



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE MECATRÓNICA

**DESARROLLO DE UN CALDERO QUE EMPLEE COMBUSTIBLE ORGÁNICO PARA LA
GENERACIÓN DE ENERGÍA MEDIANTE VAPOR**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTORES: Franz David Baidal Gómez
Jean Pierre Vera Chávez
TUTOR: Ing. José Alexander Zambrano García MSc.

Guayaquil - Ecuador
2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Franz David Baidal Gómez** con documento de identificación N° **0928904671** y **Jean Pierre Vera Chávez** con documento de identificación N° **0941572547**; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 23 de Agosto del año 2023

Atentamente,



Franz David Baidal Gómez
0928904671



Jean Pierre Vera Chávez
0941572547

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, **Franz David Baidal Gómez** con documento de identificación N° **0928904671** y **Jean Pierre Vera Chávez** con documento de identificación N° **0941572547**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **Trabajo de titulación: DESARROLLO DE UN CALDERO QUE EMPLEE COMBUSTIBLE ORGÁNICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA MEDIANTE VAPOR**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo a final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 23 de Agosto del año 2023

Atentamente,



Franz David Baidal Gómez
0928904671



Jean Pierre Vera Chávez
0941572547

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **José Alexander Zambrano García**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DESARROLLO DE UN CALDERO QUE EMPLEE COMBUSTIBLE ORGÁNICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA MEDIANTE VAPOR**, realizado por **Franz David Baidal Gómez** con documento de identificación N° **0928904671** y por **Jean Pierre Vera Chávez** con documento de identificación N° **0941572547**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 23 de agosto del año 2023

Atentamente,



Ing. José Alexander Zambrano García MSc.
0703175521

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación principalmente a mi familia, mi madre Fanny Gomez, mi abuela Luz Merchán y en el cielo a mi abuelo Francisco Gómez, quienes siempre confiaron en mis capacidades y me apoyaron en todos los sentidos, pese a que ya uno de mis pilares no está conmigo, esta tesis y en especial el ser humano que formaste sigue superándose y siendo un buen ser humano, nada de esto hubiera sido posible sin su amor incondicional. Desde el principio, han sido mi ancla y mi inspiración. Cada logro que alcanzo es un testimonio de su sacrificio y dedicación. A ustedes les dedico este logro con humildad y gratitud eterna.

A todos los que de alguna manera han influido en este proceso, Cada conversación, cada consejo y cada gesto de aliento han dejado una huella indeleble en este camino hacia la culminación de mis estudios. Su influencia ha moldeado mi crecimiento y mi aprendizaje. A todos y cada uno de ustedes, les dedico mi éxito con profunda gratitud.

Esta tesis es el resultado de un esfuerzo colectivo y refleja el apoyo incondicional de aquellos que han creído en mí. Que este logro sea un tributo a nuestras conexiones, y que nuestras relaciones sigan fortaleciéndose en los años venideros.

Franz David Baidal Gómez

Dedico el siguiente trabajo a mi familia, principalmente a mis padres, Manuel Vera E. y Areliza Chávez G., así como a mis hermanos, Jorge Vera C. y Jonaira Vera C. Su apoyo constante en todo momento, sus palabras de aliento en los momentos de duda y sus sonrisas de celebración en los triunfos, me han proporcionado la fortaleza necesaria para superar obstáculos y alcanzar metas. Agradezco profundamente su presencia a lo largo de este camino.

No puedo olvidar mencionar a mis compañeros de carrera, María José Alvarado, Boris Jaramillo y Víctor Montero. Este logro también les pertenece, ya que nuestras experiencias colectivas han influido significativamente en mi crecimiento tanto académico como personal. Espero que este éxito sea un testimonio de nuestra amistad y colaboración, y tengo la confianza de que nuestros caminos se encontrarán nuevamente en los años que están por venir.

