador**

#### **a. Ventilador (Turbina)**

Es el flujo de aire en lo que se genera el proceso de combustión. El ventilador proporciona el aire para la combustión, ya que el ambiente es involucrado para la cámara de combustión, lo toma del ambiente y lo presuriza adentro de la operadora de calcinación pasando antes por el vaporizador.

#### **b. Difusor**

Este tiene la finalidad de mezcla el aire entre las partículas de la combustión, en la cual tiene como finalidad de lograr una combustión eficiente, además se logra el efecto tangencial de aire para lograr una mayor transferencia de calor.

#### **c. Bombas De Combustible**

Es el parte que suministra a la boquilla con una presión para la bomba de combustión

En el acontecimiento de los quemadores a obstrucción de la bomba es la encargada de aprovisionar el carburante, normalmente a presiones que oscilan entre los 690 – 1034 Kpa (100 – 150 psi) según lo que solicita el método. En el riesgo de quemadores de atomización por gas o aire el abastecimiento de combustible lo realiza a presiones bajas, entre los 345 Kpa (50 psi) en este incidente se llamará bombas de transferencia de combustible.

#### **d. Válvulas Solenoides**

Se les llama válvulas eléctricas en la cual genera el control de la aprobación de combustible; estas son moderadas por el programador. Para calderos que tienen fuego alto-bajo, por ello tienen dos válvulas, la de carbón bajo solo deja correr un peso de carburante, permitiendo también un peso de vehemencia a la que se le denomina fuego bajo; la espita de rescoldo alto completa la cifra de combustible para incrementar la llama y lanzar la elaboración de gas, en fuego alto funcionan las dos válvulas. (Figura 2)





**Figura 2:** válvulas solenoides.

#### e. Ductos De Combustible

Existen varios tipos de caldera en las cuales los nombrare a continuación:

- Ducto de Combustible para Llama Piloto.
- Ducto de Combustible para Fuego Bajo.
- Ducto de Combustible para Fuego Alto.
- Ducto de Combustible para Caldero de Modulación Full.
- Ducto para Retorno de Combustible.

#### f. Boquillas

- Boquilla Quemador flama variable de tubo de hierro negro:

Esos quemadores son explotados en la totalidad de Galleterías, Panaderías, Snacks, etc. (Figura 3) los hornos de fuego directo realizan este tipo de quemador. Tienen un balanceo cuando se les aplica mínima incluso máxima fuerza, excelente Retención de la candela en los dos acontecimientos, es asistido por manual o mecánico, insignias de Acero inoxidable para experimentar los huecos por adonde sale la ardora las cuales se pueden asentar en desiguales configuraciones de acuerdo con la aplicación. Los quemadores pueden ser creados en cualquier distancia y volumen de acuerdo con la necesidad. Se obtienen en segmento interior de 1", 1 1/4", 1 1/2" y 2" en los cuales dependiendo del tipo de abertura e insignia se pueden recabar desiguales valideces de subsistencia por cada quemador.



**Figura 1:** Boquilla tubo hierro negro. Fuente: <http://cicsa-maxon.com.mx/quemador-en-tuberia-negra/>

- Boquilla de Quemador con ajuste de flama tubo acero inoxidable

FLYNN dispone un diámetro interno con paredes lisas, fue diseñado para subestimar la caída de presión, facilita una mayor uniformidad en la llama, mayor capacidad y una excelente relación en bajo y alto fuego. Esto puede ser reemplazado por cualquier quemador existente. Puede ser utilizado con Gas Natural, Propano o Butano. (Figura 4)



**Figura 2:** Boquilla tubo de acero inoxidable. Fuente: <http://cicsa-maxon.com.mx/quemador-distribuidor-extruido/>

- Boquilla de Quemador Tipo Listón con Ajuste de Flama:

Facilita un ajuste central y lateral para alcanzar el color adecuado del producto, así como descartar la humedad a mediante la banda. La cabeza del Quemador tiene una sola manivela para seleccionar algún patrón de llama. Se logra sustituir por cualquier quemador existente de tubería negra. Esto puede ser con Gas Natural, Propano o Butano para galletas y panadería industrial. (Figura 5)

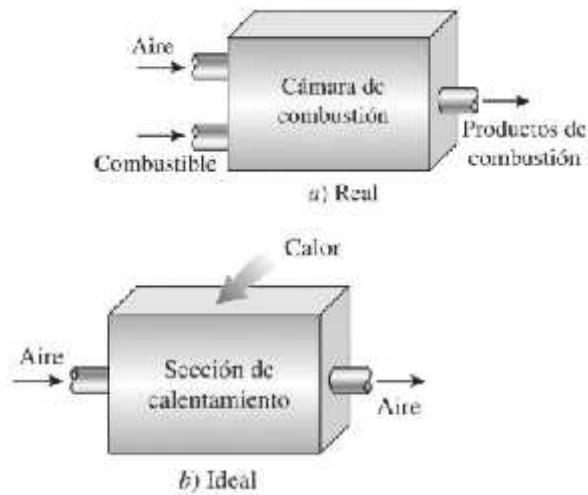


**Figura 3:** Boquilla tipo listón. Fuente: <http://cicsa-maxon.com.mx/quemador-distribuidor-en-tuber/>

#### **g. Suposición de aire estándar**

Los motores y las generadoras de fluido convencionales operan en un ciclo de butano. Estas maquinarias la fuerza se suministra al carbonizar en carburantes en el interior de las crenchas del procedimiento, en semejante son máquinas de quema interna. Los ciclos de resolución de flatos reales son bastante engorrosos. Para desvalorizar la disección de un nivel ajustable, se utilizan el aire estandar

- el flujo de trájín es aspecto que circula de estilo continuo en un autódromo cicatrizado y siempre se comporta como un efluvio ideal.
- todos los enjuiciamientos que integran el ciclo son interiormente reversibles.
- el sumario de calcinación es sustituido por un pleito de añadidura de ardor desde una fuente externa.
- el enjuiciamiento de permiso es sustituido por un juicio de descarte de fervor que regresa al fluido de encargo a su estado original. (Figura 6)



**Figura 6:** Esquema a) Cámara de Combustión Real. B) Sección de calentamiento Idealizado. Flujo másico de entrada y salida. Fuente: Termodinámica - Yunus Cengel, 7ma Edición.

#### **h. Tipos de sensores**

**Analógicos:** parámetro sensible - magnitud física.

Resistencia R - desplazamiento, temperatura, fuerza (galgas).

Capacidad C - desplazamiento, presencia.

Autoinducción, reluctancia L - desplazamiento (núcleo móvil)

Efecto Seebeck - temperaturas (termopar).

Piezoelectricidad - fuerza, presión.

Dispositivos electrónicos - temperatura, presión.

Avanzados: ionización, ultrasonidos, láser, cámaras CCD, etc.

**Digitales:** binarios o n bits.

Fin de carrera - presencia (interruptor)

Dilatación - temperatura (termostato).

Resistencia, capacidad, autoinducción - presencia.

Efecto fotoeléctrico.

## i. Control electrónico de Temperatura y Caudal

**Terminal de operador ABE:** Display de 4 líneas, contiene varios idiomas. Todas las funciones necesarias para los usuarios tengan el control del quemador (Marcha/Paro, Consignas, Cambio combustible, etc.).

Todos los trabajos se realizan mediante el técnico pueden disponer del quemador en marcha (acceso contraseña, parámetros de ajuste, de regulación de potencia, etc.).

Investigación de destrucciones: reglamento, época, hora, libro, etc. Montaje en quemador o separado (100 metros). Memorias no comerciales imborrable para afluencia de antecedentes. Puertos de entradas (serie, Ebus, Modbus) para integración (Modbus, Profibus-dp) en G.t.c. (Figura 7)



**Figura 7:** Terminal de operador ABE. Fuente:

[https://www.fenercom.com/pages/pdf/formacion/13-01-23\\_Jornada%20calderas%20industriales/04-Quemadores-SEDICAL-fenercom-2013](https://www.fenercom.com/pages/pdf/formacion/13-01-23_Jornada%20calderas%20industriales/04-Quemadores-SEDICAL-fenercom-2013)

**Servomotores:** servomotores digitales con procesador, realiza la hélice de regulación de control. Precisión de posicionamiento, de retroalimentación de colocación al regulador. (Figura 8)

Ajustes (revueltas) para líquido y gas, son estrategias de acomodamiento optimizada. Reemplaza al servomotor automotriz con palancas, micro pulsadores, etc. Posiciones grabadas en programador



**Figura 8:** Servomotores. Fuente:

[https://www.fenercom.com/pages/pdf/formacion/13-01-23\\_Jornada%20calderas%20industriales/04-Quemadores-SEDICAL-fenercom-2013](https://www.fenercom.com/pages/pdf/formacion/13-01-23_Jornada%20calderas%20industriales/04-Quemadores-SEDICAL-fenercom-2013)

**Controlador W-FM100/W-FM200:** Microprocesador reduplicado redundante.

Tiene como funcionalidad: la orientación y control del oportuno de la función y la solidez del quemador. Mismo estrépito para softwares de cuidado múltiples (combustibles, electroválvulas, etc). Conecta directamente a la electroválvula, conecta directa de presostatos.

Configuración en fábricas: minimizar el trabajo en la cual está en marcha. empalme al regulador de potencia externa, reemplaza al programador mecánico, reemplaza al control estanqueidad de electroválvulas de gas. Alberga la conexión e integración a GTC vía eBus y Modbus, Profibus-DP. Entrada para contador de combustible. (figura 9)



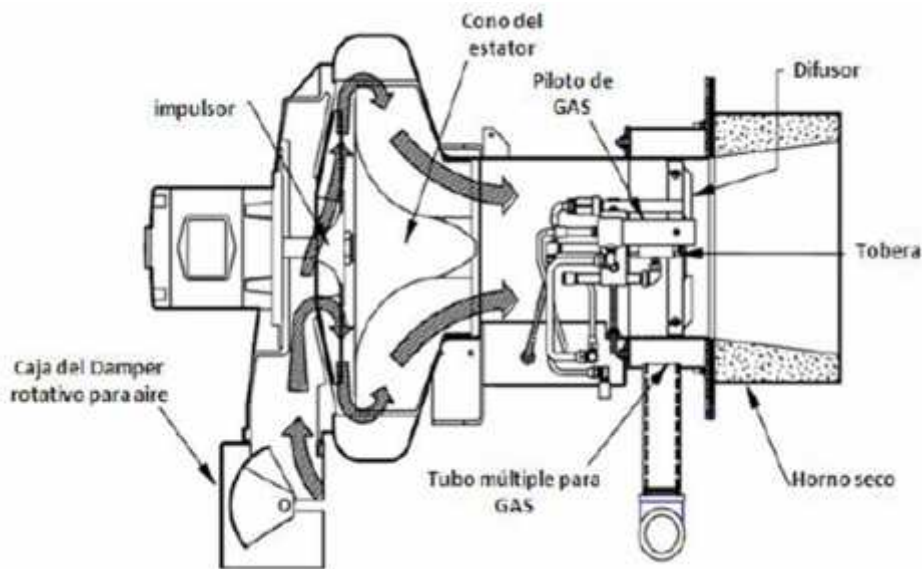
**Figura 9:** controlador W-FM100/W-FM200. Fuente:

[https://www.fenercom.com/pages/pdf/formacion/13-01-23\\_Jornada%20calderas%20industriales/04-Quemadores-SEDICAL-fenercom-2013](https://www.fenercom.com/pages/pdf/formacion/13-01-23_Jornada%20calderas%20industriales/04-Quemadores-SEDICAL-fenercom-2013)

### 1.3.3. Tipos de quemadores

#### a. Quemadores de gas a baja presión

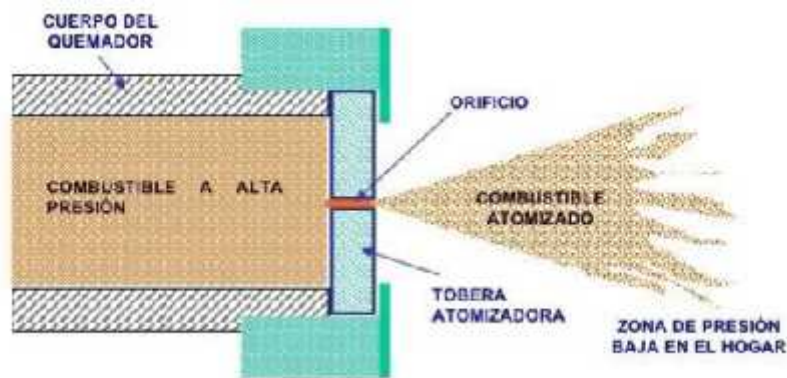
Estos operan entre los 10 mbar y los 2,5mbar. El quemador consta de un mecanismo de tipo Venturi simple, en el cual entra el gas en la zona de la garganta, por lo cual el aire para la combustión es succionado desde la parte posterior por el efecto Venturi. Estos quemadores están limitadas a 1 MW. (Figura 10)



**Figura 10:** Quemador de gas a baja presión Fuente: CLEAVER BROOKS. Installation, Operation, Service and Parts. P. 6.

#### b. Quemadores de gas de alta presión

Son presiones mayores, normalmente entre los 175 y 12mbar, y pueden introducir varias alcribís para producir una forma particular de flama. (Figura 11)



**Figura 11:** Quemador de gas de alta presión.

Fuente: <https://generaciondepotencia.files.wordpress.com/2011/03/quemadores-de-calderas.pdf>

### c. Quemadores tipo dual (gas/petróleo)

Los quemadores tipo dual, logran quemar combustible líquido o gaseoso; comúnmente, diseñan la utilización de gas como su combustible principal, sin embargo, tienen la característica de poder quemar. (Figura 12)

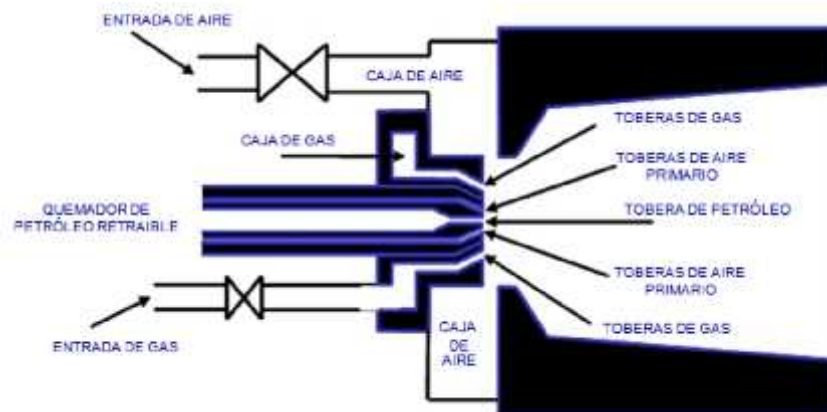
El cuadro más común al que solicita las empresas que tiene estos tipos de quemadores, es el que posee un almacén de combustible líquido y se emplea cuando el abastecimiento de gas se detenga.

Es por ello que el combustible gaseoso a líquido se realiza rápidamente, para agregar lo menos posible al desarrollo productivo o servicio que se esté considerando, el método se efectúa de la forma siguiente:

- Se cierra la línea de suministro de gas.
- Se abre la línea de suministro de combustible líquido.
- En el panel de control del quemador se selecciona “combustible líquido”, esto cambiará los parámetros de suministro de aire de combustión.
- Se purga y se vuelve a encender la caldera.

Este procedimiento es llevado a promontorio de un tiempo de periodo relativamente ajustado. Algunas entidades realizan este trastorno periódicamente solo con el objetivo de comprobar de que los obreros están familiarizados con el sistema y de que todo el muestrario funciona correctamente.



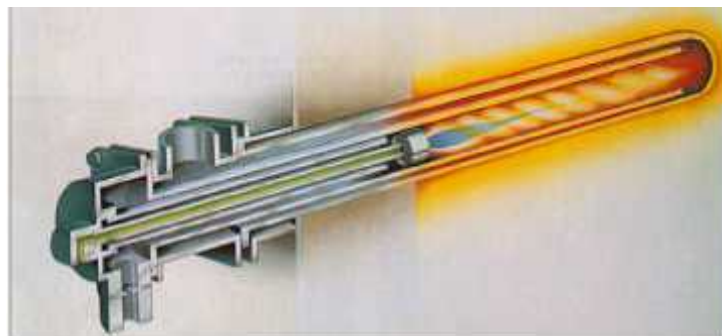


**Figura 12:** Quemador de tipo dual. Fuente: Dirección de enlace y programas regionales: eficiencia en calderas y combustión. p. 15.

#### d. Quemadores de tubos radiantes

Este quemador consta de gas y aire se realiza una combinación con un ángulo para el cual lo permite transferir calor por radiación esto conlleva a la convección por su propio giro. Este equipo está diseñado para quemar en tubos de acero o cerámica, su diseño brinda la necesidad de tener una buena homogeneidad de temperatura en el trayecto del tubo. (Figura 13)

Se suelen aplicar principalmente para calentamiento de líquidos.

