UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO

ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

TESIS

OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE ESTUFA ROCKET DE 16 cm x 16 cm DE CHIMENEA PARA LA OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A USARSE COMO FILTRO DE AGUA EN LA PLANTA PILOTO DE LA UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN-PIMENTEL.

PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Autor(es):
Bach. Idrogo Sosa Eddy Alexis.
https://orcid.org/0000-0002-8812-5777
Bach. Navarro Manosalva Robert Manuel.
https://orcid.org/0000-0003-1979-101X

Asesor Metodológico:
Phd. Jorge Olortegui Yume.
https://orcid.org/0000-0001-5734-040x

Línea de investigación:
Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente

Pimentel, Perú – 2020.

OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE ESTUFA ROCKET DE 16 cm x 16 cm DE CHIMENEA PARA LA OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A USARSE COMO FILTRO DE AGUA EN LA PLANTA PILOTO DE LA UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN-PIMENTEL

Aprobación del jurado

_ Mg.Juan Carlos Vives Garnique

Presidente del jurado de tesis

Mg.Silvia Yvone Gastiaburu

Secretaria del jurado de tesis

Mg.Carlos Alexis Alvarado Silva

Vocal del jurado de tesis

RESUMEN

En esta tesis de investigación se optimizó el diseñó de una estufa rocket para sintetizar carbón activado y utilizarlo como filtro de agua en la planta piloto de la Universidad Señor de Sipan-Pimentel. Las necesidades de la empresa se obtuvieron por entrevistas a los encargados de la planta piloto. Se analizaron cuatro geometrías de diseños de estufas rocket mediante una matriz de selección para obtener el diseño final. Luego se realizó un análisis a las paredes de la estufa rocket para evaluar mecanismos de transferencia de calor y determinar a partir de ello un espesor de aislante. El espesor del aislante determinó mediante una GUI (Interfaz gráfica de usuario) desarrollada en Excel, considerando una temperatura máxima en la superficie externa de la estufa de < 60°C. Obtenido este espesor se hizo una simulación en Solidworks® para obtener con más detalle la forma final del aislamiento. También se analizó una tobera en el sistema con la finalidad de obtener un flujo volumétrico y una velocidad de salida para que la combustión sea completa. La estimación de la relación de área, para determinar la cantidad de aire necesario, se determinó utilizando una GUI y posteriormente se realizó una simulación en Solidworks® para ver el comportamiento del fluido al momento de ingresar por la tobera.

La configuración cuadrada de la estufa rocket resultó ser la adecuada para realizar los análisis, el acero seleccionado para esta optimización del diseño de estufa rocket fue el ASTM-A36 considerando que estará sometida a altas temperaturas durante el proceso de combustión de la biomasa. El espesor de pared resultó en 3.5 a 4 cm y el flujo volumétrico dentro de la cámara de combustión fue de 6.02 m/s. Finalmente se realizó el análisis para calcular la temperatura de flama adiabática, obteniendo una temperatura de 969.906 °C .Los valores que se obtuvieron nos dicen que aumentando el flujo volumétrico de entrada en la cámara de combustión, se tendrá como consecuencia un aumento de temperatura en la cámara de combustión y posteriormente en la parrilla en donde se sitúa la cascara de coco, logrando obtener un carbón activado de calidad garantizando así un buen desempeño como filtro de agua para planta piloto de la Universidad Señor de Sipán.

De la evaluación económica y financiera el VAN (7,508.0356) y TIR (21 %) generará gran rentabilidad en un periodo corto de tiempo.

Palabras claves: Combustión, aislamiento térmico, flujo volumétrico, temperatura.

ABSTRACT

In this thesis, the design of a rocket stove was optimized to synthesize activated carbon and use it as a water filter in the pilot plant of the Señor de Sipan-Pimentel University.The needs of the company were obtained through interviews with the managers of the pilot plant. Four geometries of designs of rocket stoves were analyzed and analyzed by means of a selection matrix to finally obtain the final design. Then an analysis was made to the walls of the rocket stove to evaluate each heat transfer mechanism and to determine an insulation thickness from it. The thickness estimation of the insulation was made using a GUI (Graphical User Interface) developed in Excel, considering a maximum temperature on the external surface of the stove <60 ° C. Obtained this thickness a simulation was made in Solidworks® to obtain in more detail the final form of the insulation. A nozzle was also analyzed in the system with the purpose of obtaining a volumetric flow and an exit velocity that helps the combustion to be as complete as possible. The estimation of the area ratio, to determine the amount of air needed, was determined using a GUI and then a simulation was performed in Solidworks® to have more detailed fluid behavior at the time of entering the nozzle.

The square configuration of the rocket stove turned out to be the adequate one to perform the analyzes, the steel selected for this optimization of the rocket stove design was the ASTM-A36 considering that it will be subjected to high temperatures during the biomass combustion process. The wall thickness was 3.5 to 4 cm and the volumetric flow inside the combustion chamber was 6.02 m / s. Finally, the analysis was performed to calculate the adiabatic flame temperature, obtaining a temperature of 969.906 ° C. The values obtained tell us that increasing the volumetric flow of entry into the combustion chamber, will result in an increase in temperature in the combustion chamber and later on the grill where the coconut shell is placed, obtaining a quality activated carbon, thus guaranteeing a good performance as a water filter in the pilot plant of the Señor de Sipan University.

From the economic and financial evaluation the VAN (7,508.0356) and TIR (21%) will generate great profitability in a short period of time.

Keywords: Combustion, thermal insulation, volumetric flow, temperature.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 10

1.1. Situación problemática 10

1.2. Antecedentes de investigación 14

1.2.1. Antecedentes: 14

1.3. Teorías relacionadas al tema 19

1.3.1. Estufa Rocket 19

1.3.2. Clasificación de estufas 21

1.3.3. Principio de funcionamiento 24

1.3.4. Partes de estufa 25

1.3.5. Dimensiones de una estufa rocket en la actualidad 28

1.3.6. Selección de materiales: 29

1.3.7. Cálculos de diseño 30

1.3.8. Biomasa. 47

1.3.8.1. Caracterización de la Biomasa como combustible. (Montoya Mendoza, Luis.2016 & Serrano Aguirre, Daniel.2016, Pag.18). 49

1.3.8.2. Proceso de Combustión de la Biomasa 52

1.3.8.3. Aspectos medio ambientales del uso de biomasa como combustible 53

1.3.8.4. Métodos de transformación de biomasa en energía. 54

1.4. Formulación del problema 55

1.5. Justificación 55

1.5.1. Justificación económica 55

1.5.2. Justificación ambiental 56

1.5.3. Justificación social 56

1.5.4. Justificación técnica 56

1.6. Hipótesis 56

1.7. Objetivos 56

1.7.1. Objetivo General 56

1.7.2. Objetivos Específicos 57

2. MATERIALES Y METODOS 59

2.1. Tipo y Diseño de investigación: 59

2.2. Métodos de investigación 60

2.3. Población y muestra 61
2.4. Variables y operacionalización. 61
2.4.1. Diagrama de caja negra 63
2.4.2. Operacionalización de variables 64
2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de información 65
2.6. Procedimientos para la recolección de datos. 66
2.7. Criterios éticos. 67
2.7.1. Aspectos éticos. 67
2.7.2. Principios de rigor científicos 67
3. RESULTADOS 69
3.1. Identificación las necesidades de la Planta Piloto De La Universidad Señor De Sipán. 69
3.2. Recomendaciones de diseño pertinentes al diseño la estufa rocket. 72
3.3. Definición del problema en términos ingenieriles. 73
3.4. Generación de 4 conceptos alternativos 74
3.5. Identificación del de concepto más adecuado mediante matriz de selección 78
3.5.1. Dimensionamiento de la estructura de la Máquina 81
3.6. REALIZACIÓN DEL DISEÑO DE CONFIGURACIÓN DE LA ESTUFA ROCKET 82
3.7. Determinación de las dimensiones de la estufa rocket usando las normas correspondientes. 85
3.8. Realizar un diseño paramétrico de las partes / sistemas críticos de la estructura de la estufa rocket. 88
3.9. Análisis económico de la estufa rocket (VAR, TIR). 102
3.10. Discusión de resultados 104
3.10.1. Luego de especificar los resultados se procedió al análisis y discusión de estos: 104
4. CONCLUSIONES 107
5. RECOMENDACIONES 109

Índice de Figuras:

Figura N° 1: Sistema ablandador de agua. Pag.13

Figura N°2: Estufa Rocket. Pag.19

Figura N°3: Estufa Rocket. Pag.20

Figura N°4 :Clasificación de estufas Pag.21

Figura N°5: Modelo desimplificado de estufa. Pag.23

Figura N°6: Estufas mejoradas y fogón tradicional Pag.26

Figura N°7: Configuración geométrica de una estufa rocket actual Pag.27

Figura N°8 : Partes de una cocina rocke. Pag.28

Figura N°9: Ancho de parrilla metálica. Pag.31

Figura N°10: Sistemas de paredes compuestas. Pag.33

Figura N°11: principales fuentes de biomasa. Pag.47

Figura N°12: Diferentes tipos de biomasa. Pag.49

Figura N°13: Estufa Rocket. Pag.52

Figura N°14: Biomasa. Pag.53

Figura N°15: Transformación de la biomasa. Pag.53

Figura N°16:*Estufa cohete con aislante térmico.* Pag.74

Figura N°17:*Estufa cohete con aislante térmico.* Pag.75

Figura N°18:*Estufa cohete con aislante térmico.* Pag.76

Figura N°19: *Estufa cohete con aislante térmico.* Pag.77

Figura N°20 : *GUI Microsoft Excel* Pag.88

Figura N°21: *Simulación en* SolidWorks Pag.92

Figura N°22: *Simulación en* SolidWorks flujo Pag.94

Figura N°23: *Simulación en* SolidWorks velocidad Pag.95

Figura N°24 :*GUI Microsoft Excel tasa de flujo de masa real* Pag.97

Figura 25: *Ventana de Inicio (GUI)* Pag.99

Figura 26: *Ventana de Cálculo de temperatura* Pag.100

Índice de Tablas:

Tabla N°1: *Ventajas y desventajas de estufa seleccionada* Pag. 22

Tabla N°2: *Características de las estufas mejoradas* Pag. 24

Tabla N°3: *Propiedades del acero ASTM* Pag. 28

Tabla N°4: *Características de acero ASTM-A36.* Pag. 29

Tabla N°5: *Características del acero ASTM-A36* y la fibra de sílice Pag. 32

Tabla N°6: *Valores aproximados del coeficiente de transferencia.* Pag. 34

Tabla N°7: *Clasificación de tipos de biomasa por procedencia* Pag. 48

Tabla N°8: *Características de algunas biomasas* Pag. 50

Tabla N°9: *Métodos de transformación de bioma en energía.* Pag. 54
Tabla N°10: *Operacionalización de variable* Pag. 63
Tabla N°11: *Abordaje metodológico.* Pag. 64
Tabla N°12: *Diagrama de flujo para el desarrollo de actividades.* Pag. 65
Tabla N°.13: *Modelo de entrevista.* Pag. 70
Tabla N°.14: *Recomendaciones de diseño.* Pag. 72
Tabla N°.15: *Estructura y características de la estufa rocket.* Pag. 73
Tabla N°.16: *Matriz de selección.* Pag. 79
Tabla N°.17: *Propiedades.* Pag. 90
Tabla N°18: *Costos totales de fabricación.* Pag. 101
Tabla N°19: *Gastos realizados* Pag. 102

Capítulo I:

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Situación problemática

Según datos basados en un informe de Asia, el cual nos señala que la mayor capacidad en producción de carbon activado la tiene China con un 43,2 % a nivel mundial, seguido de países como Estados Unidos, Japón y Francia, todo esto a causa del crecimiento en la demanda mundial del carbono activado; debido a sus propiedades de adsorción de impurezas en líquidos y gases. (Salas et. al-Vol. XVIII, No 1, 2006). De tal manera se pretende dirigir su uso a la actual problemática mundial de contaminación de agua para el consumo humano (**China Activated Carbon Industry Report.2015).**

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas, 1300 millones de personas (una sexta parte de la población mundial) carecen de acceso a agua potable, siendo un nutriente esencial pero pasado por alto en la dieta humana. En la actualidad se han desarrollado muchas tecnologías para la purificación del agua, la aparición de la nanotecnología (nanofiltros) como una nueva alternativa, así como también métodos físicos y químicos, como la precipitación química, la filtración, la coagulación, los procesos de membrana, ambas formas de purificación pueden reducir los costos y también aumentar la eficiencia de los procesos de purificación **(CONDOR, Bety.2010).**

Uno de los cultivos más importantes a nivel mundial es el coco o también denominado ÁRBOL DE LA VIDA; siendo Filipinas uno de los principales productores de este cultivo a nivel mundial. Este cultivo presenta una gran variedad de aplicaciones, tales como la fabricación de fibras textiles y aislantes térmicos cuya fibra es obtenida de la cubierta del fruto; de la misma forma se aprovecha la cáscara dura o endocarpio como combustibles y vasijas u recipientes; además gracias a su alto valor calorífico (7500-7600 cal/g) se usa como combustible, y finalmente, por su estructura de poro natural las cáscaras de coco son ideales para producir carbón activado de alta calidad **(D. Granados – Sánchez; G. F. López – Rios.2002).**

Para la obtención del carbón activado se utilizan dos metodologías, un tratamiento físico y otro tratamiento químico contando con la materia prima la cáscara de coco. Utilizando el método de la activación física a alta temperatura (450 a 900 °C) en presencia de vapor de agua se puede obtiene un carbón hidrofílico, microporoso apropiado para aplicaciones que involucran separación de gases. Aplicando la metodología de la activación química, se ha utilizado reactivos químicos tales como el cloruro de zinc, el hidróxido de potasio, el ácido fosfórico, el ácido sulfúrico que

mediante el cual se activa para ser luego calcinado en una mufla de 500 a 1000 °C, del cual se puede obtener un carbón hidrofílico de poros más anchos apropiado para aplicaciones en fase líquida. Haciendo la prueba respectiva de filtración ha dado un buen resultado utilizando para la prueba de filtración, una solución turbia de más de 1000 NTU obteniendo una filtración hasta de 2.29 NTU **(LAZO, Roberto.2015).**

El uso de estufas eficientes y limpias se viene promoviendo desde hace más de 30 años en Asia, África y América Latina (Bruce et al., 2000). A nivel mundial se originan 2 millones de muertes anualmente, debido a la presencia de enfermedades respiratorias causadas por el humo emitido por las estufas convencionales (Regalado et. al 2006). Actualmente se busca tener acceso a fuentes de agua confiables libre de agentes contaminantes, con la finalidad de evitar una serie de enfermedades que provocan un gran número de muertes en todo el mundo; siendo el tratamiento del agua una opción adecuada para esta problemática **(UNICEF.2005).**

En la actualidad la industria del aceite de oliva, el orujo y del aderezo de aceituna de mesa, producen una gran cantidad de residuos. Este residuo recibe el nombre de hueso de aceituna, el cual es aprovechado por estas industrias tanto para su uso como biocombustible sólido y otros usos de gran valor. En los años 2012/2013 a nivel mundial se obtuvieron 2.401.500 toneladas de aceite de oliva, cifra inferior a la de años anteriores donde se consiguieron 3.321.000 toneladas y 2.512.500 toneladas de aceituna de mesa (International Olive Oil Council, 2015).A nivel mundial no se explorado más sobre el potencial del hueso de aceituna y sus usos; considerando que en el mundo hay algo más de 10 millones de Ha de oliva (FAOSTAT, 2015); de las cuales se generarían entre 3,5 y 4,5 millones de toneladas de hueso de aceituna al año **(Mata, Jesús.2015).**

El carbón activado presenta una serie de propiedades de las cuales derivan una gran variedad de aplicaciones en la industria de refinación de azúcar, en minería y metalurgia, en equipos de seguridad, etc. En Perú se puede observar un descuido en lo que respecta a la producción de carbón activado, a pesar de la creciente demanda de dicho producto. No se sabe a ciencia cierta cuando fue que en nuestro país se empezó a consumir y/o producir carbón vegetal. Con el desarrollo de la industria azucarera en el Perú; y con el fin de obtener una producción de buena calidad, se empezó a usar el carbón activado, debido a sus propiedades de retención de olores y colores en la planta; mediante labores de limpieza a los equipos **(Gonzales, Hector & Teruya, Renzo.2004).**

En varios distritos de la región San Martín se dedican al cultivo de la planta de coco, de cuyo fruto solo se aprovecha la parte comestible, dejando de lado la parte fibrosa de su envoltorio. Algunas cifras indican que en Tarapoto la venta de agua de coco genera un desperdicio de 1400

cáscaras de coco al día; considerando que por cada 10 cáscaras de coco se obtiene un peso aproximado de 10 Kg de fibra, despreciándose un total de 140 Kg de fibra. Gran cantidad de esta fibra llega a parar en los botaderos de dicha población, generando que el agua se acumule en épocas de lluvia, las cuales son un peligro para los pobladores debido a los focos de malaria y dengue que puedan formarse **(Núñez, Ruth.2010).**

El combustible más usado en los hogares Perú para la cocción de alimentos después del gas, es la leña la cual representa el 32.6 % del consumo a nivel nacional. La recolección de esta fuente de energía significa para los pobladores recortar el tiempo en las labores diarias en sus tierras. El uso de este tipo de cocinas tradicionales utilizadas en muchos hogares de nuestro país , cuya combustión ineficiente y ubicadas en lugares de poca ventilación, exponen a las personas a estar en contacto con gases contaminantes y otras partículas suspendidas; como monóxido de carbono y los hidrocarburos **(Grupo de Apoyo al Sector Rural – PUCP.2009).**

En la comunidad de Ayamachay, distrito de Incahuasi; la falta de recursos económicos en esta zona rural hace imposible tener acceso al uso de combustibles más limpios; motivo por el cual en nuestro país la Agencia de Cooperación Alemana (GTZ) ha desarrollado un nuevo modelo de cocina el cual se ha instalado en dicha localidad, permitiendo ser una solución económica y socialmente posible para su uso con combustibles más accesibles **(REVISTA DE LA SOCIEDAD PERUANA DE NEUMOLOGÍA-VOL.48.2004).**

Se han realizado estudios en los cuales se analiza y compara la capacidad de adsorción del carbón activado, mediante distintas preparaciones con el fin obtener las mejores propiedades en este producto. Siendo este motivo una gran oportunidad para los departamentos de Ucayali y Arequipa las cuales generan una gran cantidad de semillas de aceituna en sus industrias, materia prima alternativa e interesante para la producción de carbón activado debido a sus propiedades **(Obregón Valencia, Daniel.2012).**

La materia carbonizada presenta un alto grado de porosidad, una considerable superficie interna, a la vez existen en su superficie elementos como oxígeno y nitrógeno; que la hacen tener gran capacidad para absorber ciertas sustancias **(Moreno – Castilla. 2004; Mozia y Col. 2005; Nevskaia y Col. 2004).**Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, el carbono activado se convierte en un material eficiente en lo que respecta a fenómenos de adsorción; actuando como un agente purificador de materiales pesados y otros tipos de sustancias. La aplicación de este material en nuestro proyecto tiene como principio actuar como un agente purificador o filtro de agua, que permita extraer las impurezas y dejar pasar solo las moléculas puras de agua; actas para

el consumo humano. Para lograr obtener carbón activado, la materia (cáscara de coco y hueso de aceituna) es sometida a altas temperaturas entre 400 y 900 °C; con el fin de aumentar el tamaño y volumen de poros.

Los 18 años de vida institucional de la UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN; representa un gran esfuerzo y empeño por lograr grandes avances en lo académico, científico-tecnológico y humanístico; permitiendo formar jóvenes capaces y eficientes, que puedan desarrollar y/o desempeñar sus labores tanto a nivel nacional como en el extranjero de manera competitiva. La labor conjunta de las autoridades universitarias por sacar adelante a nuestra casa de estudios, le ha permitido ubicarse dentro de las 20 mejores universidades del Perú, según un estudio realizado por la prestigiosa revista América Economía **(Dr. Valdemar Medina, Hoyos. 2016**).

La Planta Piloto de Procesos Agroindustriales de la Universidad Señor de Sipán, es una planta que está dedicada a la producción, trasformación y comercialización de los recursos naturales agropecuarios; basados en estándares y criterios de calidad, manejado por los docentes y alumnos que realizan dichos trabajos de manera responsable. Actualmente la carrera de Ingeniería Agroindustrial y Comercio Exterior, se viene desarrollando un programa continuo de producción, destacando "NECTUSS", un néctar de frutas que satisface la demanda interna de la USS y que es muy acepta do por la comunidad universitaria, esta actividad se viene desarrollando gracias al trabajo conjunto de docentes y alumnos.La Planta Piloto de Procesos Agroindustriales de la Universidad Señor de Sipán, cuenta con un sistema ablandador de agua (Figura N°1), la cual mediante un proceso iónico remplaza los iones de calcio y magnesio por iones de sodio, con la finalidad de reducir la dureza del agua. Sin embargo, este equipo no está cumpliendo adecuadamente su función, debido a la falta de mantenimiento que ha tenido en años anteriores a este; actualmente se están realizando mantenimientos periódicos, en los cuales se detectan depósitos de sarro en las tuberías y caldera; lo cual origina una disminución en la vida útil de todo el sistema que utiliza esta agua. Los encargados del mantenimiento de la planta piloto luego de detectar la presencia de depósitos de sarro en el sistema, concluyen que el problema principal es la fuente de agua de alta dureza en su composición; por lo tanto, se necesita cambiar la fuente de abastecimiento de agua o reforzar el sistema de ablandamiento con el fin de reducir la dureza del agua **(USS. 2017).**

En el presente proyecto se plantea diseñar y optimizar una estufa rocket para aumentar la temperatura de combustión a por lo menos 900°C, utilizando el

biocombustible hueso de aceituna y la cáscara de coco como precursor en la sintetización del carbón activado.

Figura N° 1: Sistema ablandador de agua.

Fuente: Propia.

1.2. Antecedentes de investigación

1.2.1. Antecedentes:

Álvarez H. (2009), Se realizó un estudio de cocinas mejoradas empleando leña y bosta como combustible**.** Se hizo un estudio en el cual construyó 05 cocinas mejoradas en el Laboratorio de Cocinas Mejoradas de la PUCP, con ollas de aluminio con 30 cm de diámetro exterior, para la olla principal y 20 cm de diámetro para la olla secundaria (las ollas están sumergidas), con diferentes cámaras de combustión, chimenea y parrilla metálica, la evaluación de las cocinas mejoradas, fue con la Prueba de Ebullición del Agua. Se logró hallar un modelo de cocina mejorada que cumplió con los requerimientos establecidos en base a la encuesta realizada, alcanzando una eficiencia térmica de 30%, una potencia promedio de 2.93 kW y un ahorro de combustible de 42% respecto a una cocina tradicional. Además se logró reducir el nivel de contaminación de aire interior a un valor promedio de emisión de monóxido de carbono de 3.9 ppm. Se concluyó que la cocina mejorada con cámara de combustión en forma de "L", es la que arroja mayor índice de eficiencia (30 %), menor consumo especifico de combustible, menor tiempo de ebullición para una distancia radial olla-chaqueta (GAP)=1 cm, la distancia recomendada de la altura del lecho del combustible a la base de la olla, está entre 20 a 30 mm.

Assureira E. (2007) Se hizo el diseñó y evaluación de una cocina mejorada portátil Doña Olga, "una cocina institucional", con una olla (la olla está sumergida), esta cocina fue para las personas trabajadoras de los comedores populares del PRONAA. Se realizó una serie de pruebas para cámara de combustión en forma de "L", las pruebas que se realizaron fueron por el método de ebullición del agua. Se halló que la cocina mejorada evaluada con diferentes GAP (1 y 1.5 cm), con el método de la PEA, en sus 3 fases, el GAP que arrojo el índice más alto de eficiencia térmica y potencia promedio fue el de 1.5 cm. Se concluyó que la eficiencia térmica de la cocina mejorada es de 36% para ollas de mayor tamaño (N° 50), cuando la distancia radial olla chaqueta (GAP), es menor e igual a= 15 mm.

Edwin U. (2015) Se desarrolló una cocina mejorada con cámara de combustión en forma de "L", dotado de chimenea, para los sectores rurales de la provincia de Urubamba. Para el diseño de la cámara de combustión en forma de "L", se construyó una cámara de combustión madre con arcilla de San Jerónimo, a esta cámara se realizó cortes con la finalidad de obtener 3 cámaras con diferentes alturas. A las cámaras de combustión se realizaron pruebas de ebullición del agua (PEA), seleccionando la cámara de combustión que arrojó el alto índice de eficiencia térmica y potencia promedio, siendo esta altura interior igual a 27.5 cm, para el diseño de la chimenea de la cocina mejorada, considera una altura 2.5 m y un diámetro interno de 12 cm, de material de plancha metálica galvanizada de 1/40" de espesor, con capucha correspondiente. Se halló que la cocina mejorada evaluada con diferentes GAP (1 y 1.5 cm), con el método de la PEA, en sus 3 fases, el GAP que arrojo el índice más alto de eficiencia térmica y potencia promedio fue el de 1 cm. De la evaluación de la cocina mejorada con la PEA, con el GAP de 1 cm, la eficiencia térmica fue de 25.74% y potencia promedio de 1.72 kW. Se logra concluir que la cocina mejorada comparada con una cocina tradicional o fogón de la provincia de Urubamba, logra un ahorro de leña en un 64 %.

L.C. Mojica S. (2012). En esta investigación se sintetizan y caracterizan carbones activados provenientes de cáscara de semillas de Eucalipto (Eucalyptus globulus Labill), empleando activación química con H_3PO_4 como agente deshidratante y activación física con CO_2 como agente oxidante. Se sintetizaron carbones activados por dos vías, activación física y activación química, de las cuales, las activadas químicamente presentaron mayores áreas superficiales aparentes. Finalmente, se estudió la capacidad de adsorción de fenol sobre los carbones activados. Se encontró que los carbones activados químicamente tienen mayor capacidad de adsorción, con un valor de 128 mg g-1 respecto a las muestras activadas físicamente con un valor de 89,70 mg g-1.Se concluye que las semillas de Eucalipto (Eucalyptus globulus labill), son apropiadas para la obtención de carbones activados, con adecuadas propiedades texturales en muestras activadas químicamente.

Javier A. (2010). Para mejorar la eficiencia térmica de las estufas tradicionales utilizadas en el área rural del municipio de Encino, Santander se construyeron tres prototipos de estufas mejoradas, mediante una modificación efectuada a la cámara de combustión. Las estufas fueron ensayadas aplicando la Prueba de Cocimiento Controlado (pcc) y fueron comparadas contra una estufa testigo (tradicional). Los resultados arrojaron un rendimiento promedio del 14.66% entre las estufas mejoradas y la tradicional, lo cual implica un ahorro en el consumo de leña de 0.86 ton/año. Se concluye que la reducción de emisiones de CO2 sería de 1.85 toneladas equivalentes por estufa mejorada; la sustitución completa de leña procedente del robledal por bancos dendroenergéticos tiene el potencial evitar emisiones del orden de 13.34 toneladas de CO2 equivalente, un proyecto que integre tanto estufas mejoradas como bancos de leña podría evitar la liberación de 15.2 toneladas de dióxido de carbono anuales por familia.

Solís F. (2012). En esta investigación se utilizaron tres residuos agroindustriales: cáscara de naranja, cascarilla de café y bagazo de caña de azúcar para la elaboración de carbón activado (CA). La elaboración se hizo mediante activación química consistió en la

impregnación de las muestras, previamente deshidratadas, con ácido fosfórico en concentraciones de 20, 40 y 85% durante 16 horas y tiempos de carbonización de 1 hora a 500°C. Se obtuvo que los carbones activados químicamente produjeron mayores rendimientos, siendo los| CA de cascarilla de café y de bagazo de caña los que presentaron mayor eficacia en la remoción. El primero logró adsorber hasta el 86.1% del color del guarapo y hasta el 82.1% del jugo claro y, el segundo, hasta el 98.2% y el 77% del color de dichos jugos, respectivamente. Como parte final y conclusión de la investigación se realizaron pruebas con el empleo del CA de bagazo de caña y se determinó que este alcanza un porcentaje del 98% de remoción de color en el guarapo y un 77% en el jugo claro, indicando que las mayores capacidades de adsorción se obtuvieron con este adsorbente.

Yusufu M. (2011). Se estudiaron los índices de calidad de carbones activados de hueso bovino (CB), cáscara de coco (CS) y carbono de madera (WC) según el modo de activación (calor y ácido) utilizando las muestras de carbono no activado como control. Se hizo que la activación por calor (H) fuera a 950 ° C durante 3 h para producir carbón óseo activado por calor (HCB) y 850 ° C durante 21/2 h para cáscara de coco activada por calor (HCS) y carbono de madera (HWC) Ácido (1: 4) carbono: ácido (p / p) a 600 ◦ C durante 2 h para producir muestras activadas con ácido de coco (ACS) y de hueso activado con ácido (ACB). Los carbonos presentaron superficies de Brunauer, Emmett y Teller (BET) entre 718 y 1018 m2 / g, y microporos y mesoporos con volúmenes entre 0,004 y 0,776 cm3/g. Este estudio concluye que los carbones activados eficientes podrían obtenerse de materias primas locales mediante activación controlada con ácido o calor para uso doméstico e industrial.

Hung & Jessica (2012). Diseñaron una planta para producir 14.5 toneladas métricas de carbón activado al día a partir de cáscaras de coco, con el fin de capturar el 2% del mercado proyectado de carbón activado en aplicaciones de purificación de aire para 2014. Se utilizó un gasificador de corriente descendente como reactor de pirolisis con el fin de

maximizar el rendimiento energético del proceso, y se añadió un ciclón y condensador separados para capturar y purificar los subproductos valiosos de la reacción de pirolisis. Se utilizó un reactor de lecho fluidizado como reactor de activación, debido a sus propiedades superiores de transferencia de calor y masa sobre los reactores convencionales utilizados actualmente en la industria. Se implementó una amplia red de intercambiadores de calor para capturar y reciclar el calor y el agua producidos por la reacción de activación, con el fin de minimizar la huella térmica y de agua de la planta. Se obtuvo un rendimiento de pirólisis de 27% y un rendimiento de activación de 55% (del rendimiento de pirólisis) son asumidos. Se concluye que estos son supuestos bastante precisos, ya que se obtienen a partir de la literatura publicada para un conjunto específico de condiciones de reacción, que se replican en el diseño del proceso; en este estudio las condiciones de pirólisis se eligen para eliminar casi todo el contenido de volátiles, de modo que la cantidad traza de sustancias volátiles dejadas en el carbón debe tener un impacto despreciable sobre la composición del subproducto de gas y posteriormente obtener un producto de alta calidad.