Finalmente, dedico este trabajo a mis queridos familiares que ya no están entre nosotros. Aunque no puedan estar aquí físicamente para presenciar este logro, su amor y apoyo siguen guiando mi camino. Cada paso que doy es un tributo a las lecciones que me enseñaron y al amor que siempre me brindaron. Este trabajo lleva una parte de ustedes en cada palabra escrita.

Jean Pierre Vera Chávez

AGRADECIMIENTO

En el culminar de este arduo viaje académico, deseo expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas y entidades que contribuyeron de manera significativa a la realización de este logro. A la Universidad Politécnica

Salesiana Sede Guayaquil. Quiero expresar mi profunda gratitud a esta institución que me brindó la oportunidad de adquirir conocimientos, explorar nuevas ideas y desafiar mis límites. Cada rincón de este campus alberga momentos de aprendizaje y crecimiento que siempre atesoraré. Gracias por proveerme del entorno propicio para desarrollarme académica y personalmente.

A mis estimados tutores de tesis, José Zambrano y Jorge Fariño. El camino hacia la culminación de este trabajo no habría sido posible sin su orientación y compromiso. Sus valiosas sugerencias, su dedicación incansable y su habilidad para inspirar el pensamiento crítico han sido fundamentales para dar forma a esta investigación. Agradezco su tiempo y paciencia, que han sido la base sobre la cual construí cada parte de este proyecto.

A mi novia Sonia Alcívar quien pese a las dificultades has sido mi compañera, brindándome amor, comprensión y aliento en cada momento. Tu apoyo incondicional ha sido mi fuerza motriz, y tus palabras de ánimo han iluminado incluso los días más oscuros. Gracias por creer en mí más de lo que yo mismo lo hice.

A mis queridos amigos, Víctor Montero, Boris Jaramillo, Leonardo Jara y Jean Pierre Vera. Ustedes han sido la brújula que me ha guiado en momentos de incertidumbre. Sus palabras de aliento, su apoyo incondicional y su disposición para compartir ideas y perspectivas han sido un regalo invaluable. Cada risa compartida durante los descansos y cada conversación profunda han aportado color y equilibrio a esta travesía académica. Gracias por ser mi red de apoyo y por enriquecer mi experiencia universitaria.

Este logro no solo es mío, sino de todos aquellos que forman parte de mi viaje. Que estas palabras de agradecimiento reflejen mi profunda gratitud por su influencia y apoyo constante. Que nuestras conexiones perduren en el tiempo y continúen inspirándonos a todos.

Franz David Baidal Gómez

Agradezco en primer lugar a Dios, cuya guía ha iluminado mi trayectoria hacia esta realización. Reconociendo con humildad que todas las cosas son posibles a través de su generosidad y compasión.

A mis padres, les agradezco por ser mis pilares de apoyo y por su incansable confianza en mí. Su dedicación y sacrificio han sido la base de mi educación y crecimiento. A mis hermanos, agradezco por su aliento y compañía, que han hecho que este camino sea mucho más llevadero. Este logro no solo es mío, sino también de cada uno de ustedes. Gracias por estar a mi lado, por creer en mí y por ser una parte integral de este viaje de aprendizaje y crecimiento.

A mis profesores, quiero expresar mi agradecimiento por compartir su valioso conocimiento. Este logro es resultado de la dedicación y el esfuerzo colectivo del personal académico. Les estoy profundamente agradecido por su contribución en mi formación y crecimiento.

Agradezco a mis compañeros por las horas de estudio compartidas, por la voluntad de trabajar en equipo para superar desafíos, por compartir los altibajos de este proceso, celebrar los avances y brindar apoyo en los momentos de incertidumbre. Su amistad y colaboración han hecho de esta experiencia una más gratificante y memorable.

Jean Pierre Vera Chávez

I. RESUMEN

La creciente población y el avance industrial han resultado en desafíos medioambientales significativos, en los cuales las empresas industriales desempeñan un papel fundamental como fuentes de contaminación atmosférica. Específicamente, los sectores que emplean calderas impulsadas por combustibles químicos contribuyen de manera considerable a la emisión de gases de efecto invernadero y otros contaminantes directamente a la atmósfera. Ante esta problemática, surge la necesidad de adoptar enfoques más limpios y sostenibles en la generación de vapor mediante el diseño de un prototipo de caldera ecológica.