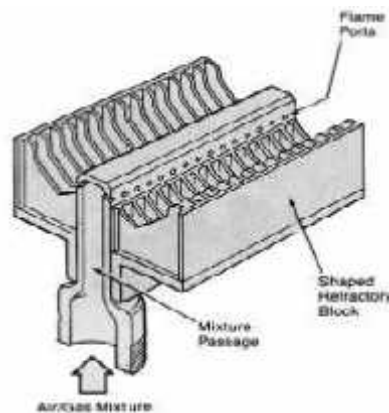


**Figura 13:** Quemador de tubo radiante. Fuente: <http://www.esapyronics.com/wpcontent/uploads/2014/12/E3902S.pdf>

### e. Quemadores infrarrojos

Estos son de tipo atmosférico, por lo cual se genera en la cercanía de la placa consta de una variedad de canales en la cual penetra el aire secundario. La placa cerámica llega al punto máximo donde el calor de la combustión se pone al rojo vivo y emite radiación. (Figura 14)

Existen quemadores ultrarrojos de cerámica porosa, en el cual la aleación aire/gas fluye a través de una baldosa porosa y la calcinación se realiza desde la colchoneta de la salida de la cerámica, incidiendo la llama sobre una maya de aceros inoxidables que pone en incandescencia punto la maya como la alfarería.



**Figura 14:** Quemador infrarrojo. Fuente: <http://cicsa-maxon.com.mx/quemador-uniglo>

### 1.3.4. Tipos de combustibles

**Combustibles Sólidos:** se categoriza en carbón, desecho de papel, madera, bagazo de la caña de azúcar, se manifiesta, en un sólido que se queme. Estos combustibles suelen ser económicos, en la cual se requiera quemadores especiales o instalaciones para el uso de sólidos, y para su residuo.

**Combustibles Líquidos:** estos son líquidos son más limpios y livianos, como la turbosina, gasolina y diésel. Los hornos de las industrias realizan quemaduras menos volátiles (más pesados)

**Combustibles Gaseosos:** GNV es el producto del sub suelo, son encontrados con el petróleo o solo. El gas natural es producido por los pozos del petróleo crudo,

donde simplemente se queman en llamas debido a los sistemas de recolección y distribución. Otros combustibles gaseosos de uso restringido son el biogás y el hidrógeno, conforme Tabla 1.

**Tabla 1:** Propiedades de los Combustibles según su Tipo (Estado).

Tipo de combustible	Combustible	Densidad media (kg/m <sup>3</sup> )	PCI (kJ/kg)	PCS (kJ/kg)
Sólido	Carbón Turba	360	21.300	22.500
	Carbón Lignito	1.050	28.400	29.600
	Carbón Hulla	1.350	30.600	31.400
	Carbón Antracita	875	34.300	34.700
	Bagazo variedad Cenicaña	n.d	n.d	8.477 (***)
	Bagazo variedad Mayagüez	n.d	n.d	9.474 (***)
	Bagazo variedad Venezuela	n.d	n.d	9.171 (***)
Líquido	Fuel oil No. 1	n.d	40.600	42.695
	Fuel oil No. 2	n.d	39.765	41.860
	Etanol puro	790	26.790	29.720
Gaseoso	Gas natural	(*)	39.900	44.000
	Propano	1,85 (**)	46.350	50.450
	Butano	2,4 (**)	45.790	49.675

**Fuente:**

[http://bdigital.unal.edu.co/46993/1/9789587615968\\_Energ%C3%ADayambiente.pdf](http://bdigital.unal.edu.co/46993/1/9789587615968_Energ%C3%ADayambiente.pdf)

#### 1.4. Definición de términos básicos

**Diseño Mecánico:** se encarga de dar forma, materiales, dimensiones, tecnología de fabricación y funcionamiento de una máquina para que cumpla una tarea de la funcionalidad o necesidades. Toma con importancia las temperaturas y presiones de operación, los desgastes del fluido, las ampliaciones térmicas y los trabajos térmicos.

**Análisis Térmico:** comprende primordialmente la determinación del área necesaria para trasportar calor a una velocidad específica a determinados niveles de flujo y temperatura en los fluidos.

**SolidWorks:** Es un software de diseño mecánico en 3d que emplea un dominio gráfico apoyado en Microsoft Windows, intuitivo y fácil de manejar. Su conformidad de trabajo accede a plasmar sus pensamientos de forma rápida sin necesidad de proceder a operaciones complejas y lentas. Permite modelar estancias y conjuntos, poner en marcha planos técnicos como otro tipo de asesoría necesaria para la obtención.

### **1.5. Formulación del Problema**

¿De qué manera, al desarrollar una metodología de diseño de quemadores para combustibles sólidos, se contribuirá a la formación académica de los estudiantes de Ingeniería Mecánica-Eléctrica de la Universidad Señor de Sipán?

### **1.6. Hipótesis**

No aplica

### **1.7. Objetivos**

#### **1.7.1. Objetivo General**

Diseño un quemador de combustibles sólidos, para estudios físicos y térmicos en la escuela de ingeniería mecánica eléctrica

#### **1.7.2. Objetivos Específicos**

- a. Proponer diferentes configuraciones de diseño en función al requerimiento establecido por el usuario.
- b. Calcular las dimensiones del quemador de combustibles sólidos usando principios termodinámicos y de transferencia de calor.

- c. Simular el funcionamiento del quemador de combustibles sólidos utilizando la dinámica de fluidos computacional con software de SolidWorks
- d. Realizar el análisis económico de la propuesta de investigación.

## **1.8. Justificación**

### **1.8.1. Justificación Económica**

El uso de un software de dinámica de fluidos computacional para el modelamiento de fenómenos energéticos y el diseño de sistemas térmicos reduce la necesidad de implementar procedimientos experimentales y, en ocasiones, destructivos, los cuales conllevan altos costos de operación y mantenimiento.

### **1.8.2. Justificación Ambiental**

Un quemador diseñado bajo la óptica de la dinámica de fluidos computacional y teniendo en cuenta las técnicas de optimización que ofrece, garantiza cierto nivel de eficiencia y, con esto, emite menos cantidad de CO<sub>2</sub>, CO, cenizas, entre otros gases. Además, de la concientización en el uso de biocombustibles sólidos.

### **1.8.3. Justificación Social**

Llevar a la realidad un quemador de combustibles sólidos eficiente y amigable con el medio ambiente tendrá un beneficio directo para las personas que realizan esta práctica, ya sea por motivos laborales o domésticos: obtendrán una óptima cantidad de energía y con el mínimo impacto ambiental. Se debe resaltar el hecho de que al generar menos cenizas, se reduce el riesgo de sufrir enfermedades respiratorias.

### **1.8.4. Justificación Técnica**

Muchas actividades domésticas e industriales emplean procesos de combustión para la generación de energía. Por lo tanto, es crucial desarrollar sistemas con la mayor eficiencia posible y que se adecúen a los estándares ambientales internacionales,

los cuales son cada vez más estrictos debido al contexto que se vive: calentamiento global. Asimismo, es fundamental el aprovechamiento de herramientas computacionales para reducir tiempos y costos propios de la experimentación.

Un quemador eficiente puede ser aprovechado por empresas de: metalmecánica, minería, hidrocarburos, generación de energía eléctrica, elaboración de cerámicos, entre otros.

## **II. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Tipo y Diseño de investigación**

#### **2.1.1. Tipo de investigación**

La presente investigación es de tipo correlacional, debido a que se va a observar la relación que tiene la variable independiente sobre la dependiente. (Sampieri, 2016).

#### **2.1.2. Diseño de investigación**

No experimental.

### **2.2. Población y muestra**

Este proyecto no aplica la población y muestra.

### **2.3. Variables**

#### **2.3.1. Variable independiente**

Diseño de una máquina de quemador de combustible a través de las Características de variable dependiente (dimensiones, flujo de energía, temperatura, velocidad del aire y densidad).

#### **2.3.2. Variable dependiente**

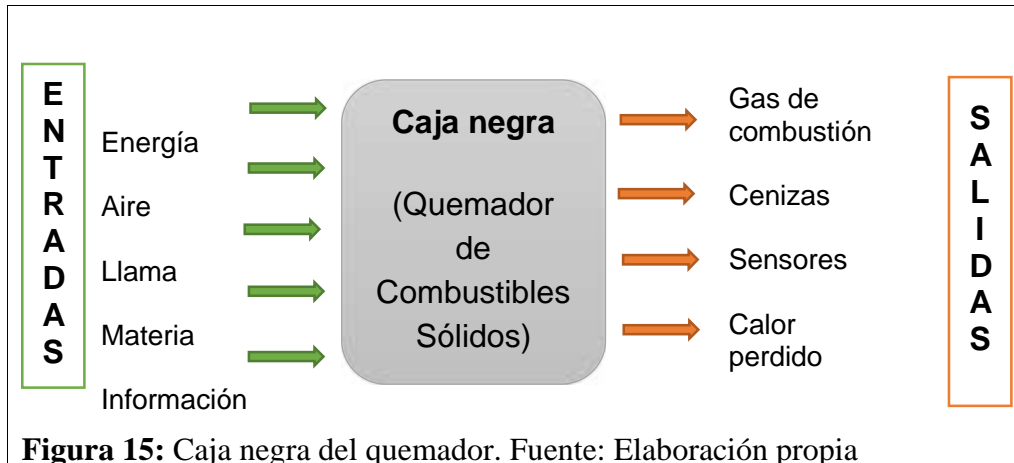
Contribuirá en los estudios físicos y térmicos de quemador de combustible (calor perdido, gas de combustión) para la escuela de ingeniería mecánica eléctrica de la Universidad Señor de Sipán.

### **2.4. Selección y diseño de quemador de combustible sólido**

Para estudiar y estimar la mejor solución de diseño, se efectuó una matriz morfológica, donde será la base importante para la selección de los componentes que mantendrá la máquina, mediante posición técnico se efectuó fórmulas sobre un diseño de máquina.

## 2.5. Caja negra

Es una vista global de parámetros que permite identificar y resumir rápidamente las variables que intervienen en el problema, donde se muestran los principales flujos



**Figura 15:** Caja negra del quemador. Fuente: Elaboración propia de entrada y salida. (Figura 15)

### ENTRADAS:

**Flujo de energía:** Energía mecánica suministrada por el motor y el aire comprimido.

**Flujo de aire:** Cantidad de aire (fluido) que atraviesa una dada superficie en un tiempo dado.

**Llama de autoignición:** Temperatura de ignición, empezará a arder.

**Materia:** Consume materia inorgánica.

**Flujo de información:** indicador de correcto funcionamiento ()

### SALIDAS:

**Gases de combustión:** Gas que sale a la atmósfera a través de un conducto.



**Cenizas:** Compuesto por sustancias inorgánicas no combustibles, queda como residuo de manera de polvo depositado en el sitio donde se ha carbonizado el combustible (leña, broza, etc.) y esto suele ser expulsada al aire a través del humo.

**Sensores:** son instrumentos que se encargan de detectar estímulos externos. Estos aparatos pueden transformar las magnitudes físicas o químicas en magnitudes eléctricas.

**Calor perdido:** Cantidad de calor que pierde hasta alcanzar el equilibrio térmico.

## 2.6. Operacionalización

**Tabla 2:** Operacionalización De Variables Independientes

Variables Independientes	Dimensión	Indicador	índice	Técnica de recolección de datos	Instrumentos de recolección de datos	Instrumentos de medición
Diseño De Máquina De Quemador De Combustible	Sistema Mecánico	Fuerza	N	Observación y análisis de documentos	Guía de observación / guía de análisis de documentos	Tacómetro
		Velocidad	Rpm			Torquímetro
		Torque	N.m			
	Sistema Neumático	Presión	Pa	Observación y análisis de documentos	Guía de observación / guía de análisis de documentos	Manómetro
		Caudal	m <sup>3</sup> /s			Caudalímetro
Sistema de Control	Tiempo	s	Observación y análisis de documentos	Guía de observación / guía de análisis de documentos	Cronómetro	

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 3:** Operacionalización De Variables Dependientes

<b>Variables Dependientes</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>	<b>Índice</b>	<b>Técnica de recolección de datos</b>	<b>Instrumentos de recolección de datos</b>	<b>Instrumentos de medición</b>
Estudios Físicos Y Térmicos De Quemador De Combustible	Calor Perdido	Caudal	Q	Observación y análisis de documentos	Guía de observación / guía de análisis de documentos	Caudalímetro
	Flujo de aire	Velocidad	m/s	Observación y análisis de documentos	Guía de observación / guía de análisis de documentos	Anemómetro
	Temperatura	Celsius	°C	Observación y análisis de documentos	Guía de observación / guía de análisis de documentos	Termómetro
	Densidad	Densidad solida	Kg/m <sup>3</sup>	Observación y análisis de documentos	Guía de observación / guía de análisis de documentos	Densímetro

**Fuente:** Elaboración propia

## **2.7. Técnicas e instrumentos de recolección de información**

### **2.7.1. Procedimientos para la recolección de información**

**Analítico:** Acedemos a realizar nuestro diseño de investigación por lo cual se visualizan los elementos que dispone el sistema mecánico y electrónico, analizando uno por uno con la finalidad de diseñar correctamente, y de que material estará fabricado cada componente, los cuáles son los más indicados para un buen diseño de investigación en el cual cumpla con los estándares de calidad y eficiencia.

**Sintético:** Realiza la recapitulación de información de los tipos del procedimiento mecánico y electrónico, con la finalidad de comprender el funcionamiento. Con este procedimiento partiremos de los múltiples elementos de la realidad del nivel local.

**Deductivo:** Este procedimiento brinda la recopilación de la situación en la que se localiza el departamento de Lambayeque y conociendo el problema sobre el quemador de combustible sólido, con lo cual se buscará sistemas adecuados.

### **2.7.2. Técnicas de investigación**

En esta investigación constaran con las siguientes técnicas:

**Observación:** Es un procedimiento en la cual se examina correctamente el fenómeno, hecho o caso, para tomar información y registrarla para ser el respectivo análisis.

La observación es un componente importante en el proceso investigación; por lo cual se apoya el investigador para lograr el mayor número de datos. Gran parte de los conocimientos que constituye la ciencia ha sido lograda por medio de la observación.

Pasos que se tienen que seguir para llevar a cabo la observación directa.

- a. Determinar el objeto, situación, caso, entre otras. (que se va a observar).
- b. Determinar los objetivos de la observación (para qué se va a observar).
- c. Determinar la forma con que se van a registrar los datos.
- d. Observar cuidadosa y críticamente.
- e. Registrar los datos observados.
- f. Analizar e interpretar los datos.
- g. Elaborar conclusiones.

**Análisis de documentos:** Con este método se demanda información con respecto al diseño propuesto, para tener su composición.

Se selecciona la información acerca de las maquinas que se va emplear para el proceso de quemado.

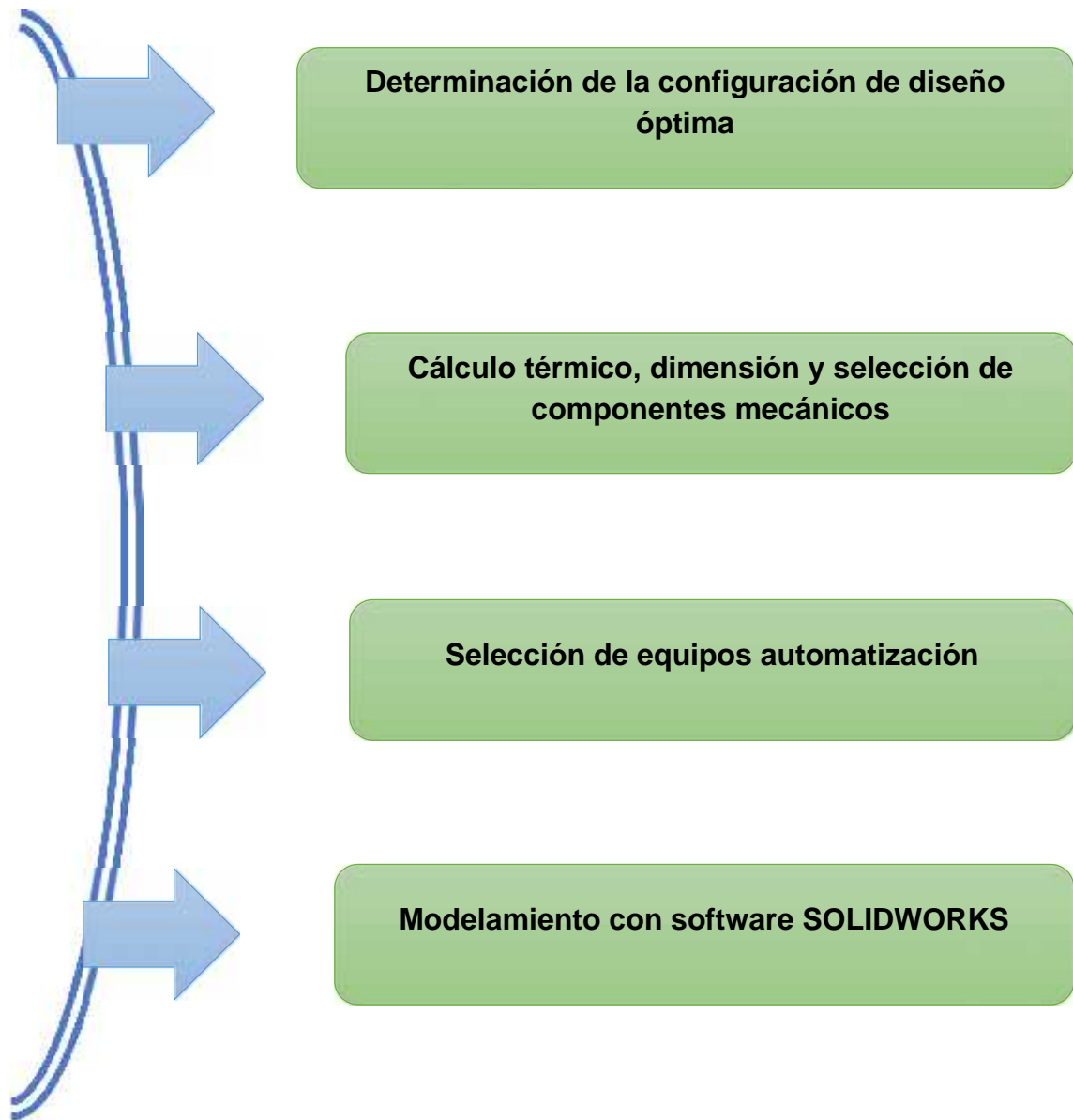
Es por ello que recurrimos a distintas empresas, para que brinde información real sobre el quemado de combustible.