Hiroshi Tanaka (2016). Propuso un sistema de destilación térmica que utiliza una parte de la energía térmica de la biomasa quemada en una estufa durante la cocción. La energía térmica se transporta desde la estufa al destilador por medio de un tubo de calor. El destilador es un destilador de difusión vertical de efecto múltiple, en el que un número de particiones paralelas en contacto con mechas impregnadas de solución salina se establecen con estrechas aberturas de aire vertical. Se construyó y probó un aparato piloto experimental con un solo efecto y múltiple efecto para investigar principalmente si un tubo de calor puede transportar energía térmica adecuadamente desde la estufa al destilador. Se encontró que las temperaturas de la placa calentada y la primera que la partición del destilador alcanzó a aproximadamente 100 ℃ y 90℃, respectivamente, en una estadística estable que demuestra que el tubo de calor funciona suficientemente. Se concluye que el agua destilada obtenida fue de aproximadamente 1,35 kg durante las primeras 2 horas de combustión de un destilador de efecto único y de efecto múltiple, respectivamente.

Nápoles S. (2006). Realizó en un reactor de acero inoxidable de 100 L de capacidad, por tratamiento con ácido sulfúrico a 140±5 °C de temperatura, durante 25 min, para garantizar que las hemicelulosas presentes en el material vegetal se solubilizaran obteniéndose un hidrolizado rico en xilosa y con pequeñas cantidades de glucosa y arabinosa. El objetivo del trabajo consiste en la purificación de hidrolizados hemicelulósicos de bagazo de la caña de azúcar por diferentes métodos: carbón activado y resinas de intercambio iónico; siendo el tratamiento más efectivo el realizado con resinas de intercambio iónico en el que se logró remover aproximadamente un 80,9 % de ácido acético, 100 % de los grupos fenólicos y 99,7 % de color. Se obtuvo que en el tratamiento con carbón activado se pierde un 38,2 % de arabinosa, 22,6 % de xilosa y 18,9 % de glucosa lo cual es perjudicial debido a que el rendimiento del proceso se afecta considerablemente. Se concluye y se demuestra que el tratamiento con resinas de intercambio iónico es el más efectivo pues se logró una mayor eliminación de impurezas en el hidrolizado y la concentración de xilosa no resultó afectada.

1.3. Teorías relacionadas al tema

1.3.1. Estufa Rocket

También conocida como estufa cohete, es un modelo de estufa que tiene por objetivo aprovechar la leña de forma eficiente, asegurando una combustión completa y maximizando el uso del calor. Además de reducir la cantidad de leña en relación a un calentador convencional, también permite reducir la emisión de gases nocivos. Las estufas "rocket" incorporan una cámara de combustión simple a alta temperatura que contiene una chimenea vertical aislada, que asegura el 100% de la combustión antes que las llamas alcancen la superficie de cocción. En 1982, el Dr. Larry Winiarski describe los principios usados en esta tecnología.

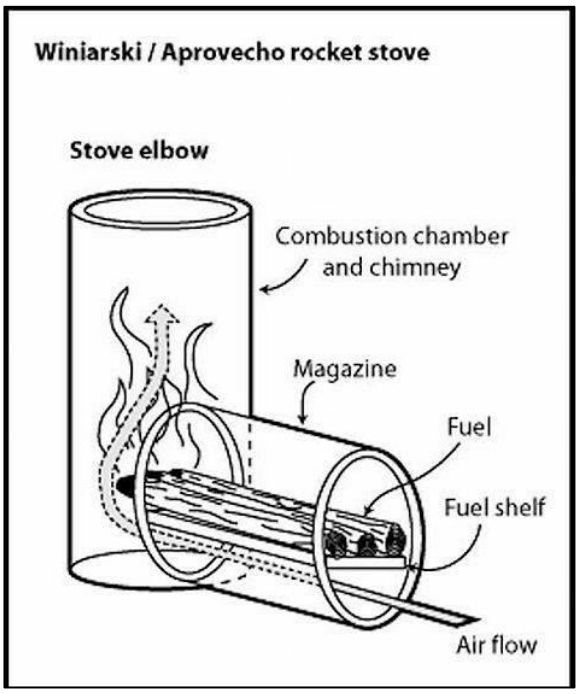


Figura N°2: Estufa Rocket.

Fuente: Pinterest.

Los componentes principales de una estufa cohete son:

Tambor de carga: donde se coloca la biomasa sólida siendo la fuente de alimentación de la cámara de combustión.

Cámara de combustión.

Chimenea vertical: provee la corriente ascendente de aire necesaria para mantener la combustión. **(Montoya et. al 2016)**

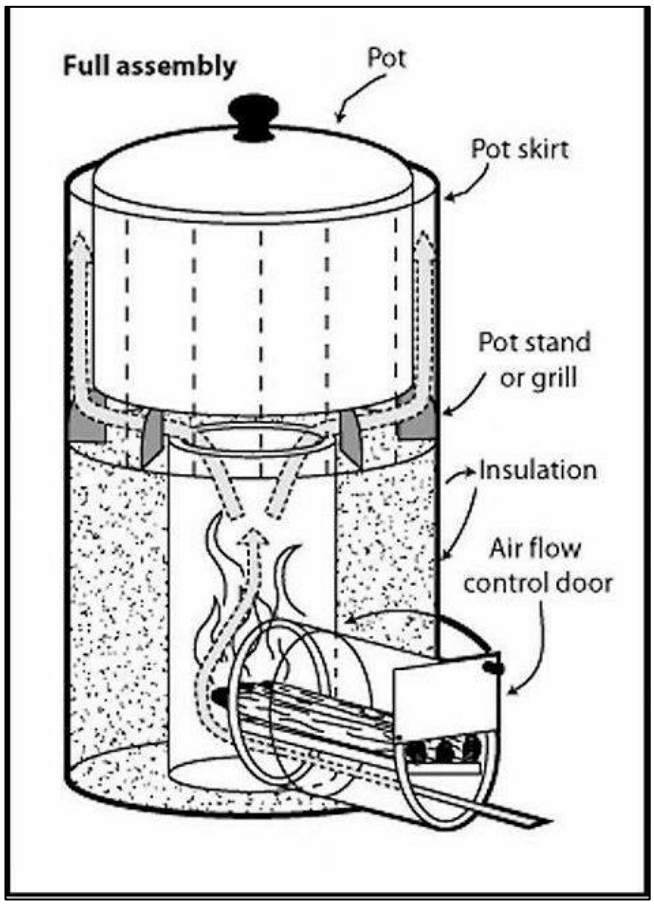


Figura N°3: Estufa Rocket.

Fuente: Pinterest.

Por otra parte, el diseño de la estufa tiene un impacto directo en el cuidado de los bosques por que utiliza poca leña y permite reducir las emisiones en casi a cero. **(Evans & Jackson, Rocket mass heter.2006).**

1.3.2. Clasificación de estufas

Tomando como consideración la denominada clasificación de Anderson para estufas. TLUD Stoves in 2011, recuperado de internet (2016), existen diversos tipos de diseños como se indican a continuación:

Estufa De Leña Funte: Elaboración propia	Estufa Mejorada Funte: http://www.snv.org/sector /energy/topic/ improved-cookstoves	Estufa Rocket Funte: https://www.youtube.com/ watch?v=rKDuLqLhkzk
Estufa Semigasificadora Funte: https://ds.lclark.edu/sge/2013/03/20/two-modern-technologies-for-enhanced-biomass-energy/	Estufa Semigasificadora Funte: http://evokit-notes.tumblr.com/post/25623212352/rice-husk-gasifier-stove	Estufa Semigasificadora Funte: http://www.envirotoons.com /images/Gasifier.gif

Figura N°4 :Clasificación de estufas (ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LIT ORAL,2016**Fuente:** Montoya et. al 2016.

En el siguiente cuadro se muestra algunas consideraciones que se debe tener en cuenta con respecto al uso de estas estufas.

Tabla N°1

Ventajas y desventajas más relevantes de cada una de las estufas considerada en la clasificación.

Tipo de estufa	Ventaja	Desventaja
Estufa de leña	fácil fabricación	gran cantidad de emisiones
Estufa mejorada	portabilidad	genera considerable cantidad de emisiones
Estufa cohete	portabilidad	no aprovecha al máximo los gases volátiles de la biomasa
Estufa semigasificadora	mejor combustión	no aprovecha al máximo los gases volátiles de la biomasa
Estufa gasificadora	mejor combustión	más costosa que las anteriores
Estufa con fan jet	mejor combustión	utiliza energía eléctrica
Estufas sin biomasa	se fabrican en masa	costo elevado

Fuente: Montoya et. al 2016.

1.3.3. Principio de funcionamiento

Una configuración esquemática del modelo de flujo de estufa analítico que se va a desarrollar se muestra en la Figura (10). La física de la estufa ha sido simplificada a dos procesos básicos y fundamentales de conducción: la adición de calor de la combustión (en el punto 2) y la adición / conversión de energía cinética (entre los puntos 1 y 2) debido al efecto de la chimenea. Los dos procesos están interconectados y juntos gobiernan la operación general simplificada de la estufa. **(Agenbroad, Joshua. 2010)**

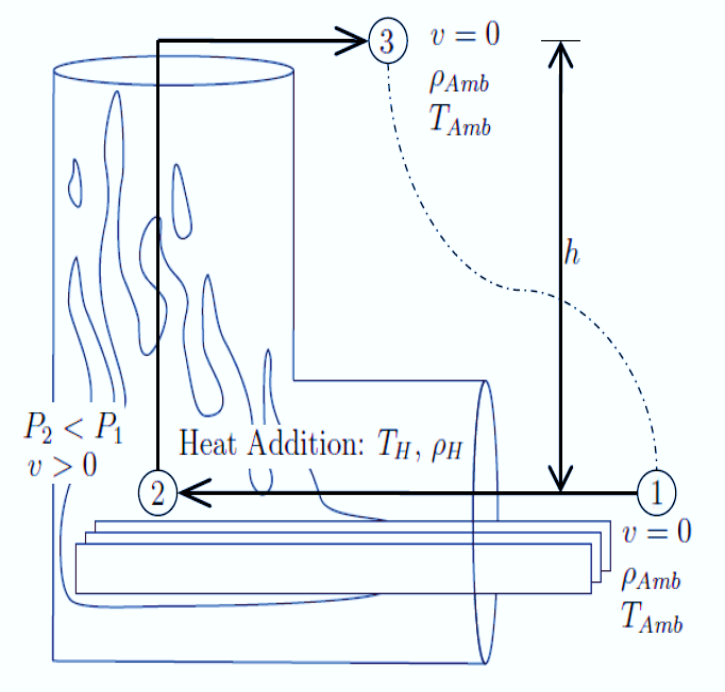


Figura N°5: Modelo desimplificado de estufa.

Fuente: (Agenbroad, Joshua.2010)

1.3.4. Partes de estufa

Tabla N°2

Características de las estufas mejoradas evaluadas en condiciones controladas (DGCENICA, 2008).

DESCRIPCIÓN	ESTUFAS MEJORADAS DE LEÑA				
	ESTUFA 1	**ESTUFA 2**	**ESTUFA 3**	**ESTUFA 4**	**FOGÓN**
Cámara de combustión	Rocket de lamina	Simple no optimizada	Rocket de ladrillo cerámico	Optimizada de ladrillos de cemento	no aplica
comal	rectangular	circular	rectangular	circular	circular
comal principal	60x30 cm	49,5 cm diámetro	70x35 cm	54,5 cm diámetro	54,5 cm diámetro
comal secundario	no aplica	16,5 cm de diámetro	no aplica	28,5 cm diámetro	no aplica
dimensiones	60x30x30,5cm	80x54,5x20 cm	110x39x35cm	104,5x70x28cm	50x30 cm
material de las paredes	fibro-concreto y arena	concreto	concreto y arena	ladrillos rojo, cemento y arena	soporte de piedra
ducto de salida de las emisiones	ducto y codo en la parte posterior del dispositivo	ducto en la parte superior del dispositivo	ducto y codo en la parte posterior del dispositivo	ducto y codo en parte superior del dispositivo	no aplica
material del ducto	lámina galvanizada	lámina galvanizada	lámina galvanizada	lámina galvanizada	no aplica
dimensiones del ducto	3mx10cm diámetro	3 m x 10 cm diámetro	3m x10 cm diámetro	3 m x 10 cm diámetro	no aplica
empresa o grupo de distribución	mujeres trabajadoras A.C	Mexalit S.A.	HELPS Internacional México	GIRA A.C.	no aplica

Fuente: DGCENICA (DGCENICA, 2008).

A continuación se describen las partes de las cocinas mejoradas:

A) LA PARRILLA

Elemento que permite un flujo de aire constante a la cámara de combustión, la presencia de carbón y ceniza durante la combustión impiden la correcta circulación del aire.La pepa de aceituna se coloca encima de la parrilla,para que el espacio que quede debajo de ella pueda ingresar aire con normalidad.

B) CAMARA DE COMBUSTION

Es la parte donde se produce la combustión de la pepa de aceituna;este principio consiste en el diseño de la cámara de combustión en forma de "L", esta configuración permite crear una mayor corriente de aire, lo que provee de la cantidad de oxigeno suficiente para lograr una combustión completa y por lo tanto reducidos niveles de emisión sin embargo, para evitar que esta masa de aire frío que ingresa disminuya la temperatura al interior de la cámara de combustión (lo que sería perjudicial para una buena combustión) , el aire es forzado a pasar debajo de una parrilla que sostiene al combustible permitiendo su calentamiento gradual. Adicionalmente, las paredes de la cámara de combustión están aisladas para minimizar las pérdidas de calor y con ello mejorar la transferencia de calor por radiación y convección **(Assureira E. y Assureira M., 2007).**

C) CHAQUETA O FALDA

La chaqueta o falda es una pared que permite crear un espacio entre al cesto que contendrá en su interior las cáscaras de coco , su finalidad es de que los gases calientes no se escapen al ambiente y rosen las áreas laterales del cesto.

En la siguientes figuras se muestran los diferentes tipos de estufas mejoradas.

Figura N°6: Estufas mejoradas y fogón tradicional evaluados en condicionescontroladas (DGCENICA, 2008).

Fuente: DGCENICA, 2008).

1.3.5. Dimensiones de una estufa rocket en la actualidad

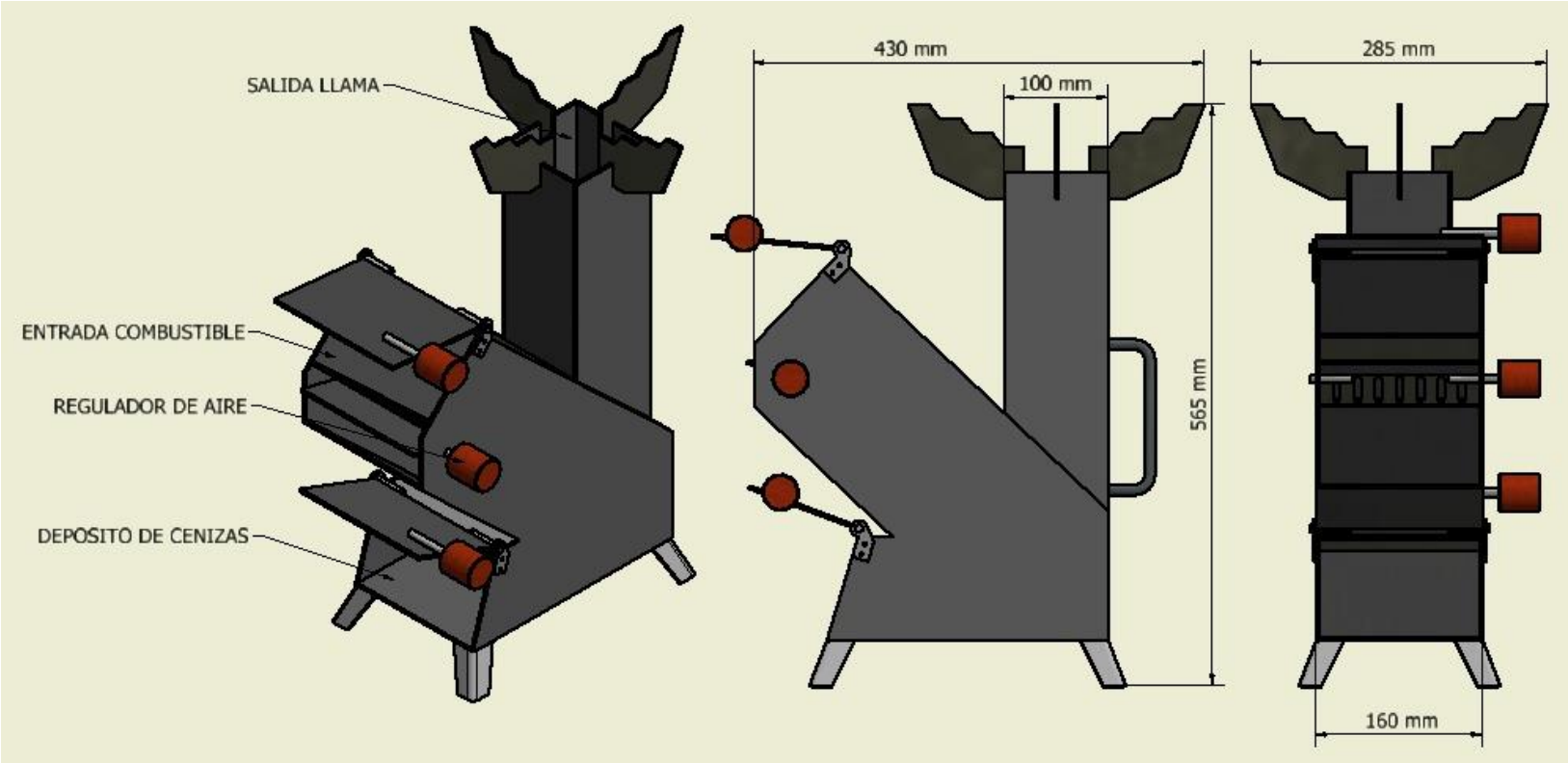


Figura N°7: Configuración geométrica de una estufa rocket actual.

Fuente: Pinterest.

1.3.6. Selección de materiales:

Nuestra estufa rocket estará sometida a altas temperaturas durante su funcionamiento; es por eso que nos guiaremos de la norma ASTM, para la selección del material adecuado.

Tabla N°3
Propiedades del acero ASTM.

Elemento	Material	Observación
ESTUFA ROCKET	ACERO ASTM-A36	La estufa rocket se encuentras sometida a altas temperaturas durante el proceso de combustión de la biomasa.

Plancha Estructural de Acero al carbono de baja resistencia mecánica

NORMA TECNICA	F	R	A	NORMA EQUIVALENTE
	Kg/mm2	Kg/mm2	%	
ASTM A - 36 Grado C	34 min	41 min	18 min	DIN 17100 - St 37 - 2

Fuente: Perú metales**.**

1.3.7. Cálculos de diseño

a) Diseño de configuración de estufa rocket

Para el cálculo de la configuración de la estufa rocket, se hace uso de las ecuaciones citadas por Aprovecho(2006), las cuales se muestran a continuacion:

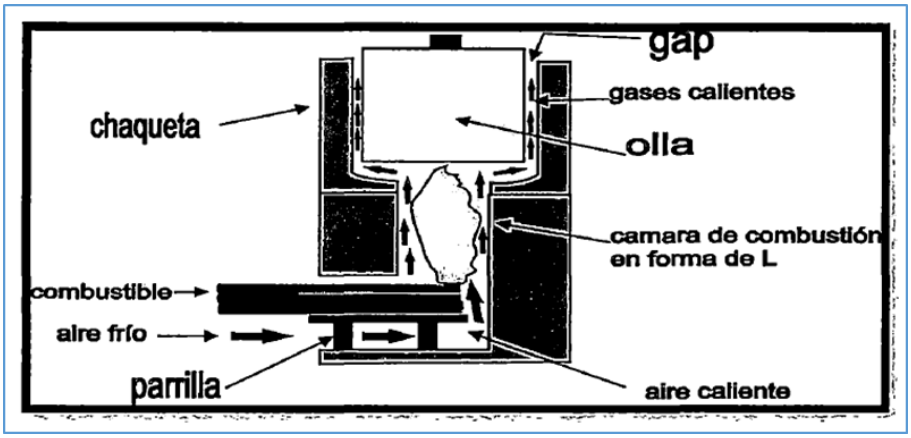


Figura N°8 : Partes de una cocina rocke.

Fuente: Assureira E. y Assureira M., 2007

✓ Aspectos generales: Se seleccionó el material con las siguientes características

Tabla N°4

Características de acero ASTM-A36.

ACERO ASTM-A36 (MARCA YOHERSA)

Espesor mm	Ancho mm	Largo mm	Kg peso teórico
12	1200	2400	271.30

Fuente: YOHERSA**.**

✓ Altura de chimenea

$$A_{CH} = 3 \times D_{CH} \ldots\ldots\ldots(1)$$

A_{CH} : altura de chimenea cm.

D_{CH} : diámetro de chimenea cm.

✓ Cálculo del ára de la cámara de combustión A_{CC}

$$A_{CC} = l \times w \ldots\ldots\ldots(2)$$

A_{CC} :área de la cámara de combustión cm^2.

l : largo de la cámara de combustión cm.

w : ancho de la cámara de combustión cm.

✓ Cálculo del espacio necesario al borde de la cámara de combustión C_C

$$C_C = 2l + 2w \ldots\ldots\ldots(3)$$

C_C : espacio necesario al borde de la cámara de combustión cm.

l : largo de la cámara de combustión cm.

w : ancho de la cámara de combustión cm.

✓ Cálculo de la altura de la cesta G_C

$$G_C = \frac{A_{CC}}{C_C} \ldots\ldots\ldots(4)$$

A_{CC} :área de la cámara de combustión cm^2.

C_C : espacio necesario al borde de la cámara de combustión cm.

G_C : altura de la cesta cm.

✓ GAP: Es el espacio entre la cesta y la falda, su función es que los gases calientes y el calor rodeeen la cesta, así aprovechar al máximo el calor generado por la combustión de la leña.

$$GAP = \frac{A_{CC}}{C_P} \ldots\ldots\ldots(5)$$

A_{CC} :área de la cámara de combustión cm^2.

C_P: espacio óptimo al borde de la cesta cm.

✓ Espacio óptimo al borde de la cesta C_P

$$C_P = 2 \times \pi * r_c \ldots\ldots\ldots(6)$$

C_P: espacio óptimo al borde de la cesta cm.

r_C: radio de la cesta cm.

✓ Calculo del ancho de la parrilla metálica

Para el cálculo del ancho de la parrilla metálica se considero el teorema de pitágoras en triangulo rectángulo.

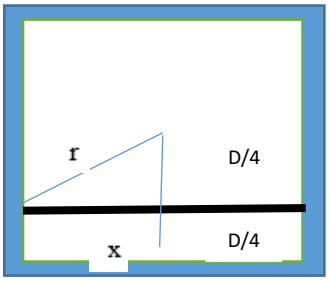


Figura N°9: Ancho de parrilla metálica.

Fuente: Assureira E. y Assureira M., 2007

Digrama para el cálculo del ancho de la parrilla metalica.

CC: cámara de combustión.

D_{CC}: diámetro de la cámara de combustión.

X: incognita.

b) Mecanismos de transferencia de calor

1. Ley de fourier

Es posible cuantificar los procesos de transferencia de calor en términos de las ecuaciones o modelos apropiados, los cuales sirven para calcular la cantidad de energía que se transfiere por unidad de tiempo. Para la conducción de calor, la ecuación o modelo se conoce como la ley de Fourier. **(lncropera Frank.1999).**

$$\frac{q_x}{A} = -A \times \frac{dt}{dx} \ldots\ldots\ldots (7)$$

A: área.

q_x: flujo de calor o transferencia de calor por unidad de área (W/m^2).

dt/dx: gradiente de temperatura en dirección x.

K: conductividad térmica (W/m^2).

Este tipo de transferencia siempre está, presente, en mayor o menor grado, en sólidos, líquidos y gases en los que existe una gradiente de temperatura **(C.J.Geancoplis.1998).**

Valores de Conductividad térmica que usaremos en nuestro análisis:

Tabla N°5

Características del acero ASTM-A36 y la fibra de sílice.

MATERIAL	CONDUCTIVIDAD	FUENTE
Acero	$51.9\ \frac{W}{m \times K}$	Catálogo fieltro felp team
Fibra de silice(600 °C)	$0.15\ \frac{W}{m \times K}$	Cengel

Fuente: Propia**.**

2. Sistemas de paredes compuestas

El calor que atraviesa cada capa es el mismo, puesto que, en estado estacionario la cantidad de calor que entra por una superficie sale toda por la siguiente.

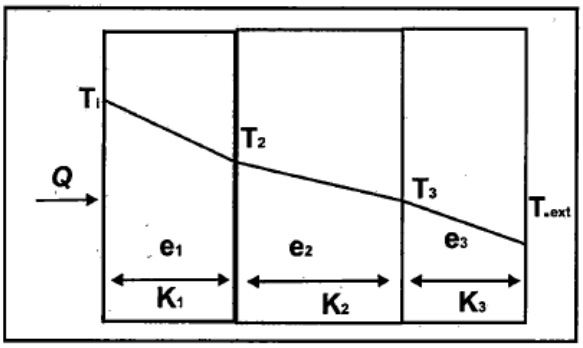


Figura N°10: Sistemas de paredes compuestas..

Fuente: cengel, 2011.

Entonces:

$$Q = \frac{T_i - T_1}{R_1} \times A = \frac{T_2 - T_3}{R_2} \times A = \frac{T_3 - T_e}{R_3} \times A = \frac{T_i - T_{ext}}{R_1 + R_2 + R_3} \times A$$

Es decir:

$$Q = \frac{T_i - T_{ext}}{\sum R} \times A = \frac{T_i - T_1}{\sum \frac{e}{k}} \times A \quad \dots\dots\dots (8)$$

Donde:

R_1,R_2,R_3: resistencia térmica de las distintas capas

A: área de transferencia de calor.

Por lo tanto las temperaturas de las paredes intermedias se calculan, a partir de la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{T_2 = T_i - Q \times \frac{R_1}{A}} \quad \dots\dots\dots (9)$$

Por lo tanto:

$$R = \frac{e}{A \times K} \quad \dots\dots\dots (10)$$

Convección

La transferencia de calor por convección implica el transporte de calor en un volumen y la mezcla de elementos macroscópicos de porciones calientes y frías de un gas o un líquido. Además, con frecuencia incluye también el intercambio de energía entre una

superficie sólida y un fluido. Conviene aclarar que hay una diferencia entre la transferencia de calor por convección forzada en la que se provoca el flujo de un fluido sobre una superficie solida por medio de una bomba, un ventilador, u otro dispositivo mecánico y la convección libre o natural, en la cual un fluido más caliente o más fría que está en contacto con la superficie sólida causa una circulación debido a la diferencia de densidades que resulta de la gradiente de temperaturas en el fluido **(Geancoplis.1998).**

$$\boldsymbol{q} = \mathbf{h} \times \mathbf{A} \times (\mathbf{T_w} - \mathbf{T_f}) \ldots\ldots\ldots (11)$$

Dónde:

q: velocidad de transferencia de calor, w.

A: área de transferencia de calor, m2.

h: coeficiente conectivo de transferencia de calor, $W/m^2.K$

$T_{w:}$ temperatura de la superficie del sólido, K.

$T_{f:}$ temperatura promedio o general del fluido, K.

Tabla N°6

Valores aproximados del coeficiente de transferencia de calor Conectivo.

MECANISMO	h(Btu/hr ft^2 °F)	h(W/m^2.K)
Convección libre, aire	1 - 10	5 - 50
Convección forzada, aire	5 - 50	25 - 250
Convección forzada, agua	50 - 3 000	250 – 15 000
Agua en ebullición	500 – 5 000	2500 – 25 000
Vapor de agua	1 000-20 000	5 000 – 100 000

Fuente: James Welty R. 1992.

Radiación

La radiación difiere de la conducción y la convección en cuanto a que no se requiere un medio físico para la transferencia. La radiación es la transferencia de energía a través del espacio por medio de ondas electromagnéticas, de manera similar a las ondas electromagnéticas que propaga la luz. Los sólidos y líquidos tienden a absorber la radiación que está siendo transferida a través de ellos, por lo que la radiación es más importante en la transferencia a través del espacio o de gases **(Geancoplis. 1998).**

Cuerpo negro.

Se define como el cuerpo (superficie) absorbe toda la energía radiante y no

refleja porción alguna de la misma, es un cuerpo ideal, cuya emisividad es igual a 1 **(Geancoplis, 1998).**

Entonces:

$$Q_{rad} = A \times \sigma \times (T_1^4 - T_2^4) \ \ldots\ldots\ldots (12)$$

$Q_{rad:}$ flujo de calor, W

A:área superficial del cuerpo 1, m^2

σ:constantes de boltzman, $5.676x10^{-8}$,$W/m^2.K^4$

$T_{1:}$temperatura del cuerpo 1, K

T_2:temperatura del cuerpo 2, K

3. Flujo volumétrico y la velocidad de salida del aire en la tobera de nuestra estufa rocket

Para este cálculo se hará uso de la fórmula de la continuidad , es decir de la conservación de la masa; para nuestro caso se tomará al aire como fluido.Las fórmulas son las siguientes:

$$Q_1 = Q_2 \ldots\ldots\ldots (13)$$

$$A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2 \ \ldots..(14)$$

Donde:

A_1 y A_2 : Área de entrada y salida de la tobera, m^2.

Q_1 y Q_2 : flujo volumétrico, m^3/s.

V_1 y V_2 : Velocidad de entrada y salida, m/s.

C. Balance de calor en la cámara de combustión

1. El gas de combustión sigue comportamientos de gas ideales. Las propiedades termodinámicas de los gases de combustión son las mismas que las del aire, y se evaluaron a la presión atmosférica. Las siguientes correlaciones se establecieron para diferentes propiedades del aire en el rango de temperatura de 300-1500 K a 1 atm **(Milind P. Khirsagar, 2015).** Ver ANEXO N°6.