El propósito de este proyecto de titulación es abordar los desafíos originados por el incremento de la contaminación industrial y la búsqueda de enfoques más respetuosos con el entorno. El enfoque central de este proyecto se concentra en la utilización de cascarilla de arroz como fuente de combustible orgánico en la producción de vapor. Al destacar la importancia de la biomasa como fuente de energía renovable y fomentar un enfoque más sostenible en la generación de vapor, este trabajo contribuye al rastreo de soluciones prácticas y respetuosas con el medio ambiente en el ámbito industrial.

Palabras clave: Biomasa, Contaminación atmosférica, Cascarilla de Arroz, Caldera ecológica, Combustibles químicos.

II. ABSTRACT

The growing population and industrial advancement have led to significant environmental challenges, in which industrial enterprises play a pivotal role as sources of atmospheric pollution. Specifically, sectors utilizing boilers powered by chemical fuels substantially contribute to the emission of greenhouse gases and other pollutants directly into the atmosphere. Confronting this issue, the need for adopting cleaner and more sustainable approaches in steam generation arises, achieved through the design of an eco-friendly boiler prototype.

The aim of this graduation project is to address challenges stemming from the rise in industrial pollution and the pursuit of environmentally-friendly strategies. The central focus of this endeavor centers around the utilization of rice husk as an organic fuel source for steam production. By underscoring the importance of biomass as a renewable energy source and promoting a more sustainable approach to steam generation, this work contributes to the pursuit of practical and environmentally-conscious solutions within the industrial sphere.

Keywords: Biomass, Atmospheric pollution, Rice husk, Eco-friendly boiler, Chemical fuels.

ÍNDICE

I.	RESUMEN	7
II.	ABSTRACT	8
III.	INTRODUCCIÓN	1
IV.	PROBLEMA DE ESTUDIO	2
	IV-A. Problemática	2
V.	JUSTIFICACIÓN	3
VI.	OBJETIVOS	4
	VI-A. Objetivo General	4
	VI-B. Objetivos Específicos	4
VII.	MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	5
	VII-A. Teoría de la biomasa.	5
	VII-A1. Biomasa de origen natural	5
	VII-A2. Biomasa de origen forestal	5
	VII-A3. Biomasa residual	5
	VII-B. Biomasa como fuente de energía.	6
	VII-B1. Ventajas en combustible de cascarilla	6
	VII-C. Teoría de los calderos.	7
	VII-D. Clasificación de los calderos según su diseño.	7
	VII-D1. Caldera Pirotubular	7
	VII-D2. Caldera Acuotubular	8
	VII-E. Calderos de biomasa.	8
	VII-F. Tipos de caldero de biomasa.	9
	VII-F1. Calderas Stoker	9
	VII-F2. Calderas de lecho fluidizado	9
	VII-F3. Calderas híbridas	9
	VII-G. Características de los calderos de biomasa.	9
	VII-H. Sistema dosificador.	10
	VII-I. Funcionamiento de un blower.	10
	VII-J. Tipos de blower.	11
	VII-J1. Blower de lóbulo rotativo	11
	VII-J2. Blower de tornillo rotativo	11
	VII-J3. Blower Centrífugo	11
	VII-J4. Blower Centrífugo de etapas múltiples.	11
	VII-K. Control de variables.	11
	VII-K1. Control de temperatura y sus elementos	11
	VII-K2. Control de presión y sus elementos.	12
	VII-K3. Control de nivel de agua.	13
	VII-L. PLC para control de calderos.	14