### **2.7.3. Descripción de los instrumentos utilizados**

**Guías de observación:** La decisión de este trabajo de investigación se manifestó del concepto de mantener la comprobación de la intensidad del fuego. El departamento de Lambayeque no tiene una buena gestión.

**Cuestionario:** Se ejecuto diversas entrevistas a personal de operador en el rubro de quemadores de combustibles sólidos como también a los usuarios, en el cual me brindaran datos para la elaboración del diseño.

## 2.8. Diagrama de flujo de procesos



**Figura 16:** Flujo de Procesos. Fuente: Elaboración Propia

## 2.9. Descripción de procesos

Conforme Figura 16 se describe:

### **Determinación de la configuración de diseño óptima**

Por medio de una matriz morfológica y un análisis técnico, se tendrá la mejor opción de solución para el diseño del proceso de quemador de combustible sólido.

### **Cálculo térmico, dimensión y Selección de componentes mecánicos**

Realizando el análisis de los resultados obtenidos de la fuerza, velocidad, torque se calcularán de manera contemplativo los componentes del sistema mecánico y se procederá a la selección de los elementos mecánicos de acuerdo con exigencias.

### **Selección de equipos de automatización.**

El encargado del control de la maquina y se realiza la selección de acuerdo con las entradas y salidas que necesite el diseño de quemador combustible.

### **Modelamiento con software SOLIDWORKS.**

Los elementos serán modelados mediante software de ingeniería con la finalidad de percibir los elementos mecánicos, la optimización del diseño se realizará mediante el análisis de elementos finitos y el post proceso.

## **2.10. Validación y confiabilidad de instrumentos**

### **2.10.1. Aspectos éticos**

El presente trabajo de investigación tiene como surgencia de brindar la exposición y recolección de antecedentes, generando en noticias bibliográficas de autores de artículos científicos, tesis; las cuales, con el debido respeto a la autoría, sirvieron de guía para la preparación de este trabajo de investigación, así como también existe explicación que nos pertenece como raíz propia

### **2.10.2. Principios de rigor científico**

El presente proyecto está diseñado con la finalidad de garantizar la obtención de resultados, que se presentarán durante el desarrollo del proyecto; cuyos datos estarán basados en instrumentos y/o pruebas de carácter científico; que validen nuestro análisis.

### **III. RESULTADOS**

Maximiano conceptualizó el diseño como una empresa temporal o una secuencia de actividades con un comienzo, un medio y un final programados, que tiene como objetivo brindar un producto único, dentro de las limitaciones presupuestarias. Un diseño suele ser una actividad periódica con un conjunto bien definido de resultados finales deseados. Puede dividirse en subtareas que deben llevarse a cabo para lograr los objetivos del proyecto de diseño. El diseño puede llegar a ser suficientemente complejo, ya que las subtareas requieren una cuidadosa coordinación en términos de tiempo, precedencia, costo y desempeño.

El proceso de diseño de una máquina se puede dividir en las siguientes fases:

- 1° Análisis de las necesidades del usuario;
- 2° Diseño conceptual;
- 3° Proyecto preliminar;
- 4° Proyecto detallado;
- 5° Construcción de prototipos;
- 6° Pruebas y modificaciones del prototipo;
- 7° Documentación del proyecto.

Para esta investigación no se considerará el 5° y 6° paso llevando al proyecto hasta la simulación del proceso.

En cada una de estas fases del desarrollo del producto se aplican técnicas y herramientas, para un mejor desempeño del proceso de diseño y una mayor garantía de satisfacción de las necesidades del usuario. Algunas de estas técnicas y herramientas se enumeran en la Tabla 4, según las etapas de desarrollo del proyecto.



**Tabla 4 - Morfología y metodología del proyecto.**

Morfología y metodología del proyecto			
Fase	Morfología de Proyecto	Aspectos	Metodología del proyecto ("Herramientas")
1	Análisis de necesidades	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deseos del cliente.</li> <li>- Análisis del ciclo de vida del producto.</li> <li>- Benchmarking.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Despliegue de la Función de Calidad (QFD).</li> <li>- Cuadro de identificación de problemas (QIP).</li> </ul>
2	Diseño conceptual	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concepto / Idea.</li> <li>- Creatividad</li> <li>- Valor vs Costos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estructura de funciones</li> <li>- Búsqueda de Principios de soluciones (Matriz Morfológica)</li> <li>- <i>Lluvia de ideas</i>.</li> </ul>
3	Proyecto preliminar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Optimización y cálculos de ingeniería.</li> <li>- Análisis de deformaciones, intercambio de calor, flujo, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cálculo y análisis de ingeniería.</li> <li>- Previsión de factibilidad técnica</li> </ul>
4	Proyecto detallado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dibujos para fabricación.</li> <li>- Estandarización según estándares.</li> <li>- Materiales estandarizados.</li> <li>- Posibles procesos de fabricación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DFM (Diseño <i>para fabricación</i>).</li> <li>- Normas ISO, ABNT, DIN, etc.</li> <li>- Software de diseño industrial.</li> </ul>
5	Construcción de prototipo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prototipo de proyecto especial (producción para cliente).</li> <li>- Prototipo para productos en serie (genera el jefe de serie del lote de fabricación)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prototipado rápido.</li> <li>- Impresoras 3D.</li> <li>- Trabajo artesanal, ajuste.</li> </ul>
6	Pruebas y modificaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajustes y certificación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Métodos estandarizados para pruebas.</li> </ul>
7	Documentación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manuales de instrucción / fabricación / montaje.</li> <li>- Patentes.</li> <li>- Borradores, informes, certificado de materiales materias primas, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Infografía (simbología fácil de entender).</li> </ul>

### 3.1. Requerimiento del Usuario - Características de Ingeniería

El Despliegue de la Función de la Calidad es una herramienta en la fase de Análisis de Necesidades del cliente. Para comenzar a utilizar la taza da Cualidades, primero es necesario recopilar información relacionada con los atributos del consumidor (RU) y las características de ingeniería (CI).

Se realizó una encuesta a Docentes Investigadores que trabajan en el Taller de Ciencias Térmicas para recopilar información referente a los requerimientos y características de diseño, las indicaciones del usuario se evaluaron según su grado de importancia (g.i) en una escala del 1 al 3, de menor a mayor importancia. Siendo los resultados de estos atributos conforme tabla 4.

**Tabla 5:** Requerimientos del Usuario

Atributo	Grado de Importancia (g.i)		
	1	2	3
Rentable			X
Segura		X	
No contamina		X	
Confiable		X	
Estética	X		
Productivo		X	
Duradero		X	
Simple de operar		X	
Fácil montaje		X	
Potencia óptima			X

Por otro parte, en función de diversos autores se obtuvo información relacionada a las características ingenieriles los que deben tener valores fijos y unidades de medida:

- Costo de adquisición (de S/. 1.000,00 a S/. 2.000,00)
- Costo de mantenimiento (de S/. 50,00 / año a S/. 150,00)
- Consumo de combustible (de 0,4 kg / hora a 2 kg / hora)
- Salida de calor (2 a 10 kcal / h)
- Masa del equipo (15 a 30 kg)
- Tiempo de funcionamiento sin repostar (1 a 2 horas)
- Número de partes móviles desprotegidas (0%)
- Emisión de ruido (de 40 a 70 dB)
- Emisión de contaminantes (0,05 gr / m<sup>3</sup>)
- Pérdidas de calor (0,02 - 0,1 kcal / h)

### **3.1.1. Despliegue de la Función de la Calidad**

El despliegue de la Función de la Calidad es una metodología estructurada para organizar la información del Usuario y las características de ingeniería.

Ayuda a los diseñadores a identificar explícitamente los requisitos del consumidor, relacionarlos con las características de ingeniería, encontrar soluciones de compromiso y evaluar las características potenciales del producto en relación con los productos de la competencia. La Figura 17 muestra un nivel intermedio entre los dos puntos de vista RU y CI generando una información más compacta para el análisis.

QFD (DESPLIEGUE DE FUNCIONES DE CALIDAD)- CASA DE CALIDAD

Atributos del consumidor (CA's)	Característica de ingeniería (EC's)											Grado de importancia (1, 2 y 3)	Peso relativo	Punto de referencias		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			1	2	
La máquina es barata	1	9	3	3	3	3	3	3	1	9	3	1	3	12.5	1	2
Es seguro	2	3	1	0	0	3	1	9	3	9	9	3	3	12.5	3	2
No contamina	3	3	3	1	1	3	0	0	3	0	9	1	2	8.3	3	1
Es confiable	4	3	9	0	0	3	1	3	0	3	3	3	3	12.5	3	2
Es hermoso	5	3	0	0	0	1	0	3	3	0	0	0	1	4.2	3	1
Es productivo	6	3	3	3	9	3	9	0	1	3	1	0	3	12.5	3	2
Es duradero	7	3	3	0	0	9	0	3	0	9	0	1	2	8.3	3	2
Es operación simple	8	3	3	0	0	0	9	0	0	0	0	0	2	8.3	1	3
Es de simple de adaptación	9	3	9	0	0	3	3	3	3	0	3	1	2	8.3	2	3
Es potente	10	9	3	9	9	3	3	0	0	0	3	3	3	12.5	3	2
<b>PESO DE IMPORTANCIA</b>		14	450										<b>24</b>	<b>100.0</b>		
<b>IMPORTANCIA RELATIVA (%)</b>		58.3	18.75													
<b>UNIDADES DE MEDIDA</b>		R\$	R\$/ano	kg/h	kg/h	kg	hora	%	dB	anos	g/m <sup>3</sup>	kg/h				
<b>VALORES DE META</b>		1200 - 2000	50 - 150	0.4 - 2	2 - 10	15 - 30	5 a 12	0	40 - 70	5	0.05	0.02 - 0.1				

Figura 17: Despliegue de la Función de Calidad para el Proyecto.

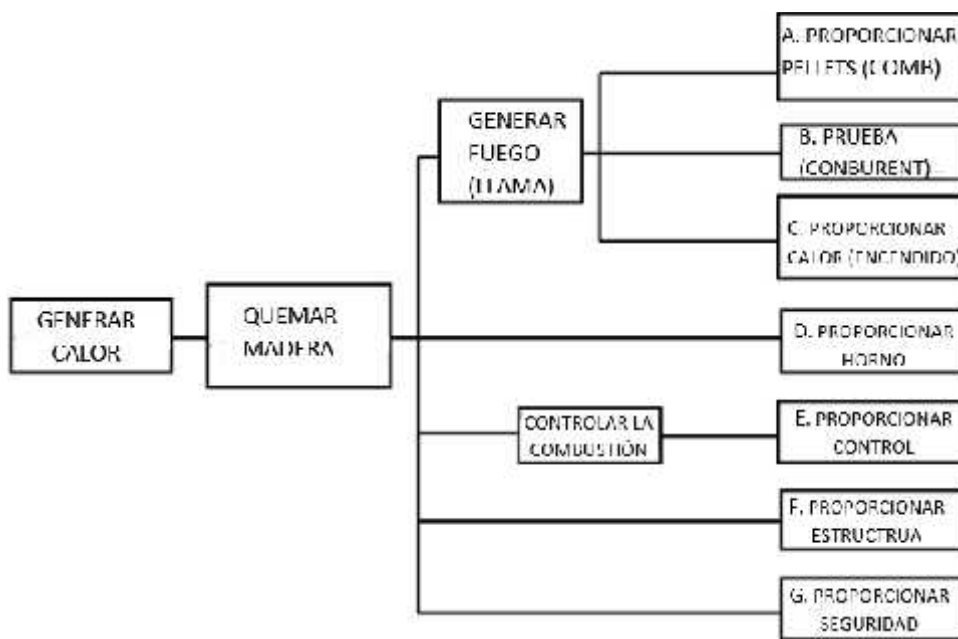
### 3.1.2. Análisis Funcional de la Máquina

El análisis funcional de un sistema es una técnica de jerarquía que induce el pensamiento lógico. Se inicia con la función de nivel superior, que es la función deseada del producto, hasta que se alcanzan las funciones de nivel inferior, que hacen posible la función de nivel superior.

Para aplicar esta técnica, siempre se definen un verbo y un sustantivo para cada función. Estas definiciones no deben estar sesgadas hacia un producto en la mente del diseñador, sino un verbo y un sustantivo neutro, que sirven para las más diversas soluciones.

Una vez que se encuentran las funciones de bajo nivel, se utilizarán más adelante para buscar principios de solución.

A continuación, en la Figura 18, se muestra el esquema de funciones del quemador semiautomático de pellets de madera.



**Figura 18:**

Diagrama de Funciones de la Máquina para quemador de pellets semiautomático.

### 3.2. Matriz Morfológica

Esta es la etapa de búsqueda de principios, mecanismos y elementos de máquinas que resuelvan las necesidades representadas por las funciones encontradas en la Figura 18. Para cada función encontrada se buscó al menos tres alternativas, de manera que a partir de estas alternativas sea posible elaborar los productos conceptuales, generando la Figura 19.



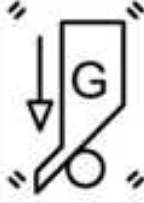
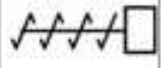


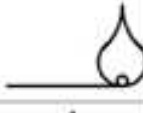
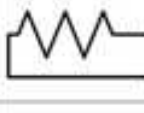


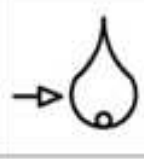
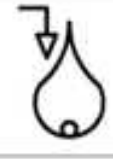
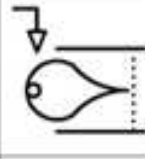







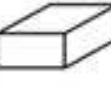
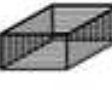
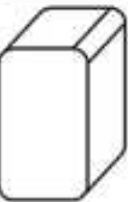
SUB – FUNCIONES		PRINCIPIOS DE SOLUCIÓN			
		1	2	3	4
CONJUNTO DE FUEGO (LLAMA)	A. PROPORCIONA MECANISMO (COMBUSTIBLE)				
	B. PROPORCIONA OXÍGENO (OXIDANTE)				
	C. PROPORCIONA CALOR (IGNICIÓN)				
LOCAL EN LLAMAS	D. PROPORCIONAR HORNO				
CONTROL DE QUEMA	E. PROPORCIONAR CONTROL				
ESTRUCTURA	F. PROPORCIONAR ESTRUCTURA				
SEGURIDAD	G. PROPORCIONAR SEGURIDAD				

Figura 19: Matriz Morfológica.

Así, se estudiaron y organizaron las posibles soluciones a continuación, con una breve descripción de cada opción:

### **3.2.1. Alimentación de Combustible Sólido (Pellets)**

#### **- Manual (A-1)**

Alimentación del horno de forma manual. Solo viable para pruebas.

#### **- Gravedad (A-2)**

Alimentando el horno por gravedad. Una vez los pellets A medida que arden, se convierten en cenizas y caen a través de una rejilla, dejando espacio para que entren más pellets en la cámara de combustión.

#### **- Gravedad – vibración (A-3)**

Alimentación del horno por gravedad combinada con la acción de un vibrador. los pellets pasar por una rampa que tiene unos 25 grados de inclinación, manteniendo los pellets detenido por la acción de la fricción estática. El vibrador está unido a la rampa. Cuando se activa el vibrador, los pellets se deslizan por la rampa y descienden hasta la cámara de combustión.

#### **- Transportador de tornillo / transportador helicoidal (A-4)**

Alimentación mediante un transportador de tornillo, también conocido como transportador helicoidal.

### **3.2.2. O<sub>2</sub> (oxidante)**

#### **- Medio ambiente (B-1)**

Alimente el fuego con aire a presión y temperatura natural y el ambiente donde está instalado el quemador.

#### **- Entorno forzado (B-2)**

Alimente el fuego con aire forzado por un ventilador radial.

#### **- Ambiente forzado precalentado (B-3)**

Alimentar el fuego con aire forzado por un ventilador radial, precalentando antes de llegar a la cámara de combustión.

### **3.2.3. Proporcionar calor (ignición)**

- Manual (gel de fósforo + alcohol) (C-1)

Enciende el fuego manualmente, con fósforo y mecheros.

- Resistencia eléctrica en contacto (C-2)

Encienda el fuego con el calor de una resistencia eléctrica en contacto con el combustible.

- Resistencia eléctrica - aire forzado (C-3)

Enciende el fuego con aire caliente de una resistencia eléctrica.

### **3.2.4. Tipo de Horno**

- Quemador de alimentación inferior (D-1)

Proporcionar un horno en los estándares de quemadores con menor potencia.

- Quemador de alimentación horizontal (D-2)

Proporcionar un horno en el patrón de quemadores con alimentación horizontal.

- Quemador de alimentación superior de bandeja (D-3)

Proporcionar horno en los patrones de quemadores con suministro superior.