A. Viscosidad dinámica del aire / de gases de combustión

$$\mu = 0.0447 \times 10^{-5} \times T^{0.7775} \ldots\ldots (15)$$

B. Conductividad térmica del aire / de gases de combustión

$$k = 0.00031847 \times T^{0.7775} \ldots\ldots (16)$$

C. Calor específico del aire / de gases de combustión

$$C_P = 0.9362 + 0.0002\, T \ldots\ldots (17)$$

D. Viscosidad cinemática del aire / de gases de combustión

$$\mathrm{V} = (0.0000644 \times \mathrm{T}^2 + 0.0631 \times \mathrm{T} - 9.54) \times 10^{-6} \ldots\ldots (18)$$

E. Densidad de la atmosfera del aire

$$\rho = 353/\, T \ldots\ldots (19)$$

F. Número de Prandtl para aire / gases de combustión

$$P_r = 0.685\ (contante)$$

G. Entalpia del aire (cengel)

$$h = 9.314 \times 10^{-5} \times T^2 + 0.94576 \times T + 7.0445 \ldots\ldots (20)$$

2. Para el cálculo del balance de calor en la cámara de combustión, se utilizaron valores de algunas variables que intervienen en el cálculo de investigaciones previamente estudiadas (Ver ANEXO N°6) en donde éstas realizaron la construcción y posteriormente realizaron pruebas, determinando algunos factores que nos resultan de interés para esta optimización de diseño **(Milind P. Khirsagar, 2015).**

A. Calor suministrado por la cámara de combustión:

$$Q_{CSCC} = Q_{RC} + Q_{RL} + Q_{PC} \ldots\ldots (21)$$

Donde:

Q_{cscc}: Calor suministrado por la camara de combustion

Q_{RC}: $Q_{\text{radiación del carbón}}$

Q_{RL} : $Q_{\text{radiacion de llama}}$

Q_{PC}: $Q_{\text{Pérdida de calor}}$

Q Radiación de calor:

$$Q_{RC} = \frac{\sigma * A * (T^4{}_c - T^4{}_p)}{\frac{(1-\varepsilon_C)}{\varepsilon_C} + \frac{2}{(1+F_{c-p})}} * \frac{1}{1000 * \dot{m}_f} \ldots\ldots (22)$$

Donde:

σ : Constante de Stefan boltzman (W/m^2K^4)

A: Área de la sección transversal de la chimenea /cámara de combustión (m^2)

T_C: Temperatura del tiro en la esquina de la parrilla u cesta (K)

T_P: Temperatura de la superficie de la parrilla (K)

E_C: Emisividad del carbón.

$F_{C\text{-}P}$: Factor entre la cama de carbón y el fondo de la parrilla.

$\dot{m}_f$: Velocidad de combustión (kg combustible seco / s)

Factor entre la cama de carbón y el fondo de la parrilla:

$$F_{c-p} = \frac{(D^2 + 2 * (H + W_i)^2 - 2(H + W_i) * \sqrt{D^2 + (H + W_i)^2})}{D^2} \ldots (23)$$

Donde:

D: diámetro de chimenea (m).

H: altura de chimenea (m).

W_i: ancho del espacio del recipiente interno (m).

Ahora se determinará el calor radiante que entrega la llama utilizando:

$$Q_{RL} = \sigma * A * \left(\varepsilon_g * {T_g}^4 - \alpha_g * {T_p}^4\right) * \frac{1}{1000 * \dot{m}_f} \ldots\ldots (24)$$

Donde:

σ : Constante de Stefan boltzman (W/m^2K^4).

A: Área de la sección transversal de la chimenea /cámara de combustión (m^2).

E_g: emisividad de los gases en la cámara de combustión.

T_g: temperatura de combustión dentro de la chimenea (K).

α_g: absorbancia del gas de combustión.

T_P: Temperatura de la superficie de la parrilla (K).

$\dot{m}_f$: Velocidad de combustión (kg combustible seco / s).

Absorbancia del gas de combustión se tomó de Bejan y Kraus:

$$\propto_g = E_g \times \left(\frac{T}{T_S}\right)^{0.5} \ldots\ldots (25)$$

Donde:

E_g: emisividad de los gases en la cámara de combustión.

T: temperatura (K).

T_S: temperatura de la superficie en la zona (K).

Pérdida de calor:

$$Q_{PC} = \frac{(T_g - T_a)}{\frac{1}{(h_{ci} + h_{rfl} + h_{rch})A_o} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi * H * k_i} + \frac{1}{(h_{co} + h_{ro})A_o}} * \frac{1}{1000 * \dot{m}_f} \ldots\ldots (26)$$

Donde:

T_g: temperatura de combustión dentro de la chimenea (K).

T_a: temperatura ambiente (K).

D_O: diámetro exterior de la estufa en (m).

D_i: diámetro interior de la estufa (m).

A_O: superficie externa de la pared en (m^2).

h_{ci}: coeficiente conectivo de transferencia de calor para la pared interior (W/m^2K)

h_{rfl}: Coeficiente de transferencia de calor radiactivo de la llama para la pared interna (W/m^2K)

h_{rch}: coeficiente radiactivo de transferencia de calor para la pared interior (W/m^2K)

K_i: conductividad térmica del aislamiento de la estufa (W/m K)

H: altura de chimenea (m)

h_{co}: coeficiente conectivo de transferencia de calor para la pared exterior (W/m^2K)

h_{ro}: coeficiente de transferencia de calor radioactivo para la pared exterior (W/m^2K)

$\dot{m}_f$: Velocidad de combustión (kg combustible seco / s).

De las expresiones obtenemos el coeficiente convectivo de transferencia de calor para diferentes zonas de la estufa rocket:

Coeficiente convectivo de transferencia de calor para la pared interior

$$h_{ci} = \frac{k}{D} * 0.023 * Re^{0.8}{}_D * Pr^{0.3} \ldots\ldots (27)$$

Donde:

K: conductividad térmica del aire/gas de combustión (W/m K)

R_{ed}: número de Reynolds.

P_r: número de Prandtl para aire/gases de combustión.

D: diámetro de chimenea.

Coeficiente de transferencia de calor radiativo de la llama para la pared interior

$$h_{rfl} = \frac{\sigma*(\varepsilon_g*T_g{}^4 - \alpha_g*T_{wi}{}^4)}{T_g - T_{wi}} \ldots\ldots (28)$$

Donde:

σ : Constante de Stefan boltzman (W/m^2k^4).

T_g: temperatura de combustión dentro de la chimenea (K)

α_g: absorbancia del gas de combustión.

T_{wi}: temperatura de la superficie de la pared interior (K)

E_g: emisividad de los gases en la cámara de combustión.

Coeficiente radiactivo de transferencia de calor para la pared interior

$$h_{rch} = \frac{\sigma*(T_{carb}{}^2 + T_{wi}{}^2)*(T_{carb} + T_{wi})}{\left(\frac{1-\varepsilon_c}{\varepsilon_c}\right) + \frac{F_{c-w} + F_{c-p}}{F_{c-w}*(F_{c-w} + F_{c-p})}} \ldots\ldots (29)$$

Donde:

E_C: emisividad del carbón.

σ : Constante de Stefan boltzman (W/m^2k^4).

T_{char}: temperatura del carbón (K)

T_{wi}: temperatura de la superficie de la pared interior (K)

$F_{char\text{-}wall}$: factor entre la cama de carbón y la pared interior

$F_{chair\text{-}pot:}$ factor entre la cama de carbón y la superficie de la parrilla

Coeficiente convectivo de transferencia de calor para la pared exterior

$$h_{co} = \frac{k}{H} * 0.59 * Ra_H^{0.25} = \frac{k}{H} * 0.59 * (Gr_H * P_r)^{0.25} \ldots\ldots (29)$$

Donde:

K: conductividad térmica del aire/gas de combustión (W/m K)

H: altura de chimenea (m)

R_{ah}: número de Rayleigh para la superficie exterior

$G_{rh:}$ número de Grashof para la superficie exterior

P_r: número de Prandtl para aire/gases de combustión.

Coeficiente de transferencia de calor radiativo para la pared exterior

$$h_{ro} = \sigma * \varepsilon_o * (T^2_{wo} + T_a^2) * (T_{wo} + T_a) \ldots\ldots (30)$$

Donde:

E_o: emisividad de la superficie externa de la pared (0.98)

σ : Constante de Stefan boltzman (W/m^2k^4).

T_{wi}: temperatura de la superficie de la pared interior (K)

T_a: temperatura ambiente (K).

Reynolds en la zona de combustión

$$N_R = \frac{d_{chim} * v_g}{v} \ldots\ldots (31)$$

Donde:

d_{chim} : Diametro interno de la chimenea, m

v_g : Velocidad del gas en la chimenea, m/s

v : Viscosidad cinemática del gas, m^2/s

Zona de combustión:

Los principales procesos considerados en la cámara de combustión fueron la combustión del combustible (volátiles y finalmente el carbón), la transferencia de calor radiativo a la parrilla del carbón y la llama, y la pérdida de calor de las paredes de la estufa y la apertura de la puerta al entorno. En las estufas de leña de aspiración natural, el efecto de chimenea debido a la fuerza de flotación impulsa el flujo de aire contra las diferentes resistencias de flujo. Este flujo de aire, a su vez, determina la velocidad de combustión de la madera, así como la transferencia de calor general y el rendimiento de la combustión. Utilizando la metodología adoptada por los investigadores anteriores de la estufa y la chimenea solar, el efecto de la chimenea (para todo el calor agregado en la base de la chimenea y la temperatura y densidad constantes de los gases de combustión) **(Milind P. Khirsagar, 2015).**

Efecto chimenea:

$$\Delta\, P\ chimenea = H \times \left(\rho_a - \rho_g\right) \times g = \frac{1}{2} \times \rho_g \times V_{th}^2 \ldots\ldots (32)$$

Donde:

H: altura de chimena (m)

ρ_a : densidad del aire atmosférico (Kg/m^3)

ρ_g: densidad de gases de combustión (Kg/m^3)

g: gravedad (9.81 m/s^2)

V_{th}^2: velocidad teórica de los gases de combustión (m/s)

Velocidad teórica de los gases de combustión:

$$V_{th} = \sqrt{2 \times g \times H \times \left(\frac{T_g}{T_a} - 1\right)} \ldots\ldots (33)$$

Donde:

H: altura de chimena (m)

g: gravedad (9.81 m/s^2)

T_g: temperatura de combustión dentro de la chimenea (K)

T_a: temperatura ambiente (K)

A partir de la ecuación de continuidad e caudal teórico masico de los gases de combustión:

$$\dot{m}_{th} = \frac{353}{T_g} \times A \times \sqrt{2 \times g \times h \times \left(\frac{T_g}{T_a} - 1\right)} \ldots\ldots (34)$$

Donde:

T_g: temperatura de combustión dentro de la chimenea (K)

A: área de la cámara de combustión m^2.

g: gravedad (9.81 m/s^2)

h: entalpia del aire

T_a: temperatura ambiente (K)

Contabilizando la caída de presión debido a diferentes razones en la estufa, la tasa de flujo de masa real:

$$\dot{m}_{act} = Cd \times \frac{353}{T_g} \times A \times \sqrt{2 \times g \times h \times \left(\frac{T_g}{T_a} - 1\right)} \ldots\ldots (35)$$

Donde:

Cd: coeficiente de descaraga (0.383)

T_g: temperatura de combustión dentro de la chimenea (K)

A: área de la cámara de combustión m^2.

g: gravedad (9.81 m/s^2)

h: entalpia del aire

T_a: temperatura ambiente (K)

Aplicando el balance de masa:

$$\dot{m}_{act} = \dot{m}_{flue} \times \dot{m}_f \ldots\ldots (36)$$

$$m_{flue} = \left(m_a + 1 + \frac{M}{100 - M}\right) \ldots\ldots (37)$$

$$\dot{m}_f = \frac{P}{NCV} \ldots\ldots (38)$$

Donde:

$\dot{m}_{act}$: flujo de masa real (kg/s)

$\dot{m}_{flue}$: kg humo producido por kg de combustible seco quemado

$\dot{m}_f$: tasa de combustión de combustible seco (kg/s)

m_a: Kg de aire suministrado para la combustión por kg de combustible seco quemado

M: contenido de humedad del combustible en peso (%)

P: potencia de fuego de la estufa (kW)

NCV: valor calorífico neto del combustible (kJ / kg de combustible seco)

Kg humo producido por Kg de combustible seco quemado

$$\dot{m}_{flue} = Cd \times \frac{353}{T_g} \times \frac{1}{\dot{m}_f} \times A \times \sqrt{2 \times g \times h \times \left(\frac{T_g}{T_a} - 1\right)} \ldots\ldots (39)$$

Donde:

Cd: coeficiente de descaraga(0.383)

T_g: temperatura de combustión dentro de la chimenea (K)

$\dot{m}_f$: tasa de combustión de combustible seco (Kg/s)

A: área de la cámara de combustión m^2.

g: gravedad (9.81 m/s^2)

h: entalpia del aire

T_a: temperatura ambiente (K)

D.Determinación de la temperatura interna de la cámara de combustión.

Para el cálculo de la determinación de la temperatura interna de la cámara de combustión se utilizó como guía el capítulo 15. REACCIONES QUÍMICAS del libro de TERMODINÁMICA **(Cengel Yonus, 2009);** se hizo un análisis estequiométrico para determinar los productos de entrada y salida de nuestra combustión; para luego seguir con el análisis de determinación de temperatura de flama adiabática teniendo en cuenta cada uno de los componentes químicos de nuestro combustible.

1.3.8. Biomasa.

La Biomasa se define como el conjunto de la materia orgánica, de origen vegetal o animal, así como aquellos materiales que proceden de su transformación natural o artificial. La Biomasa se caracteriza por tener un bajo contenido en carbón y un elevado contenido en oxígeno y en compuestos volátiles. Los compuestos volátiles, con presencia de dióxido de carbono, monóxido de carbono e hidrógeno, son los que concentran una gran parte del poder calorífico de la biomasa. Su poder calorífico depende mucho del tipo de biomasa considerada y de su contenido de humedad. Estas características, junto con el bajo contenido en azufre, la convierten en un producto especialmente atractivo para ser aprovechado energéticamente. Es importante destacar también el aspecto ambiental de la biomasa. Su aprovechamiento energético no contribuye a aumentar el efecto invernadero ya que el balance de emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera es neutro. **(Míguez Gómez, Claudio. 2012).**

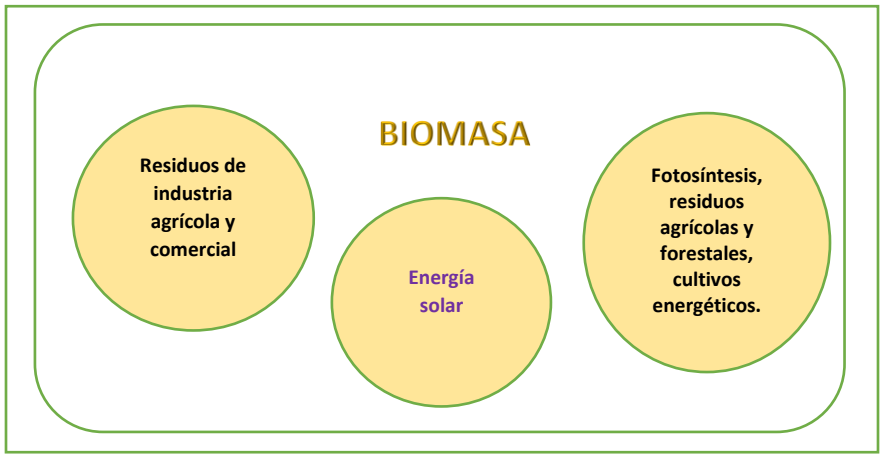


Figura N°11: principales fuentes de biomasa.

Fuente: Elaboración propia.

La tabla muestra el tipo y procedencia de los diferentes tipos de biomasa:

Tabla N°7

Clasificación de tipos de biomasa por procedencia (Asociación Nacional de empresas forestales (ASEMFO, 2013).

TIPO DE BIOMASA	PROCEDENCIA
FORESTAL	restos de aprovechamientos forestales, cortes de pies maderables, otros productos: cáscara de piñón, escudetes de piña, etc., cultivos energéticos leñosos: chopos, paulonias, etc.
AGRÍCOLA	residuos de cultivos herbáceos: paja, saneamiento, etc., residuos de cultivos leñosos: podas, etc., cultivos energéticos herbáceos: colza, remolacha, sorgo, etc.
GANADERA	Purines, estiércol, residuos de material específico de riesgo MER.
INDUSTRIAL	industrias agroalimentarias: almazaras, harineras, frutos secos, etc., industria de la madera: corteza, serrines, virutas, etc., pasta de papel, textil, construcción, etc.
URBANA	Restos de jardinería, fracción orgánica de residuos sólidos urbanos RSU., lodos depurados de aguas residuales EDAR., aceites de origen vegetal usados.

Fuente: ASEMFO (ASEMFO, 2013)

1.3.8.1. Caracterización de la Biomasa como combustible. (Montoya Mendoza, Luis.2016 & Serrano Aguirre, Daniel.2016, Pag.18).

Las propiedades características son las siguientes:

a) Propiedades Físicas

Entre las propiedades físicas de interés tenemos la densidad y la humedad. Y su distribución granulométrica. Por otro lado, la granulometría se refiere al estado en el que se encuentre la biomasa: troncos, ramas, astillas, polvo, etc.

b) Propiedades Químicas

Las propiedades químicas de interés se refieren a las composiciones químicas de las diferentes biomasas, así como su contenido de cenizas.

Para caracterizar las propiedades químicas de la biomasa se realizan los análisis de tipo elemental e inmediato.

Figura N°12: Diferentes tipos de biomasa.

Fuente: Análisis de los parámetros y selección de hornos para la combustión de bio masa.

A continuación, se muestra las propiedades químicas de distintos tipos de biomasa

Tabla N°8

Características de algunas biomasas(CENTRO NACIONAL DE ENERGÍAS RENOVABLES(CENER, 2012).

	% EN BASE HÚMEDAD					
TIPO DE BIOMASA	**HUMEDAD**	**CENIZAS**	**VOLÁTILES**	**AZUFRE**	**PCI (Kcal/Kg)**	**DENSIDAD MEDIA(Kg/m^3)**
orujos de uva seco	<12	<4	>58	<0,3	>3.800	275-300
hueso de aceituna	12-23	<1	>65	<0,1	>3.800	680
astilla de madera	20-55	1-2	>65	<0,05	1.600-3.300	250
serrín(húmedo)	20-55	<1	>65	<0,05	1.600-3.300	350
cáscara de almendra	~ 9-15	~ 1-3	~ 60-70	~ 0	>3,700	400
pélets de madera	<12	<1	>60	<0,05	>4.000	650
leñas	20-30	1,2	n.d	0,02	3.000-3.400	380

Fuente: CENER (CENER, 2012)

- **Análisis elemental. -** Determina los porcentajes en peso de los principales elementos constitutivos de la materia orgánica, es decir, el peso porcentual del carbono,

hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y azufre. Esta información se utiliza para determinar la cantidad de aire que se necesita en la combustión (combustión ideal).

- **Análisis inmediato. -** El análisis determina la humedad, contenido de cenizas, materia volátil y carbono fijo de la biomasa. El contenido de humedad nos indica la cantidad de agua que contiene la biomasa. La materia volátil, que se presenta como gases y vapores, se oxida en presencia de oxígeno a alta temperatura. Una vez combustionada la materia volátil, el carbono fijo queda presente en forma de cenizas.

c) Propiedad Energética

La propiedad energética se conoce como poder calorífico y representa la energía química que posee el combustible para poder ser transformada en energía térmica a través de la combustión.

Para determinar el poder calorífico de un combustible, se usa un calorímetro en el que se combustiona una determinada cantidad de masa del combustible, si tras la combustión se genera en las paredes del calorímetro condensación de vapor de agua, entonces se obtiene el P.C.S., si el agua permanece en forma de vapor, entonces se obtiene el P.C.I.

1.3.8.2. Proceso de Combustión de la Biomasa

La combustión al ser un proceso termoquímico, se tendrá al oxígeno presente en el aire como comburente y a la biomasa sólida como combustible. Durante el proceso se generan gases de combustión y cenizas. Los componentes de la biomasa (C, O, N, H, S) se oxidan en la combustión estequiométrica. Sin embargo, en el proceso real de combustión, a fin de que se produzcan inquemados, se trabaja con exceso de aire, sin que este sea sobre utilizado, puesto que se estaría calentando el exceso de aire y como consecuencia disminuiría la utilización del calor liberado por la biomasa. Para obtener una buena combustión se recomienda trabajar con la regla de las tres T que implica, un ajuste

entre la temperatura, el tiempo de residencia y la turbulencia. **(Montoya Mendoza, Luis.2016 & Serrano Aguirre, Daniel.2016, Pag.19).**

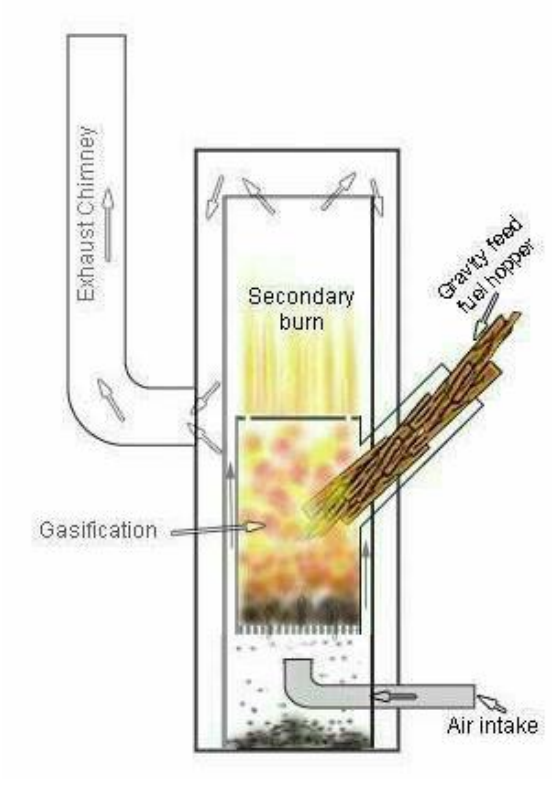


Figura N°13: Estufa Rocket.

Funte: Pinterest.

1.3.8.3. Aspectos medio ambientales del uso de biomasa como combustible

La combustión de biomasa es un proceso que se considera neutro en emisiones de CO2, debido a que el CO2 que se libera hacia la atmosfera durante la combustión será el mismo que se ha fijado en la biomasa a través de la fotosíntesis durante el crecimiento de los cultivos sin considerar procesos previos generados a partir de las actividades humanas. Por dicha razón es importante mantener bajos los niveles de emisiones debidos a una combustión incompleta. (**(Montoya Mendoza, Luis.2016 & Serrano Aguirre, Daniel.2016, Pag.21).**

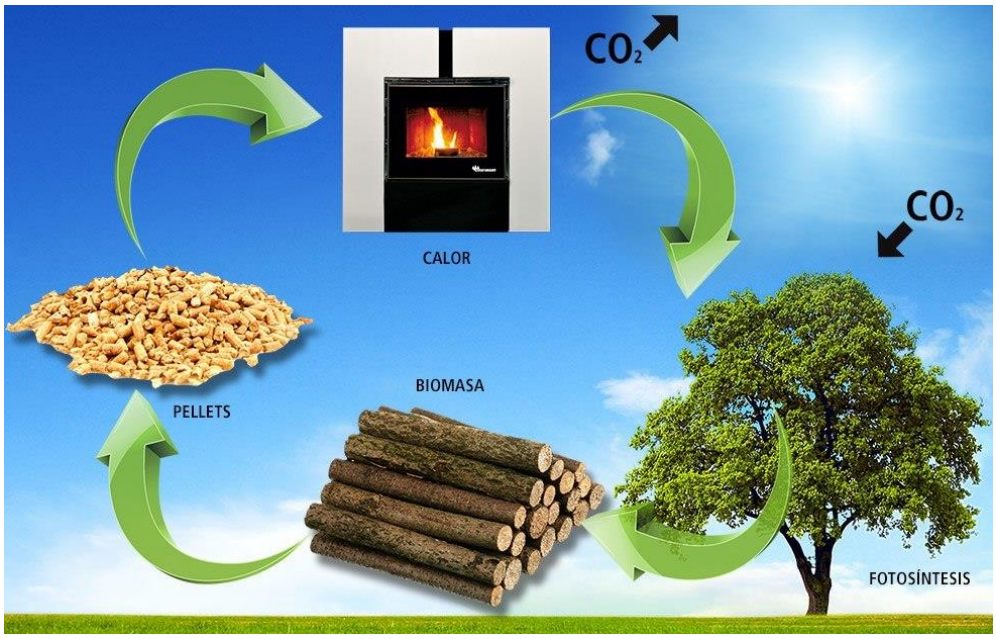


Figura N°14: Biomasa.

Funte: Pinterest.

1.3.8.4. Métodos de transformación de biomasa en energía.

A continuación, se muestra los distintos métodos de transformación de biomasa en energía.

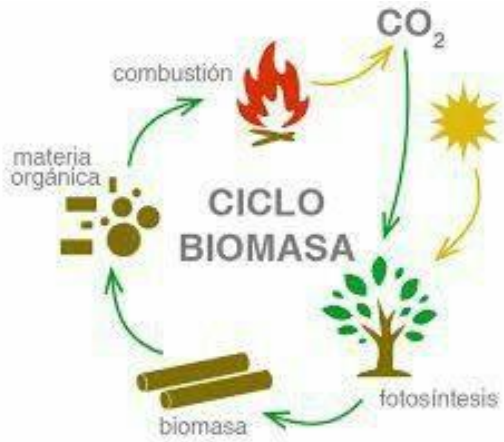
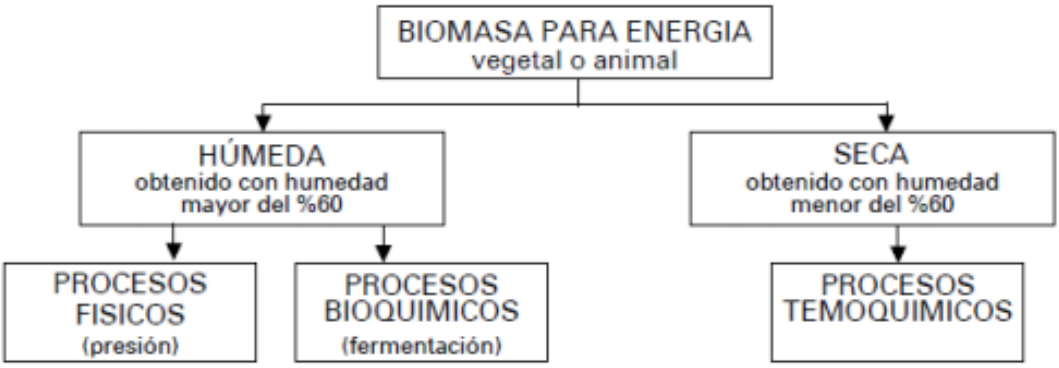


Figura N°15: Transformación de la biomasa.

Funte: Pinterest.

Tabla N°9

Métodos de transformación de bioma en energía.



Fuente: Ibex, acciona (Ibex, acciona.1998)

1.4. Formulación del problema

¿Cuáles serán los detalles técnicos y la configuración geométrica de una estufa Rocket que quema hueso de aceituna, capaz de sintetizar carbón activado a partir de cáscara de coco para su uso en filtros de agua en La Planta Piloto de la Universidad Señor De Sipán?

1.5. Justificación

1.5.1. Justificación económica

Los carbones activados tienen un alto costo que va desde US $ 1200 hasta US $14,000 la tonelada debido a los procesos empleados para su activación, tales como la activación física (llamada también térmica) y la activación química, en su mayoría, que utiliza ácido fosfórico para lograr activarlo (UAM, México - 2007), por lo tanto una estufa rocket optimizada permitirá sintetizar carbón activado a partir de cascara de coco en un proceso de muy bajo costo.

1.5.2. Justificación ambiental

Las fuentes de agua son un recurso importante para las personas; pero mucha de estas fuentes contiene agentes contaminantes, infecciosos, productos químicos tóxicos o radiaciones; que influyen principalmente en el consumo humano y en los procesos industriales. La optimización del diseño de la estufa rocket, logrará obtener carbón activado de alta calidad, para utilizarse en filtros de agua aprovechando su gran capacidad de adsorción que permiten retener impurezas existentes en ella.

1.5.3. Justificación social

Poseer un sistema de purificación de agua en base a filtros de carbón activado tanto para el consumo humano en casas, edificios, etc.; como también para procesos industriales, contribuye a que las personas puedan acceder a fuentes de agua más saludables para su consumo y su uso en las industrias: del mismo modo las empresas ofrecerían una mayor calidad en sus productos y procesos; además manteniendo los equipos y alargando la vida útil de los mismos.

1.5.4. Justificación técnica

Este tipo de tecnología no es muy utilizada, el presente trabajo hará que este tipo de tecnología sea conocida en nuestro país; ya que una estufa rocket u cocina mejorada permitirá a la población tener uso de combustibles más accesibles con un menor impacto en el ambiente y con un gran ahorro económico; dejando de lado las cocinas tradicionales y optando por el uso de cocinas mejoradas.

1.6. Hipótesis

Para el presente proyecto de investigación no se aplica.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo General

Optimizar el diseño de una estufa rocket capaz de sintetizar carbón activado de alta calidad a partir de cáscara de coco, para su uso en filtros de agua en la Planta Piloto de la Universidad Señor de Sipán.

1.7.2. Objetivos Específicos

a) Identificar las necesidades de la Planta Piloto De La Universidad Señor De Sipán mediante entrevistas.
b) Obtener las normas y códigos, estándares y recomendaciones de diseño pertinentes al diseño la estufa rocket.
c) Expresar en términos ingenieriles las necesidades de la Planta Piloto De La Universidad Señor De Sipán.
d) Generar 4 conceptos alternativos capaces de solucionar el problema planteado.
e) Identificar el concepto más adecuado mediante una matriz de selección de criterios ponderados.
f) Realizar el diseño de configuración de la estufa rocket.
g) Dimensionar la estufa rocket usando las normas correspondientes.
h) Realizar un diseño paramétrico de las partes / sistemas críticos de la estructura de la estufa rocket.
i) Lograr un análisis económico de la estufa rocket (VAR, TIR).