VIII. METODOLOGÍA	15
VIII-A. Estructura de un caldero	15
VIII-A1. Quemador	16
VIII-A2. Cámara de combustión	16
VIII-A3. Cuerpo de caldero	16
VIII-A4. Tuberías para calentamiento	17
VIII-A5. Circuito de agua	17
VIII-A6. Chimenea	17
VIII-B. Estructura de un dosificador	18
VIII-B1. Blower	18
VIII-B2. Tornillo sin fin	18
VIII-B3. Tolva	19
VIII-B4. Tuberías Transportadoras	19
VIII-B5. Motores eléctricos	20
VIII-C. Biomasa utilizada	20
VIII-D. Descripción del sistema	21
VIII-E. Caracterización de la cascarilla de arroz	21
VIII-E1. Análisis químico de cascarilla de arroz	21
VIII-E2. Prueba de humedad de la cascarilla de arroz	21
VIII-E3. Calculo de poder calorífico.	23
VIII-E4. Calculo de poder calorífico inferior.	23
VIII-E5. Poder calorífico superior	27
VIII-F. Diseño del sistema	30
VIII-G. Diseño Térmico.	30
VIII-H. Diseño mecánico.	45
VIII-H1. Diseño de hogar de la caldera	45
VIII-H2. Diseño de la cámara de vapor.	47
VIII-H3. Corroborar espesor de hogar de caldera	49
VIII-H4. Cálculo de longitud y espesor de tubos	52
VIII-H5. Espesor de los espejos	55
VIII-H6. Cálculo de bridas	57
VIII-I. Análisis estático	59
VIII-I1. Conclusiones del análisis en software	61
VIII-J. Diseño de dosificador	61
VIII-J1. Diseño del tornillo sin fin	61
VIII-J2. Diseño de la tolva	72
VIII-K. Diseño eléctrico	73
VIII-K1. Sistema de control de variables	73
VIII-K2. Cálculos eléctricos	77
IX. RESULTADOS	79
IX-A. Análisis de diseño	79
IX-A1. Pruebas Hidrostáticas en el prototipo	79
IX-A2. Validación de equipo	79
IX-B. Comparación de combustibles.	80
IX-B1. Comparación económica.	80
X. CRONOGRAMA	84
XI. PRESUPUESTO	85

XII. CONCLUSIONES	86
XIII. RECOMENDACIONES	87
XIV. ANEXOS	88

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Ejemplo de biomasa[11].	5
2.	Caldera pirotubular y acuotubular [2]	8
3.	Caldera de Biomasa[12].	9
4.	Dosificador por medio de tornillo sin fin[19].	10
5.	Blower Centrífugo [8]	11
6.	Control de temperatura en caldero[13].	12
7.	Manómetro para medición de presión[7].	13
8.	Medidor de nivel de agua en calderas[24].	14
9.	S7 1200 PLC[21].	14
10.	Esquema caldero.	15
11.	Partes de prototipo de caldero.	15
12.	Diseño de boquilla en quemador.	16
13.	Diseño de Cámara de combustión.	16
14.	Diseño de cuerpo de caldero.	17
15.	Tuberías para calentamiento.	17
16.	Diseño de Chimenea.	18
17.	Blower Centrífugo	18
18.	Diseño de Tornillo sin fin.	19
19.	Diseño de Tolva dosificadora.	19
20.	Servomotor S3003[20].	20
21.	Cascarilla de arroz como biomasa.	20
22.	Pesado de cascarilla de arroz.	22
23.	Mufla utilizada para obtención de muestras.	22
24.	Calorímetro utilizado para obtención de datos.	23
25.	Pruebas de humedad 10 % y 20 %	25
26.	Capacidad de caldera pirotubulares a diferentes presiones. [15]	31
27.	Sistema termodinámico [17]	40
28.	sistema termodinámico	42
29.	Conductividad de materiales.	43
30.	Fluencia de materiales a temperaturas.	48
31.	Ecuación de espesor de brida y tapa plana[18]	56
32.	Cálculo de brida [9]	57
33.	resistencia del asbesto.[9]	58
34.	Análisis de tensión.	59
35.	Análisis de desplazamiento.	60
36.	Análisis de deformación unitaria.	60
37.	Factor de seguridad.	61
38.	Factor de capacidad de transporte [25]	62
39.	Factores de capacidad de transporte CF1 Y CF2 [25].	63
40.	Factores de capacidad de transporte CF3 [25].	63
41.	Factor de buje colgante FB.[25]	65
42.	Factor de diámetro [25].	65
43.	Factor FM [25].	66
44.	Factor FP [25].	66
45.	Factor Fo [25].	67
46.	selección de rodamiento [14].	68
47.	temperatura máxima de trabajo. [14]	68
48.	Viscosidad real [14].	69
49.	contaminación del rodamiento [14].	70