- Horno tubular horizontal con quemador de alimentación superior (D-4)

Proporcionar un horno en los patrones de quemadores con alimentación superior de tubo horizontal.

### **3.2.5. Proporcionar control**

- Manual (E-1)

Control manual mediante registros, manivelas, palancas, interruptores, etc.

- Cronometrado (E-2)



Controla la combustión mediante controladores de tiempo (temporizadores) generando una alimentación de llama intermitente.

- Volumen / min (E-3)

Controla la combustión usando " atenuadores", Manteniendo un suministro constante, regulando la cantidad de combustible por unidad de tiempo.

- Temperatura deseada (E-4)

Controlar automáticamente la combustión, indicando la salida deseada (temperatura), mediante termopares, circuitos integrados o controladores del mercado.

### **3.2.6. Estructura**

- Estructura metálica en partes (F-1)

Se trata de más de una estructura, todas en placas metálicas, conectadas por mangueras para pellets y cables eléctricos

- Estructura metálica monobloque (F-2)

Es una estructura de chapa que contiene todos los conjuntos

- Estructura metálica revestida (F-3)

Se trata de una o más estructuras con revestimiento metálico externo, quedando solo el panel de control electrónico y una tapa de acceso para cargar el tanque de agua. pellets.

### **3.2.7. Seguridad**

- Cierre total de partes móviles (G-1)

Se trata del cerramiento con placa de acero lisa de las partes móviles.

- Cierre perforado de partes móviles (G-2)

Se trata del cerramiento con chapa de acero perforada (ventilada) de las partes móviles.

- Cerramiento del sistema (G-3)

Se ocupa del cerramiento completo de todo el sistema.

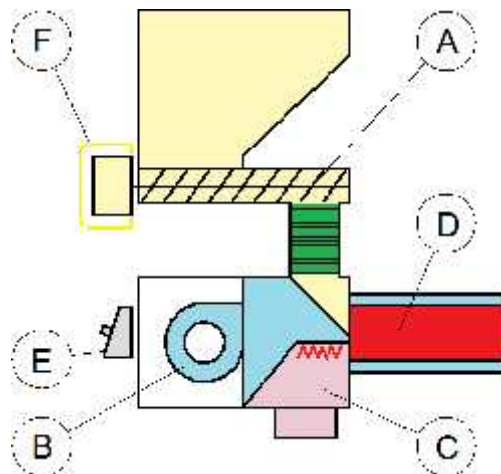
### 3.3. Configuraciones de Diseño

La síntesis de los conceptos es el resultado de la agrupación de soluciones compatibles de la Matriz Morfológica. De esta forma, tres concepciones diferentes de Quemadores de Combustibles Sólidos, como se describe y presenta a continuación.

#### 3.3.1. Concepto de Solución 1

El diseño del quemador 1 es para aplicaciones en intercambiadores de calor existentes, es decir, el quemador no tiene intercambiador de calor en su estructura, solo genera calor. Tiene un concepto como se muestra en la Figura 20.

El combustible sólido se alimenta mediante un transportador sinfín (A), el aire se suministra al fuego mediante un ventilador radial (B), este aire se precalienta alrededor del tubo de combustión antes de entrar al horno. El encendido se realiza mediante un sistema de aire caliente (C) compuesto por un ventilador y una resistencia eléctrica. El horno (D) es de tipo tubular horizontal, lo que facilita la adaptabilidad a los sistemas de intercambio de calor preexistentes. La combustión se controla mediante atenuadores variando el volumen de combustible y aire para la combustión (E). Las partes móviles están protegidas mediante placas perforadas (F), lo que permite una mejor refrigeración del motor eléctrico.



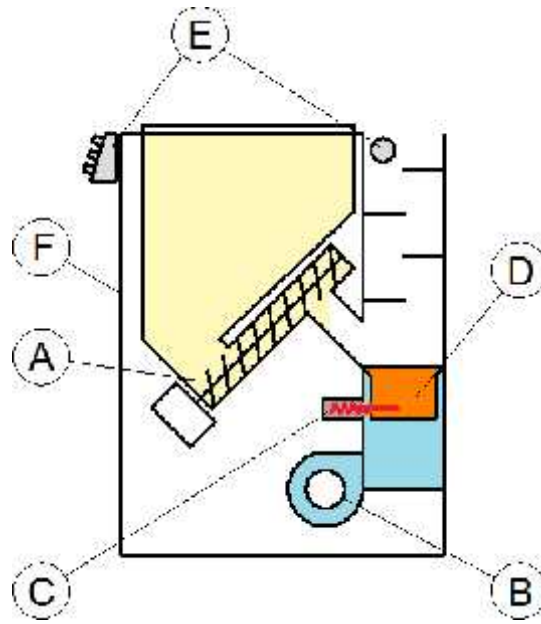
**Figura 20:** Concepto de Solución 1

### **3.3.2. Concepto de Solución 2**

El diseño del quemador 2 es para aplicaciones de calentamiento de aire o agua, teniendo intercambiadores de calor en su propia estructura. Tiene un concepto como se muestra en la Figura 21.

los pellets se alimentan al fuego mediante un transportador sinfín (A), el aire se suministra al fuego mediante un ventilador radial (B), este aire se precalienta alrededor del tubo de combustión antes de entrar al horno. El encendido se realiza mediante una resistencia eléctrica colocada en el lecho del horno de combustión (C). El horno (D) es de tipo bandeja, permitiendo la visualización del fuego, muy importante para chimeneas bolita. El control de combustión se realiza electrónicamente donde los termopares envían señales a un circuito integrado que indica la temperatura del agua o del aire (E). El Circuito Integrado

procesa la información y envía señales al transportador y los hilos ventilados, regulando el volumen de pellets y aire para combustión. El almacenamiento, los conjuntos de cocción y las partes móviles están protegidos por una caja externa que cubre todo el sistema (F).

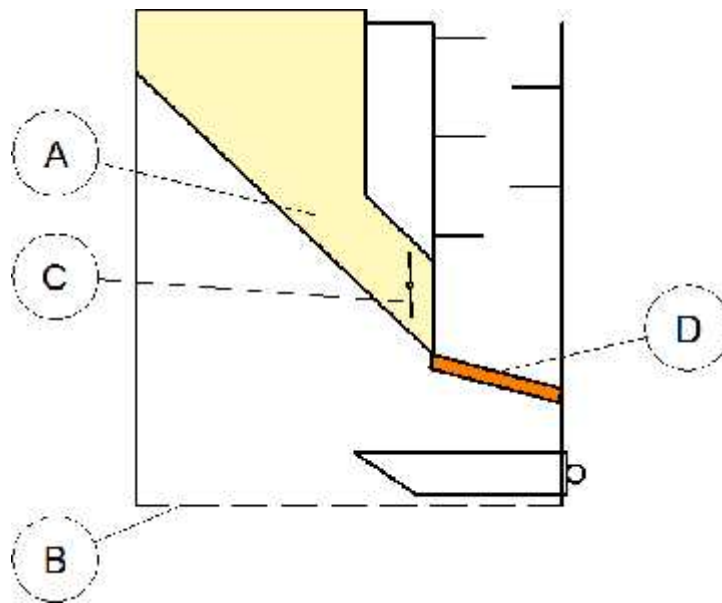


**Figura 21:** Concepto de Solución 2

### 3.3.3. Concepto de Solución 3

El diseño del quemador 3 es para aplicaciones de calentamiento de aire o placa metálica para aplicaciones culinarias, teniendo intercambiadores de calor en su propia estructura. Tiene un concepto como se muestra en la figura 22.

Los pellets se alimentan al fuego mediante un tubo inclinado, por la fuerza gravitacional (A). El aire se suministra al fuego mediante la convección natural que genera la chimenea, es decir, cuando la chimenea se calienta genera un flujo de aire ascendente, a medida que sube el aire caliente, disminuyendo la presión interna del horno provocando el aire exterior. entrar en el horno de forma natural (B). El encendido se produce de forma totalmente manual, requiriendo algunos trozos de papel o un poco de algodón con alcohol en gel para iniciar el fuego. El control de la combustión se realiza manualmente mediante un registro (C) en el tubo de bajada de los pellets. El horno (D) consta de una rejilla, donde el pellet que ya se han quemado y convertido en cenizas caen de la rejilla a un recipiente para las cenizas.



**Figura 22:** Concepto de Solución 3

### 3.4. Evaluación de conceptos

La valoración de los conceptos se basa en los requerimientos de los usuarios los cuales fueron resumidos en características técnicas deseables y con los correspondientes pesos relativos.

Para cada concepción, las calificaciones se otorgaron según el grado de satisfacción de la característica deseada por el usuario. Estos valores se multiplican por el peso de cada característica y se suman los resultados de esta multiplicación, con un valor para cada diseño al final, como se puede ver en la penúltima línea de la Tabla 6, en cada diseño.

El Concepto 2 tiene un precio muy elevado y es de difícil adaptación, requisitos solicitados por el cliente

Concepto 3 es muy asequible, pero tiene muchas características que no satisfacen los deseos del usuario

**Tabla 6:** Matriz de Ponderación para Quemador de Combustible sólido

REQUERIMIENTO	Peso	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3
Rentable	12,5	8	3	10
Seguro	12,5	9	10	6
No contamina	8.3	9	9	6
Confiable	12,5	7	9	4
Estético	4.2	8	10	4
Productivo	12,5	9	8	6
Duradero	8.3	8	8	6
Fácil Operación	8.3	8	9	5
Fácil Ensamble	8.3	10	2	0
Potencia	12,5	9	9	5
<b>TOTAL DE PUNTOS</b>	<b>100</b>	<b>849,9</b>	<b>762.2</b>	<b>546,4</b>
<b>GRADO DE SATISFACCIÓN</b>		<b>85%</b>	<b>76,2%</b>	<b>54,6%</b>

Así, se puede apreciar que la concepción 1 tuvo el mayor grado de satisfacción del cliente, considerando las características deseadas y cumplidas por cada concepción. Así, el siguiente paso es realizar el diseño detallado y la construcción del prototipo, según el concepto 1.

### **3.5. Cálculo térmico**

Una vez determinada la mejor configuración de diseño según las propuestas, las que a su vez fueron basadas en el requerimiento del usuario y características ingenieriles tomadas del levantamiento bibliográfico, se realizan los cálculos para el dimensionamiento y selección de componentes térmicos y mecánicos.

#### **3.5.1. Cabina de combustión**

Es una de las partes principales del quemador de combustibles sólidos, en donde se producirán las reacciones termoquímicas propias del fenómeno de combustión y, debido

a esto, estará expuesta a temperaturas muy altas. Estará conformada por paredes internas, externas y aislante térmico.

Según Alexis T. Belonio especialista en diseño de quemadores de cascarillas de arroz, se sigue las siguientes fórmulas para el diseño:

$$\dot{m}_c = \frac{P_g}{P_c \cdot \eta_T \cdot PCI_c} \quad \text{ECUACIÓN 1}$$

Donde:

$\dot{m}_c$ : Flujo másico de combustible (kg/h)

$P_g$ : Potencia requerida (kcal/h)

$PCI_c$ : Poder calorífico inferior del combustible (kcal/kg)

$\eta_T$ : Eficiencia térmica

$$A_t = \frac{\dot{m}_c}{REG} \quad \text{ECUACIÓN 2}$$

Donde:

$A_t$ : Área transversal de la cabina (m<sup>2</sup>)

$REG$ : Relación específica de gasificación (kg/h.m<sup>2</sup>)

$$D_t = \left( \frac{4 \cdot A_t}{\pi} \right)^{0.5} \quad \text{ECUACIÓN 3}$$

Donde:

$D_t$ : Diámetro de la cabina (m)

$$L_q = \frac{R \cdot t_{op}}{\rho_c} \quad \text{ECUACIÓN 4}$$

Donde:

$L_q$ : Longitud de la cabina (m)

$t_{op}$ : Tiempo de operación (h)

$\rho_c$ : Densidad del combustible (kg/m<sup>3</sup>)

A continuación, se presentan los datos de entrada para el cálculo en la tabla 7.

**Tabla 7:** Datos iniciales para el inicio del cálculo térmico

Especificaciones	Valor
Potencia del quemador	35 kW
Poder calorífico del pellet	4041 kcal/kg
Densidad del pellet	639 kg/m <sup>3</sup>
Eficiencia térmica del quemador	80%
Relación específica del quemador	100 kg/h.m <sup>2</sup>

Entonces, considerando los datos anteriores, se tienen los siguientes resultados en la Tabla 8.

**Tabla 8:** Datos para la obtención de flujo másico y dimensiones de cabina

Fórmulas	Valores
Flujo másico de combustible	
$m_c = \frac{3010k /h}{4041 \frac{k}{h} \times 0.8}$	$m_c = 0.9310$
Área transversal de la cabina	
$A_q = \frac{0.9310k /h}{\frac{100k}{h - m^2}}$	$A_q = 9.31 \times 10^{-3} m^2$
Diámetro de la cabina	
$D_q = \left( \frac{4 \times (9.31 \times 10^{-3})^{0.5}}{\pi} \right)$	$D_q = 0.108 + 30\% m$
Longitud de la cabina	
$L_q = \left( \frac{100k}{639 k /m^2} \times 3h \right)$	$L_q = 0.46 m$



### 3.5.2. Transferencia de calor – Aislamiento Térmico

El calor transferido por el mecanismo de radiación por los gases de combustión se calcula de la siguiente manera:

$$q_c = 4.0 \cdot \sqrt[3]{P_c} \cdot S \left( \frac{T}{1} \right)^{3.5} \quad \text{ECUACIÓN 5}$$

$$q_H = 4.0 \cdot P_H \cdot S^{0.6} \left( \frac{T}{1} \right)^3 \quad \text{ECUACIÓN 6}$$

Donde:

$q_{CO_2}$ : Potencia por unidad de área transferida por radiación por el  $CO_2$  ( $W/m^2$ )

$q_{H_2O}$ : Potencia por unidad de área transferida por radiación por el  $H_2O$  ( $W/m^2$ )

$P_{CO_2}$ : Presión parcial del  $CO_2$  (bar)

$P_{H_2O}$ : Presión parcial del  $H_2O$  (bar)

S: Factor de seguridad al incinerar el pellet (0.9)

T: Temperatura al interior de la cabina (K)

Entonces, el calor neto por radiación es:

$$\dot{Q}_r = \dot{Q}_{ca} - \dot{Q}_p \quad \text{ECUACIÓN 7}$$

Si la temperatura de la pared interna se encuentra a la misma temperatura que la pared externa, entonces se desprecia la transferencia de calor entre ellas, siendo cuantificada solo la transferencia de calor por radiación proveniente de la combustión.

$$\dot{Q}_r = \dot{Q}_{ca} = q_r \cdot A_s \quad \text{ECUACIÓN 8}$$

Donde:

$q_{rad}$ : Calor por unidad de área ( $W/m^2$ )

$A_s$ : Área superficial de la cabina ( $m^2$ )

Para establecer las presiones parciales de cada gas de combustión se analiza su composición volumétrica a  $1000^\circ C$ , obteniéndose:

$$P_c = x_c \cdot P_{at} \quad \text{ECUACIÓN 9}$$

$$P_H = x_H \cdot P_{at} \quad \text{ECUACIÓN 10}$$

Donde:

$x_{CO_2}$ : Composición volumétrica del CO<sub>2</sub> (6,6%)

$x_{H_2O}$ : Composición volumétrica del H<sub>2</sub>O (8,6%)

$P_{atm}$ : Presión atmosférica (101325 Pa)

Por lo tanto, se obtienen los siguientes datos de la Tabla 9.

**Tabla 9.** Datos de transferencia de calor por radiación

Fórmulas	Valor
Presión parcial del CO <sub>2</sub>	
$P_{CO_2} = 0.066 \times 101325$	6687 Pa
$P_{CO_2} = 6687 \text{ Pa} = 0,067 \text{ bar}$	0,067 bar
Presión parcial del H <sub>2</sub> O	
$P_{H_2O} = 0.086 \times 101325 \text{ Pa}$	8714 Pa
$P_{H_2O} = 8714 \text{ Pa} = 0,087 \text{ bar}$	0,087 bar
Calor transferido por el CO <sub>2</sub>	
$q_{CO_2} = 4,07 \times \sqrt[0,067 \times 0,9]{\left(\frac{1193,6}{100}\right)^{3,5}}$	9376,49 W/m <sup>2</sup>
$q_{CO_2} = 9376,49 \text{ W/m}^2$	
Calor transferido por el H <sub>2</sub> O	
$q_{H_2O} = 4,07 \times \sqrt[0,087 \times 0,9]{\left(\frac{1193,6}{100}\right)^{3,5}}$	921,15 W/m <sup>2</sup>
$q_{H_2O} = 921,15 \text{ W/m}^2$	
Calor transferido por radiación	
$q_c = q_{CO_2} + q_{H_2O} = 10297,64 \text{ W/m}^2$	2232,21 W
$Q_r = 10297,64 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times (\pi \times 0,15 \text{ m} \times 0,46 \text{ m})$	
$Q_r = 2232,21 \text{ W}$	

En el siguiente paso se calcula la transferencia de calor por conducción y convección desde el interior de la cabina hasta el ambiente externo:

$$\dot{Q}_c = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_p + R_a + R_p + R_{II}} \quad \text{ECUACIÓN 11}$$

A tener en cuenta:

La pared interna por estar a una alta temperatura será de acero inoxidable o un acero con bajo contenido de carbono; asimismo, la pared externa, por estar en un ambiente oxidante, será de acero galvanizado.