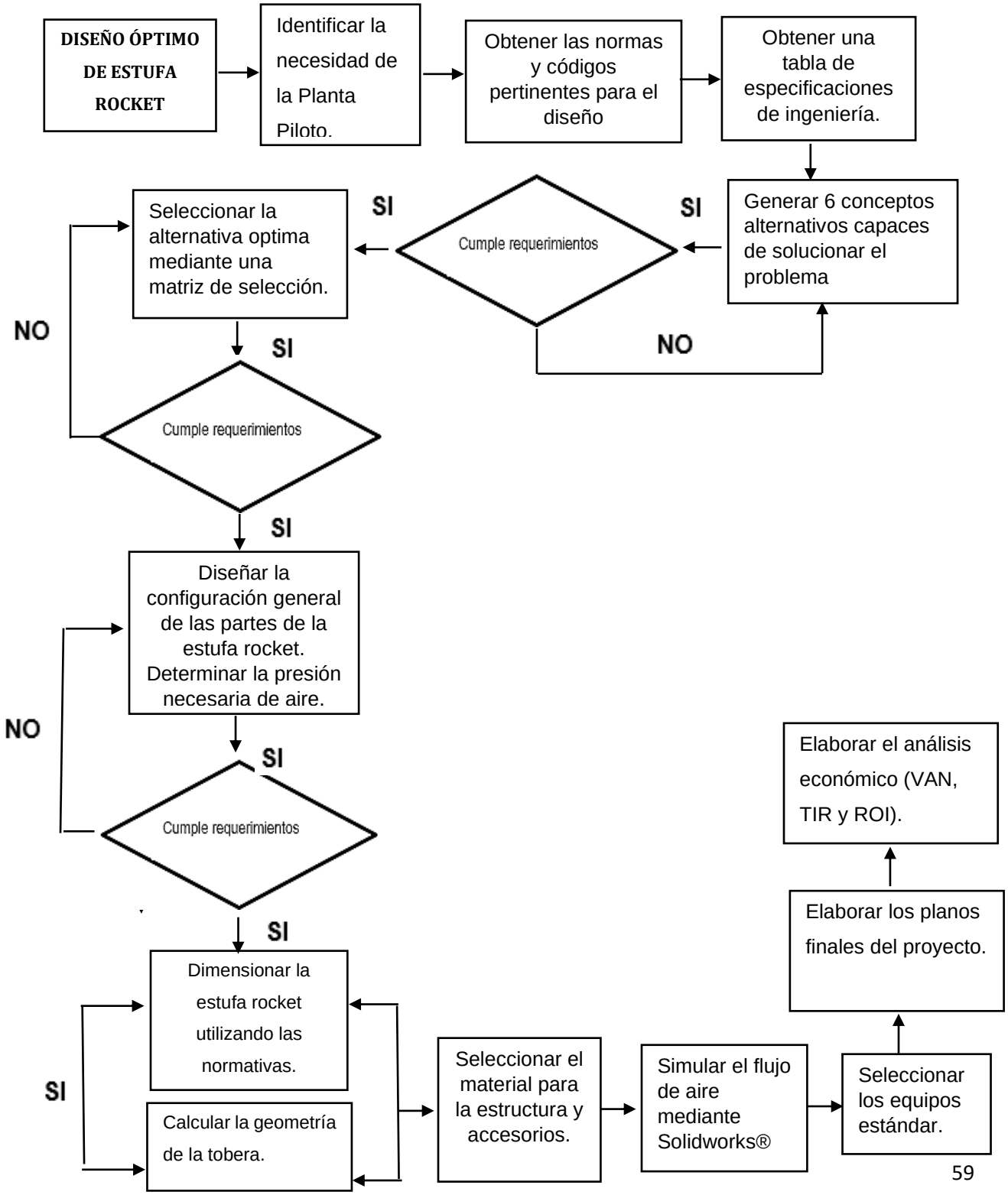
Capítulo II:

MATERIALES Y MÉTODOS

2. MATERIALES Y METODOS

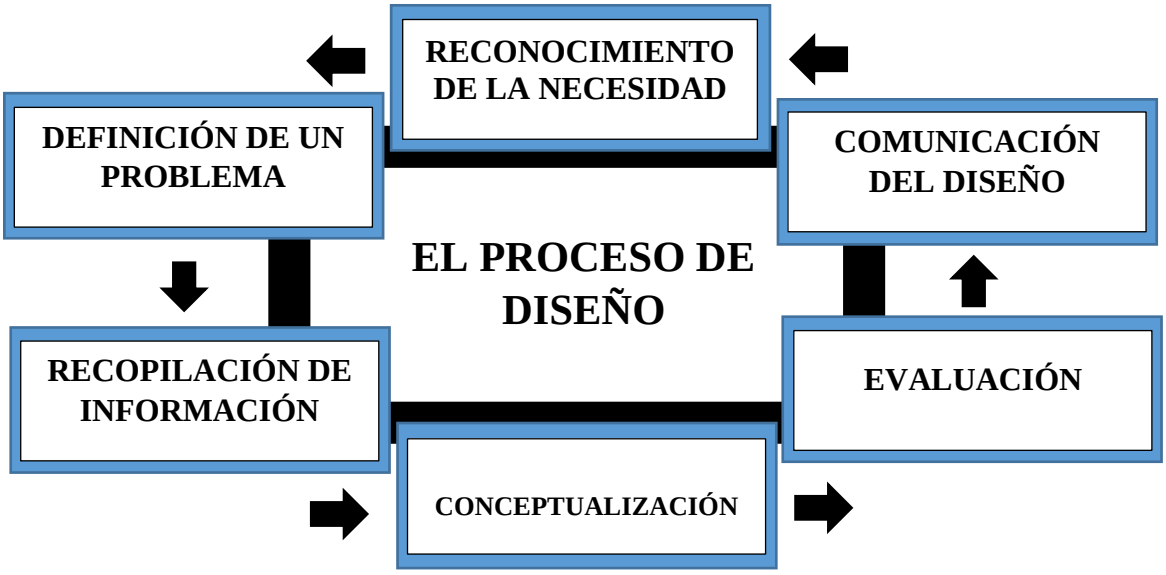
2.1. Tipo y Diseño de investigación:

Se muestra el procedimiento para el diseño de nuestro proyecto.



2.2. Métodos de investigación

La metodología de diseño empleada en el que se basó nuestro trabajo es una variante de los propuestos de Dieter explicado a continuación:



Reconocimiento de una necesidad: Identificar una situación existente y buscar su posible solución.

Definición de un problema: Es necesario saber definir el problema de manera correcta, con el fin de evitar soluciones inadecuadas, y tener una mejor visión para el desarrollo de las siguientes fases del proceso de diseño.

Recopilación de información: Debido a lo anterior, las fuentes de información más recomendables son las siguientes: artículos, documentos del gobierno, registros de patentes, informes de analistas, etc. Las pláticas con consultores externos, también pueden ser de gran ayuda.

Conceptualización: La Conceptualización nos permite determinar los elementos, mecanismos, procesos o configuración que al combinarse proporcionaran un diseño que satisface nuestra necesidades.

Evaluación: La evaluación envuelve el análisis detallado del diseño. Típicamente la evaluación involucra cálculos, generalmente en computadora, del modelo analítico del diseño. En otros casos la evaluación involucra simulación del diseño en un modelo experimental o quizás en un prototipo real.

Comunicación del diseño: La parte final del proceso del diseño es la comunicación de los resultados obtenidos. La comunicación del diseño se da usualmente, mediante una presentación oral, acompañándola con un trabajo escrito conteniendo planos, programas de computadora y modelos.

2.3. Población y muestra

Este tipo de investigación no requiere de población y muestra.

2.4. Variables y operacionalización.

A. Parámetros de definición del problema.

Dimensiones de estufa rocket (m^2).

Dimensiones de tobera.

Material (adim.).

Temperatura de activación (400-900 °C).

B. Variables de diseño.

Dimensiones de tobera / diámetros (m).

Configuración geométrica de la estufa rocket (adim.).

C. Variables intervinientes.

Temperatura (°C).

Velocidad del aire (m/s).

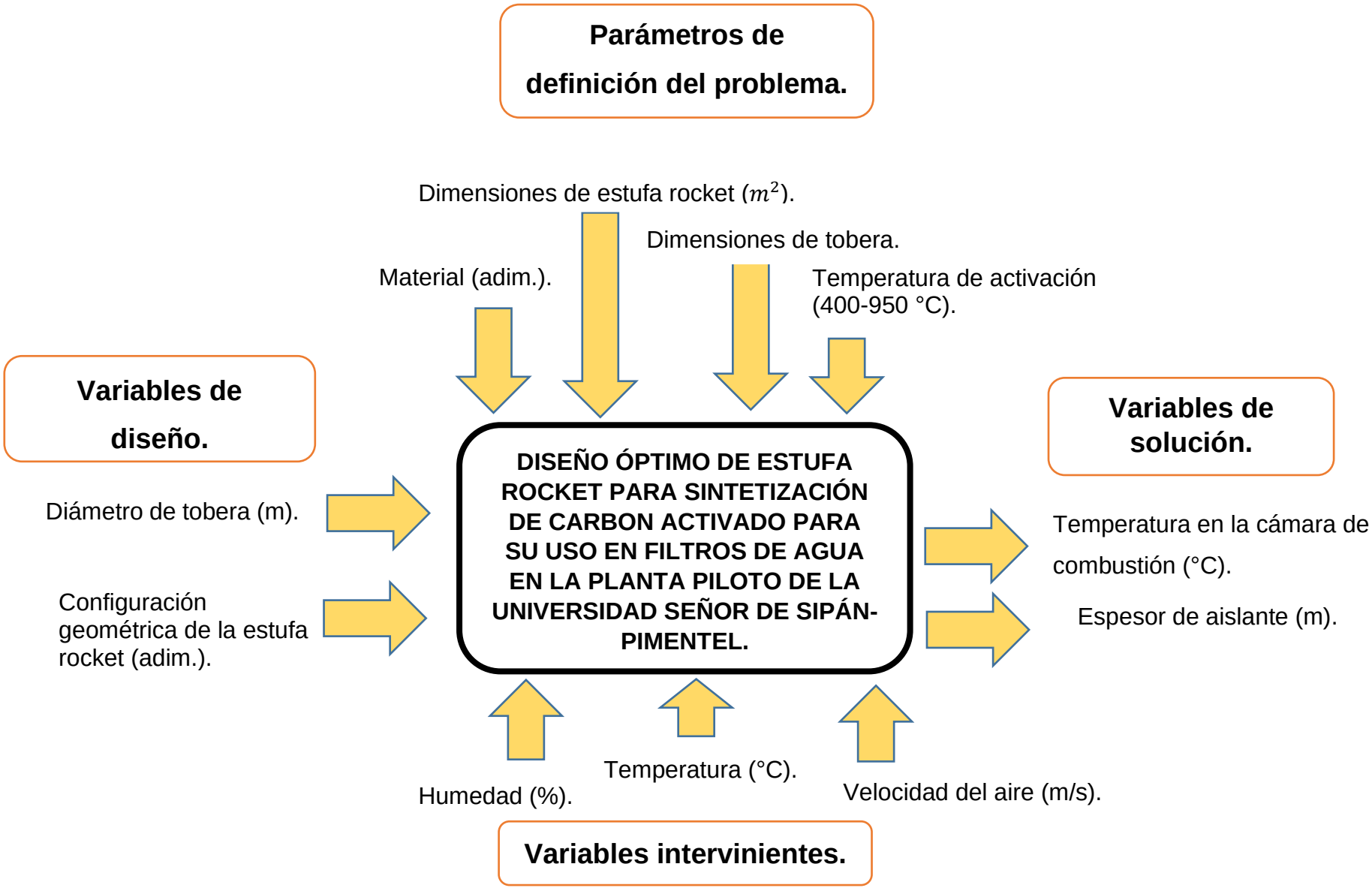
Humedad (%).

D. Variables de solución.

Temperatura en la cámara de combustión (°C).

Espesor de aislante (m).

2.4.1. Diagrama de caja negra



2.4.2. Operacionalización de variables

A continuación, se muestra la tabla de operacionalización de variables.

Tabla N°10
Operacionalización de variable.

	VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
VARIABLE DE DISEÑO	Dimensiones de la tobera/diámetro (m)	Dispositivo que incrementa la velocidad de un fluido a expensas de la presión.	Diámetro requerido de la entrada y salida de aire de la tobera para realizar una buena combustión	m	RAZÓN
	Configuración geométrica de la estufa Rocket.	Proporción, forma y apariencia estética del diseño final de la estufa Rocket	Área que ocupa el objeto a diseñar	m^2	RAZÓN
VARIABLE DE SOLUCIÓN	Temperatura en la cámara de combustión (°C)	Nivel térmico o calor que debe alcanzar la cámara de combustión para la quema de la materia prima.	T° óptima	°C	RAZÓN
VARIABLE INTERVINIENTES	Temperatura (°C)	Magnitud que mide el nivel térmico o calor que posee un cuerpo	T°	°C	RAZÓN
	Velocidad del aire (m/s)	Aumento o disminución de la presión de una sistema debido a los cambios de velocidad del aire	Velocidad requerida	m/s	RAZÓN
	Humedad (%)	Porcentaje de agua que hay en el aire bajo condiciones actuales.	Porcentaje de humedad optima	Porcentaje(%) de humedad	RAZÓN

Fuente: Propio.

2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de información

A continuación, se muestra el procedimiento para la recolección de datos.

Tabla N°11

Abordaje metodológico.

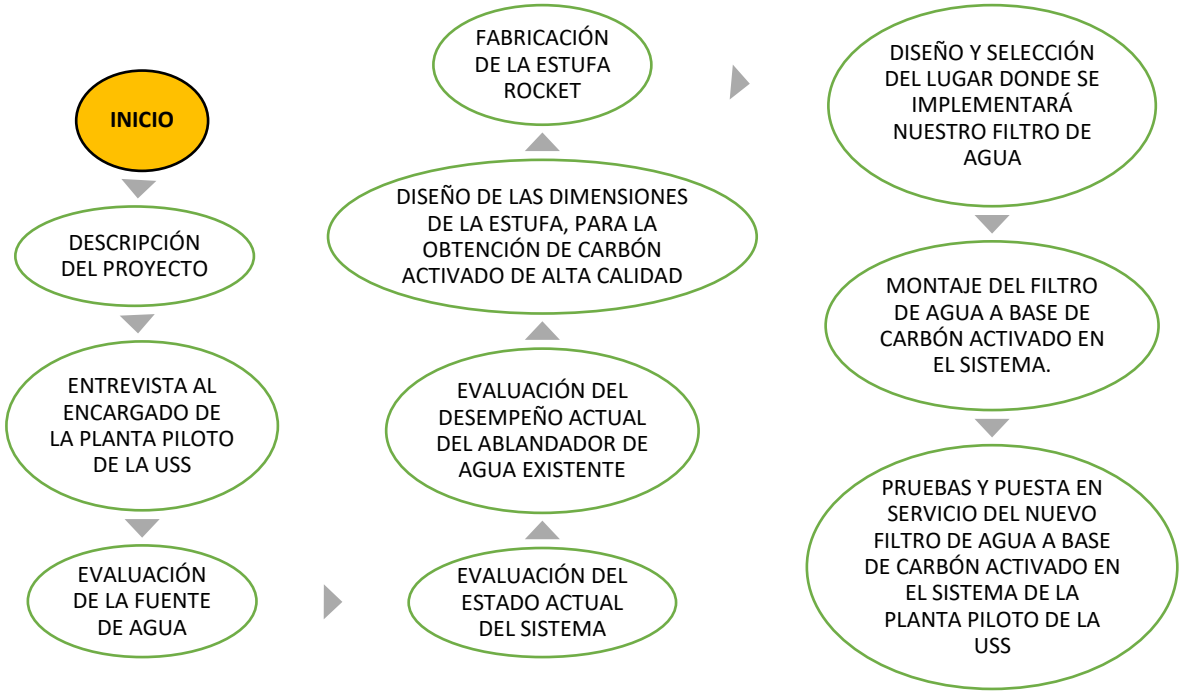
TÉCNICA	INSTRUMENTO	VALIDEZ
ANALIZAR DOCUEMENTOS DE PRODUCCIÓN DIARIA.	FICHA DE REGISTRO.	EL ESPECIALISTA EN LA MATERIA.
ENTREVISTA	FICHA DE ENTREVISTA	EL ESPECIALISTA EN LA MATERIA.

Fuente: Propio.

2.6. Procedimientos para la recolección de datos.

A continuación, se detalla el desarrollo de actividades de nuestro proyecto para la recolección de datos.

Tabla N°12
Diagrama de flujo para el desarrollo de actividades.



Fuente: Propio

2.7. Criterios éticos.

2.7.1. Aspectos éticos.

La presente investigación tuvo como fuente de información y recolección de datos, distintas referencias bibliográficas de autores de libros y tesis; las cuales con el debido respeto a la autoría, sirvieron de guía para la elaboración de este proyecto, así como también existe información que nos pertenece como fuente propia.

2.7.2. Principios de rigor científicos

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.

Capítulo III:

RESULTADOS

3. RESULTADOS

3.1. Identificación las necesidades de la Planta Piloto De La Universidad Señor De Sipán.

Se realizó entrevistas a ingenieros y personal técnico encargado de los procesos industriales que se llevan a cabo en la Planta Piloto de la USS, y las características requeridas en base a las necesidades se describen a continuación:

- Utiliza 1000 litros de agua por procesos industriales.
- Actualmente solo se utiliza un ablandador de agua, que tiene una capacidad de 200 L/h aprox., el mantenimiento se realiza cada año y el costo es de S/.4875.
- Se tiene como un parámetro el contenido de sales en el agua, lo que se recomienda para los procesos es de 10 ppm (partes por millón).
- Se conoce del carbón activado es un producto que elimina todo lo que son pigmentos en el agua, olores, sustancias que se encuentran en suspensión u algunas otras partículas contenidas en el agua; la USS anteriormente compro este producto como prueba, actualmente ya no se utiliza.
- El precio por Kg de carbón activado oscila entre los 25 y 30 soles.
- Consideran que el presente proyecto podría ser útil al aprovechar sus propiedades adsorbentes sobre todo para agua de subsuelo.
- Existe falta de información por parte de otras escuelas de la USS en lo que respecta al uso del carbón activado y sus propiedades.
- Se considera que otros de los usos del carbón activado en la plata piloto de la USS serían para el control de los efluentes líquidos, porque las aguas que fueron utilizadas poseen una alta carga microbiana, química, por lo tanto se aprovecharía en utilizar un filtro de carbón activado y seguir aprovechando esa agua.
- Unos de los requerimientos de los filtros de agua es que la instalación sea estén por debajo del piso para evitar que ocupe mucho espacio.

Tabla N°.13

Modelo de entrevista.

Entrevistados / Preguntas	Walter Símpalo Lopez	William Castillo Perez	Aurora Vigo Luna	Victor Torrez Cruz
	ENCARGADO DE PLANTA	DOCENTE	DOCENTE	USUARIO
1.Cantidad de agua purificada que necesita la planta piloto para sus procesos	La planta piloto utiliza por proceso aproximadamente 1000L para procesos en si	Considerando agua para procesos en si, mas agua blanda,limpieza de tuberias y o que es procesos en si, serian 1500 L	La planta piloto utiliza 1000L aproximadamente	Considerando proceso en si mas otro usos como limpieza de componentes involucrado en el proceso la cantidad de agua debe ser aproximadamente 1500L
2.Proceso de purificacion de agua que actualmente se utiliza en la planta piloto	Actualmente solo se utiliza el ablandador de agua, que tiene una capacidad de 200/h aprox	La planta piloto solo utiliza el ablandador de agua, ademas se preocupa por que e agua que llega a la planta pioto este libre de agentes contaminantes	Por ahora utiliza solo el ablandador de agua,pues la universidad no se ah enfocado mucho con respecto algun tipo de filtro para añadir al sistema	Desconzco sobre el tema
3.Estandares de calidad con respecto al uso de agua para procesos en la planta piloto	Se tiene como un parametro el contenido de sales en el agua, lo que se recomienda para los procesos es de 10 ppm	Creo que el agua este libre de agentes contaminantes que dañen el producto que es lo que personas consuminran	El contenido de sales en ella, tambien bacterias que afecten el producto	Tengo entendido que se recomienda para procesos industriales 10ppm
4.Costo de mantenimiento del equipo purificador de agua utilizado actualmente en la planta piloto	El mantenimiento se realiza cada año y el costo es de S/. 4875	Solo conozco el mantenimiento que se le hace a caldero y es de S/.3210	Desconozco	No manejo bien ese tema,pero considerando que los equipos son nuevos el precio debe oscilar entre S/.1000
5.Segun norma de calidad,cual es el nivel optimo de purificacion de agua para los procesos industriales	Se tiene el contenido de sales en el agua, se como un limite de 10 ppm	Se tiene el contenido de sales en el agua, se como un limite de 10 ppm	Se tiene el contenido de sales en el agua, se como un limite de 10 ppm	Se tiene el contenido de sales en el agua, se como un limite de 10 ppm
6.Que otros tratamientos recibe el agua antes de utilizarse en proceso industriales	Actualmente la universidad no hace ningun pre tratamiendo al agua, pero deberia haber para eliminar ciertas sustancias que tiene el agua	Desconozco	Desconozco	Desconozco

Fuente: Propia.

Tabla N°.13

Modelo de entrevista.

7.Conoce usted sobre el carbon activado	Lo que conozco es un producto que elimina todo lo que son pigmentos en el agua,olores, sustancias que se encuentran en suspension o algunas particulas contenidas en el agua	Se que es un producto con propiedades adsorbentes excelentes y que se esta intriduciendo con gran éxito en nuestro mercado	Es un producto con muy buenas propiedades adsorbentes que es utilizado en a industria y mineria	Conozco que actualmente se esta aprovechando sus propiedades adsorventes como filtros como es el caso de su proyecto
8.La universidad compra carbon activado para usarlo en procesos de su planta piloto	L a universidad anteriormente compro pero como para prueba,pero actualmente ya no se utiiza	Desconozco	Desconozco	Desconozco
9.Conoce usted el precio del carbon activado en el mercado	Desconozco el precio pero debe oscilar entre 20 y 30 nuesvos soles	Esta entre 25-30	20-50	30-50
10.Tiene idea de cuanto ahorraria teniendo una maquina que fabrica carbon activado para la planta piloto	Se utilizara sobre todo para agua de subsuelo, que es la que mayor agentes contaminantes tiene y contando con el carbon activado se lograria ahorar en equipos costosos que logren hacer de filtro para algun proceso	Con respecto al mantimiento de los equipos se ahorraria en gran medida considerando que los equipos son nuevos	No estoy muy familiarizado con el tema de mantenimiento pero creo que seria mucho el ahorro	Hablariamos de 500 a 600 soles creo yo, por que el fitro reduciria el paso de particulas que dañen los equipos
11.En que otra alternativa ha pensado para remplazar el filtro de agua actual	Remplazando aun no se por que el equipo es nuevo y por lo tanto tuene pocos años de uso	Ninguna	Ninguna	Ninguna
12.Que otra utilidad podria darle al carbon activado	Para realizar trabajos de investigacion como comparandolos con otros adsorbentes comerciales	No encuetro otro uso	Medicinales	Investigacion
13.Se ha utiizado carbon activado en esta planta piloto alguna vez para sus procesos	SI			
	Se utilizo para lo que es remocion de impurezas en procesos pero la universidad solo realizo la compra de carbon activado como modo de prueba	Desconozco	Desconozco	Desconozco
14.Que expectativas tiene usted con respecto a su implementacion en la institucion,conociendo sus propiedades	Seria un gran proyecto por lo que utilizaremos y aprovechariamos al maximo sus propiedades adsorbentes sobre todo para el agua de subsuelo	El ahorro que tendra la universidad al utilizar este producto	Aprovechar las propiedades de este producto novedoso	Realizar investigacion a partir de los resultados como filtro
15.Sabe usted si hay alguna empresa similar a esta que utilice el carbon activado para algun tipo de proceso	SI			
	Tendo entendido que las empresas de productos hidrobiologicos utilizan bastante	No	No	No
16. Que tan informada cree que este la comunidad universitaria respecto al carbon activado	Falta mas informacion por parte de las demas escuelas, creo que solo los alumonos que estudian ingenieria industrial,ingenieria agroindutrial conocen mas sobre estos temas	Creo que no esta muy bien informada por que falta incluir esos temas en curricula y no hay mucho interes	Creo que las escuelas que estan mas relacionadas es Ing industrial y agroindustrial, de las demas desconozco	Pienso que no esta muy informada por que el tema es neevo

Fuente: Propia.

Tabla N°.13

Modelo de entrevista.

17.Cree que el carbon activado puede intervenir en otro proceso a parte que como filtro	SI	SI	SI	SI	
	Para el control de los eficientes liquidos por que las aguas fueron utilizadas poseen una alta carga microbiana quimica, por lo tanto se aprovechara en utilizar un filtro de carbon activado y seguir aprovechando esa agua	Utilidades como para atrapar olores,y remover colores	Creo que esta es a utilidad mas practica y comun	Problemente en mineria se utilize	
18.Algun requerimiento en las dimensiones para la instalacion del filtro de agua a base de carbon activado	Sugiero que los filtros esten debado del piso para evitar que ocupe mucho espacio	Pequeño, bien movil	Pequeño, bien movil	Pequeño, bien movil	
19.Conoce usted de las aplicaciones y propiedades del carbon activado utilizados en proceso industriales	Las propiedades fisicas que mejoran la calidad del agua que mejoran su calidad y por lo tanto mejoraria los procesos industriales	Sole se que es un buen adsorbente	Lo utilizan como adsorbente en algunos procesos industriales	Sole se que es un buen adsorbente	
20.Que caracteristicas deberian tener el agua para un proceso de calidad	Libre de solidos suspendidos en el flujo de agua(tuberias)		Sin particulas solidas u otros agentes contaminantes que dañen el proceso y equipos que interviene		
		Inodora y con bajo contenido de sales		Bajo contenido de sales y barata	
21.Cuanto estaria dispuesto a pagar nuestro carbon activado	30	25	50	30	
22.Conce usted de licenciamiento a nivel nacional promivido por la SUNEDU					
	Las universidades estan sujetas al licenciamiento para que puedan trabajar sin problemas	Es parte de evaluaciones que se realizada a cada universidad con la intension de subir estandares de calidad academica	Es el licenciamiento que todas las universidades buscan, en la planta piloto trabajamos en eso, mejorando todos los procesos e implementando laboratorios	Gracias a ella solo estaran universidades que cumplan con estadares de calidad	

Fuente: Propia.

3.2. Recomendaciones de diseño pertinentes al diseño la estufa rocket.

Se realizó la recopilación de recomendaciones de diseño de distintas investigaciones, artículos y revistas, relacionadas con el tema de investigación; con el objetivo de obtener una guía para el dimensionamiento de la estufa rocket.

Tabla N°.14

Recomendaciones de diseño.

	ASPECTO	RECOMENDACIÓN	FUENTE
1	¿CÓMO MEJORAR LA COMBUSTIÓN?	Buena circulación de aire	Principios de diseño para estufas de cocción con leña (2006)- Pag.7 y 8
		Aislar el fuego (un fuego más caliente, quema de gases combustibles y produce menos humo).	
		Para estufas de convección natural, la velocidad del flujo no varía mucho y acercan a 1 m / s ; lo que resulta suficiente tiempo para la quema completa de volátiles.	USER-CENTRIC APPROACH FOR THE DESIGN AND SIZING OF NATURAL CONVECTION BIOMASS COOKSTOVES FOR LOWER EMISSIONS (BE:MILIND P. KSHIRSAGAR, VILAS R. KALANKAR - 2016)
		Evitar materiales pesados o frios alrededor de la cámara de combustión.	Principios de diseño para estufas de cocción con leña (2006)- Pag.7 y 8
		Dejar que el aire pase por debajo de la materia que se esta quemando y por el carbón.	
		Use un achimenea corta y aislada encima del fuego para que aumente la corriente de aire y para que haya un lugar donde se combina el humo, el aire y el fuego, lo cual reduce emsiones.	
		Introduzca la materia poco a poco en la cámara de combustión para crear fuego caliente y vivo sin mucho calor.	
		Límite la cantidad de aire frío que entra a la cámara de combustión al crear la abertura al fueo lo mas pequeña posible	
		Una cierta cantidad de aire es necesaria para obtener una combustión completa.	
2	TÉCNICAS / PRINCIPIOS	Es necesario aislar alrededor del fuego con materiales livianos,lleno de cavidades pequeñas de aire y resistentes al calor.	Principios de diseño para estufas de cocción con leña (2006)- Pag.12
		La temperatura superficial máxima de los aislamientos deben de estra entre los 50 °C y 60 °C.	GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS EN AISLAMIENTO INDUSTRIAL (ASOCIACIÓN DE FABRICANTES ESPAÑOLES DE LANAS MINERALES AISALNTES/ASOCIACÓN NACIONAL DE INSTALADORES DE SISTEMAS DE AISLAMIENTO INDUSTRIAL - 2017)
		Instalar una chimenea corta y aislada directamente encima del fuego.	Principios de diseño para estufas de cocción con leña (2006)- Pag.13
		Mantener una corriente de aire buena y rápida en todo el carburante.	Principios de diseño para estufas de cocción con leña (2006)- Pag.14
		La falta de corriente de aire en el fuego resulta en humo y excesos de carbon.	Principios de diseño para estufas de cocción con leña (2006)- Pag.14
		El tamaño de los espacios dentro de la estufa por donde pasan los gases calientes y la chimenea externa deben ser aproximadamente del mismo tamaño.	Principios de diseño para estufas de cocción con leña (2006)- Pag.14
		Usar una reja debajo del fuego.	Principios de diseño para estufas de cocción con leña (2006)- Pag.15
		Aislar la trayectoria del aire caliente.	Principios de diseño para estufas de cocción con leña (2006)- Pag.15
3	ESTRATEGIAS DE DISEÑO	Opciones para la cámara de combustión	Principios de diseño para estufas de cocción con leña (2006)- Pag.19
		Instalar una chimenea corta y aislada directamente encima del fuego:La chimenea debe ser aproximadamente tres veces más alta que su diámetro.	Principios de diseño para estufas de cocción con leña (2006)- Pag.20
		Los valores típicos de coeficiente s de transferencia de calor (h) son 5 W / m 2 X °C en aire inmóvil y 15 W / m2 X °C en un viento moderado de 3 m / s.	BIOMASS STOVES: ENGINEERING DESING,DEVELOPMENT, AND DISSEMMINATION (BE: SAMUEL F. BALDWIN / PRINCENTON UNIVERSITY - 1987)

Fuente: Propia.

3.3. Definición del problema en términos ingenieriles.

Los requerimientos para el diseño de la estufa rocket fueron plasmadas en el siguiente cuadro donde se muestran las especificaciones técnicas.

Tabla N°.15

Estructura y características de la estufa rocket.

Estructura y características de la estufa rocket.	
Temperatura.	Temperatura interna de la cámara de combustión debe alcanzar los 900 °C, para una buena sintetización de carbono activado.
Velocidad del aire.	Se recomienda cercana a 1 m/s, para la quema completa de los volátiles.
Biomasa utilizada.	La pepa de aceituna como combustible y cáscara de coco para la obtención de carbon activado.
Costo del carbono activado.	Generar carbono activado de buena calidad y bajo costo, según mercado entre los 30 y 50 soles.
Material de fabricación de la estufa rocket.	Se seleccionó acero ASTM-A36, para la fabricación de la estufa ya que se encontrará sometido a altas temperaturas durante el proceso
Configuración geométrica de la estufa rocket.	Se siguieron las recomendaciones de APROVECHO RESEARCH CENTER 2006.
Dimensiones de tobera.	Configuración del diámetro requerido de la entrada y salida del aire de la tobera para realizar una buena combustión.
Material aislante.	Fibra de sílice, conductividad térmica entre 0.15 (W/(m.k)).
Proceso de fabricación de estufa rocket.	Rolado en frío y unión por soldadura.
Instalación de chimenea.	Las recomendaciones de diseño indican que la chimenea debe ser aproximadamente 3 veces más alta que su diámetro.
Coeficiente de transferencia de calor (h)	5 $W/m^2x°C$ en aire inmóvil y 15 $W/m^2x°C$ en un viento moderado de 3 m/s.
Temperatura superficial (°C)	La temperatura superficial máxima entre 50°C y 60°C.
GAP(espacio entre la cesta y la falda)	Su función es que los gases calientes y el calor rodeen la cesta, se recomienda 1 cm.