50.	factor askf.[14]	71
51.	Inicio y paro de emergencia, elaborado por autores.	73
52.	Inicio y paro de emergencia, elaborado por autores.	74
53.	Control de presión, elaborado por autores.	74
54.	Presostato. [1]	74
55.	Sensor de temperatura PT100 [4]	75
56.	Control de temperatura, elaborado por autores.	75
57.	Rango de temperatura, elaborado por autores.	76
58.	Control temperatura PLC	76
59.	Diagrama de sistema eléctrico	77
60.	Diseño de prototipo de Caldera, elaborado por autores.	79
61.	Pruebas realizadas en equipo.	79
62.	Pesado de sacos de cascarilla de arroz.	81
63.	Resultados en comparación de combustibles, elaborado por autores.	83
64.	Diseño de Cerpo de caldera	88
65.	Diseño de Quemador	89
66.	Diseño de Boquilla de quemador	90
67.	Diseño de Chimenea	91
68.	Diseño de Tolva dosificadora	92
69.	Diseño de Tronillo sin fin	93
70.	Ensamble en SolidWorks	94
71.	Certificado de pruebas químicas	95
72.	Resultado de pruebas químicas	96
73.	Conexión de tablero eléctrico.	97
74.	Preparación de cuerpo de caldera.	97
75.	Corte de espejo y bridas.	98
76.	Perforación de espejos.	98
77.	Perforación de pernos.	99
78.	Soldadura en Caldero.	99
79.	Soldadura de tubos internos	100
80.	Colocación de tuberías y sensores.	100
81.	Prototipo Final de Caldero.	101

III. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el crecimiento de la población y el continuo avance industrial han dado lugar a desafíos ambientales significativos en todo el mundo. Las empresas industriales desempeñan un papel crucial como fuentes de contaminación atmosférica, especialmente aquellos sectores que dependen en gran medida de calderas impulsadas por combustibles químicos. Estos sistemas son responsables de la emisión de gases de efecto invernadero y otros contaminantes directamente a nuestra atmósfera, contribuyendo así al cambio climático y a la degradación del medio ambiente.

Ante esta creciente problemática ambiental, se ha hecho evidente la necesidad de adoptar enfoques más limpios y sostenibles en la generación de vapor, uno de los procesos fundamentales en la industria. Para abordar esta necesidad y contribuir a la búsqueda de soluciones prácticas y respetuosas con el medio ambiente en el ámbito industrial, este proyecto de titulación se centra en el diseño y desarrollo de un prototipo de caldero ecológico.

El propósito principal de esta investigación es abordar los desafíos originados por el aumento de la contaminación industrial y promover un enfoque más sostenible en la generación de vapor. Se enfoca en la utilización de la cascarilla de arroz como fuente de combustible orgánico, destacando la importancia de la biomasa como una fuente de energía renovable y sostenible.

IV. PROBLEMA DE ESTUDIO

IV-A. Problemática

El significativo aumento de la población y avances industriales en la actualidad han sido los principales factores de problemas medioambientales. Las empresas son las principales contaminantes del medio ambiente, debido a que aquellos sectores industriales que utilizan calderas impulsadas por combustibles químicos son los mayores contaminantes atmosféricos.