Para calcular el espesor de la pared interna se usa la fórmula recomendada por la ASME:

$$t = \frac{P \cdot R}{S_t \cdot E - 0,6} \quad \text{ECUACIÓN 12}$$

Donde:

t: Espesor de pared interna (m)

P: Presión interna (Pa)

R: Radio de la cabina del quemador (m)

S<sub>t</sub>: Esfuerzo a la tensión del material (175,30 MPa)

E: Eficiencia de soldadura

$$t = \frac{101325 P \times 0,075 m}{175,30 \times 10^6 P \times 0,6 - 0,6(101325 P)}$$

$$t = 7,134757155 \times 10^{-1}$$

$$t = 0,0007 m = 0,1 m$$

Para establecer el espesor de la pared se debe tener en cuenta también la pérdida de corrosión.

Las resistencias térmicas que intervienen en la transferencia de calor desde el interior de la cabina hacia el exterior (Ecuación 11) se determinan así. (CENGEL, SHAPIRO)

$$R_p = \frac{II \left( \frac{A_e}{A_i} \right)}{2\pi \cdot k_a \cdot L_c} \quad \text{ECUACIÓN 13}$$

$$R_a = \frac{II \left( \frac{B_L}{A_e} \right)}{2 \cdot k_a \cdot L_c} \quad \text{ECUACIÓN 14}$$

$$R_p = \frac{11 \left( \frac{H_e}{H_f} \right)}{z \cdot k_a \cdot L_c} \quad \text{ECUACIÓN 15}$$

$$R_h = \frac{1}{z \cdot R_e \cdot H_e \cdot H_f} \quad \text{ECUACIÓN 16}$$

Donde:

$R_{p1}$ : Resistencia térmica de pared interna (K/W)

$R_{aisl}$ : Resistencia térmica del aislante (K/W)

$R_{p2}$ : Resistencia térmica de pared externa (K/W)

$R_{he}$ : Resistencia térmica convectiva en el exterior (K/W)

$K_{acero}$ : Conductividad térmica del acero (W/m.K)

$K_{aisl}$ : Conductividad térmica del aislante (W/m.K)

$H_e$ : Coeficiente de transferencia de calor convectivo del exterior (7,76 W/m<sup>2</sup>.K)

$L_c$ : Altura de la cabina (m)

A su vez, se calcula la potencia térmica total transferida es:

$$\dot{Q}_t = \dot{Q}_c + \dot{Q}_r \quad \text{ECUACIÓN 17}$$

Siguiendo el circuito térmico desde la generación de calor por combustión y su flujo hasta el exterior mediante mecanismos de radiación, convección y conducción, se puede calcular la temperatura superficial exterior.

De esta manera, se definen los siguientes resultados (Tabla 10)

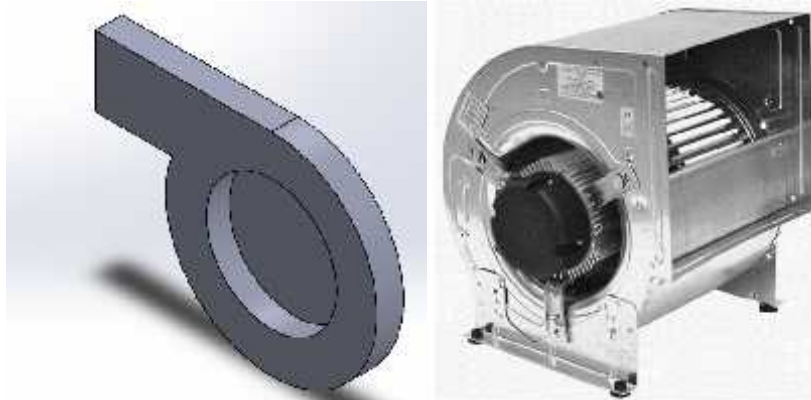
**Tabla 10.** Resultados de Transferencia de Calor

Características Térmicas	Valores
Espesor de la pared	2 mm
Resistencia térmica de pared interna	$4,45 \times 10^{-4} \text{ K/W}$
Resistencia térmica de aislante	0,5599 K/W
Resistencia térmica de pared externa	$3,199 \times 10^{-4} \text{ K/W}$
Resistencia térmica convectiva en el exterior	0,428 K/W
Potencia térmica transferida por convección	1596,3 W
Potencia térmica total	
$Q_t = \frac{T_\infty - T}{R_{p1} + R + R_{p2}}$	3828,51 W
$Q_t = Q + Q$	
$Q_t = 2232,21 + 1596,3 \text{ W}$	
$Q_t = 3828,51 \text{ W}$	
Temperatura superficie exterior	
$Q_t = \frac{T_\infty - T}{R_{p1} + R + R_{p2}}$	
$3828,51 \text{ W} = \frac{1193,15^\circ\text{K} - T}{0,56066 \text{ k/w}}$	91,85 °C
$T = \frac{1193,15^\circ\text{k}}{3,828,51 - \frac{0,56066 \text{ K}}{\text{W}}}$	
$T = 365,11^\circ\text{K} = 91,85 \text{ °C}$	

Si bien es cierto el cálculo arrojó un espesor de aislante térmico de 1", se selecciona un aislante de 2" para disminuir aún más la temperatura externa.

### 3.5.3. Ventilador Centrífugo

Sobre la selección del ventilador centrífugo, se determinan las siguientes cantidades de los reactivos de la combustión, para una cantidad de 100 kg de combustible:



**Figura 23.** Referencial Ventilador Centrífugo

**Tabla 11.** Cantidad de reactivos para 100 kg de pellets

Componente	Moles
Oxígeno	5,51 kmol
Carbono	6,98 kmol
Hidrógeno	4,20 kmol

La relación aire-combustible se calcula a partir de la relación estequiométrica de la reacción química de combustión:

$$R_{a-c} = \frac{a \cdot (2 \cdot \bar{M}_O + 2 \cdot 3,7 \cdot \bar{M}_N)}{m_c} \quad \text{ECUACIÓN 18}$$

Donde:

a: Número de moles del aire (kmol)

$M_O$ : Peso molecular del oxígeno (kg/kmol)

$M_N$ : Peso molecular del nitrógeno (kg/kmol)

$m_c$ : Masa del combustible (kg)

Asimismo, el caudal del aire se calcula:

$$\dot{V}_a = \frac{\varepsilon \cdot m_c \cdot R_{a-c}}{\rho_a} \quad \text{ECUACIÓN 19}$$

Donde:

$V_a$ : Caudal del aire ( $m^3/h$ )

$\varepsilon$ : Porcentaje del aire estequiométrico

$\dot{m}_c$ : Flujo másico del combustible (kg/h)

$R_{a-c}$ : Relación aire-combustible

$\rho_a$ : Densidad del aire ( $kg/m^3$ )

Con la ecuación 18 y 19 se tienen los resultados conforme Tabla 12.

**Tabla 12.** Datos para selección de ventilador

Fórmulas	Valores
Relación aire-combustible	
$R_{a-c} = \frac{a \cdot (2 \cdot \bar{M}_O + 2 \cdot 3,76 \cdot \bar{M}_N)}{m_c}$	
$R_{a-c} = \frac{5,31 \text{Kmol}(2 \times 14 \text{kg/mol} + 2 \times 3.76 \times 18 \text{kg/mol})}{100K}$	8,67 kg aire/kg combustible
$R_{a-c} = 8,67 \text{kg} \frac{\text{aire}}{\text{kg}} \text{ pellets}$	
Caudal del aire	
$\dot{V}_a = \frac{\varepsilon \cdot \dot{m}_c \cdot R_{a-c}}{\rho_a}$	
$\dot{V}_a = \frac{0,4 \times 2k / h \times 8.67K \text{ a } /K \text{ r}}{1,4}$	4,954 $m^3/h$
$\dot{V}_a = 4,954 \text{ m}^3/h$	

Para el encendido del quemador, se empleará un sistema eléctrico, cuya potencia se calcula así:

$$P_e = \frac{\dot{Q}_r \cdot x_1}{x_2}$$

ECUACIÓN 20

Donde:

$Q_{rad}$ : Calor transferido por radiación (W)

$x_1$ : 1 kg de pellet cada 75 minutos.

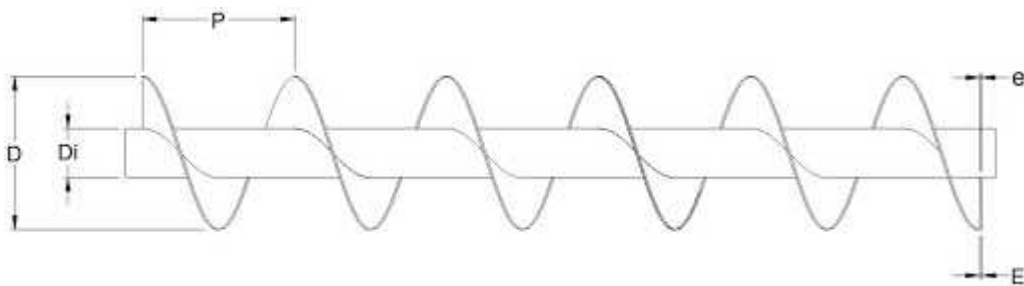
$x_2$ : 8 kg de pellet cada hora.

$$P_e = \frac{\dot{Q}_r \cdot x_1}{x_2}$$
$$P_e = \frac{2232,21W(1KG)}{8 KG}$$
$$P_e = 278,91 \text{ Wats}$$

Desarrollando dicha ecuación, se define una potencia de encendido de 278,91 W.

### 3.5.4. Transportador Helicoidal

Para la alimentación de pellets (Figura 24) debe considerarse los siguientes datos que fueron obtenidos en las ecuaciones anteriores. (Ver Table 13)



**Figura 24:** Transportador Helicoidal de alimentación

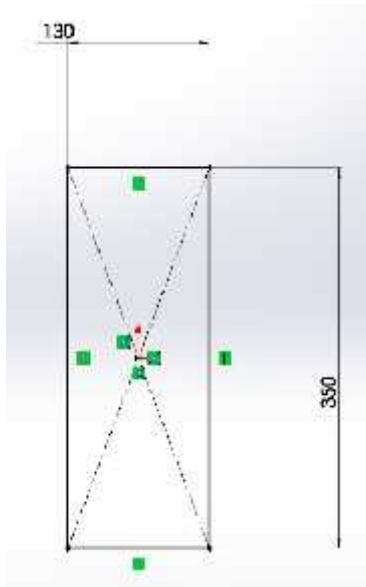
**Tabla 13.** Datos del sistema de alimentación de pellets

Características	Valor
Alimentación de pellets	8 kg/h
Tamaño de pellets	6 mm
Poder calorífico de pellets	4041 kcal/kg

Así mismo, las dimensiones de la rejilla de combustión y bandeja de cenizas deben obedecer dimensiones conforme la Figura 25.



a) *Pieza 3 Rejilla Para Combustión*



b) *Pieza 4 Bandeja De Cenizas*



**Figura 25.** Imagen referencial a) Rejilla de Combustión, b) Bandeja de cenizas

### 3.6. Simulación de la Combustión

Mediante la simulación se busca comparar la información del modelo teórico calculado de transferencia de calor y así validar el diseño del quemador de pellets, analizando procesos y distribución térmica en el interior del sistema analizado.

#### 3.6.1. Detalles de Proyecto:

- Sistema de Unidades: SI (m-kg-s)
- Tipo de análisis: Interno

#### 3.6.2. Parámetros de Simulación

Para iniciar con la simulación es necesario configurar la simulación conforme el requerimiento de análisis. (Tabla 14)

**Tabla 14.** Dimensiones, análisis de malla y cálculos físicos adicionales

Dimensiones Básicas de Malla	
Número de celdas en X	20
Número de celdas en Y	14
Número de celdas en Z	8
Análisis de Malla	
Total, de celdas contadas:	49401
Celdas de Fluido:	18548
Celdas de Solido:	30853
Celdas Parciales:	13396
Celdas recortadas:	0
Cálculos físicos adicionales	
Análisis de transferencia de calor	Conducción
Tipo de fluido	Laminar y turbulento
Dependencia de tiempo	No
Gravedad	Si
Radiación	Si
Humedad	No

### 3.6.3. Configuración de Materiales

Se consideraron los siguiente materiales y fluidos con sus respectivas propiedades conforme Tabla 15.

**Tabla 15.** Propiedades de materiales y fluidos que intervienen en el análisis

Aire	
Calor Específico (Cp/Cv)	1.399
Masa	0.29 kg/mol
Acero Inoxidable 302	
Densidad	7900 kg/m <sup>3</sup>
Calor Especifico	500.0 J/(kg*K)
Conductividad Térmica	16.3000 W/(m*K)
Conductividad Eléctrica	7.2000e-07 Ohm*m
Propiedades de radiación	No
Temperatura de fusión	Si
Temperatura	1400 °C
Aislamiento Térmico	
Densidad	1000.00 kg/m <sup>3</sup>
Calor Especifico	1000.0 J/(kg*K)
Conductividad térmica	0 W/(m*K)
Conductividad Eléctrica	Dieléctrico
Radiación	No

### 3.6.4. Condiciones Iniciales

Se consideraron las siguientes condiciones iniciales para el análisis conforme la Tabla 16.

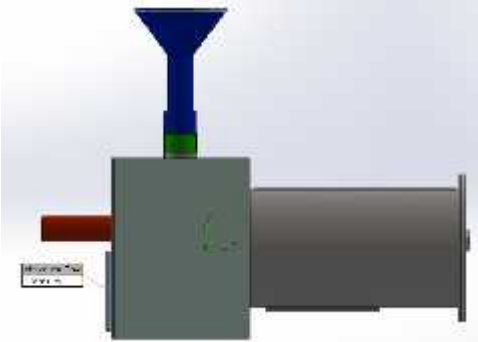
**Tabla 16.** Parámetros condiciones iniciales

Parámetros Termodinámicos	Presión estática: 101325.00 Pa
	Temperatura: 20.05 °C
Velocidades de Parámetros	Velocidades del vector:
	Velocidad en dirección X: 0 m/s
	Velocidad en dirección Y: 0 m/s
	Velocidad en dirección Z: 0 m/s
Parámetro de Sólidos	Material: Acero Inoxidable
	Temperatura inicial del sólido: 20.05 °C

### 3.6.5. Condiciones de frontera

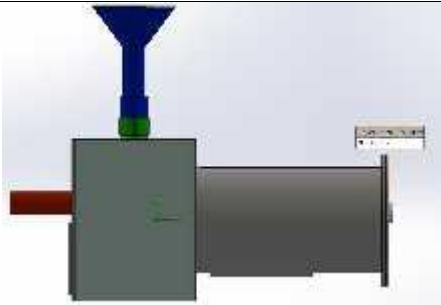
Primero se describen las condiciones de frontera del quemador considerando el Flujo volumétrico de entrada conforme la tabla 17.

**Tabla 17.** El flujo Volumétrico hace referencia al volumen de aire ingresado por tiro forzado desde el ventilador seleccionado.

Tipo	Ingreso de flujo volumétrico
Caras	
Sistema de Coordenadas	Coordenada según caras
Eje de referencia	X
Parámetros de flujo	Caudal Volumétrico: 0.0826 m <sup>3</sup> /s ó 4.954m <sup>3</sup> /h Flujo Completamente Desarrollado: Si
Parámetro Termodinámico	Presión aproximada: 101325.00 Pa Temperatura: 20.05 °C

Luego, la Presión del Medio según Tabla 18.

**Tabla 18.** Extremo abierto al ambiente por donde se obtiene la máxima salida de calor

Tipo	Presión Ambiente
Caras	
Sistema de Coordenadas	Según referencia de cara
Eje de referencia	X
Parámetros Termodinámicos	Presión ambiental: 101325.00 Pa Temperatura: 20.05 °C

El Flujo másico de entrada se describe en la Tabla 19

**Tabla 19.** El flujo másico hace referencia a la expansión de los gases producto de la combustión de los pellets, tomando una temperatura referencial de la quema de dichos componentes a 850 °C.

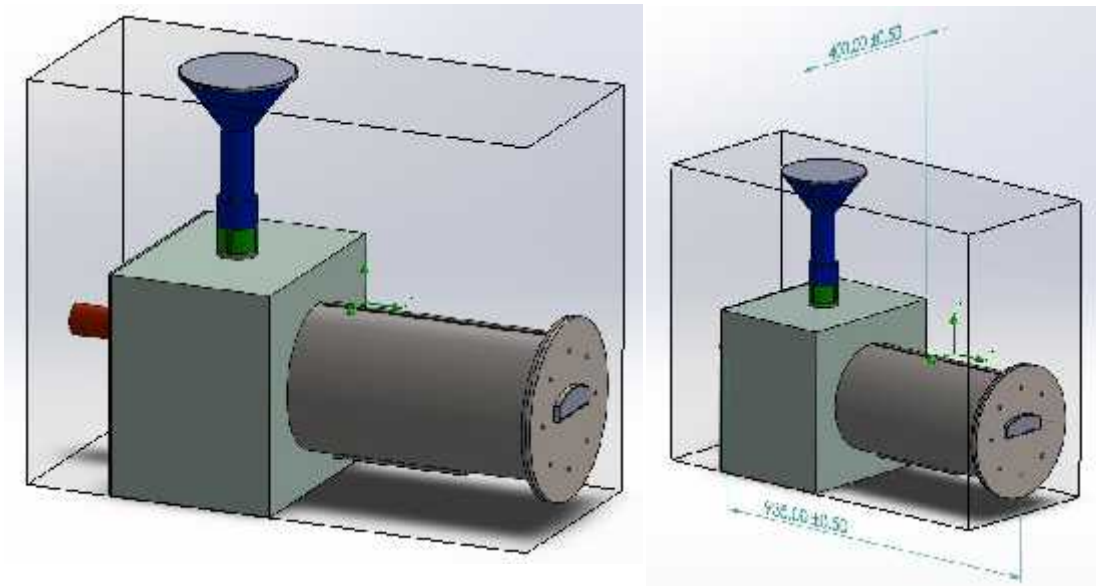
Tipo	Flujo másico de entrada
Caras	
Sistema de Coordenadas	Según referencia de cara
Eje de referencia	X
Parámetros de flujo	Flujo másico: 0.2690 kg/s Fluido Completamente desarrollado: Si
Parámetros termodinámicos	Presión aproximada: 101325.00 Pa Temperatura: 850.00 °C

### 3.6.6. Tiempo de Análisis:

Para efectuar la simulación el Tiempo de cálculo se desarrolló en 45 s considerando un Número de 98 Iteraciones.