Fuente: Propia

3.4. Generación de 4 conceptos alternativos

Los conceptos alternativos se realizaron en base a estudios u investigaciones previas de diferentes autores, en lo que respecta al diseño de estufas rocket, teniendo en cuenta la facilidad de fabricación, la geometría de diseño y costos de fabricación.

CONCEPTO 1: ESTUFA ROCKET DE CONFIGURACIÓN CILÍNDRICA CON AISLAMIENTO FIBERFRAX.

Para fabricar este tipo de estufa no es necesario contar con grandes cantidades de dinero, ya que los material empleados para su construcción y elaboración son muy accesibles , además es uno de los diseños más comunes que actualmente se están estudiando, principalmente por la implementación de un aislante térmico, que aumenta la eficiencia de la estufa (aproximadamente 33% - 41%), teniendo en cuenta que la eficiencia y las emisiones de una estufa de estas características son muy sensibles a la forma de la cámara de combustión y al materia con que están hechas, todas influyen en el rendimiento de esta, por lo tanto con el aislamiento utilizado para este diseño de estufa rocket se puede considerar una temperatura máxima alcanzada de 900 °C. La mayoría de estas estufas funcionan en modo de convección natural (siendo impulsadas por las fuerzas de flotación del fluido de la chimenea).

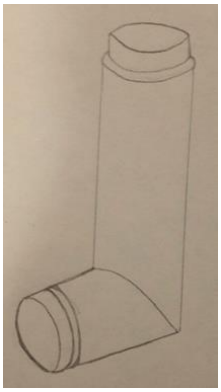


Figura N°16:*Estufa cohete con aislante térmico.*

Fuente: Propia.

CONCEPTO 2: ESTUFA ROCKET DE CONFIGURACIÓN CILÍNDRICA CON AISLAMIENTO DE ARCILLA.

Este tipo de diseño no es novedoso, por la antigüedad de su diseño y sobre todo el tipo de material utilizado para su fabricación (arcilla), estas estufas son construidas en forma masiva sobre todo en zonas rurales de nuestro país, así como la arcilla también se utilizan otros materiales refractarios por ser muy resistentes al choque térmico y mecánico y ofrecer más ventajas (conductividad térmica: 0.432 W/m-°C) que los materiales metálicos.

Esta propuesta es una alternativa más económica, con ventajas medioambientales y productivas. Cabe señalar que las temperaturas alcanzadas en la cámara de combustión oscilan entre 600 °C 700 °C y tienen una eficiencia térmica respetable del 15-19%. Aunque el uso de estos tipos de materiales puede reducir el rendimiento de la estufa al aumentar la masa de su pared y reducir su portabilidad, puede aumentar significativamente la vida útil de la estufa al reducir el estrés térmico en la pared.

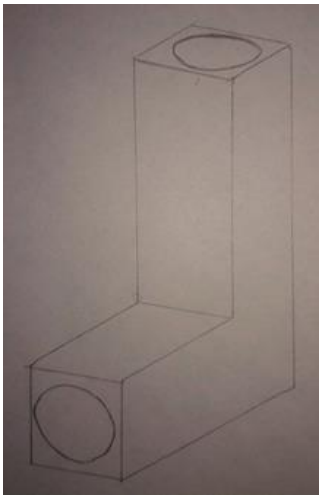


Figura N°17:*Estufa cohete con aislante térmico.*

Fuente: Propia.

CONCEPTO 3: ESTUFA ROCKET DE CONFIGURACIÓN RECTANGULAR.

En la actualidad para este tipo de configuración existen una amplia variedad de manuales de diseño y fabricación de este tipo de estufa rocket; es una de las formas básicas

de construcción, que sigue los mismos principios de la primera estufa rocket. Este diseño tiene la forma de L es el más común y se utiliza principalmente como cocina, es fácil de construir a un bajo costo.

Este tipo de estufa utiliza desde el 40 al 90% de madera a comparación con una estufa tradicional, la madera utilizada es de pequeño diámetro y por lo tanto puede ser alimentada con ramas y otros productos en lugar de utilizar grandes piezas y es menos contaminante, emitiendo sólo CO2 y vapor de agua sin generar el humo de las estufas tradicionales.

Figura N°18:*Estufa cohete con aislante térmico.*

Fuente: Propia

CONCEPTO 4: ESTUFA ROCKET DE CONFIGURACIÓN CUADRADA CON AISLAMIENTO DE FIBRA DE SÍLICE.

Es un diseño relativamente nuevo para el mercado nacional e internacional, puesto que se trata de un modelo estéticamente vistoso y novedoso. Está diseñada considerando

las recomendaciones brindadas por investigaciones previas en diseño de estufas rocket, cabe resaltar que el acero utilizado para su fabricación posee muy buenas características mecánicas, que se ajustan a estos tipos de diseños y cumplen con los estándares de calidad y seguridad.

Con respecto al costo de su fabricación es un ligeramente elevado ya que a este nuevo diseño se implementó una tobera, un nuevo tipo de aislante térmico y por ultimo una entrada para alimentar de biomasa a la cámara de combustión. Si hablamos de su rendimiento (40%-50%) es mucho más elevado en comparación a las alternativas anteriores pues ésta alcanza una temperatura en la cámara de combustión superior a los 1000 °C, gracias a la tobera añadida, pues su diseño permite el paso del flujo de aire necesario para que la combustión sea completa en lo máximo, y el aislante que gracias a su baja conductividad térmica logra reducir las pérdidas de energía en forma de calor por las paredes de la chimenea y cámara de combustión.

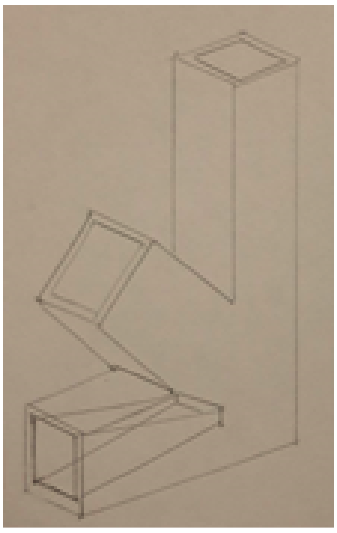


Figura N°19: *Estufa cohete con aislante térmico.*

Fuente: Propia.

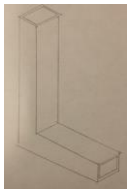
3.5. Identificación del de concepto más adecuado mediante matriz de selección

En la Tabla N°. 13 se puede apreciar cómo se plantea esta matriz de selección. Los criterios que se tienen en cuenta son los siguientes: costo, facilidad de diseño, facilidad de mantenimiento, seguridad, facilidad de fabricación y mayor eficiencia térmica. Luego de ponderar los criterios con una escala de 1 a 10, se encontró que la ALTERNATIVA 4

(ESTUFA ROCKET DE CONFIGURACIÓN CUADRADA CON AISLAMIENTO DE FIBRA DE SÍLICE.) resulta ser la óptima con una calificación de 42 de 60 puntos obtenibles.

Tabla N° 16

Matriz de selección de conceptos para configuración de estufa.

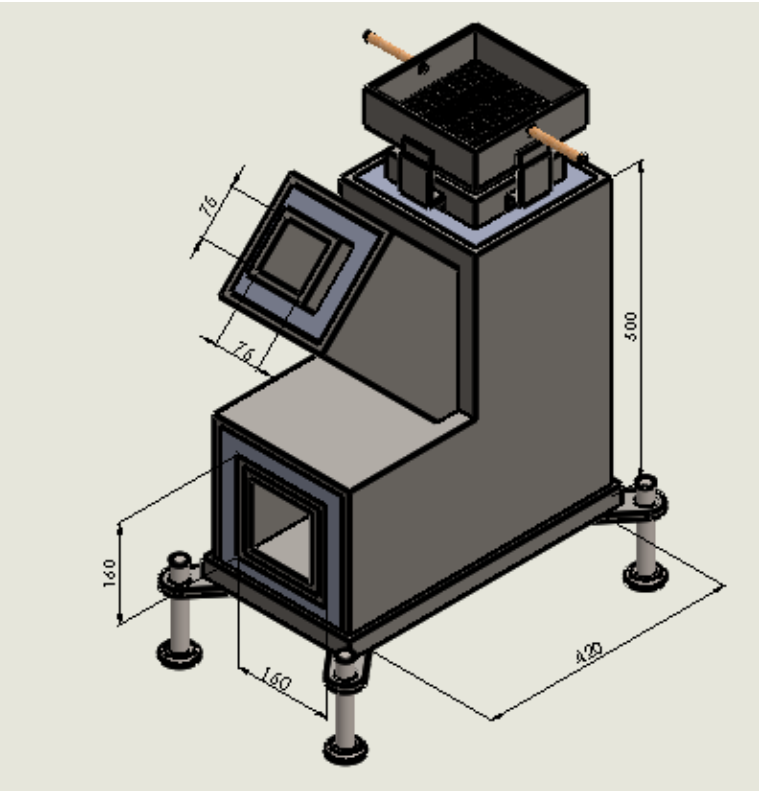
MATRIZ DE SELECCIÓN								
CONCEPTOS		CRITERIOS PONDERADOS PARA SU SELECCIÓN						
OPCIONES	TIPO	COSTO	FACILIDAD DE FABRICACION	FACILIDAD DE MANTENIMIENTO	FACILIDAD DE DISEÑO	MAYOR EFICIENCIA TÉRMICA	SEGURIDAD	TOTAL
	ESTUFA ROKET DE CONFIGURACION CILINDRICA CON AISLAMIENTO FIBERFRAX	6	7	9	6	5	7	40
	ESTUFA ROKET DE CONFIGURACION CILINDRICA CON AISLAMIENTO DE ARCILLA	8	8	9	8	3	5	41
	: ESTUFA ROKET DE CONFIGURACION RECTANGULAR	7	7	9	7	6	3	39
	ESTUFA ROKET DE CONFIGURACION CUADRADA CON AISLAMIENTO DE FIBRA SILICE	5	6	9	5	9	8	42

Fuente : Propia

3.5.1. Dimensionamiento de la estructura de la Máquina

Después de elegir el diseño idóneo para nuestra estufa rocket, se estableció las medidas generales de la estufa. Para este dimensionamiento se consideraron las tesis relacionadas al tema, normas de diseño y el uso del juicio ingenieril.

La altura de la estufa se asume en un principio considerando el espacio en donde será instalada (planta piloto), a partir de ello las demás dimensiones se calculan a partir de algunos manuales en donde hay especificaciones y recomendaciones de dimensionamiento. Por lo tanto en la altura de la estufa se consideró 0.5m y longitud del codo o.43 m (calculados) y finalmente las dimensiones en la entrada de la estufa y chimenea es de 0.16 m (calculado).Las dimensiones dadas y calculadas resultan ser las indicadas debido a que con esas dimensiones la estufa es capaza de producir la cantidad necesaria que necesitaran los filtro de para utilizarse en la ´plana piloto de la Universidad Señor de Sipán.

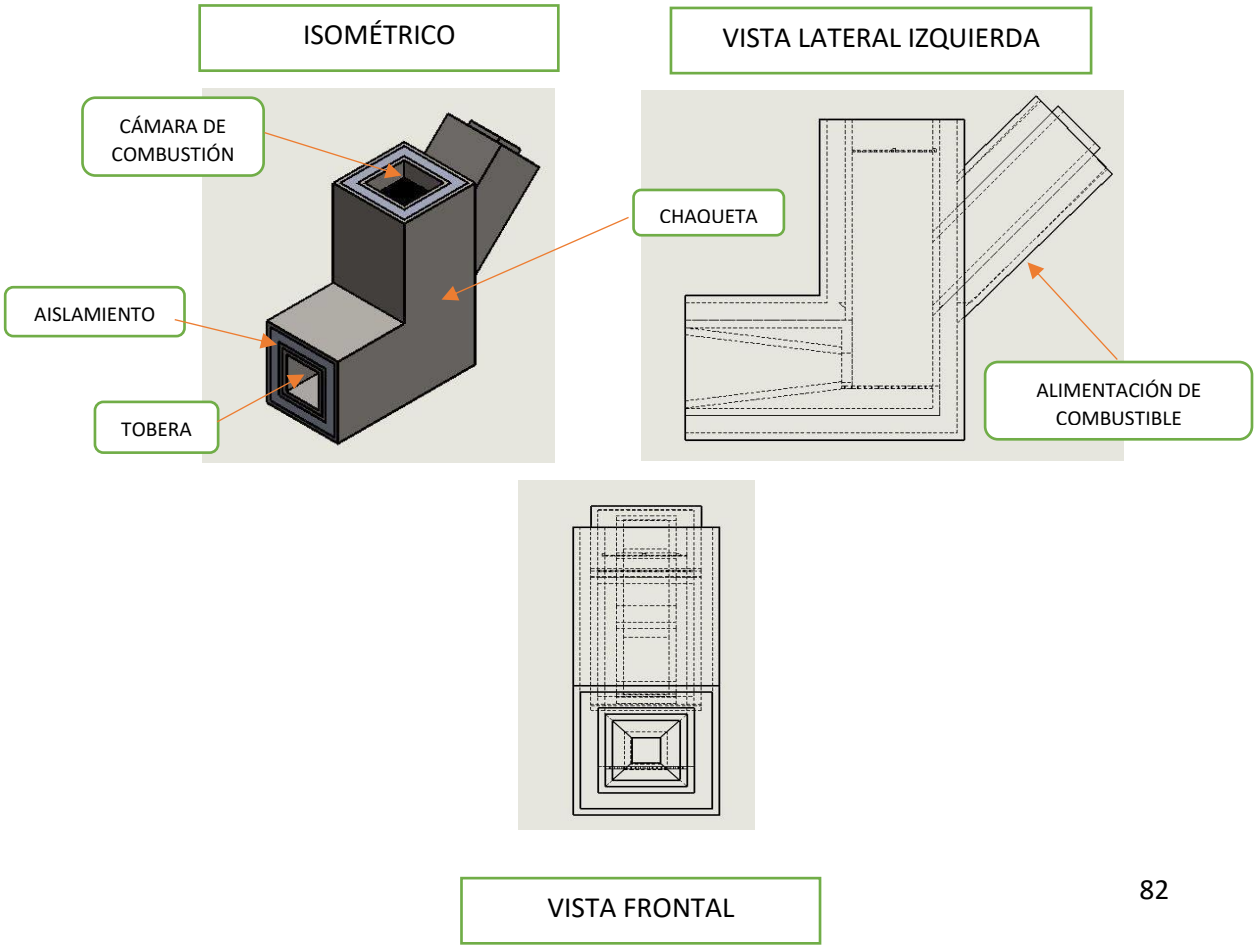


3.6. REALIZACIÓN DEL DISEÑO DE CONFIGURACIÓN DE LA ESTUFA ROCKET

Las siguientes configuraciones se realizaron en base a diseños previos de diferentes autores, en lo que respecta al diseño de estufas rocket, teniendo en cuenta distintas soluciones alternativas para desarrollo y producción de la estructura final de nuestra estufa rocket.

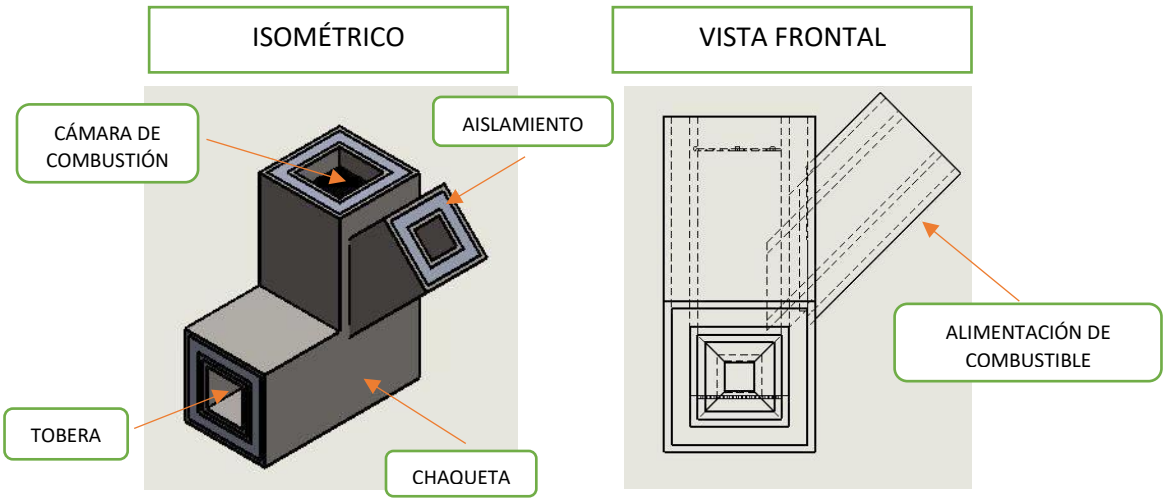
CONFIGURACIÓN 1: ESTUFA ROCKET CON CONFIGURACIÓN DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE UBICADA EN LA PARTE POSTERIOR CON RESPECTO A LA TOBERA.

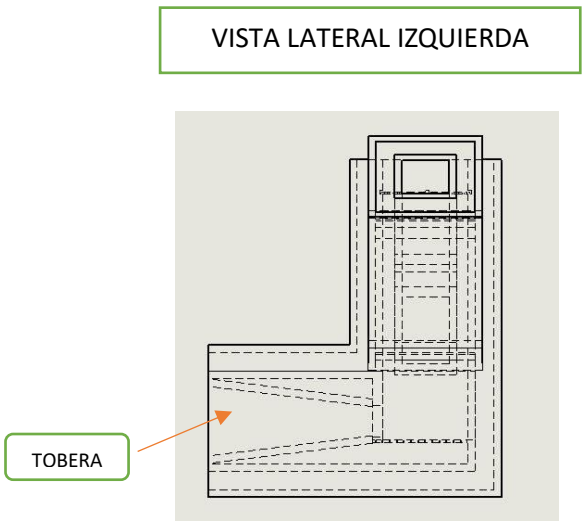
La presente configuración nos muestra una estufa rocket de configuración cuadrada con aislamiento de fibra de sílice, cuyo diseño plantea colocar la alimentación del combustible en la parte posterior con respecto a la tobera; a continuación se presentan imágenes de la presente alternativa de solución:



CONFIGURACIÓN 2: ESTUFA ROCKET CON CONFIGURACIÓN DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE UBICADA EN LA PARTE LATERAL IZQUIERDO CON RESPECTO A LA TOBERA.

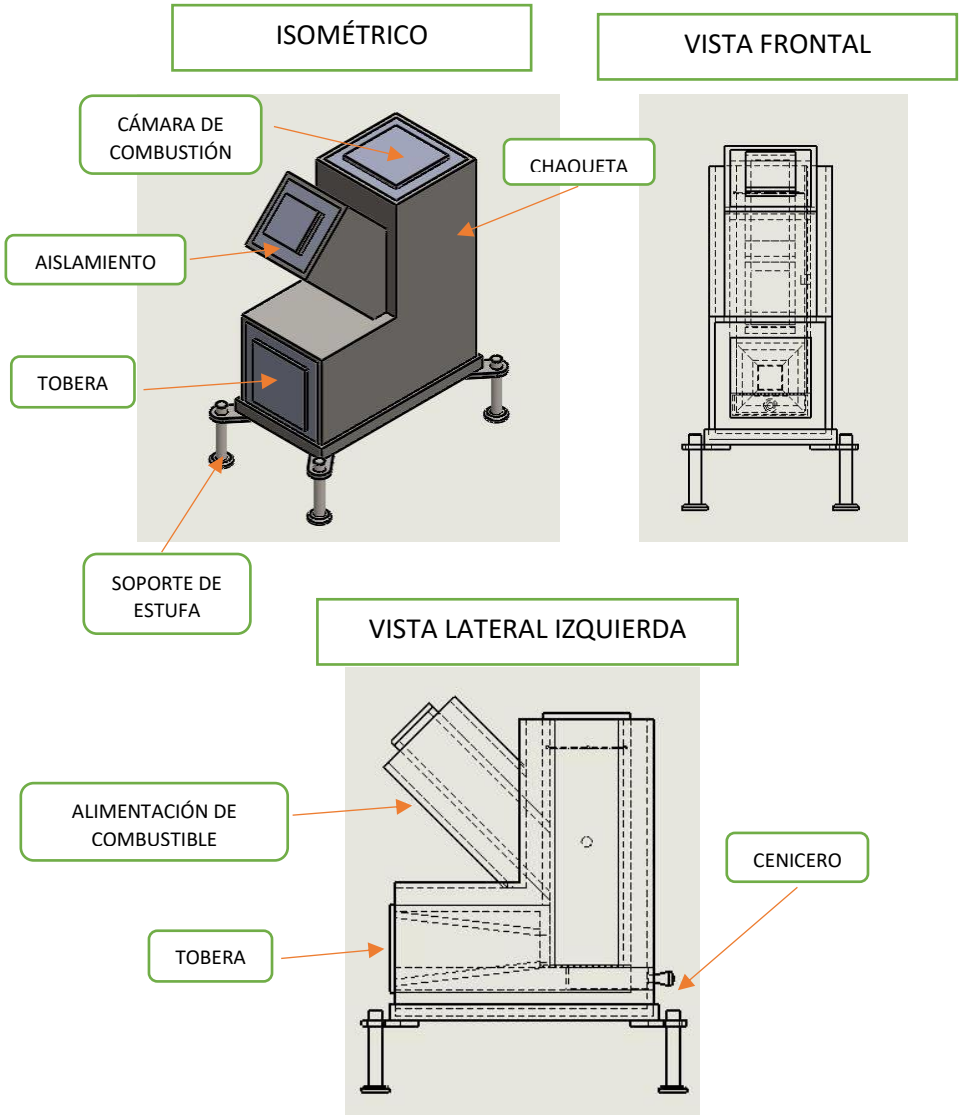
La presente configuración nos muestra una estufa rocket de configuración cuadrada con aislamiento de fibra de sílice, cuyo diseño plantea colocar la alimentación del combustible en la parte lateral izquierda con respecto a la tobera; a continuación se presentan imágenes de la presente alternativa de solución:





CONFIGURACIÓN 3: ESTUFA ROCKET CON CONFIGURACIÓN DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE UBICADA EN LA PARTE FRONTAL CON RESPECTO A LA TOBERA.

La presente configuración nos muestra una estufa rocket de configuración cuadrada con aislamiento de fibra de sílice, cuyo diseño plantea colocar la alimentación del combustible en la parte frontal con respecto a la tobera; a continuación, se presentan imágenes de la presente alternativa de solución:



3.7. Determinación de las dimensiones de la estufa rocket usando las normas correspondientes.

Para el cálculo de la configuración de la estufa rocket, se hace uso de las ecuaciones citadas por Aprovecho(2006).

- ✓ Se seleccionó el material con las siguientes características

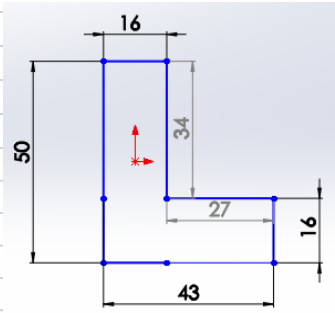
ACERO ASTM-A36 (MARCA YOHERSA)

Espesor mm	Ancho mm	Largo mm	Kg peso teórico
12	1200	2400	271.30

Se asumieron las siguientes dimensiones:

SPANISH DESING PRINCIPLES NOS INDICA LO SIGUIENTE:				
				ASUMIR
ALTURA DE CHIMENEA(cm)	A_{ch}	3x D_{ch}	48	**50**
DIÁMETRO DE CHIMENEA(cm)	D_{ch}	16		
ANCHO DE CHIMENEA (cm)	w_{ch}	16		
DATOS ASUMIDOS				
Largo de la estufa(cm)	43			
Altura de la chimenea (cm) A_{ch}	48	**Asumo**	50	
Diámetro de la chimenea (cm) D_{ch}	16			
Diámetro de cesta u olla que sostendrá la cáscara de coco(cm)	30	Radio(cm)	15	

Área total de la estufa:

ÁREA TOTAL DE ESTUFA				
				
	ÁREA 1	$A_1 = l \times w$	800	cm^2
	ÁREA 2	$A_2 = l \times w$	432	cm^2
	ÁREA TOTAL	$A_T = A_1 + A_2$	**1232**	cm^2

Para el cálculo de la altura de la base de la cesta con respecto a la boca de la cámara de combustión, se hace uso de las ecuaciones citadas por Aprovecho (2006), las ecuaciones son:

- ✓ Altura de chimenea

$$A_{CH} = 3 \times D_{CH} = 3 \ \times 16 = 48\ cm$$

- ✓ Cálculo del ára de la cámara de combustión A_{CC}

$$A_{CC} = l \times w = 16 \times 16 = 256\ cm^2$$

- ✓ Cálculo del espacio necesario al borde de la cámara de combustión C_C

$$C_C = 2l + 2w = (2 \times 16) + (2 \times 16) = 64 \text{ cm}$$

- ✓ Cálculo de la altura de la cesta G_C

$$G_C = \frac{A_{CC}}{C_C} = \frac{256}{64} = 4\ cm$$

- ✓ GAP: Es el espacio entre la cesta y la falda, su función es que los gases calientes y el calor rodeeen la cesta, así aprovechar al máximo el calor generado por la combustión de la leña.

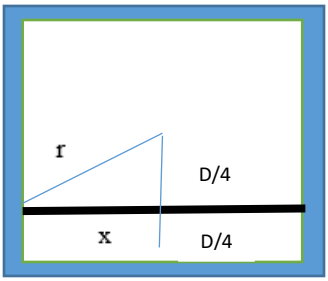
$$GAP = \frac{A_{CC}}{C_P} = \frac{256}{94.25} = 2.72\ cm$$

- ✓ Espacio óptimo al borde de la cesta C_P

$$C_P = 2 \times \pi * r_c = 2 \times \pi \times 15 = 94.25\ cm$$

Calculo del ancho de la parrilla metálica:

Para el cálculo del ancho de la parrilla metálica se considero el teorema de pitágoras en triangulo rectángulo.



Digrama para el cálculo del ancho de la parrilla metalica.

Entonces la cuarta parte de la cámara de combustión:

D_{CC} = 14.8 cm

$$\frac{D_{CC}}{4} = \frac{14.8}{4} = 3.7\ cm$$

Calculando la incognita por el teorema de pitogoras se tiene:

$$X^2 = \left(\frac{14.8}{2}\right)^2 - 3.7^2 = 6.41$$

Entonces el ancho de la parrilla metálica sería 2(X) =1 2.82 cm,tenindo en cuenta que la función de la parrilla metálica es de sostener al combustible y dotar de un flujo de aire constante para la combustión.

3.8. Realizar un diseño paramétrico de las partes / sistemas críticos de la estructura de la estufa rocket.

Para el cálculo analítico del espesor del aislante se programó una Interface Gráfica de Usuario (GUI) realizada en el software Microsoft Excel ®, con la finalidad de obtener una aproximación de la geometría de nuestra estufa rockect. Este programa permite manipular tanto la temperatura de la cámara de la combustión , así como la temperatura del ambiente con la cual nos permite observar la transferencia de calor en paredes compuestas y así determinar el espesor del aislante con estas variaciones de temperaturas, teniendo en cuenta que la temperatura superficial máxima debe estar entre 50°C y 60°C esto basado en las recomendaciones de la Tabla N°.14 y que la cámara de combustión debe alcanzar temperaturas mayores los 900 °C para una buena sintetización del carbono activado.

Este programa GUI me permite optimizar el espesor del aislante variando las temperaturas teniendo en cuenta tanto los coeficientes de transferencia de calor, la conductividad térmica de los materiales y el flujo de energía durante la transferencia de calor; del mismo modo se programó una segunda GUI para determinar el calor suministrado por la cámara de combustión.

También se hizo uso del software SolidWorks ®, con la finalidad de comprobar nuestro estudio de transferencia de calor en paredes compuestas, teniendo en cuenta los espesores y las temperaturas de cada uno de los materiales representados en la simulación.

Del mismo modo se hizo un análisis de la tobera en el software SolidWorks ® para poder determinar flujo volumétrico y la velocidad de salida del aire; utilizando la ecuación de la continuidad, todo esto haciendo uso del complemento Flow Simulation, la cual nos permite ingresar nuestros parámetros como las ecuaciones pertinentes para la obtención de nuestros resultados.

3.8.1. Determinación analítica del espesor del aislante

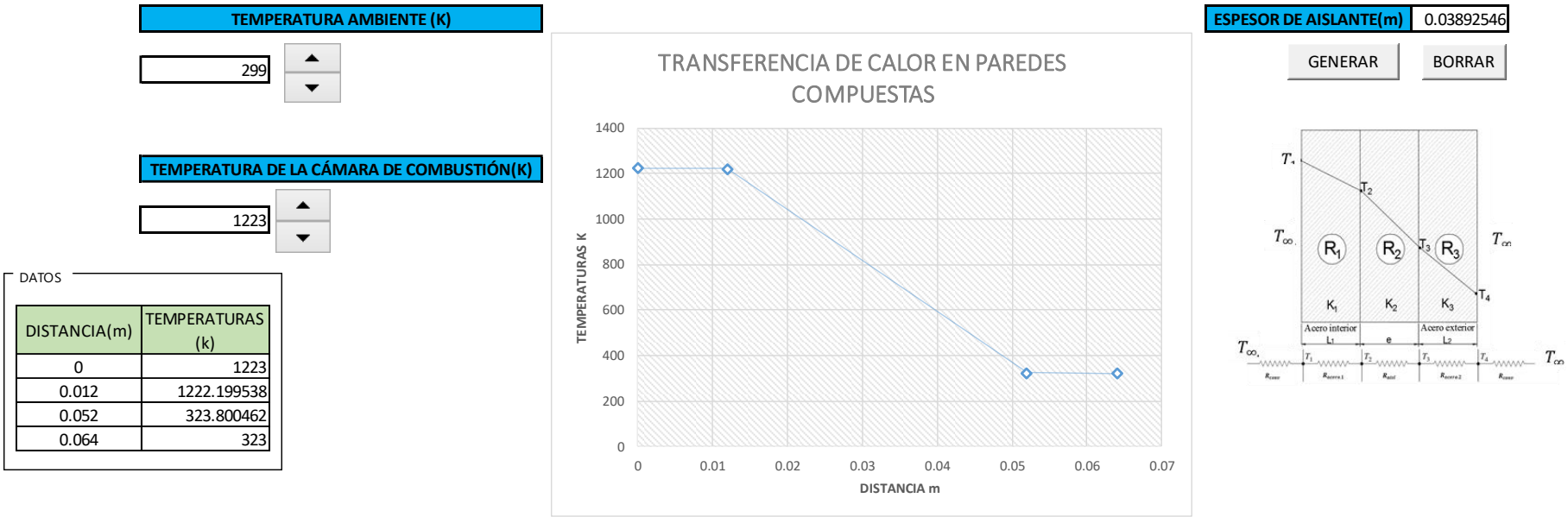


Figura N°20 : *GUI Microsoft Excel ® para cálculo y optimización del espesor del aislante fibra de sílice para nuestra estufa rocket.*

Fuente: Propia.

Como se mencionó, se codificó en el software comercial *Microsoft Excel* ®. Este programa permitió visualizar la transferencia de calor en paredes compuestas teniendo en cuenta las variables temperaturas con el fin de determinar el espesor del aislante de fibra de sílice (e).

Se realizaron cálculos y una gráfica paramétrica usando parámetros como la temperatura interna de la cámara de combustión, la temperatura ambiente, las propiedades de los materiales y teniendo en cuenta el flujo de energía a través de las paredes compuestas de la estufa rocket.

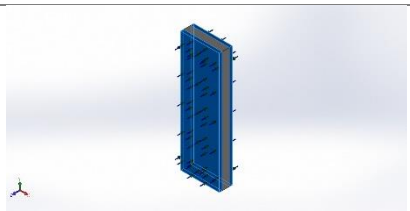
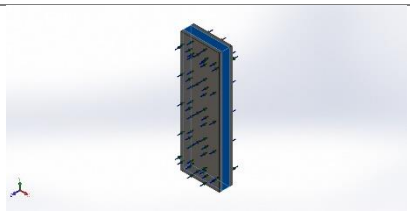
El criterio de selección de espesor de aislante óptimo fue el de obtener un incremento de temperatura mayor a T=950°C y un espesor manejable durante instalación y en base a las recomendaciones de la Tabla N°.14. El dato de temperatura proviene del hecho que para una buena sintetización del carbón activado la temperatura óptima debe ser superior a los 900 °C según lo analizado por otros autores.

3.8.2. Simulación del flujo de calor en paredes compuestas.

Para este estudio se hizo uso del uso del software SolidWorks ®, con la finalidad de comprobar nuestro estudio de transferencia de calor en paredes compuestas.

Tabla N°.17

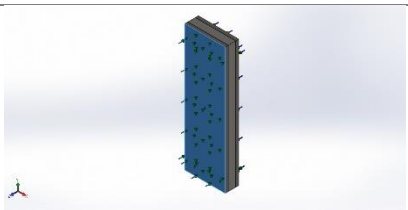
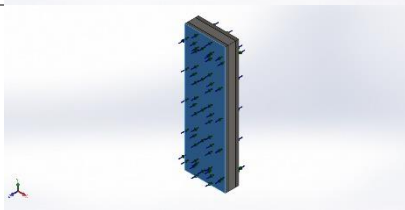
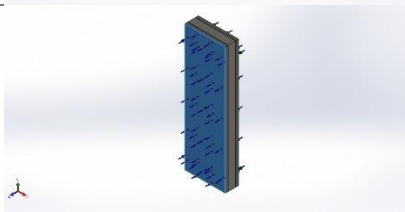
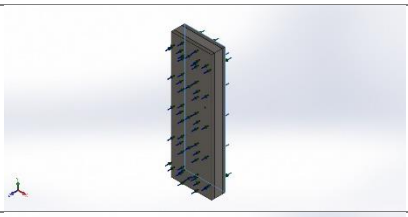
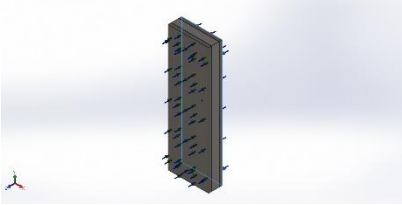
Propiedades.

Referencia de modelo	Propiedades	
	**Nombre:**	ASTM A36 Acero
	Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
	Criterio de error predeterminado:	Tensión de von Mises máx.
	Conductividad térmica:	51.9 W/(m.K)
	Densidad:	7850 kg/m^3
Datos de curva:N/A		
	**Nombre:**	Silicio
	Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
	Conductividad térmica:	0.15 W/(m.K)
	Densidad:	2330 kg/m^3

Fuente: Propia

Tabla N°.17

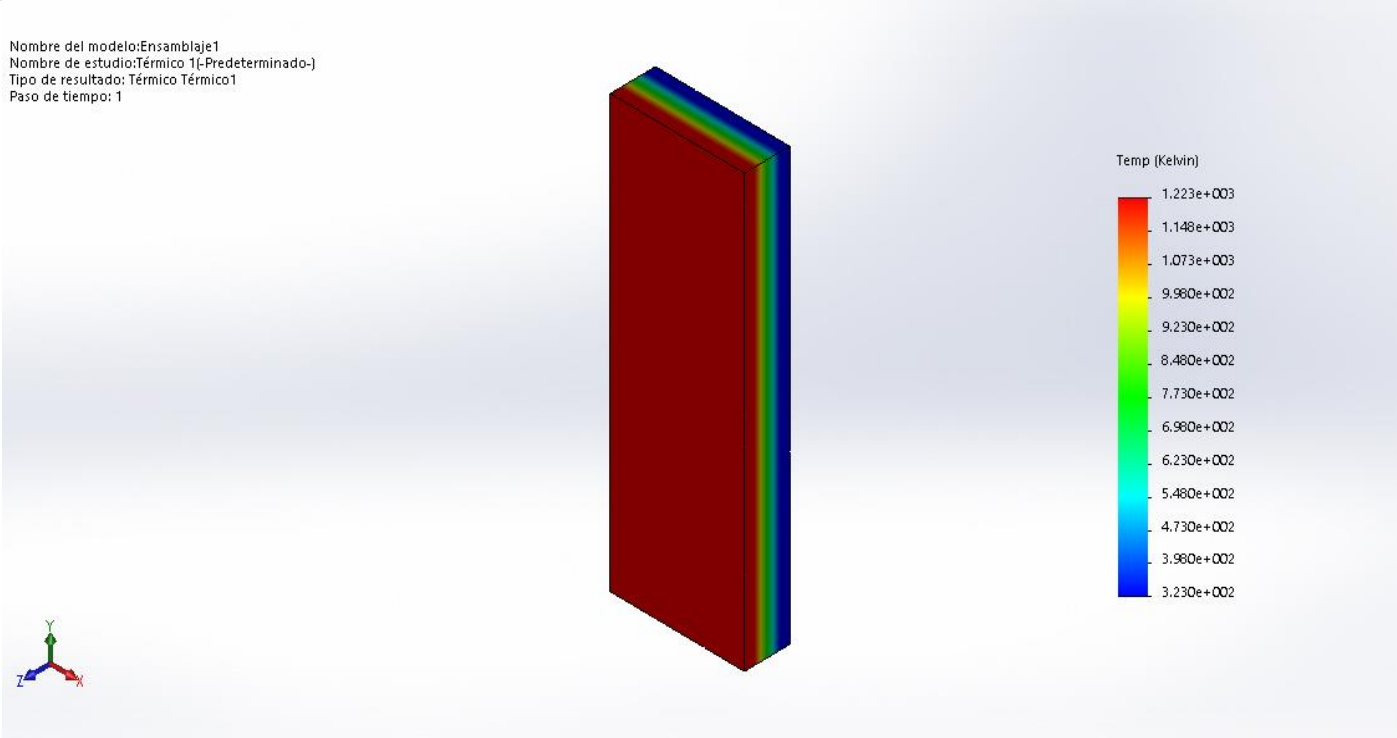
Cargas térmicas.

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Temperatura -1		**Entidades:** 1 cara(s) **Temperatura:** 1223 Kelvin
Flujo de calor-1		**Entidades:** 1 cara(s) **Flujo de calor Valor:** 216.51 W/m^2
Convección-1		**Entidades:** 1 cara(s) **Coeficiente de convección:** 5 W/(m^2.K) **Variación de tiempo:** Desactivar **Variación de temperatura:** Desactivar **Temperatura ambiente:** 1223 Kelvin **Variación de tiempo:** Desactivar
Temperatura -3		**Entidades:** 1 cara(s) **Temperatura:** 323 Kelvin
Convección-2		**Entidades:** 1 cara(s) **Coeficiente de convección:** 15 W/(m^2.K) **Variación de tiempo:** Desactivar **Variación de temperatura:** Desactivar **Temperatura ambiente:** 323 Kelvin **Variación de tiempo:** Desactivar

Fuente: Propia

Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Térmico1	TEMP: Térmico: Temperatura	323 Kelvin Nodo: 1	1223 Kelvin Nodo: 4521



TRANSFERENCIA DE CALOR EN PAREDES COMPUESTAS

Figura N°21: *Simulación en* SolidWorks ® para el estudio de transferencia de calor en paredes compuestas .
Fuente: Propia.

Como se mencionó, se realizó una simulación en el software SolidWorks ®, con la finalidad de comprobar nuestro estudio de transferencia de calor en paredes compuestas. Este programa permitió visualizarla transferencia de calor en paredes compuestas con la finalidad de comprobar nuestros resultados obtenidos en nuestros cálculos de la pag.82 (3.8.1. Cálculo del espesor del aislante).

Se tomaron en cuenta parámetros como las propiedades de los materiales y teniendo en cuenta el flujo de energía a través de las paredes compuestas de la estufa rocket.

En esta simulación se puede observar como varia la temperatura a través de cada uno de los espesores de los distintos materiales de nuestra estufa rocket, permitiendo comprobar tanto el flujo de energía que atraviesa el sistema y del mismo modo las temperaturas mínima y máxima alcanzadas durante el proceso de transferencia de calor, los resultados del estudio nos arrojaron que aislante presenta en su punto inicial y final del espesor temperaturas entre 1073 °C y 398 °C, resultados que concuerdan con las recomendaciones ya que la temperatura de la chaqueta que recubre al aislante de fibra de sílice debe llegar entre los 50 °C y 60 °C esto basado en las recomendaciones de la Tabla N°.14.

3.8.3. Simulación para determinar el flujo volumétrico y la velocidad de salida en la tobera.

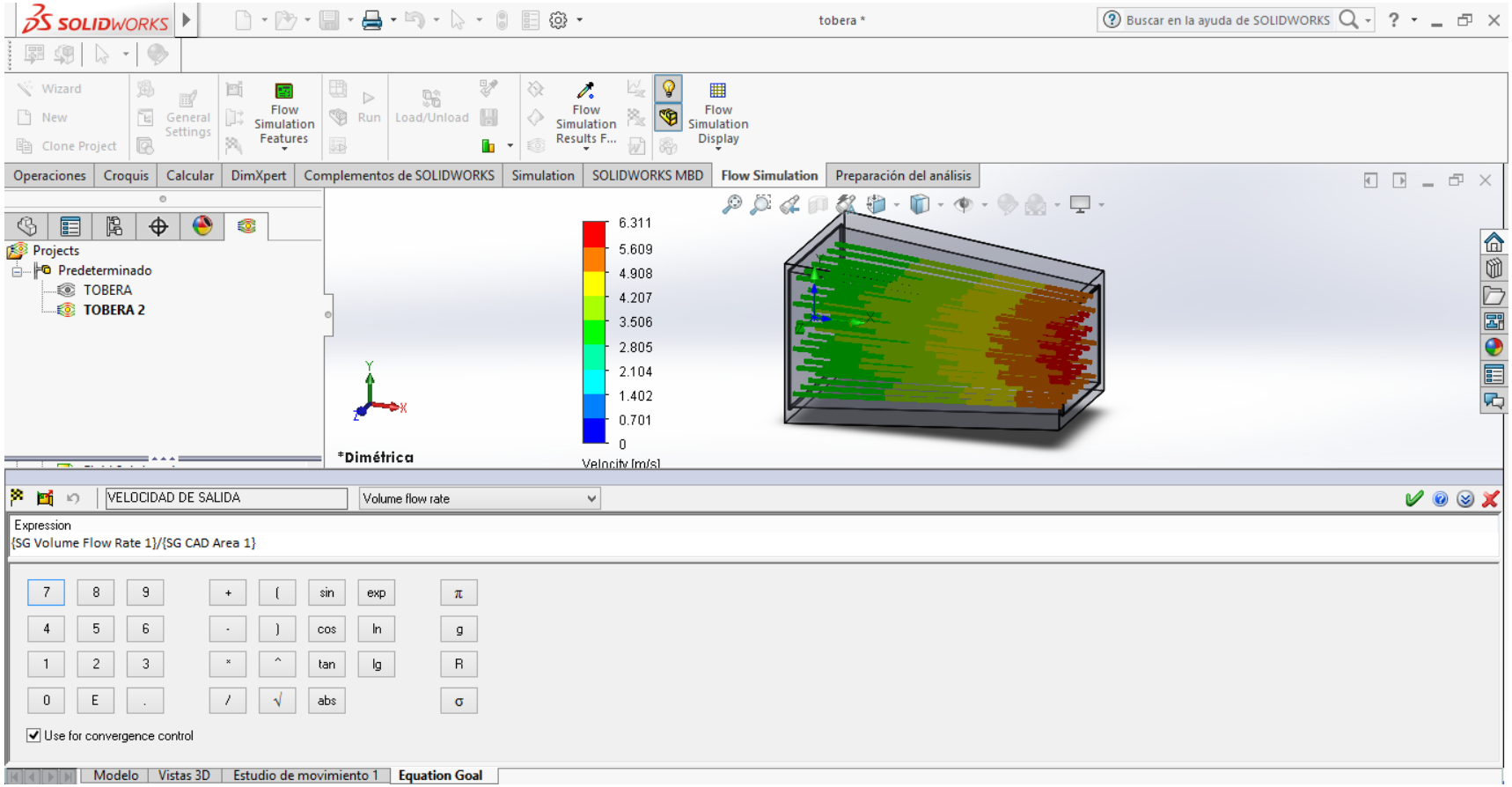


Figura N°22: *Simulación en* SolidWorks ® mediante el complementio Flow Simulation,para determinar el flujo volumétrico y la velocidad de salida en la tobera.

Fuente: Propia.

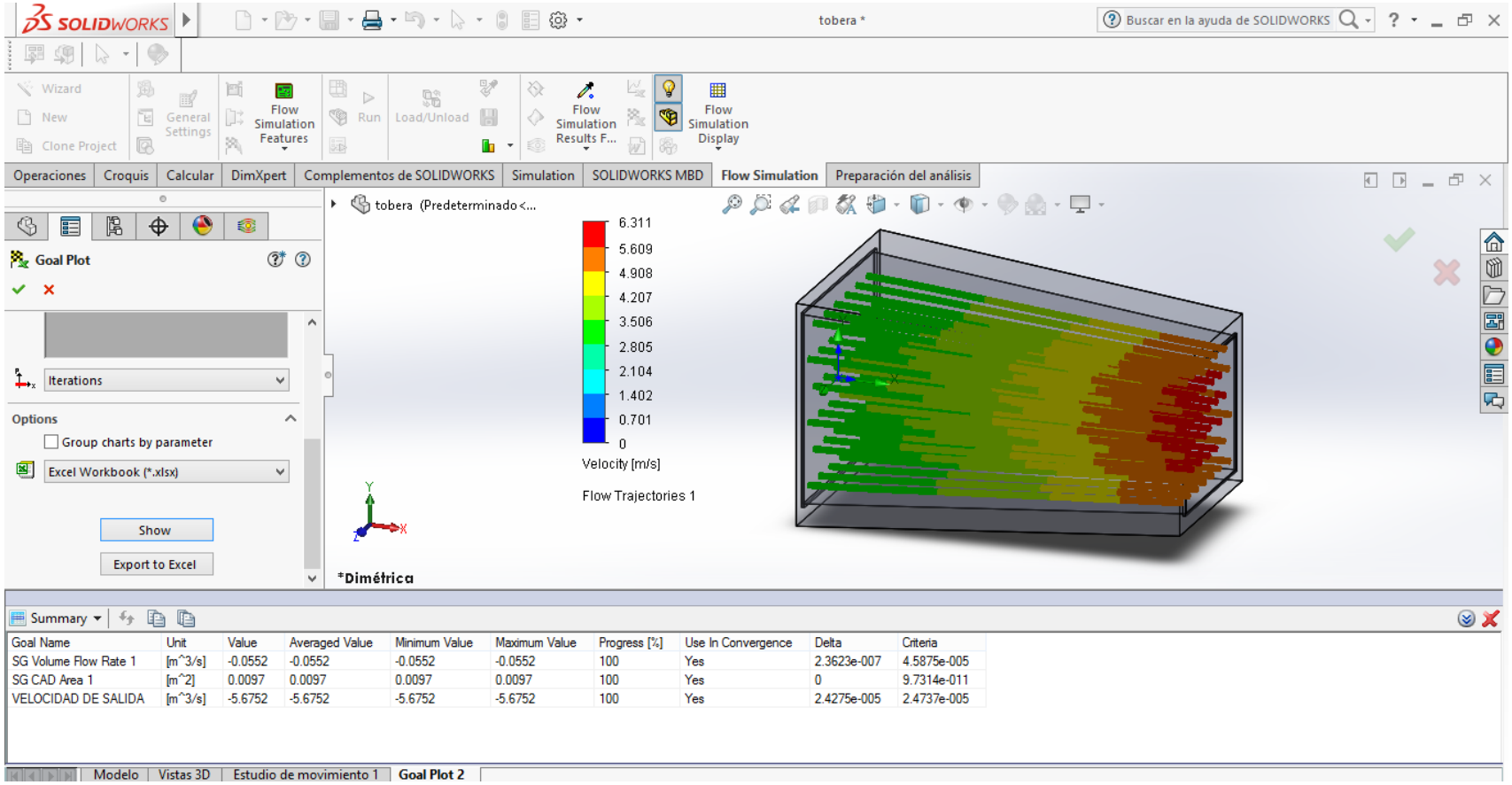


Figura N°23: *Simulación en* SolidWorks ® mediante el complementio Flow Simulation, para determinar el flujo volumétrico y la velocidad de salida en la tobera.

Fuente: Propia.

Como se mencionó, se realizó una simulación en el software SolidWorks ®, con complemento Flow Simulation, con la finalidad de determinar el flujo volumétrico y la velocidad de salida del aire. Este programa permitió visualizarla la variación de velocidades del aire desde la entrada de la tobera hasta llegar a su salida.

Se tomaron en cuenta parámetros como el espesor del material y las dos áreas de la tobera (entrada y salida del aire) (m^2). En esta simulación se puede observar como varía las velocidades a través de los distintos puntos de la tobera, se logró obtener un flujo volumétrico de 0.55 m^2/s y una velocidad a la salida u máxima de 6.31 m/s; y para su determinación se ingresó la expresión flujo volumétrico/ área; estos resultados concuerdan con nuestros cálculos realizados.

3.8.4. Determinación analítica del calor suministrado por la cámara de combustión y de la tasa de flujo de masa real.

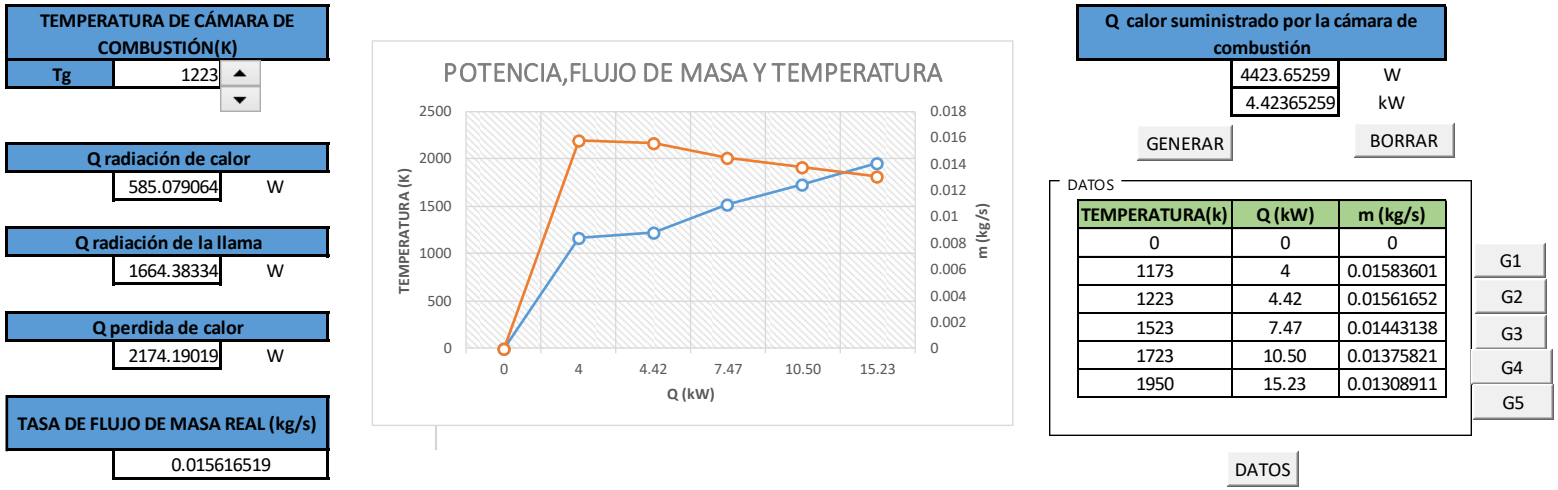


Figura N°24 :*GUI Microsoft Excel ® para la Determinación analíttica del calor suministrado por la cámara de combustión y de la tasa de flujo de masa real .*

Fuente: Propia.

Como se mencionó, se codificó en el software comercial *Microsoft Excel* ®. Este programa permitió visualizar el balance de calor en la cámara de combustión transferencia de calor en paredes compuesta teniendo en cuenta las variables temperaturas y otros factores (ver ANEXO N°6) con el fin de determinar el calor suministrado por la cámara de combustión (kW).

Se realizaron cálculos y una gráfica paramétrica usando parámetros como la temperatura interna de la cámara de combustión, la temperatura ambiente, factores de estudios previos de otros autores, propiedades, coeficientes, velocidad teórica de los gases, las propiedades de los materiales, el flujo de energía, entre otros(ver ANEXO N°6)

El criterio para determinar el calor suministrado por la cámara de combustión fue el de obtener un incremento de temperatura mayor a T=1223 K y así se logró configurar una gráfica con los correspondientes valores de temperatura, calor y la tasa de flujo de masa real, obteniendo como resultado un calor suministrado de 4.42 kW, lo cual comparado con resultados de otros autores que llegan a obtener un valor de entre 2 kW-3 kW lo cual es aceptable debido a que nuestra estufa presenta mayores dimensiones.

3.8.5. Determinación de la temperatura interna de la cámara de combustión.

La pantalla de presentación de esta GUI puede observar en la Figura 30. En esta figura muestra la portada de la Interface Gráfica de Usuario, denominada “Cálculo de temperatura de flama adiabática para estufa rockect”.

Figura 25: Ventana de Inicio (GUI)

Fuente: Propia.

Con el propósito de ratificar los resultados arrojados por la GUI se realizó un cálculo de escritorio detallado de la temperatura de flama adibática (ver Anexo N° 8).

Figura 26: Ventana de Cálculo de temperatura de flama adiabática para estufa rocket (GUI)

Fuente: Propia.

3.9. Análisis económico de la estufa rocket (VAR, TIR).

Costos de inversión

Los costos para la fabricación de la estufa rocket con acero ASTM-A36 y de fibra de sílice como aislante se muestran a continuación en las siguientes tablas:

Tabla N°18.

Costos totales de fabricación de estufa rocket vs costos de estufa rocket en el mercado.

CALCULO DE INVERSION INICIAL						
ITEM	MATERIAL	CANTIDAD	UND	PROVEEDOR	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1.0	Mano de obra	-	-	-	S/80.00	S/80.00
2.0	Transporte	-	-	-	S/10.00	S/10.00
3.0	Fibra de silice	3	m	-	S/65.00	S/195.00
4.0	Acero ASTM-36(1/2")	1	Pz	Tradisa	S/250.00	S/250.00
5.0	Tobera	1	-	Taller	S/50.00	S/50.00
6.0	atas de tubo galvanizad	4	-	Sodimac	S/6.00	S/24.00
7.0	soldadura	2	kg	Sodimac	S/20.00	S/20.00
8.0	Cascara de coco	100	kg	Mercado	S/0.30	S/30.00
9.0	Hueso de aceituna	100	kg	Mercado	S/0.50	S/50.00
10.0	Madera de cedro	1	m	Sodimac	S/20.00	S/20.00
					TOTAL	**S/729.00**

COSTO DE ESTUFA ROCKET EN EL MERCADO					
ITEM	MATERIAL	CANTIDAD	UND.	PROVEEDOR	PRECIO TOTAL
1.0	Estufa cohete	1	Pz	Bell Tent Boutique	S/437.48
2.0	Estufa plegada de leña	1	Pz	Lixada	S/125.68
3.0	estufa acampada plana	1	Pz	SF Innovations	S/285.71

Fuente: (Propia)

Tabla N°19.

Gastos realizados por la empresa en su sistema de purificación

GASTOS EN SISTEMA DE PURIFICACION DE AGUA ACTUAL		
	MANTENIMIENTO/ 8 MESES	**COSTO**
	CALDERO	3210.00
EQUIPOS	ABLANDADOR	1200.00
	TUBERIAS	550.00
	TOTAL	4960.00

Fuente: (Propia)

Tabla N°20.

Flujo de fondos, VAN y TIR

Año	Inversion Inicial	Mantenimiento	Egresos	Ingresos (ahorro)	Beneficio	-2385.37
2017	2385.37	4.960.00	7.345.37		-7.345.37	-7.345.37
8 meses		0.00	0.00	4.960.00	4.960.00	4.960.00
8 meses		0.00	0.00	4.960.00	4.960.00	4.960.00
8 meses		0.00	0.00	4.960.00	4.960.00	4.960.00
2019		4.960.00	3.210.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL			10.555.37	14.880.00	14.880.00	
VAN	$7.508.0356					
TIR	21%					

Fuente: (Propia)

3.10. Discusión de resultados

3.10.1. Luego de especificar los resultados se procedió al análisis y discusión de estos:

Las entrevistas realizadas para determinar la necesidad de la PLANTA PILOTO DE LA UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN reportan interés por parte del personal docente de la Escuela de Ingeniería Industrial con respecto al dimensionamiento y los costos de mantenimiento además del uso de las recomendaciones de diseño orientaron la forma final de la estufa rocket y los rangos de ciertos parámetros importantes en el diseño desarrollado.

Las dimensiones adoptadas para esta optimización de diseño de estufa rocket, ver tabla *(tabla de dimensiones*, se ajusta a los diseños en el mercado y otras investigaciones hechas anteriormente, y cumple el propósito que es obtener una temperatura superior a los 950°C dentro de la cámara de combustión, como en (Agenbroad J.,2011) que obtiene una temperatura hasta de 1100K con la diferencia de que su diseño es mucho más pequeño y utiliza otro aislante térmico como Fiberfrax .

El método de análisis de mecanismos de transferencia de calor ($\frac{q_x}{A} = -A \times \frac{dt}{dx}$; $\boldsymbol{q} = \mathbf{h} \times \mathbf{A} \times (\mathbf{T_w} - \mathbf{T_f})$) orientado al cálculo del espesor del aislamiento para las paredes la estufa rocket, permitió determinar la cantidad necesaria de aislante, considerando una temperatura máxima en la superficie externa de las paredes de la estufa (60°C), para lograr retardar la transferencia de calor desde la cámara de combustión hasta el medio ambiente. Esta metodología fue adoptada de (Cengel.Y ,2011), y comparada con (Usca.E, 2015) quien desarrollo el análisis, pero a diferencia utilizando un diferente tipo de aislante térmico (arcilla) para su diseño.

El análisis en la tobera se realizó utilizando la muy conocida ecuación de continuidad ($A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2$), con la finalidad de diseñar una tobera que sea capaz de permitir el paso de la cantidad de aire necesario para obtener un combustión lo más cerca a la completa con la finalidad de aumentar la temperatura en la cámara de combustión y traer como consecuencia menos gases de emisión producto de ella(Dióxido y Monóxido de carbono como los principales), obteniendo una velocidad final de 6.02m/s en la cámara

de combustión, considerando los 3 m/s de aire circundante y haciendo una comparación con Baldwin F. (1987) quien obtiene una velocidad de 5.35 m/s para su diseño propuesto.

Durante el desarrollo de la investigación no se encontraron trabajos previos que reflejen el diseño paramétrico mediante el software de interface gráfica de usuarios (GUI), por lo que, una de las ventajas de este proyecto es los cálculos de escritorio pueden ser corroborados o validados por el programa de Matlab. Los resultados ayudaron precisamente a corroborar la temperatura en la cámara de combustión asumida en un inicio (950 C°), temperatura ideal para lograr activar el carbón, arrojando 969.906 C° (1242.91 K),en nuestro análisis de temperatura de flama adiabática. Se halló una relación del trabajo de Agenbroad et al. (2011) que para su estufa logra obtener una temepratura maxima de 890 °C (1150 K) con la diferencia de que el utiliza otro combustible (leña) y que su utilidad principal de su trabajo es para fines de cocción resultado muy eficiente para esa aplicación.

Capítulo VI:
CONCLUSIONES

4. CONCLUSIONES

Mediante las entrevistas realizadas se logró determinar que los costos de mantenimiento además del uso de las recomendaciones de diseño fueron necesarias para una buena orientación en la forma final de la estufa rocket y los rangos de ciertos parámetros importantes en el diseño desarrollado.

Se diseñó una cámara de combustión con una altura interior de 50 cm y un diámetro de 16 cm, el material de la cámara de combustión es acero ASTM-A36, cubierta por por material aislante de fibra de sílice que ofrece buena resistencias a altas temperaturas con una conductividad térmica de 0.15 W/m K, el cual también se encuentra recubierto por una chaqueta del mismo acero, según el análisis en nuestra GUI (FIGURA N°25 y ANEXO N°7)se logró determinar las temperaturas en cada una de estas capas a través de un análisis de paredes compuestas, obteniendo un flujo de energía de 216.51 W/m^2.

La optimización de la estufa rocket y mediante un análisis de balance de calor en la cámara de combustión (ver FIGURA N°29), nos logra determinar un flujo de masa real de 0.015616519 kg / s y un calor suministrado por la cámara de combustión de 4.42 kW, lo cual comparado con otros modelos de estufa es aceptable ya que dimensionamientos menores al nuestro y sin tobera logran obtener en promedio una potencia entre 2 kW-3 kW.

Se logró determinar y corroborar la temperatura en la cámara de combustión asumida en un inicio (950 C°), temperatura ideal para lograr activar el carbón, arrojando 969.906 C° (1242.91 K),en nuestro análisis de temperatura de flama adiabática.

Se concluye que el proyecto es rentable dado que el VAN es positivo (7,508.0356) con periodo de retorno 6 meses, además el TIR (21%) es mayor que la tasa de interés bancaria (10%) lo que demuestra que la inversión es atractiva.

Capítulo V:
RECOMENDACIONES

5. RECOMENDACIONES

- Realizar un plan de mantenimiento anual

Capítulo VI:

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agenbroad, J. N. (2007). A simplified model for understanding natural convection driven biomass cooking stoves (Doctoral dissertation, Colorado State University. Libraries).