### 3.7. Resultados de la Simulación

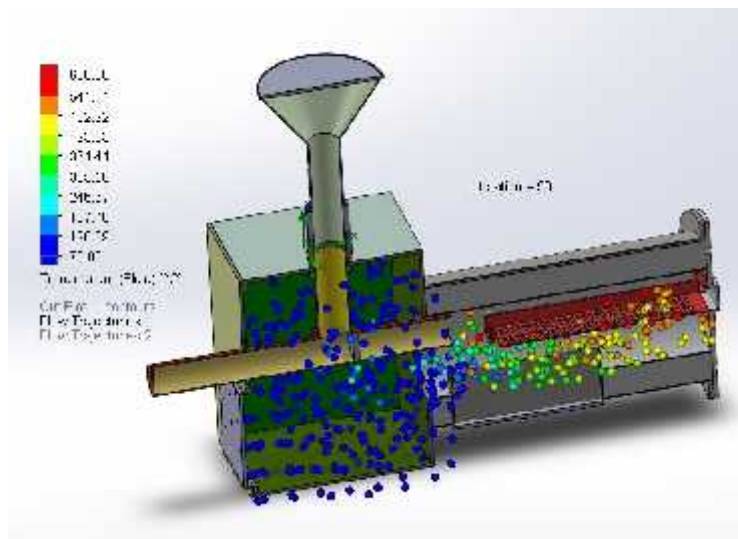
Presentada las dimensiones generales del Quemador mediante un cálculo analítico-matemático, se genera el volumen de control (Figura 26)



**Figura 26.** Volumen de Control para el análisis del quemador

### 3.7.1. Capturas de Simulación: Aire de Ingreso

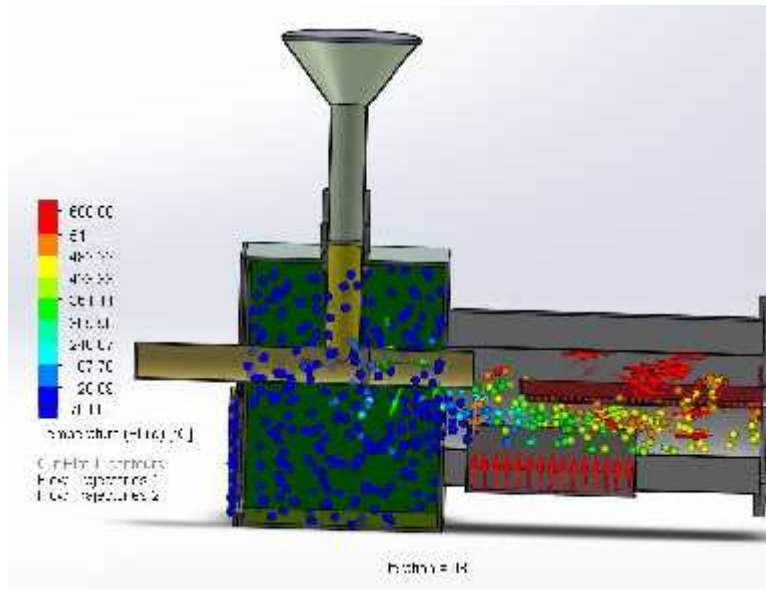
Ejecutada la simulación se puede apreciar mediante una representación en forma de esferas, la trayectoria que toma el aire impulsado desde el ventilador hasta la salida frontal del quemador, con un flujo volumétrico de 4.954 m<sup>3</sup>/h (0.0826 m<sup>3</sup>/s) que al interactuar con la combustión de los pellets aumenta su temperatura hasta llegar a la salida del mismo con un valor cercano a los 600 °C. (Figura 27)



**Figura 27.** Simulación ingreso de aire al quemador.

### 3.7.2. Simulación de gases de combustión

Con la finalidad de obtener valores cercanos a lo que sucedería en la realidad del quemador, se procedió a representar los gases de combustión a través de un flujo másico de 0.269 Kg/s con una temperatura de 850 °C, dicho flujo se encuentra representado en la parte inferior a través de flechas e interactúan con el aire de ingreso. (Figura 28)

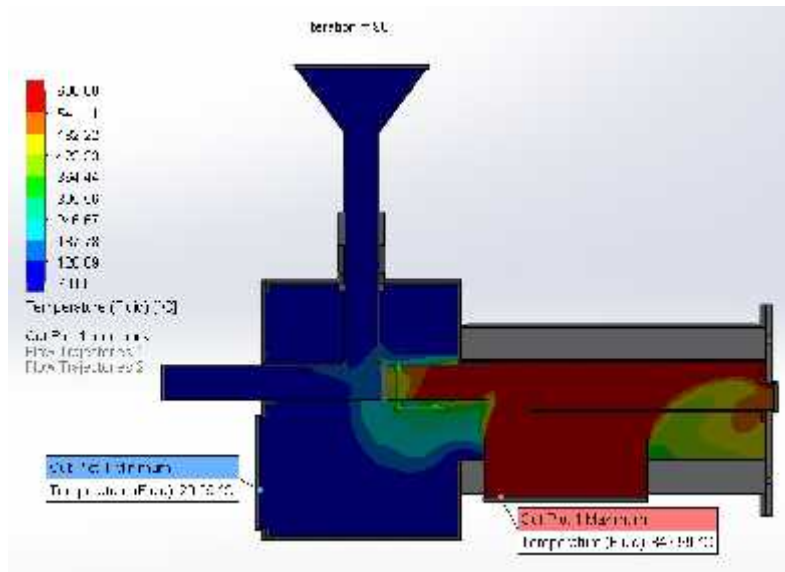


**Figura 28.** Simulación movimiento de gases de combustión en el quemador.

### 3.7.3. Transferencia de calor al interior del Quemador

El corte de sección muestra la interacción térmica de los fluidos al interior del quemador, mostrando un aumento de temperatura de 20.05 °C (Aire ambiente) hasta 849.99 °C (Vapores de combustión) Figura 29.

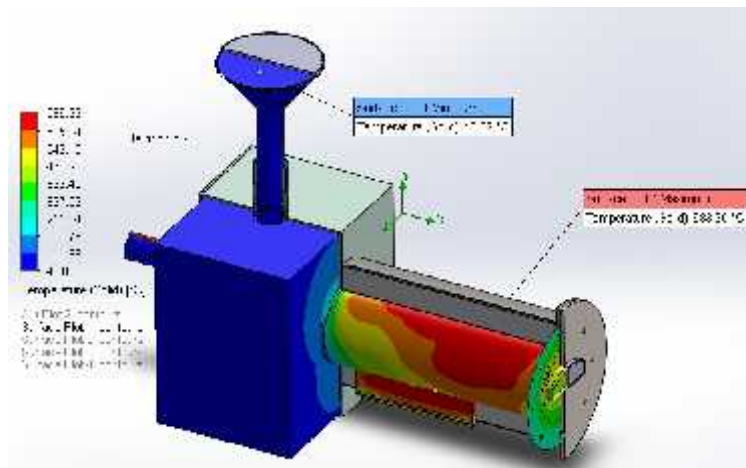




**Figura 29.** Simulación de la transferencia de calor en el quemador

### 3.7.4. Simulación de superficie interna del quemador

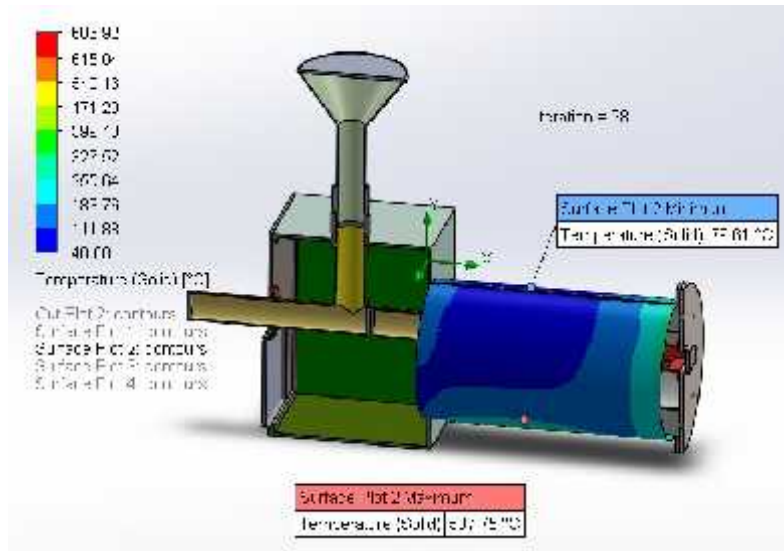
Se aprecia que el área de combustión es la más afectada por el estrés térmico presente en su interior, por tal, se considera válida la selección de acero inox para dicha zona. (Figura 30)



**Figura 30.** Simulación de la transferencia de calor de la superficie interna en el quemador.

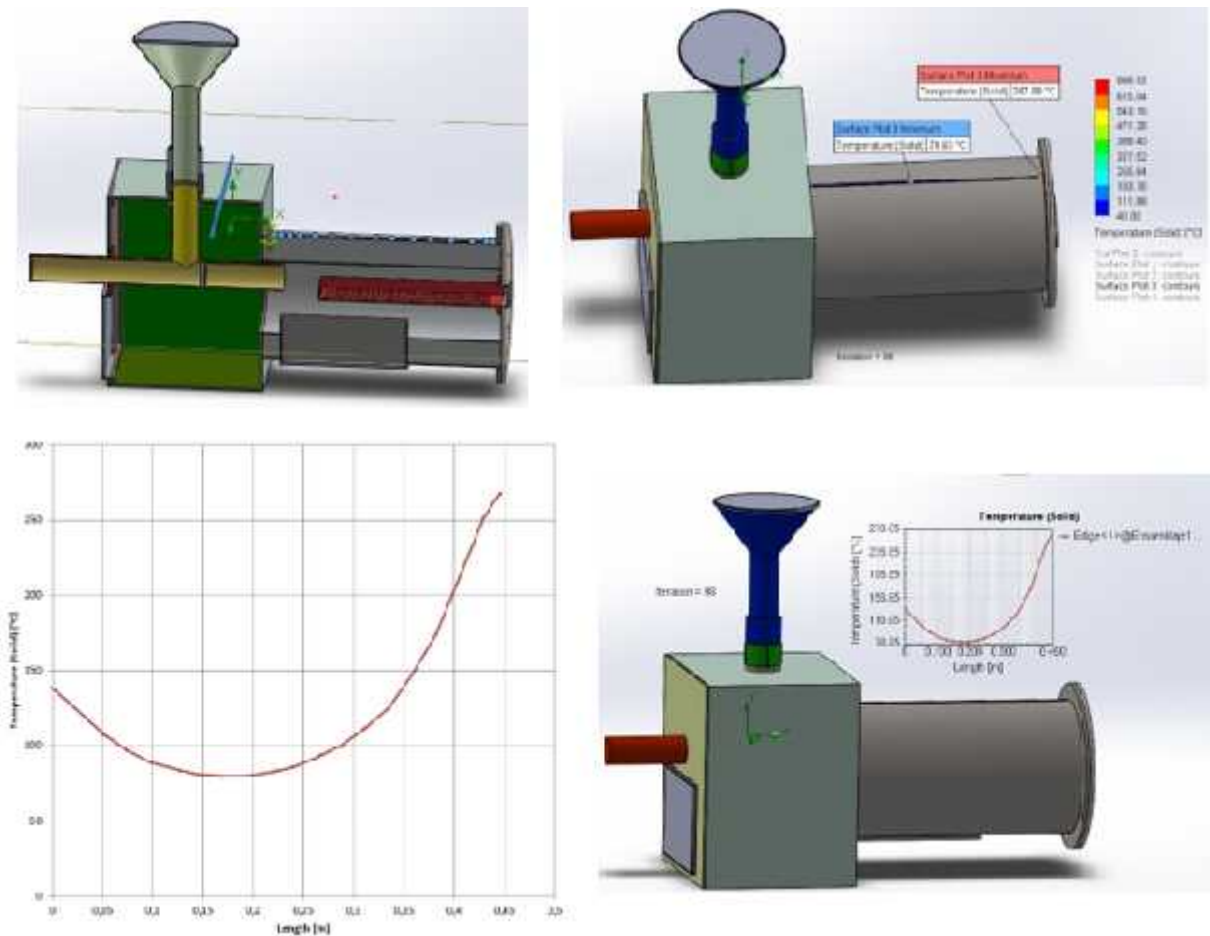
### 3.7.5. Simulación de superficie Externa del quemador

La temperatura mínima superficial, analizándolo de la manera más crítica posible, y teniendo en cuenta temperaturas máximas de combustión nos muestra  $79.61^{\circ}\text{C}$ , modelando el aislante térmico a 2" de espesor, por tal razón queda validada la selección.



**Figura 31.** Simulación de la transferencia de calor de la superficie externa en el quemador.

### 3.7.6. Simulación a lo largo de la cámara de combustión



**Figura 32.** Resultados a lo largo del quemador

La Figura 32 donde se aprecia la curva es posible entender como lo que sucedería termodinámicamente hablando a lo largo de la cámara de combustión, expuesta a temperaturas críticas de funcionamiento, con lo que tenemos un aumento considerable a la salida del mismo, y es en donde se aprecia el pico más alto, llegando a los 267 °C, temperatura completamente tolerable para la composición de dicha máquina.

### 3.8. Costos de Inversión

Los costos de inversión son muy accesibles ya que para la construcción futura del proyecto implica la utilización de materiales y elementos mecánicos, los mismos que no tienen ninguna restricción ni limitación a su acceso. El costo de inversión es sumamente económico, por la practicidad de la máquina, el libre mantenimiento y el intercambio de piezas están al alcance, pues contaríamos con una máquina que sería de mucha utilidad en un laboratorio, aprovechando en realizar estudios de rapidez de transferencia de calor, dilatación de materiales, fatiga térmica, aislamiento térmico, poder calorífico, y un sin número de estudios que sería de mucha utilidad que realizando todos estos estudios en una sola máquina y tomando en cuenta su costo de fabricación, es sumamente económica.

#### 3.8.1. Costos directos

<b>Descripción</b>	<b>Costo S/.</b>
Costos de materiales y componentes mecánicos.	400.00
Costos de accesorios para el sistema de control eléctrico.	350.00
Costos de los componentes para automatización.	1,100.00
Costos por mano de obra.	800.00

#### 3.8.2. Costos indirectos

**Costo S/.** : 500.00

#### **Costos de ingeniería**

	<b>Costo S/.</b>
Diseño, cálculos y simulación	800.00

### 3.8.3. Costo total

En la Tabla 20 se muestran costos referenciales de materiales, accesorios mecánicos y eléctricos, mano de obra y otros

**Tabla 20.** Costos directos e indirectos de la fabricación y montaje del quemador

Rubro	Costos S/.
Costos de materiales y componentes mecánicos	400.00
Costos de accesorios para el sistema de control eléctrico	350.00
Costos de los componentes para automatización	1,100.00
Costo de mano de obra	800.00
Costo de otros por instalación de maquinaria	500.00
<b>COSTO TOTAL EN SOLES</b>	<b>3,150.00</b>

### 3.9. Planos

Los planos se encuentran en los anexos:

### 3.10. Manual de mantenimiento y operación del quemador

Consideramos el mantenimiento del quemador mediante su funcionamiento, mediante los materiales y herramientas empleadas, el personal con sus implementos de seguridad

#### 3.10.1. Determinación de las causas de averías del quemador

La causa es el principio de la acción de observador o analizador. Es pensar que una sola causa es el principal problema, donde se trata de esforzarse para encontrar toda la causa posible y comprobar que realmente inciden sobre el problema. Se deben observar tanto las prudencias internas como externas de la máquina, lo que se podría seleccionar como causas físicas y causas latentes, etc.

Enumerar las causas supone, por tanto, confeccionar un listado exhaustivo de todas las posibles causas involucradas en el fallo analizado.

### **3.10.2. Elaboración de soluciones de averías para el quemador**

Consiste profundizar la búsqueda de todas las soluciones posibles, para que el problema se desvanezca, la solución que resuelva el problema de manera más global. Para ello, se compararán las distintas soluciones estudiadas y se completará un plan de acción para aquellas que finalmente se decida llevar a cabo.

En breve se detallará el análisis del quemador, el mismo en la cual facilitará la elaboración de mantenimiento sea oportuno. (Tabla 21)

**Tabla 21:** Identificación De Averías

<b>PROBLEMA</b>	<b>POSIBLE CAUSA</b>	<b>SOLUCION</b>
<b>El quemador no se pone en marcha</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta energía eléctrica</li> <li>- Un termostato de límite o de seguridad abierto</li> <li>- Bloqueo caja de control</li> <li>- Bloqueo motor</li> <li>- Bomba bloqueada</li> <li>- Conexionados eléctricos erróneos</li> <li>- Caja de control defectuosa</li> <li>- Motor eléctrico defectuoso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cerrar interruptores y Comprobar fusibles</li> <li>-Regularlo o sustituirlo</li> <li>-Desbloquear caja control</li> <li>- Desbloquear relé térmico</li> <li>- Sustituirla</li> <li>- Comprobarlos</li> <li>- Sustituirla</li> <li>- Sustituirlo</li> </ul>
<b>El quemador se pone en marcha y se bloquea</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fococelda en cortocircuito</li> <li>- Luz externa o simulación de llama</li> <li>- Alimentación eléctrica a dos fases</li> <li>- Intervención del relé térmico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sustituir fococelda</li> <li>- Eliminar luz o sustituir caja de control</li> <li>- Desbloquear relé térmico</li> <li>- Comprobar las tres fases</li> </ul>
<b>La llama se enciende pero el quemador se bloquea al término</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fococelda o caja de control defectuosa</li> <li>- Fococelda sucia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sustituir fococelda o caja de control</li> <li>- Limpiarla</li> </ul>
<b>Encendido de llama retardado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Electrodo de encendido mal regulados o sucios</li> <li>- Mala regulación, mucho aire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Regularlos o limpiarlos</li> <li>- Regularla</li> <li>- Sustituirla</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Boquilla defectuosa</li> <li>- Presión bomba no adecuada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Regularla</li> </ul>
<b>Cabeza de combustión sucia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Filtros Sucios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sustituirlo o limpiarlo</li> </ul>
<b>Bomba ruidosa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diámetro tubo demasiado pequeño</li> <li>- Filtros sucios</li> <li>- Válvulas cerradas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumentarlo</li> <li>- Limpiarlos</li> <li>- Abrirlas</li> </ul>
<b>Superada la ventilación y el tiempo de seguridad, el quemador se bloquea sin aparición de llama</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta combustible</li> <li>- Regulaciones en el servomando</li> <li>- Boquilla obstruida, sucia o deformada</li> <li>- Electrodo de encendido mal regulados o sucios</li> <li>- Electrodo a masa por aislamiento roto</li> <li>- Cable alta tensión defectuoso o a masa</li> <li>- Cable alta tensión deformado por temperatura alta</li> <li>- Transformador de encendido defectuoso</li> <li>- Caja de control defectuosa</li> <li>- Bomba no cebada</li> <li>- Matrimonio motor-bomba rota</li> <li>- Aspiración bomba conectada al tubo de retorno</li> <li>- Válvulas antes de la bomba cerradas</li> <li>- Filtros sucios (de la bomba - de la boquilla)</li> <li>- Giro contrario del motor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Llenar el tanque</li> <li>- Regularlas</li> <li>- Sustituirla</li> <li>- Regularlos o limpiarlos</li> <li>- Sustituirlo</li> <li>- Sustituirlo</li> <li>- Sustituirlo y protegerlo</li> <li>- Sustituirlo</li> <li>- Sustituirla</li> <li>- Cebarla y ver “bomba que se desceba”</li> <li>- Sustituirla</li> <li>- Corregir conexión</li> <li>- Abrirlas</li> <li>- Limpiarlos</li> <li>- Cambiar las conexiones eléctricas</li> </ul>
<b>El quemador no pasa el ciclo de arranque</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mala calibración de aire</li> <li>- Caja de control defectuosa</li> <li>- Bobina electroválvula defectuosa</li> <li>- Servomando defectuoso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Regularla</li> <li>- Sustituirla</li> <li>- Sustituirla</li> <li>- Sustituir</li> </ul>



<b>Llama con humo</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Poco aire</li><li>- Boquilla sucia o deteriorada</li><li>- Presión bomba errónea</li><li>- Aperturas de ventilación insuficientes</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Regular</li><li>- Sustituirla</li><li>- Regularla</li><li>- Aumentarlas</li></ul>
-----------------------	---	---

### **3.10.3. Instrucciones de Operación**

- a. Verificar la lubricación de los diferentes sistemas sometidos de los elementos del quemador combustible sólido.
- b. Observar el ajuste de todas las partes y la ausencia de objetos sueltos que puedan afectar el correcto funcionamiento del quemador combustible sólido.
- c. En caso de atascamiento se debe detener la maquina mediante el botón de paro.
- d. Encender el equipo y verificar la temperatura de la cámara de combustible.
- e. La máquina debe ser desconectada del todo una vez parada su marcha.

### **3.11. Recomendaciones de uso y manipulación**

- La máquina, fue elaborada para bajo y alto fuego, sin embargo, se puede volver a diseñar los componentes de la máquina.
- Para un sistema más recomendable que el LabVIEW también controle el sistema de trabajo, esto facilita incluso los procedimientos de quemador combustible.
- No manipular componentes de la máquina en marcha.
- No utilizar la máquina para propósitos no descritos en el manual.
- Utilizar guantes para la manipulación de componentes de la máquina y durante los procesos del plegado.
- Utilizar gafas y botas de protección.
- No trabajar sin la protección que equipan la máquina.
- La máquina no debe ser utilizada por menores de edad.
- Mantener una distancia de seguridad entre la máquina y el operario durante el tiempo que la maquina este en marcha.

- La máquina no debe ser utilizado por menores de edad.

#### **4. Conclusiones**

La ejecución de la metodología del proyecto, en cada una de sus etapas, permitió identificar claramente las necesidades del usuario, mediante encuestas y levantamiento de información bibliográfica considerando las recomendaciones de diferentes autores, para luego transformarlas en características técnicas de ingeniería y, finalmente, evaluar posibles soluciones a partir de los proyectos conceptuales desarrollados. Después de identificar el diseño de producto que mejor se adapta a los deseos del usuario, se pudo detallar el proyecto y contrastarlo con la simulación computacional, verificando de forma práctica la factibilidad del proyecto.

Por tratarse de generación de energía térmica con combustibles renovables, inserta el producto dentro de una línea ecológicamente correcta, que se está expandiendo en el mercado mundial, impulsando el desarrollo de este mercado no sólo en las zonas rurales sino que se espera que las agroindustrias de la Región Lambayeque usen este producto para su propia generación de energía eléctrica convirtiéndose en autosuficiente. El desarrollo de estos productos tiene muchos incentivos gubernamentales y líneas de financiamiento facilitadas, en la actualidad.

En la simulación usando software Computacional donde se aprecia la curva a lo largo del quemador muestra el comportamiento termodinámico, las que se encuentran expuestas a temperaturas críticas de funcionamiento, con lo que se cuenta con un aumento considerable a la salida del mismo, y es en donde se aprecia el pico más alto, llegando a los 267 °C, temperatura completamente tolerable para la composición de dicha máquina.

El apartado de costos muestran la factibilidad económica de la propuesta ya que el precio es mucho más bajo que los quemadores importados. Además, se elaboró recomendaciones de mantenimiento, ayudando a facilitar una mejor operación y del mismo modo asegurar la vida útil de la máquina. Se elaboró el manual instrucciones del quemador combustible brindando las pautas para la nivelación, área de trabajo y características principales del quemador combustible.

## **5. Recomendaciones**

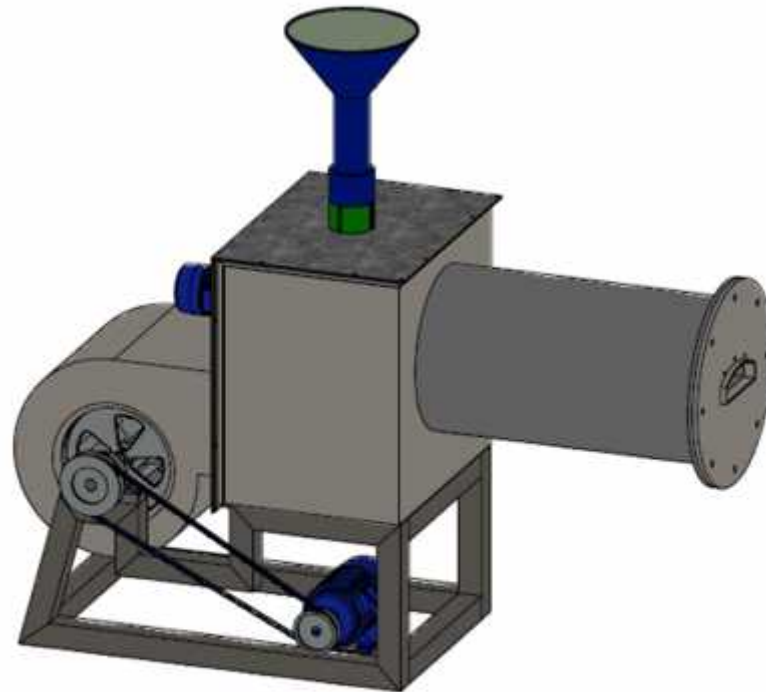
En continuidad con este trabajo, se podrían diseñar sistemas de control electrónico, operando en todas las etapas de forma automática, evitando así que el operador tenga que seguir monitoreando el encendido y evitando que las oscilaciones de la red eléctrica influyan en el funcionamiento del mismo. También se podría fabricar un intercambiador de calor para realizar más pruebas de generación de calor y eficiencia.

## Referencias

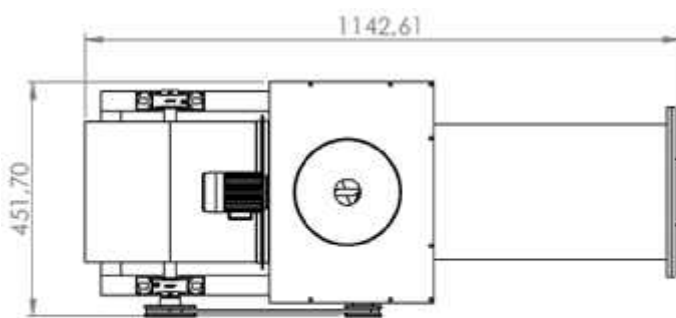
- De, I. N. (2015). *Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar*. 2014–2015.
- Fredes Nuñez, N. A. (2014). *Evaluación Técnica y Económica de una Planta de Producción de Combustible Sólido a partir de Biomasa Forestal en la Región de Los Lagos*. 143.
- Grosso, G. A., & Willenberg-Auger, K. (2017). *Prefactibilidad del Reemplazo de Fueloil por Pellet de Biomasa en Plantas Asfálticas Móviles*.
- Iriarte, A., Bistoni, S., Watkins, M., Luque, V., & Sanchez, H. (2011). *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 15, 2011. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184. 15, 25–32*.
- Ortiz, L., Tejada, A., Vázquez, A., & Veiras, G. P. (2003). Aprovechamiento de la Biomasa Forestal producida por la Cadena Monte-Industria. *Revista CIS-Madera*, 17–32.
- [https://www.academia.edu/34540978/APROVECHAMIENTO\\_DE\\_LA\\_BIOMASA\\_FORESTAL\\_Aprovechamiento\\_de\\_la\\_Biomasa\\_Forestal\\_producida\\_por\\_la\\_Cadena\\_Monte\\_Industria\\_Parte\\_III\\_Producción\\_de\\_elementos\\_densificados](https://www.academia.edu/34540978/APROVECHAMIENTO_DE_LA_BIOMASA_FORESTAL_Aprovechamiento_de_la_Biomasa_Forestal_producida_por_la_Cadena_Monte_Industria_Parte_III_Producción_de_elementos_densificados)
- parra tirado, jeferson andres. (2018). *Estufa De Pellets Es*.
- Rica, U. D. E. C., José, S. A. N., & Rica, C. (2017). *Viabilidad Técnica Y Económica Para El Uso De Pellets a Partir De Hojarasca Y Podas Del Campus Rodrigo Facio Para La Producción De Vapor De La Escuela De Ingeniería Química*.
- Rica, U. D. E. C., José, S. A. N., & Rica, C. (2019). *c :: LZ :::: ~*.
- Rivadeneira-Rivera, D. A., Ramírez-Peñaherrera, V. E., Narváez-Cueva, R. A., Salgado, M. A. H., Cruz-Tarelho, L. A. da, & Matos, A. M. A. (2017). Primer análisis de emisiones durante la combustión de pellets de jatropa curcas a 2635 msnm first analysis of emissions during the combustion of pellets of jatropa curcas at 2635 masl. *Revista Científica Multidisciplinar Investigación Y Saberes*, 3(3), 65–79. <http://www.investigacionysaberes.com.ec/index.php/es/issue/archive#>
- Romeo, P. L. (2015). Trabajo Fin de Grado. *Zaguan.Unizar.Es*, 157. <http://zaguan.unizar.es/TAZ/EUCS/2014/14180/TAZ-TFG-2014-408.pdf>
- Saufi, M. (2018).
- No Title. *Высшей Нервной Деятельности*, 2, 227–249.
- Tecnológico, I., & Rica, D. E. C. (2014). *Código: 5401-1401-1024 (DOCUMENTO I). 1024(Documento I)*.

**ANEXOS**

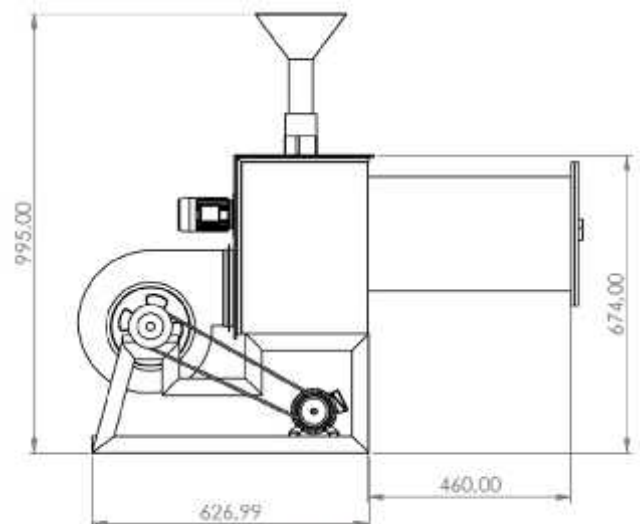
**Anexo 1:  
Medidas  
Generales del  
Quemador**



**QUEMADOR**



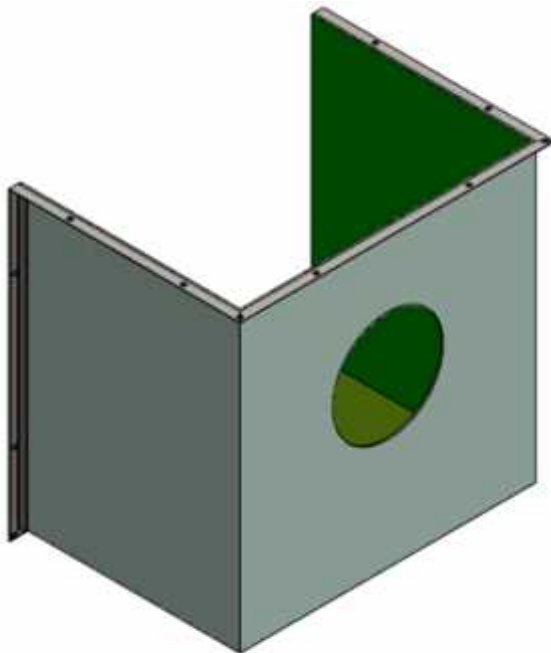
VISTA SUPERIOR



VISTA LATERAL



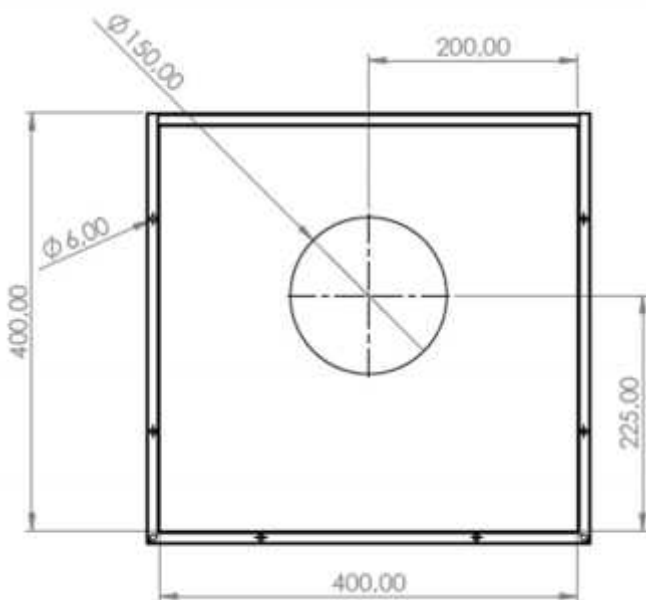
## Anexo 2: Detalle de Carcasa Principal