Agenbroad, J. N. (2010). A simplified model for understanding natural convection driven biomass cooking stoves. Colorado State University: MS Thesis..

Armas Figueroa, R. E., Cuichan, O., & Eduardo, A. (2015). Diseño y construcción de un prototipo de caldera/cocina por combustión de biomasa para la generación de agua caliente sanitaria y calefacción (Bachelor's thesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Carrera de Ingeniería Mecánica.).

Bryden, M., Still, D., Scott, P., Hoffa, G., Ogle, D., Bailis, R., & Goyer, K. (2006). Principios de diseño para estufas de cocción con leña. In Principios de diseño para estufas de cocción con leña. Aprovecho.

David Sánchez. (11/07/2012). la biomasa, una oportunidad para las entidades locales. cener, i, 27.

Gómez, C. D. M. (2012). La eficiencia energética en el uso de la biomasa para la generación de energía eléctrica: optimización energética y exergética (Doctoral dissertation, Universidad Complutense de Madrid).

Hung, J. J. (2012). The production of activated carbon from coconut shells using pyrolysis and fluidized bed reactors.

Kshirsagar, M. P., & Kalamkar, V. R. (2015). A mathematical tool for predicting thermal performance of natural draft biomass cookstoves and identification of a new operational parameter. Energy, 93, 188-201.

Obregón Valencia, D. C. (2014). Estudio comparativo de la capacidad de adsorción de cadmio utilizando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje y de aceituna.

Sánchez, J. B. M. (2015). Optimización de metodologías para la caracterización de biocombustibles sólidos procedentes de la industria del olivar (Doctoral dissertation, Universidad de Córdoba).

Serrano Aguirre, D., & Montoya Mendoza, L. (2017). Diseño, análisis y construcción de una estufa de uso doméstico utilizando como fuente de combustible biomasa sólida (Bachelor's thesis, Espol).

Solís-Fuentes, J. A., Morales-Téllez, M., Ayala-Tirado, R. C., & Durán-de-Bazúa, M. D. C. (2012). Obtención de carbón activado a partir de residuos agroindustriales y su evaluación en la remoción de color del jugo de caña. Tecnología, Ciencia, Educación, 27(1).

Tanaka, H. (2016). Thermal distillation system utilizing biomass energy burned in stove by means of heat pipe. Alexandria Engineering Journal, 55(3), 2203-2208.

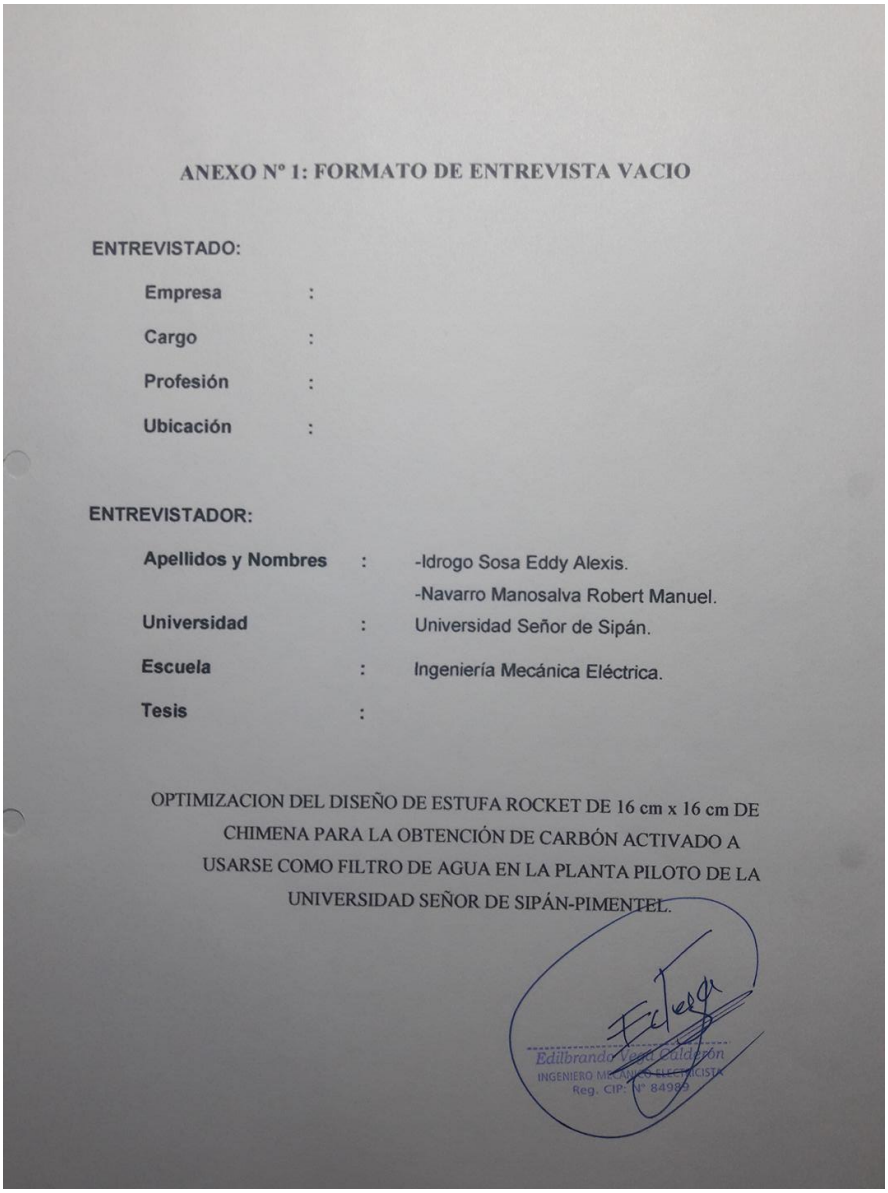
Usca Abal, E. (2015). Diseño y construcción de una cocina rural en forma de" L".

Yusufu, M. I., Ariahu, C. C., & Igbabul, B. D. (2012). Production and characterization of activated carbon from selected local raw materials. African Journal of Pure and Applied Chemistry, 6(9), 123-131.

Capítulo VII:
ANEXOS

7. ANEXOS

ANEXO Nº 1: FORMATO DE ENTREVISTA VACIO



ANEXO Nº 1: FORMATO DE ENTREVISTA VACIO

ENTREVISTADO:

Empresa :

Cargo :

Profesión :

Ubicación :

ENTREVISTADOR:

Apellidos y Nombres : -Idrogo Sosa Eddy Alexis.
-Navarro Manosalva Robert Manuel.

Universidad : Universidad Señor de Sipán.

Escuela : Ingeniería Mecánica Eléctrica.

Tesis :

OPTIMIZACION DEL DISEÑO DE ESTUFA ROCKET DE 16 cm x 16 cm DE CHIMENA PARA LA OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A USARSE COMO FILTRO DE AGUA EN LA PLANTA PILOTO DE LA UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN-PIMENTEL.

Edilbrando Vega Calderón
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
Reg. CIP: N° 84989

1. ¿Cuántos litros diarios de agua purificada necesita la plata piloto para realizar sus procesos?

2. ¿Cuál es el proceso de purificación de agua que actualmente se utiliza en la planta piloto?

3. ¿Qué estándares de calidad se tienen en cuenta con respecto al uso del agua para procesos en la planta piloto?

4. ¿Cuál es el costo en mantenimiento del equipo purificador de agua utilizado actualmente en la planta piloto?

5. ¿Según norma de calidad, cuál es el nivel óptimo de purificación de agua para procesos industriales?

6. ¿Qué otros tratamientos recibe el agua antes de utilizarse en los procesos industriales?

7. ¿conoce usted sobre las propiedades del carbón activado?

Edilbrando Vega Calderón
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
Reg. CIP: N° 2949

8. ¿La universidad compra carbón activado para usarlo en procesos de su planta piloto?

9. ¿conoce usted el precio del carbón activado en el mercado?

10. ¿Tiene usted idea de cuánto ahorraría teniendo una máquina que fabrica carbón activado para la planta piloto de la Universidad Señor de Sipán?

11. ¿En qué otra alternativa ha pensado para reemplazar el filtro de agua actual?

12. ¿Qué otra utilidad podría darle al carbón activado?

Edilbrando Vega Calderón
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
Reg. CIP: N° 74389

13. ¿Se ha utilizado carbón activado en esta planta piloto alguna vez para sus procesos?

SI	NO

COMENTARIO:.....
.....
.....
.....
.....

14. ¿Respecto al carbón activado como filtro de agua, qué expectativas tiene usted con respecto a su implementación en la institución, conociendo sus propiedades?

15. ¿Sabe usted si hay alguna empresa similar a esta que utilice el carbón activado para algún tipo de proceso?

SI	NO

COMENTARIO:.....
.....
.....
.....
.....

16. ¿Qué tan informada cree que este la comunidad universitaria respecto al carbón activado?

17. ¿Cree usted que el CA puede intervenir en otro proceso a parte que como filtro de agua?

Edilberando Vera Calderón
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
Reg. CIP. N° 84989

SI	NO

COMENTARIO:.....
.....
.....
.....
.....

18. ¿Algún requerimiento en las dimensiones para la instalación del filtro de agua a base de carbón activado?

19. ¿Conoce usted de las aplicaciones y propiedades del carbón activado utilizados en procesos industriales?

SI	NO

COMENTARIO:.....
.....
.....
.....
.....

20. ¿Qué característica debería tener el agua para un proceso de calidad?

21. ¿Conoce usted el proceso de licenciamiento a nivel nacional promovido por la sunedu?

SI	NO

Edilbrando Vega Cantarón
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
Reg. CIP. N° 84989

COMENTARIO:.....
.....
.....
.....
.....

22. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por nuestro carbón activado?

- 25 S/. el Kg ☐
- 35 S/. el Kg ☐
- 50 S/. el Kg ☐
- 65 S/. el Kg ☐
- 80 S/. el Kg ☐

Edilbrando Vega Calderón
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
Reg. CIP N° 84989

ANEXO N°2: CARACTERÍSTICAS DE ACERO ASTM-A36

Composicíon Química

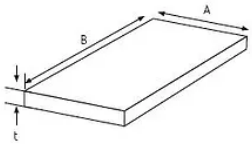
Norma	C máx %	Mn %	P máx %	S máx %	Si máx %
ASTM A36	0.26	-	0.04	0.05	0.40

Propiedades Mecánicas

Norma	Límite de Fluencia	Resistencia a la tracción	Elongación mín (2")
	Mpa	Mpa	%
ASTM A36	248	400 - 550	15

Dimensiones y pesos nominales (kg/m)

espesor (mm)	ancho (mm)	largo (mm)	peso teórico
t	A	B	kg
1.80	1200	2400	40.69
2.00	1200	2400	45.22
2.50	1200	2400	56.52
3.00	1200	2400	67.82
4.00	1200	2400	90.43
4.50	1200	2400	101.74
6.00	1200	2400	135.65
8.00	1200	2400	180.86
9.00	1200	2400	203.47
12.00	1200	2400	271.30
16.00	1200	2400	361.73
19.00	1200	2400	429.55
25.00	1200	2400	565.20
38.00	1200	2400	859.10
45.00	1200	2400	1017.36



ANEXO N°3: ANALISIS ELEMENTAL DEL HUESO DE ACEITUNA

Descripción	En peso (%)
Carbono	50.79
Hidrogeno	5.95
Nitrogeno	0.48
Azufre	0.04
Oxigeno	42.74
Cenizas	1.62
Humedad	13.12

Poder calorifico del hueso de aceituna

Hueso de aceituna	
	(kcal/kg seco)
Poder calorífico superior	4800
Poder calorífico inferior	4500

ANEXO N°4: TABLA DE PROPIEDADES DEL AIRE

Tabla N° 21

Propiedades del aire a 1 atm de presión

Temp. T, °C	Densidad ρ, kg/m³	Calor específico c_p J/kg · K	Conductividad térmica k, W/m · K	Difusividad térmica α, m²/s	Viscosidad dinámica μ, kg/m · s	Viscosidad cinemática ν, m²/s	Número de Prandtl Pr
−150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
−100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-6}	5.837×10^{-6}	0.7263
−50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
−40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
−30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
−20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
−10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2000	0.1553	1264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Fuente: Cengel, 2006 de mecánica de fluidos

ANEXO N°5: TABLA DE PROPIEDADES DEL AIRE

Tabla N°22

Masa molar, constante de gas y propiedades del punto crítico

Sustancia	Fórmula	Masa molar, *M* kg/kmol	Constante de gas, *R* kJ/kg · K*	*Propiedades del punto crítico* Temperatura, K	Presión, MPa	Volumen, m^3/kmol
Agua	H_2O	18.015	0.4615	647.1	22.06	0.0560
Aire	—	28.97	0.2870	132.5	3.77	0.0883
Alcohol etílico	C_2H_5OH	46.07	0.1805	516	6.38	0.1673
Alcohol metílico	CH_3OH	32.042	0.2595	513.2	7.95	0.1180
Amoniaco	NH_3	17.03	0.4882	405.5	11.28	0.0724
Argón	Ar	39.948	0.2081	151	4.86	0.0749
Benceno	C_6H_6	78.115	0.1064	562	4.92	0.2603
Bromo	Br_2	159.808	0.0520	584	10.34	0.1355
n-Butano	C_4H_{10}	58.124	0.1430	425.2	3.80	0.2547
Cloro	Cl_2	70.906	0.1173	417	7.71	0.1242
Cloroformo	$CHCl_3$	119.38	0.06964	536.6	5.47	0.2403
Cloruro metílico	CH_3Cl	50.488	0.1647	416.3	6.68	0.1430
Criptón	Kr	83.80	0.09921	209.4	5.50	0.0924
Diclorodifluorometano (R-12)	CCl_2F_2	120.91	0.06876	384.7	4.01	0.2179
Diclorofluorometano (R-21)	$CHCl_2F$	102.92	0.08078	451.7	5.17	0.1973
Dióxido de carbono	CO_2	44.01	0.1889	304.2	7.39	0.0943
Dióxido de sulfuro	SO_2	64.063	0.1298	430.7	7.88	0.1217
Etano	C_2H_6	30.070	0.2765	305.5	4.48	0.1480
Etileno	C_2H_4	28.054	0.2964	282.4	5.12	0.1242
Helio	He	4.003	2.0769	5.3	0.23	0.0578
n-Hexano	C_6H_{14}	86.179	0.09647	507.9	3.03	0.3677
Hidrógeno (normal)	H_2	2.016	4.1240	33.3	1.30	0.0649
Metano	CH_4	16.043	0.5182	191.1	4.64	0.0993
Monóxido de carbono	CO	28.011	0.2968	133	3.50	0.0930
Neón	Ne	20.183	0.4119	44.5	2.73	0.0417
Nitrógeno	N_2	28.013	0.2968	126.2	3.39	0.0899
Óxido nitroso	N_2O	44.013	0.1889	309.7	7.27	0.0961
Oxígeno	O_2	31.999	0.2598	154.8	5.08	0.0780
Propano	C_3H_8	44.097	0.1885	370	4.26	0.1998
Propileno	C_3H_6	42.081	0.1976	365	4.62	0.1810
Tetracloruro de carbono	CCl_4	153.82	0.05405	556.4	4.56	0.2759
Tetrafluoroetano (R-134a)	CF_3CH_2F	102.03	0.08149	374.2	4.059	0.1993
Triclorofluorometano (R-11)	CCl_3F	137.37	0.06052	471.2	4.38	0.2478
Xenón	Xe	131.30	0.06332	289.8	5.88	0.1186

Fuente: Cengel, 2011

https://www.yohersa.com/a36

ANEXO N°6: PARÁMETROS PARA CÁLCULOS DE LA COMBUSTIÓN

Tabla N°23

PARÁMETROS				
N°	**PARÁMETRO**	**SÍMBOLO**	**VALOR**	**UNIDAD**
1	Viscosidad dinámica del aire / de gases de combustión	μ	3.76937E-05	kg·m^-1. s^-1
3	Calor específico del aire / de gases de combustión	C_p	0.9962	kJ / kg K
4	Viscosidad cinemática del aire / de gases de combustión	V	0.000015186	m^2.s^-1
5	Densidad de la atmosfera del aire	ρ	1.176666667	kg / m3
6	Número de Prandtl para aire / gases de combustión	P_r	0.685	
7	Entalpia del aire (cengel)	h	299.1551	Joul
10	Constante de Stefan boltzman	σ	5.6704E-08	W/m^2K^4
11	Área de la sección transversal de la chimenea /cámara de combustión	A	0.0256	m^2
12	Temperatura del tiro en la esquina de la parrilla u cesta	T_C	1100	K
13	Temperatura de la superficie de la parrilla	T_P	1073	K
14	Emisividad del carbón	E_C	0.85	
17	diámetro de chimenea	D	0.16	m
18	altura de chimenea	H	0.5	m
19	ancho del espacio del recipiente interno	W_i	0.16	m
20	calor radiante que entrega la llama	Q_{RL}	585.079064	kW
23	emisividad de los gases en la cámara de combustión	E_g	0.082	
24	temperatura de combustión dentro de la chimenea	T_g	1223	K
25	absorbancia del gas de combustión	α_g	0.082	
29	temperatura	T	1223	K
30	temperatura de la superficie en la zona	T_S	1223	K
33	temperatura ambiente	T_a	298	K
34	diámetro exterior de la estufa	D_O	0.16	m
35	diámetro interior de la estufa	D_i	0.136	m
36	superficie externa de la pared	A_O	0.1232	m^2
40	conductividad térmica del aislamiento de la estufa	K_i	0.15	W/m K
45	conductividad térmica del aire/gas de combustión	K	0.026855318	W/m K

PARÁMETROS				
N°	**PARÁMETRO**	**SÍMBOLO**	**VALOR**	**UNIDAD**
46	temperatura de la superficie de la pared interior	T_{wi}	1073	K
47	emisividad del carbón	E_C	0.85	
48	temperatura del carbón	T_{char}	950	K
49	factor entre la cama de carbón y la pared interior	$F_{char\text{-}wall}$	0.952	
50	factor entre la cama de carbón y la superficie de la parrilla	$F_{chair\text{-}pot}$	0.014275879	
51	número de Rayleigh para la superficie exterior	R_{ah}	38181374	
52	emisividad de la superficie externa de la pared	E_o	0.15	
53	Diametro interno de la chimenea	d_{chim}	0.136	m
54	Velocidad del gas en la chimenea	v_g	5.518197473	m/s
55	Viscosidad cinemática del gas	v	0.0001639	m^2/s
56	Efecto chimenea	$\Delta P\ chimenea$	4.39178985	kg/m.s^2
57	altura de chimena	H	0.5	m
58	densidad del aire atmosférico	ρ_a	1.184	Kg/m^3
59	densidad de gases de combustión	ρ_g	0.28863	Kg/m^3
60	gravedad	g	9.81	m/s
61	velocidad teórica de los gases de combustión	V_{th}	5.518197473	m/s
62	gravedad	g	9.81	m/s
63	caudal teórico masico de los gases de combustión	$\dot{m}_{th}$	0.0407742	kg / s
64	la tasa de flujo de masa real	$\dot{m}_{act}$	0.015616519	kg / s
65	coeficiente de descaraga	Cd	0.383	
66	kg humo producido por kg de combustible seco quemado	$\dot{m}_{flue}$	97.60324189	kg / s
67	tasa de combustión de combustible seco	$\dot{m}_f$	0.00016	kg/s
68	Kg de aire suministrado para la combustión por kg de combustible seco quemado	m_a	7.1	
69	contenido de humedad del combustible en peso	M	12	%
70	valor calorífico neto del combustible	NCV	15899.2	kJ / kg de combustible seco
71	temperatura exterior	Two	333	K

Fuente: Propia.

ANEXO N°7: TABLAS DE TERMODINÁMICA

Tabla N°23.

TABLAS DE TERMODINÁMICA

SO_2

T (K)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s^0 (kJ/kg K)	u (kJ/molkg)	h (kJ/molkg)	s^0 (kJ/molkg K)	Pr	Vr
1255	594,85	757,74	4,9674	38106,1	48540,8	318,214	2091,0	77,901
1256	595,60	758,62	4,9681	38153,9	48596,9	318,259	2102,2	77,545
1257	596,34	759,49	4,9688	38201,7	48653,0	318,303	2113,6	77,191
1258	597,09	760,37	4,9695	38249,5	48709,1	318,348	2124,9	76,839
1259	597,83	761,24	4,9702	38297,2	48765,2	318,393	2136,4	76,489
1260	598,58	762,12	4,9709	38345,0	48821,3	318,437	2147,8	76,141
1261	599,33	762,99	4,9716	38392,8	48877,4	318,482	2159,4	75,794
1262	600,07	763,87	4,9723	38440,7	48933,6	318,526	2171,0	75,450
1263	600,82	764,75	4,9730	38488,5	48989,7	318,571	2182,6	75,107
1264	601,57	765,62	4,9737	38536,3	49045,8	318,615	2194,3	74,766

1240	583,68	744,62	4,9569	37390,5	47700,5	317,541	1928,3	83,465
1241	584,42	745,50	4,9576	37438,2	47756,5	317,586	1938,8	83,080
1242	585,17	746,37	4,9583	37485,9	47812,6	317,631	1949,3	82,697
1243	585,91	747,25	4,9590	37533,7	47868,6	317,676	1959,9	82,316
1244	586,66	748,12	4,9597	37581,4	47924,6	317,721	1970,6	81,937
1245	587,40	749,00	4,9604	37629,1	47980,7	317,766	1981,3	81,560
1246	588,15	749,87	4,9611	37676,9	48036,7	317,811	1992,0	81,184
1247	588,89	750,75	4,9618	37724,6	48092,8	317,856	2002,8	80,811
1248	589,64	751,62	4,9625	37772,3	48148,9	317,901	2013,7	80,440
1249	590,39	752,50	4,9633	37820,1	48204,9	317,946	2024,6	80,071
1250	591,13	753,37	4,9640	37867,9	48261,0	317,991	2035,5	79,704
1251	591,88	754,25	4,9647	37915,6	48317,1	318,036	2046,6	79,338
1252	592,62	755,12	4,9654	37963,4	48373,2	318,080	2057,6	78,975
1253	593,37	756,00	4,9660	38011,2	48429,2	318,125	2068,7	78,614
1254	594,11	756,87	4,9667	38058,9	48485,3	318,170	2079,9	78,254

Fuente: FEDERICO RAMÍREZ Y CENGEL YONUS.

Tabla N°23.

TABLAS DE TERMODINÁMICA

TABLA A-18

Propiedades de gas ideal del nitrógeno, N_2 (*conclusión*)

T K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/kmol · K	T K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/kmol · K
1000	30,129	21,815	228.057	1760	56,227	41,594	247.396
1020	30,784	22,304	228.706	1780	56,938	42,139	247.798
1040	31,442	22,795	229.344	1800	57,651	42,685	248.195
1060	32,101	23,288	229.973	1820	58,363	43,231	248.589
1080	32,762	23,782	230.591	1840	59,075	43,777	248.979
1100	33,426	24,280	231.199	1860	59,790	44,324	249.365
1120	34,092	24,780	231.799	1880	60,504	44,873	249.748
1140	34,760	25,282	232.391	1900	61,220	45,423	250.128
1160	35,430	25,786	232.973	1920	61,936	45,973	250.502
1180	36,104	26,291	233.549	1940	62,654	46,524	250.874
1200	36,777	26,799	234.115	1960	63,381	47,075	251.242
1220	37,452	27,308	234.673	1980	64,090	47,627	251.607
1240	38,129	27,819	235.223	2000	64,810	48,181	251.969
1260	38,807	28,331	235.766	2050	66,612	49,567	252.858
1280	39,488	28,845	236.302	2100	68,417	50,957	253.726
1300	40,170	29,361	236.831	2150	70,226	52,351	254.578
1320	40,853	29,378	237.353	2200	72,040	53,749	255.412
1340	41,539	30,398	237.867	2250	73,856	55,149	256.227
1360	42,227	30,919	238.376	2300	75,676	56,553	257.027
1380	42,915	31,441	238.878	2350	77,496	57,958	257.810
1400	43,605	31,964	239.375	2400	79,320	59,366	258.580
1420	44,295	32,489	239.865	2450	81,149	60,779	259.332
1440	44,988	33,014	240.350	2500	82,981	62,195	260.073
1460	45,682	33,543	240.827	2550	84,814	63,613	260.799
1480	46,377	34,071	241.301	2600	86,650	65,033	261.512
1500	47,073	34,601	241.768	2650	88,488	66,455	262.213
1520	47,771	35,133	242.228	2700	90,328	67,880	262.902
1540	48,470	35,665	242.685	2750	92,171	69,306	263.577
1560	49,168	36,197	243.137	2800	94,014	70,734	264.241
1580	49,869	36,732	243.585	2850	95,859	72,163	264.895
1600	50,571	37,268	244.028	2900	97,705	73,593	265.538
1620	51,275	37,806	244.464	2950	99,556	75,028	266.170
1640	51,980	38,344	244.896	3000	101,407	76,464	266.793
1660	52,686	38,884	245.324	3050	103,260	77,902	267.404
1680	53,393	39,424	245.747	3100	105,115	79,341	268.007
1700	54,099	39,965	246.166	3150	106,972	80,782	268.601
1720	54,807	40,507	246.580	3200	108,830	82,224	269.186
1740	55,516	41,049	246.990	3250	110,690	83,668	269.763

Fuente: Las tablas A-18 a A-25 fueron adaptadas de Kenneth Wark, *Thermodynamics*, 4a. ed., Nueva York, McGraw-Hill, 1983, pp. 787-798. Publicadas originalmente en JANAF, *Thermochemical Tables*, NSRDS-NBS-37, 1971.

Fuente: FEDERICO RAMÍREZ Y CENGEL YONUS.

Tabla N°23.

TABLAS DE TERMODINÁMICA

TABLA A-20

Propiedades de gas ideal del dióxido de carbono, CO_2 (*conclusión*)

T K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/kmol · K	T K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/kmol · K
1000	42,769	34,455	269.215	1760	86,420	71,787	301.543
1020	43,859	35,378	270.293	1780	87,612	72,812	302.217
1040	44,953	36,306	271.354	1800	88,806	73,840	302.884
1060	46,051	37,238	272.400	1820	90,000	74,868	303.544
1080	47,153	38,174	273.430	1840	91,196	75,897	304.198
1100	48,258	39,112	274.445	1860	92,394	76,929	304.845
1120	49,369	40,057	275.444	1880	93,593	77,962	305.487
1140	50,484	41,006	276.430	1900	94,793	78,996	306.122
1160	51,602	41,957	277.403	1920	95,995	80,031	306.751
1180	52,724	42,913	278.361	1940	97,197	81,067	307.374
1200	53,848	43,871	297.307	1960	98,401	82,105	307.992
1220	54,977	44,834	280.238	1980	99,606	83,144	308.604
1240	56,108	45,799	281.158	2000	100,804	84,185	309.210
1260	57,244	46,768	282.066	2050	103,835	86,791	310.701
1280	58,381	47,739	282.962	2100	106,864	89,404	312.160
1300	59,522	48,713	283.847	2150	109,898	92,023	313.589
1320	60,666	49,691	284.722	2200	112,939	94,648	314.988
1340	61,813	50,672	285.586	2250	115,984	97,277	316.356
1360	62,963	51,656	286.439	2300	119,035	99,912	317.695
1380	64,116	52,643	287.283	2350	122,091	102,552	319.011
1400	65,271	53,631	288.106	2400	125,152	105,197	320.302
1420	66,427	54,621	288.934	2450	128,219	107,849	321.566
1440	67,586	55,614	289.743	2500	131,290	110,504	322.808
1460	68,748	56,609	290.542	2550	134,368	113,166	324.026
1480	66,911	57,606	291.333	2600	137,449	115,832	325.222
1500	71,078	58,606	292.114	2650	140,533	118,500	326.396
1520	72,246	59,609	292.888	2700	143,620	121,172	327.549
1540	73,417	60,613	292.654	2750	146,713	123,849	328.684
1560	74,590	61,620	294.411	2800	149,808	126,528	329.800
1580	76,767	62,630	295.161	2850	152,908	129,212	330.896
1600	76,944	63,741	295.901	2900	156,009	131,898	331.975
1620	78,123	64,653	296.632	2950	159,117	134,589	333.037
1640	79,303	65,668	297.356	3000	162,226	137,283	334.084
1660	80,486	66,592	298.072	3050	165,341	139,982	335.114
1680	81,670	67,702	298.781	3100	168,456	142,681	336.126
1700	82,856	68,721	299.482	3150	171,576	145,385	337.124
1720	84,043	69,742	300.177	3200	174,695	148,089	338.109
1740	85,231	70,764	300.863	3250	177,822	150,801	339.069

Fuente: FEDERICO RAMÍREZ Y CENGEL YONUS.

Tabla N°23.

TABLAS DE TERMODINÁMICA

TABLA A-23

Propiedades de gas ideal del vapor de agua, H_2O (*conclusión*)

T K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/kmol · K	T K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/kmol · K
1000	35,882	27,568	232.597	1760	70,535	55,902	258.151
1020	36,709	28,228	233.415	1780	71,523	56,723	258.708
1040	37,542	28,895	234.223	1800	72,513	57,547	259.262
1060	38,380	29,567	235.020	1820	73,507	58,375	259.811
1080	39,223	30,243	235.806	1840	74,506	59,207	260.357
1100	40,071	30,925	236.584	1860	75,506	60,042	260.898
1120	40,923	31,611	237.352	1880	76,511	60,880	261.436
1140	41,780	32,301	238.110	1900	77,517	61,720	261.969
1160	42,642	32,997	238.859	1920	78,527	62,564	262.497
1180	43,509	33,698	239.600	1940	79,540	63,411	263.022
1200	44,380	34,403	240.333	1960	80,555	64,259	263.542
1220	45,256	35,112	241.057	1980	81,573	65,111	264.059
1240	46,137	35,827	241.773	2000	82,593	65,965	264.571
1260	47,022	36,546	242.482	2050	85,156	68,111	265.838
1280	47,912	37,270	243.183	2100	87,735	70,275	267.081
1300	48,807	38,000	243.877	2150	90,330	72,454	268.301
1320	49,707	38,732	244.564	2200	92,940	74,649	269.500
1340	50,612	39,470	245.243	2250	95,562	76,855	270.679
1360	51,521	40,213	245.915	2300	98,199	79,076	271.839
1380	52,434	40,960	246.582	2350	100,846	81,308	272.978
1400	53,351	41,711	247.241	2400	103,508	83,553	274.098
1420	54,273	42,466	247.895	2450	106,183	85,811	275.201
1440	55,198	43,226	248.543	2500	108,868	88,082	276.286
1460	56,128	43,989	249.185	2550	111,565	90,364	277.354
1480	57,062	44,756	249.820	2600	114,273	92,656	278.407
1500	57,999	45,528	250.450	2650	116,991	94,958	279.441
1520	58,942	46,304	251.074	2700	119,717	97,269	280.462
1540	59,888	47,084	251.693	2750	122,453	99,588	281.464
1560	60,838	47,868	252.305	2800	125,198	101,917	282.453
1580	61,792	48,655	252.912	2850	127,952	104,256	283.429
1600	62,748	49,445	253.513	2900	130,717	106,605	284.390
1620	63,709	50,240	254.111	2950	133,486	108,959	285.338
1640	64,675	51,039	254.703	3000	136,264	111,321	286.273
1660	65,643	51,841	255.290	3050	139,051	113,692	287.194
1680	66,614	52,646	255.873	3100	141,846	116,072	288.102
1700	67,589	53,455	256.450	3150	144,648	118,458	288.999
1720	68,567	54,267	257.022	3200	147,457	120,851	289.884
1740	69,550	55,083	257.589	3250	150,272	123,250	290.756

Fuente: FEDERICO RAMÍREZ Y CENGEL YONUS.

Tabla N°23.

TABLAS DE TERMODINÁMICA

TABLA A-26

Entalpía de formación, función de Gibbs de formación y entropía absoluta a 25°C, 1 atm

Sustancia	Fórmula	$\bar{h}_f^\circ$ kJ/kmol	$\bar{g}_f^\circ$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/kmol · K
Acetileno	$C_2H_2(g)$	+226,730	+209,170	200.85
Agua	$H_2O(\ell)$	−285,830	−237,180	69.92
Alcohol etílico	$C_2H_5OH(g)$	−235,310	−168,570	282.59
Alcohol etílico	$C_2H_5OH(\ell)$	−277,690	−174,890	160.70
Alcohol metílico	$CH_3OH(g)$	−200,670	−162,000	239.70
Alcohol metílico	$CH_3OH(\ell)$	−238,660	−166,360	126.80
Amoniaco	$NH_3(g)$	−46,190	−16,590	192.33
Benceno	$C_6H_6(g)$	+82,930	+129,660	269.20
n-butano	$C_4H_{10}(g)$	−126,150	−15,710	310.12
Carbón	$C(s)$	0	0	5.74
Dióxido de carbono	$CO_2(g)$	−393,520	−394,360	213.80
n-dodecano	$C_{12}H_{26}(g)$	−291,010	+50,150	622.83
Etano	$C_2H_6(g)$	−84,680	−32,890	229.49
Etileno	$C_2H_4(g)$	+52,280	+68,120	219.83
Hidrógeno	$H_2(g)$	0	0	130.68
Hidrógeno	$H(g)$	+218,000	+203,290	114.72
Hidroxilo	$OH(g)$	+39,460	+34,280	183.70
Metano	$CH_4(g)$	−74,850	−50,790	186.16
Monóxido de carbono	$CO(g)$	−110,530	−137,150	197.65
Nitrógeno	$N_2(g)$	0	0	191.61
Nitrógeno	$N(g)$	+472,650	+455,510	153.30
n-octano	$C_8H_{18}(g)$	−208,450	+16,530	466.73
n-octano	$C_8H_{18}(\ell)$	−249,950	+6,610	360.79
Oxígeno	$O_2(g)$	0	0	205.04
Oxígeno	$O(g)$	+249,190	+231,770	161.06
Peróxido de hidrógeno	$H_2O_2(g)$	−136,310	−105,600	232.63
Propano	$C_3H_8(g)$	−103,850	−23,490	269.91
Propileno	$C_3H_6(g)$	+20,410	+62,720	266.94
Vapor de agua	$H_2O(g)$	−241,820	−228,590	188.83

Fuente: De JANAF, *Thermochemical Tables*, Midland, MI, Dow Chemical Co., 1971, *Selected Values of Chemical Thermodynamic Properties*, NBS Technical Note 270-3, 1968; y *API Research Project 44*, Carnegie Press, 1953.

Fuente: FEDERICO RAMÍREZ Y CENGEL YONUS.

ANEXO N°8: Cálculos que complementan el diseño de la estufa rocket

Los cálculos se realizaron en base a criterios de otros estudios u investigaciones previas de diferentes autores, en lo que respecta para la configuración global de la estufa rocket.

Cálculo del espesor del aislante

Primero se hace un estudio de la trasferencia de calor sin aislante:

Se tienen los siguientes datos:

A_t = 0.1232 m^2 (área e transferencia de calor)

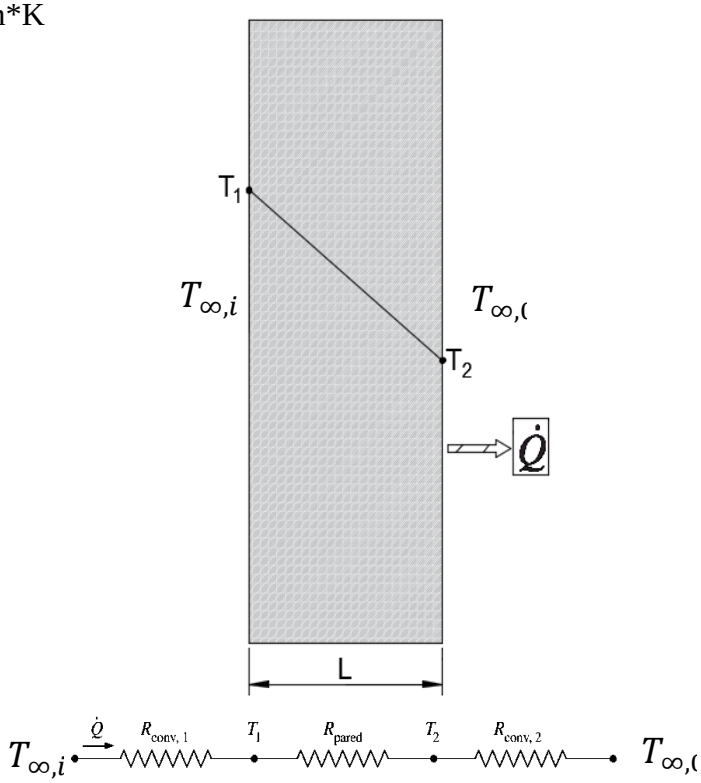
e = 12 mm = 0.012 m

$T_{\infty,i}$= 950 °C = 1223 K

$T_{\infty,0}$ = 26 °C = 299 K

h_i = 5 W/m*K

h_0 = 15 W/m*K



$$Q_{cond,cil} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}}$$

$$R_{total} = R_{conv,i} + R_{conv,i}\ ;\quad R_{cond} = \frac{L_s}{K*A}\ ;\quad R_{conv,i} = \frac{1}{h_1*A}$$

Reemplazando con datos obtenemos:

$$R_{cond} = \frac{0.012}{(51.9)*(0.1232)} = 0.0019\ \mathrm{K/W}$$

$$R_{conv,i} = \frac{1}{5*0.1232} = 1.62\ \mathrm{K/W}$$

$$R_{conv,0} = \frac{1}{15*0.1232} = 0.54\ \mathrm{K/W}$$

R_T = 0.0019+1.62+0.54 = 2.1619 K/W

Flujo de energía:

$$Q = \frac{1223 - 299}{0.0019 + 1.62 + 0.54} = 427.40\ W/m^2$$

Ahora la cantidad de calor que atraviesa la pared es:

$$q = U*\ \Delta T = U*(T_i - T_e)$$

Despejando U obtenemos:

427.40 = U (1223-299)

U = 0.46 W/ m^2*K

Ahora se realiza el cálculo de transferencia de calor con aislamiento:

Datos:

$T_1 = T_{\infty,i}$ = 1223 K

$T_{\infty,i}$ = 1223 K

T_1= 1223 K

T_2 = 1222.19K

T_3 = ¿

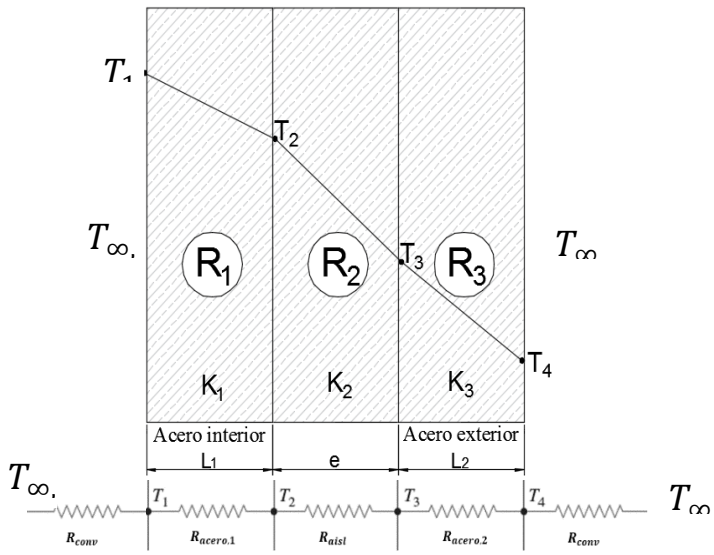
T_4 = 50 °C = 323 K

$T_{\infty,0}$ = 229 K

L_1 =0.012 m

e_2= ¿

L_2= 0.012 m



Por lo tanto: se procede a hallar la T_2

$$\dot{Q}_{cond} = \frac{T_1 - T_2}{R_{tcond}}$$

$$427.40 = \frac{1223 - T_2}{0.0019}$$

$$T_2 = 1222.19\ K$$

$si\ R_2 = \frac{e_2}{K*A}$ reemplazando:

$$R_2 = \frac{e_2}{0.15 * 0.1232} = \frac{e_2}{0.019}$$

$si\ R_3 = \frac{L_2}{K*A}$ reemplazando:

$$R_3 = \frac{0.012}{51.9 * 0.1232} = 0.0019\ \text{K/W}$$

Por lo tanto:

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty,i} - T_{\infty,0}}{R_{t,Conv,i}} = \frac{T_1 - T_2}{R_{t,conv}} = \frac{T_2 - T_3}{R_2} = \frac{T_3 - T_4}{R_3} = \frac{T_4 - T_{\infty,0}}{R_{t,conv}}$$

Luego:

$$Q = \frac{T_2 - T_3}{R_2}$$

$$T_3 = T_2 - (Q * R_2)$$

$$323.81 = 1223 - (427.40 * R_2)$$

$$R_2 = \frac{1223 - 323.81}{427.40}$$

$$R_2 = 2.194 \text{ K/W}$$

Ahora:

$$Q = \frac{T_3 - T_4}{R_3}$$

$$T_4 = T_3 - (Q * R_3)$$

$$323 = T_3 - (427.40 * 0.0019)$$

$$T_3 = 323.81 \text{ K}$$

Calculo del espesor del aislante:

$$R_2 = \frac{e}{0.043}$$

$$2.104 = \frac{e}{0.019}$$

$$e = 0.04\ m = 4\ cm$$

Entonces el flujo de energía es:

$$Q = \frac{1223 - 299}{0.0019 + 0.54 + 2.104 + 0.0019 + 1.62} = 216.51\ W/m^2$$

Determinación del flujo volumétrico y la velocidad de salida del aire en la tobera de nuestra estufa rocket

Para este cálculo se hará uso de la fórmula de la continuidad:

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2$$

Datos:

A_1 : 0.018496 m^2

A_2 : 0.009216 m^2

V_1 : 3 m/s

Ahora el flujo volumétrico es:

Q_1=0.018496 x 3 = 0.055488 m^3/s

Por lo tanto la V_2:

$V_2 = Q_1/A_2 = 6.02\ m/s$

Análisis estequiométrico

La siguiente tabla muestras un análisis elemental del hueso de aceituna para el análisis de combustión teórica:

Tabla N°17

Propiedades.

Descripción	En peso (%)
Carbono	50.79
Hidrogeno	5.95
Nitrogeno	0.48
Azufre	0.04
Oxigeno	42.74
Cenizas	1.62
Humedad	13.12

Poder calorifico del hueso de aceituna

Hueso de aceituna	
	(kcal/kg seco)
Poder calorífico superior	4800
Poder calorífico inferior	4500

Se multiplica por 100 kg por simplicidad.

Fuente: Fuente propia.

Asumiendo una combustión estequiométrica para el proceso, tenemos CO_2 , H_2O , SO_2 , N_2 (para este análisis las cenizas se ignoran).

Para determinar el número de moles utilizamos la siguiente expresión:

$$N_C = \frac{m_C}{M_C}$$

Donde:

m_c : Masa de elementos, Kg

M_C : Masa molar de elementos químicos, Kg/K*mol

N_C: Numero de moles de los constituyentes involucrados, Kmol.

Los números de los moles de los constituyentes se determinan de la siguiente manera:

$$N_C = \frac{m_C}{M_C} = \frac{50.79\ kg}{12\ kg/mol} = 4.23\ kmol$$

$$N_{H2} = \frac{m_{H2}}{M_{H2}} = \frac{5.95\ kg}{2\ kg/mol} = 2.98\ kmol$$

$$N_{O2} = \frac{m_{O2}}{M_{O2}} = \frac{42.74\ kg}{32\ kg/mol} = 1.34\ kmol$$

$$N_{N2} = \frac{m_{N2}}{M_{N2}} = \frac{0.48\ kg}{28\ kg/mol} = 0.017\ kmol$$

$$N_S = \frac{m_S}{M_S} = \frac{0.04\ kg}{32\ kg/mol} = 0.0013\ kmol$$

La ecuación de combustión se puede escribir como:

$$4.23\ C + 2.98\ H_2 + 1.34\ O_2 + 0.017 N_2 + 0.0013\ S + a_{th}(\ O_2 + 3.76 N_2)$$
$$\rightarrow XCO_2 + YH_2O + ZSO_2 + WN_2$$

El balance de masa para los constituyentes se determina de la siguiente manera:

Balance C: $X = 4.23$

Balance H_2: $2.98\ (2) = 2Y \quad ----\rightarrow Y = 2.98$

Balance S: $0.0013 = Z$

Balance O: $1.34 + a_{th} = X + 0.5Y + Z$

$$a_{th} = 4.38$$

N_2: $W = 0.017 + 3.76\ a_{th}$

$W = 16.49$

Sustituyendo valores en la ecuación de combustión resulta:

$$4.23\ C + 2.98\ H_2 +\ 1.34\ O_2\ + 0.017N_2 + 0.0013\ S + 4.38(\ O_2 + 3.76N_2)$$
$$\rightarrow 4.23CO_2 +\ 2.98\ H_2O +\ 0.0013\ SO_2 + 16.49\ N_2$$

Las fracciones molares de los gases producto se determina como sigue:

$$N_{PROD} = 4.23 +\ 2.98\ +\ 0.0013\ + 16.49 = 23.70\ Kmol$$

$$y_{CO_2} = \frac{NCO_2}{N_{PROD}} = \frac{4.23\ Kmol}{23.70\ Kmol} = 0.18$$

$$y_{CO_2} = \frac{NH_20}{N_{PROD}} = \frac{2.98\ Kmol}{23.70\ Kmol} = 0.13$$

$$y_{CO_2} = \frac{NS_20}{N_{PROD}} = \frac{0.0013\ Kmol}{23.70\ Kmol} = 0.000055$$

$$y_{CO_2} = \frac{NN_2}{N_{PROD}} = \frac{16.49\ Kmol}{23.70\ Kmol} = 0.70$$

Relación másica Aire-Combustible

$$A_C = \frac{m_{aire}}{m_{comb}}$$

m_{aire} : Masa del aire, Kg

m_{comb} : Masa del combustible, Kg

Reemplazando:

$$A_C = \frac{(4.38)(4.76\ Kmol)(\frac{29Kg}{Kmol})}{100Kg}$$

$$A_C = 6.05\ kg\ aire\ /\ \ kg\ combustible$$

Con este resultados podemos asumir, porque es un análisis en teórico, que se suministran 6.05 Kg de aire por cada Kg de hueso de aceituna en la cámara de combustión.

Ahora se determina la temperatura interna de la cámara de combustión mediante el capítulo 15.5 temperatura de flama adiabática (Cengel Yonus, 2009):

Sustituyendo valores en la ecuación de combustión resulta:

$$4.23\ C + 2.98\ H_2 + \ 1.34\ O_2\ + 0.017 N_2 + 0.0013\ S + 4.38(\ O_2 + 3.76 N_2)$$
$$\rightarrow 4.23 CO_2 + \ 2.98\ H_2O + \ 0.0013\ SO_2 + 16.49\ N_2$$

La relación de la temperatura de flama adibática $H_{PRODUCT} = H_{REACT}$ en este caso se reduce a:

$$\sum N_P * \left(\overline{h_f^\circ} + \bar{h} - \bar{h}^\circ\right)_p = \sum N_r\, \overline{h_f^\circ}$$

Puesto que los reactivos están en el estadi de referencia estándar y $\overline{h_f^\circ}$ = 0 para O_2 y N_2 . Los valores $\overline{h_f^\circ}\ y\ \bar{h}$ de diversos componentes a 298 K son:

SUSTANCIA	$\overline{h_f^\circ}$ (kJ/kmol)	$\overline{h_f^\circ}$(kJ/kmol)
Pepa de aceituna	380 kcal/kg=15909.839975	
O_2	0	8682
N_2	0	8669
H_2O	-241 820	9904
SO_2	296 830	0
CO_2	393 520	9364

Ahora reemplazo:

(4.23 $kmol\ CO_2$) ((-393520+$\overline{h^\circ_{CO_2}}$-9364))+(2.98 $kmol\ H_2O$) ((-241820+$\overline{h_f^\circ}$-9904))+(0.0013 $kmol\ SO_2$) ((-296830+$\overline{h_f^\circ}$-0)) + (16.49 $kmol\ N_2$) ((0+$\overline{h_f^\circ}$-8669)) = (100kg P)(-15909.839975 kJ/kg P)

$\boldsymbol{ahora}$:

$$\mathbf{4.23}\boldsymbol{CO_2} + \mathbf{2.98}\boldsymbol{H_2O} + \mathbf{0.0013}\boldsymbol{SO_2} + \mathbf{16.49}\boldsymbol{N_2} = \mathbf{1.00634\ x\ 10^6\ kJ}$$

Entalpía aproximada:

$$H_{aprox} = \frac{1.00634 \text{ x } 106}{4.23+2.98+0.0013+16.49} = 42218.5281 \text{ kJ/kmol}$$

DATOS DE TABLA A-26 TERMODINÁMICA CENGEL YONUS VER ANEXOS N°7

$\overline{h_f^\circ}$ **(kJ/kmol)**	**T=1240 K**	**T=1260 K**
$\boldsymbol{N_2}$ **kJ/kmol**	38129	38807
$\boldsymbol{H_2O}$ **kJ/kmol**	46137	47022
$\boldsymbol{SO_2}$ **kJ/kmol**	47700.5	48821,3
$\boldsymbol{CO_2}$ **kJ/kmol**	56108	57244

Para **T=1240 K**

(4.23x56108) + (2.98x46137) + (0.0013x47700.5) + (16.49x38129)

= 1003634.321 K

Para **T=1260 K**

(4.23x57244) + (2.98X47022) + (0.0013x48821.3) + (16.49x38807)

= 1022258.578 K

Interpolamos:

$$\frac{1260 - 1240}{X - 1240} = \frac{1022258.578 - 1003634.321}{1.00634 \text{ x } 106 - 1003634.321}$$

X= 1242.91 K = **969.906 °C**.

Por lo tanto la temperatura interna de la cámara de combustión logra superar los 900 °C.

Balance de calor en la cámara de combustión

Para los siguientes cálculos se recomienda ver ANEXO N°6, para poder reemplazar los datos en cada fórmula.

H. Viscosidad dinámica del aiere / de gases de combustión

$$\mu = 0.0447 \times 10^{-5} \times T^{0.7775} = 3.75\text{x}10^{-6} \text{ kg·m^-1. s^-1}$$

I. Conductividad térmica del aire / de gases de combustión

$$k = 0.00031847 \times T^{0.7775} = 0.026855318 \ W/m\,K$$

J. Calor específico del aire / de gases de combustión

$$C_P = 0.9362 + 0.0002\,T = 0.9962 \text{ kJ / kg K}$$

K. Viscosidad cinemática del aire / de gases de combustión

$$\text{V} = (0.0000644 \times \text{T}^2 + 0.0631 \times \text{T} - 9.54) \times 10^{-6} = 0.000015186 \text{ m^2.s^-1}$$

L. Densidad de la atmosfera del aire

$$\rho = \frac{353}{T} = 1.176666667 \ kg \ / \ m3$$

M. Entalpia del aire (cengel)

$$h = 9.314 \times 10^{-5} \times T^2 + 0.94576 \times T + 7.0445 = 299.1551 \text{ Joul}$$

Para el cálculo del balance de calor en la cámara de combustión, se utilizaron valores de algunas variables que intervienen en el cálculo de investigaciones previamente estudiadas (Ver ANEXO N°6) en donde éstas realizaron la construcción y posteriormente realizaron pruebas, determinando algunos factores que nos resultan de interés para esta optimización de diseño **(Milind P. Khirsagar, 2015).**

B. Calor suministrado por la cámara de combustión:

$$Q_{CSCC} = Q_{RC} + Q_{RL} + Q_{PC} = 4.423652594\ kW$$

Q Radiación de calor:

$$Q_{RC} = \frac{\sigma * A * (T^4{}_c - T^4{}_p)}{\frac{(1-\varepsilon_C)}{\varepsilon_C} + \frac{2}{(1+F_{c-p})}} * \frac{1}{1000 * \dot{m}_f} = 585.079064\ W$$

Factor entre la cama de carbón y el fondo de la parrilla:

$$F_{c-p} = \frac{\left(D^2 + 2 * (H + W_i)^2 - 2(H + W_i) * \sqrt{D^2 + (H + W_i)^2}\right)}{D^2}$$

$$F_{c-p} = 0.014275879$$

Ahora se determinara el calor radiante que entrega la llama utilizando:

$$Q_{RL} = \sigma * A * \left(\varepsilon_g * {T_g}^4 - \alpha_g * {T_p}^4\right) * \frac{1}{1000 * \dot{m}_f} = 1664.383336\ W$$

Absorbancia del gas de combustión se tomó de Bejan y Kraus:

$$\propto_g = E_g \times \left(\frac{T}{T_S}\right)^{0.5} = 0.082$$

Pérdida de calor:

$$Q_{PC} = \frac{(T_g - T_a)}{\frac{1}{(h_{ci} + h_{rfl} + h_{rch})A_o} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi * H * k_i} + \frac{1}{(h_{co} + h_{ro})A_o}} * \frac{1}{1000 * \dot{m}_f} = 2174.190193\ W$$

De las expresiones obtenemos el coeficiente convectivo de transferencia de calor para diferentes zonas de la estufa rocket:

Coeficiente convectivo de transferencia de calor para la pared interior

$$h_{ci} = \frac{k}{D} * 0.023 * {Re^{0.8}}_D * Pr^{0.3} = 3.329783078\ W/m2K$$

Coeficiente de transferencia de calor radiativo de la llama para la pared interior

$$h_{rfl} = \frac{\sigma*(\varepsilon_g*T_g{}^4-\alpha_g*T_{wi}{}^4)}{T_g-T_{wi}} = 28.25939691 \text{ W/m2K}$$

Coeficiente radiactivo de transferencia de calor para la pared interior

$$h_{rch} = \frac{\sigma*(T_{carb}{}^2+T_{wi}{}^2)*(T_{carb}+T_{wi})}{\left(\frac{1-\varepsilon_c}{\varepsilon_c}\right)+\frac{F_{c-w}+F_{c-p}}{F_{c-w}*(F_{c-w}+F_{c-p})}} = 194.4533521 \text{ W/m2K}$$

Coeficiente convectivo de transferencia de calor para la pared exterior

$$h_{co} = \frac{k}{H} * 0.59 * Ra_H{}^{0.25} = \frac{k}{H} * 0.59 * (Gr_H*P_r)^{0.25} = 2.49100844 \text{ W/m2K}$$

Coeficiente de transferencia de calor radiativo para la pared exterior

$$h_{ro} = \sigma * \varepsilon_o * (T^2{}_{wo}+T_a{}^2)*(T_{wo}+T_a) = 1.071759041 \text{ W/m2K}$$

Reynolds en la zona de combustión

$$N_R = \frac{d_{chim}*v_g}{\nu} = 5386.891981$$

Zona de combustión:

Efecto chimenea:

$$\Delta\, P\ chimenea = H \times \left(\rho_a - \rho_g\right) \times g = \frac{1}{2} \times \rho_g \times V_{th}^2$$
$$= 4.39178985\ kg/m.s^2$$

Velocidad teórica de los gases de combustión:

$$V_{th} = \sqrt{2 \times g \times H \times \left(\frac{T_g}{T_a} - 1\right)} = 5.518197473\ m/s$$

A partir de la ecuación de continuidad e caudal teórico masico de los gases de combustión:

$$\dot{m}_{th} = \frac{353}{T_g} \times A \times \sqrt{2 \times g \times h \times \left(\frac{T_g}{T_a} - 1\right)} = 0.0407742 \text{ kg / s}$$

Contabilizando la caída de presión debido a diferentes razones en la estufa, la tasa de flujo de masa real:

$$\dot{m}_{act} = Cd \times \frac{353}{T_g} \times A \times \sqrt{2 \times g \times h \times \left(\frac{T_g}{T_a} - 1\right)}$$

$$\dot{m}_{act} = 0.015616519\ kg\ /\ s$$

Kg humo producido por Kg de combustible seco quemado

$$\dot{m}_{flue} = Cd \times \frac{353}{T_g} \times \frac{1}{\dot{m}_f} \times A \times \sqrt{2 \times g \times h \times \left(\frac{T_g}{T_a} - 1\right)}$$

$$\dot{m}_{flue} = 97.60324189 \text{ kg / s}$$

Cáculo de la cesta y su capacidad.

Datos(ver ANEXO N°9):

densidad de la cáscara de coco	1.3	g/cm^3
densidad del carbono	0.44	g/cm^3

dimensiones del filtro	**díametro**	4	cm
	largo	27	cm

cesta	**largo**	20	cm
	ancho	20	cm
	alto	5	cm

Volumen del filtro

$$V = \pi \, X \left(\frac{4}{2}\right)^2 X \, 27 = 339.2928 \, cm^3$$

Masa del filtro

m= 339.2928 X 0.44 = 0.149 kg

Volumen del cesto

$$V = 20X \, 20X \, 5 = 2000 \, cm^3$$

Masa del cesto

m= 2000 X 1.3 = 2.6 kg

ahora:

producción en una hora			
si por kg de cáscara de coco	11000		
se obtiene kg	1000		
entonces en kg de cáscara de coco	2.6		
se obtiene kg	0.23636364		
tiempo de produccion de nuestra estufa			
en una hora	1		
se produce kg	0.23636364		
entonces el tiempo para kg de carbon	0.14928883		
sera un tiempo de	0.6316066	aproximadamente	38 minutos

ANEXO N°9: Descripción del filtro de carbón activo granular.

CARTUCHOS FILTRANTES CARBÓN ACTIVO GRANULAR (CAG)

Productos

- HOGAR
- COMUNIDADES E INDUSTRIA
- PISCINAS

SERVICIOS TECNICOS KLINWASS

DESCRIPCION DEL PRODUCTO

- Eliminación del cloro y compuestos clorados en agua potable.
- Eliminación de sabores, color y olores.
- Pretratamiento para protección de sistemas de ósmosis inversa.
- Industria de alimentación y bebidas, así como industria galvánica.

CARACTERÍSTICAS

- Filtro declorador de larga duración por adsorción.
- Lecho filtrante en carbón activo granulado.
- Se consigue una mayor autonomía.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Diámetro exterior 65 mm y diámetro interior 27 mm.
- Filtración: 80 micras.
- Eficiencia: Superior al 95%.
- Presión máxima: 6 bar.
- Presión diferencial máxima: 0,8 bar.
- Temperatura máxima: 50 °C.

ANEXO N°10: Propiedades de la fibra de sílice.

SEALCO
SELLADO DE FLUIDOS

Soluciones aislantes
FIELTRO SÍLICE

Se utiliza como aislamiento térmico para:

Filtración a alta temperatura | Exhostos | Chimeneas | Camaras de Combustión | Hornos (paredes, techos, puertas)

Beneficios:

1. Reduce perdidas energéticas, permitiendo ahorro energético.
2. Atenúa el ruido excesivo.
3. reduce la contaminación ambiental.
4. Protege a los operarios y los equipos circundantes.
5. Reduce el riesgo de incendio.
6. Es no asbesto.
7. No requiere personal calificado para su instalación.

Fibras silice tipo filamento con sección de nueve micrones de excelente resistencia térmica y baja conductividad térmica, se comprimen y ligan mecánicamente, sin adición de adhesivos, para conformar un no tejido entrecruzado flexible de muy buena resistencia mecánica, de fácil corte excelente para conformarse en diferentes configuraciones

ESPECIFICACIONES

TEMPERATURA MÁXIMO °C: 1090

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA:

T°C	(w/mk)
200	0.05
400	0.09
600	0.15
800	0.25
1000	0.35

PRESENTACIÓN

Rollos

Ancho (in): 91cm

Longitud (in): 20 Mt

Espesor (in): ½"

Otros: a solicitud del cliente

www.cisealco.com

ANEXO N°11: Autorización para el recojo de información.

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN	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 Enero de 2020

Quien suscribe:

Mg. Miguel Ángel Solano Cornejo

Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial y Comercio Exterior

Universidad Señor de Sipán

AUTORIZA: Permiso para recojo de información pertinente en función del proyecto de investigación, denominado: DISEÑO DE UNA ESTUFA ROCKET DE 16 cm x 16 cm DE CHIMENEA PARA LA OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A USARSE COMO FILTRO DE AGUA EN LA PLANTA PILOTO DE LA UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN-PIMENTEL

Por el presente , el Mg. Miguel Ángel Solano Cornejo Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial y Comercio Exterior - Universidad Señor de Sipán, autoriza a los alumnos Robert Manuel Navarro Manosalva y Eddy Alexis Idrogo Sosa, identificados con DNI: 72693287 y 76222939,respectivamente,estudiantes de la escuela profesión de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA y autores de del trabajo de investigación denominado: **DISEÑO DE UNA ESTUFA ROCKET DE 16 cm x 16 cm DE CHIMENEA PARA LA OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A USARSE COMO FILTRO DE AGUA EN LA PLANTA PILOTO DE LA UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN-PIMENTEL,** 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 denominada **DISEÑO DE UNA ESTUFA ROCKET DE 16 cm x 16 cm DE CHIMENEA PARA LA OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A USARSE COMO FILTRO DE AGUA EN LA PLANTA PILOTO DE LA UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN-PIMENTEL**, enunciada líneas arriba de quien solicita se garantice la absoluta confidencialidad de la información solicitada.

Atentamente.

ANEXO 12 – Código de Ética del Colegio de Ingenieros del Perú

CÓDIGO DE ETICA DEL CIP

APROBADO EN LA III SESIÓN ORDINARIA DEL CONGRESO NACIONAL DE CONSEJOS DEPARTAMENTALES DEL PERÍODO 1998 - 1999
EN LA CIUDAD DE TACNA 22, 23 Y 24 ABRIL 1999