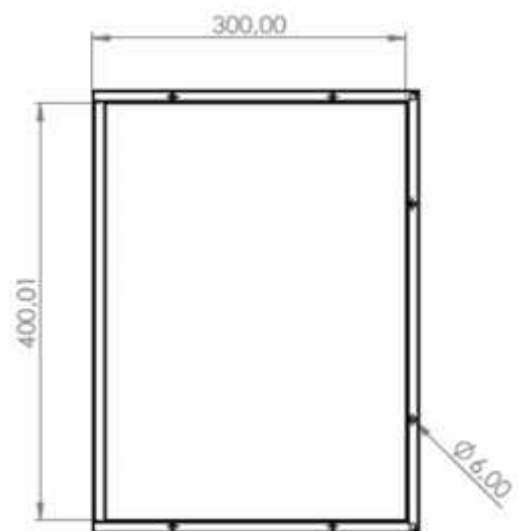
**CARCASA PRINCIPAL**



VISTA LATERAL



VISTA POSTERIOR



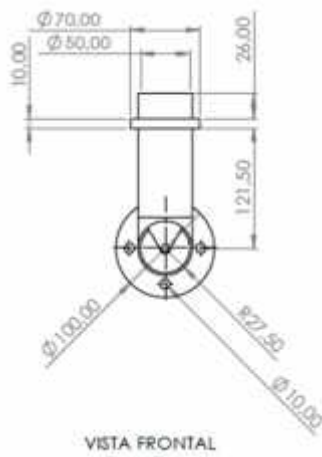
VISTA SUPERIOR



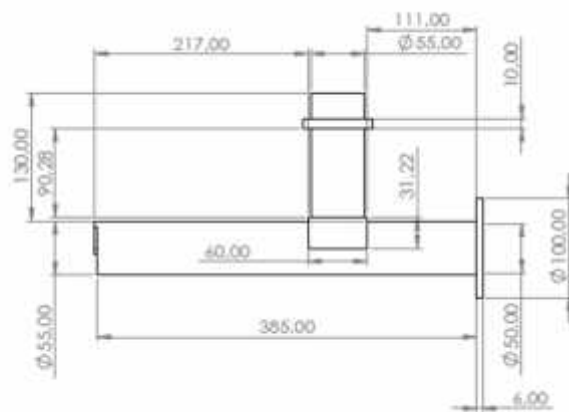
### Anexo 3: Detalle de Soporte de Tornillo



SOPORTE TORNILLO

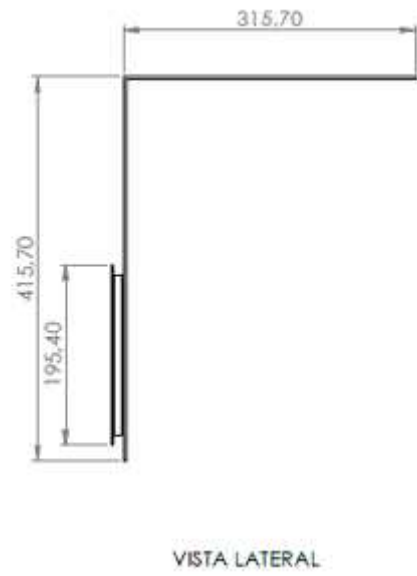
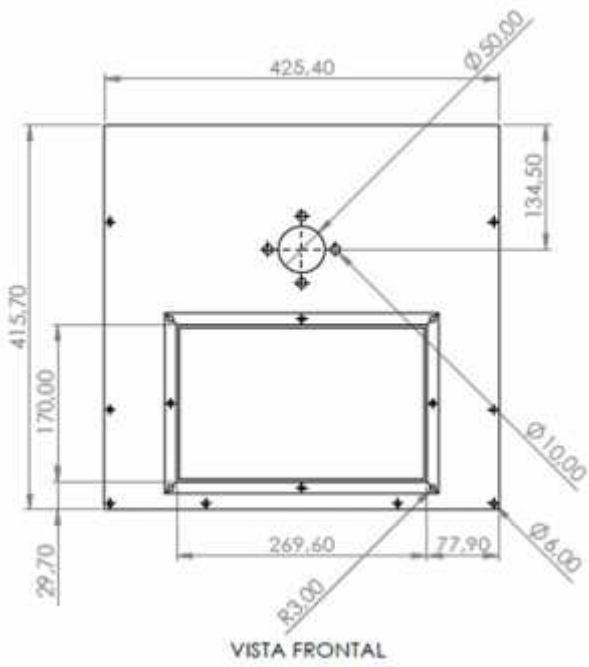


VISTA FRONTAL

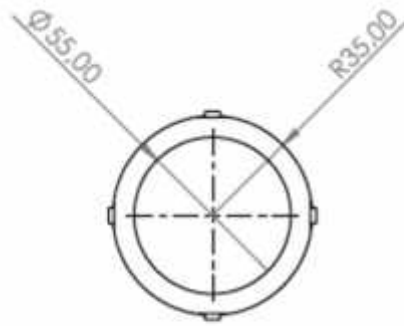


VISTA LATERAL

### Anexo 4: Detalle Tapa de Carcasa



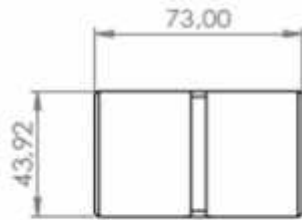
### Anexo 5: Acople de Tolva y Tolva



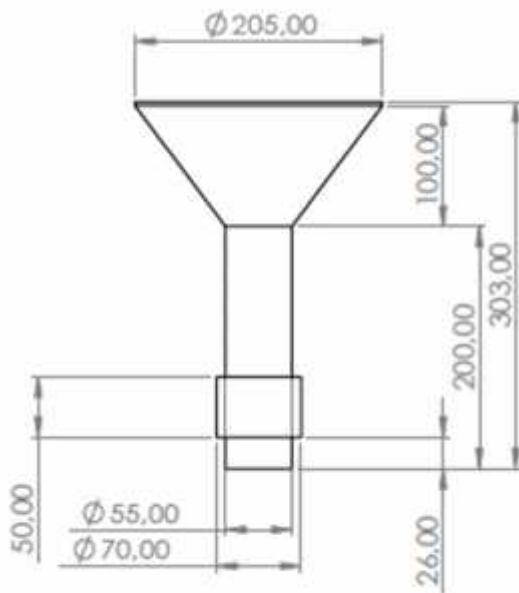
VISTA SUPERIOR



ACOPLE DE TOLVA



VISTA LATERAL



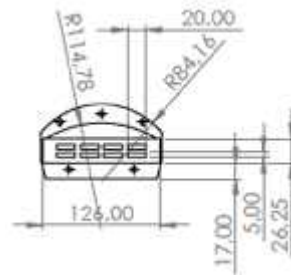
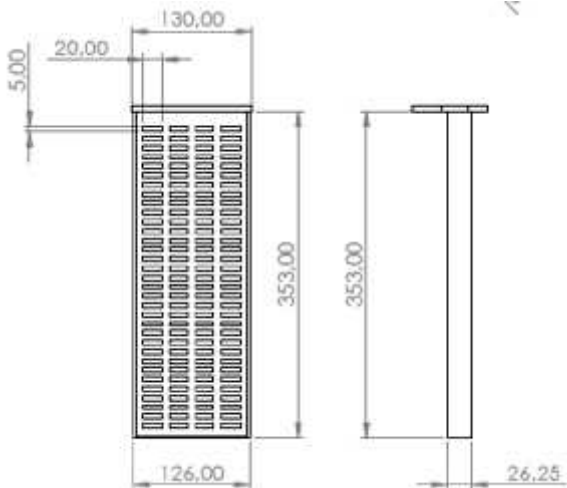
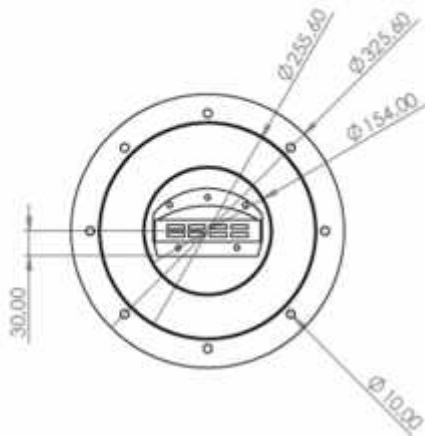
VISTA LATERAL



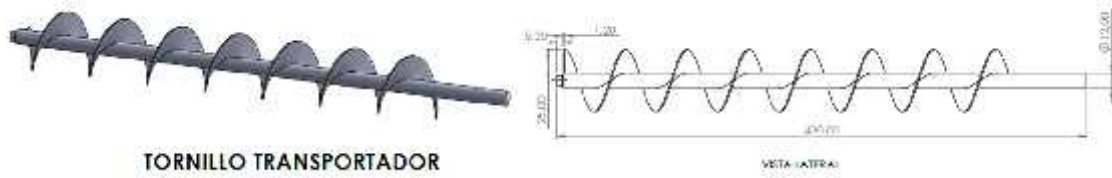
TOLVA

## Anexo 6: Cámara de Combustión

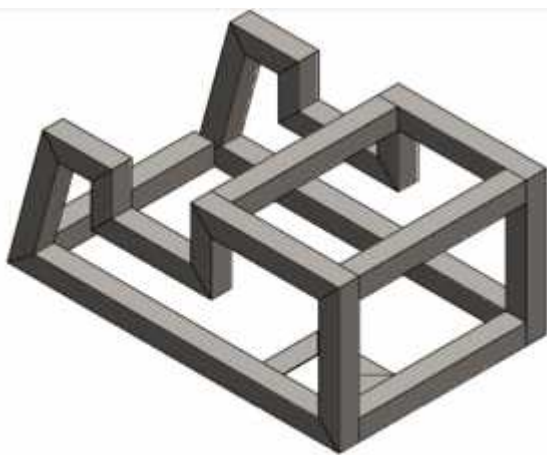
# CÁMARA DE COMBUSTIÓN



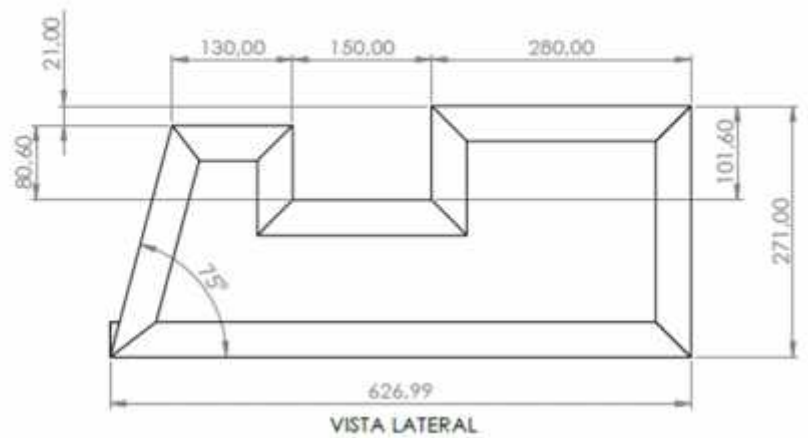
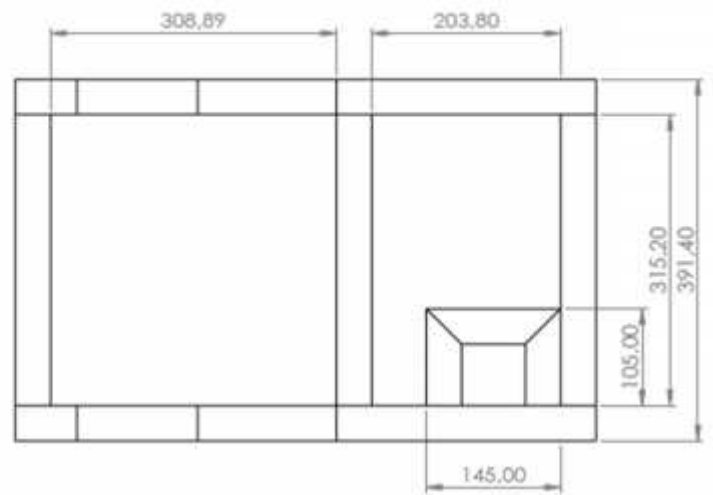
### Anexo7: Tornillo transportador



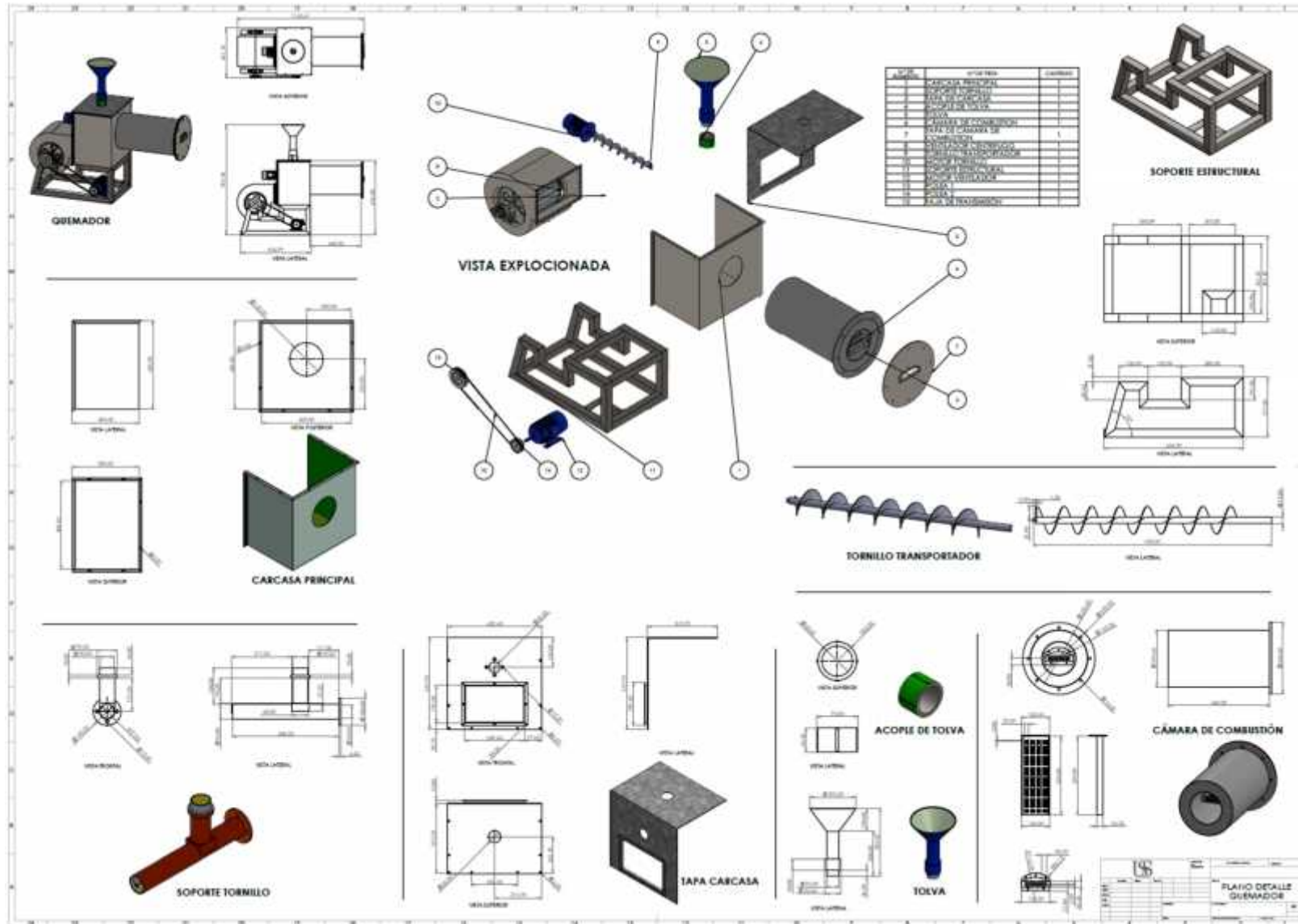
### Anexo 8: Soporte estructural




**SOPORTE ESTRUCTURAL**



### Anexo 9: Plano general a Detalle



 <b>UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN</b>	SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD - USS		
		Código	F-PC-USS
		Versión	00
		Hoja	1 de 1

## AUTORIZACION PARA EL RECOJO DE INFORMACION

Chiclayo 18 de febrero de 2021

Quien suscribe:

**Mg. Ing, Juan Carlos Vives Garnique**

**Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica**

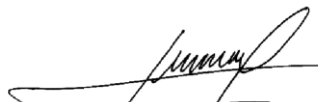
**Universidad Señor de Sipán**

**AUTORIZA:** Permiso para recojo de información pertinente en función del proyecto de investigación, denominado: **DISEÑO DE UN QUEMADOR DE COMBUSTIBLES SÓLIDOS PARA ESTUDIOS FÍSICOS Y TÉRMICOS EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Por el presente, el que suscribe, Mg. Ing, Juan Carlos Vives Garnique, Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica - Universidad Señor de Sipán, autorizo a los alumnos Jesús Miguel Lizana Fernández y Erick Orlando Velazco Rivera, identificados con DNI: 47020276 y 43438300, respectivamente, estudiantes de la escuela profesión de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA y autores de del trabajo de investigación denominado: **DISEÑO DE UN QUEMADOR DE COMBUSTIBLES SÓLIDOS PARA ESTUDIOS FÍSICOS Y TÉRMICOS EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**, al uso al uso de dicha información que conforma el expediente técnico, así como hojas de memorias, cálculos entre otros como planos para efectos exclusivamente académicos de la elaboración de tesis de **DISEÑO DE UN QUEMADOR DE COMBUSTIBLES SÓLIDOS PARA ESTUDIOS FÍSICOS Y TÉRMICOS EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**, enunciada líneas arriba de quien solicita se garantice la absoluta confidencialidad de la información solicitada.

Atentamente.



  
**Mg. Ing. Juan Carlos Vives**  
 Director (é) de la Escuela Profesional  
 de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN S.A.C.**

N° DNI: 41524559