Los calderos en su mayoría funcionan principalmente con diésel, su método de generación de vapor se basa en la combustión de combustible químico por lo que libera gases de efecto invernadero y esto crea contaminación directa en la atmósfera. Con el aumento de la industrialización, se tiene varias empresas haciendo uso de los calderos para diferentes actividades lo que crea un mayor porcentaje de contaminación en el presente.

En la actualidad se busca maneras más limpias para usar diferentes combustibles considerando la eficiencia y bajos costos de los mismos, garantizando así un trabajo económico, eficiente y sustentable el cual no afecte directamente al entorno en donde se encuentra.

Las empresas modernas buscan generar un ahorro tanto en combustibles no renovables como en mantenimiento y mano de obra de los equipos para generación de vapor (calderos) que lo utilicen, junto a la reducción de gases nocivos emitidos por la combustión del combustible químico y lanzados de forma directa al ambiente.

V. JUSTIFICACIÓN

Con la implementación de un caldero impulsado mediante biomasa, se podrá garantizar una reducción de gases nocivos para disminuir el impacto ambiental implementando en las empresas sistemas limpios con una considerable reducción de CO₂ emitido directamente al ambiente.

El presente proyecto busca demostrar su eficiencia en un entorno industrial real como lo es una caldera de generación de vapor además de presentar la biomasa como una alternativa ecológica de poco impacto a comparación de otros combustibles fósiles.

Esta implementación de los calderos de biomasa traerá beneficios medioambientales y principalmente económicos debido a que son sistemas de fácil mantenimiento y no requieren una inversión alta en comparación a los combustibles químicos usados actualmente.

Este trabajo presentará a la cascarilla de arroz y la caldera de vapor como eje de estudio debido a su fácil disponibilidad dentro de la ciudad de Guayaquil y se centrará en el análisis de este proceso evidenciando su porcentaje de generación de vapor y contaminación generados por una cantidad específica de energía generada en ambos procesos.

VI. OBJETIVOS

VI-A. *Objetivo General*

Desarrollar un prototipo de caldero ecológico para la generación de vapor utilizando como combustible orgánico la cascarilla de arroz, orientado a la reducción de gases nocivos y ahorro económico frente a los combustibles tradicionales utilizados en la industria.

VI-B. *Objetivos Específicos*

1. Caracterizar la cascarilla de arroz para su utilización como combustible ecológico en sistemas de combustión.
2. Comparar características y costos del combustible a base de cascarilla de arroz en contraparte al combustible químico tradicional evidenciando sus ventajas.
3. Diseñar el prototipo del caldero de vapor usando un software CAD para la aplicación correspondiente de los estudios en la estructura mecánica.
4. Implementar un sistema de control de la temperatura, presión, nivel e ingreso de relación aire/combustible para una combustión adecuada validando el equipo mediante pruebas de funcionamiento.

VII. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

VII-A. Teoría de la biomasa.

La biomasa, hace referencia a la materia orgánica originada a causa de procesos biológicos de forma espontánea o provocada que puede ser utilizada como fuente de energía [23].



Figura 1. Ejemplo de biomasa[11].

La biomasa puede tener diferentes orígenes los cuales la clasifican en diferentes tipos como:

VII-A1. Biomasa de origen natural:

Esta se genera mayormente en ecosistemas rurales de forma espontánea, sin necesidad de mediación entre seres vivos, es encontrada en la naturaleza como leña, ramas de árboles o hierba seca.

VII-A2. Biomasa de origen forestal:

La biomasa forestal es generada por mediación del ser humano de manera directa o indirecta, como pueden ser residuos de tala de árboles, poda de arbustos e incluso los incendios en los bosques generan una gran cantidad de biomasa aprovechable para la generación de energía.

VII-A3. Biomasa residual:

Esta es la más común presente en Ecuador debido a que al ser un país dedicado a la actividad agropecuaria y forestal generan residuos de diferentes maneras.

- **Residuos de agricultura:** son residuos como cascaras, pulpa, caña de azúcar, etc. los cuales presentan un poder calorífico de 15MJ/kg en base seca, sin embargo, estos de aquí tienen un coste alto de recolección y transporte los cuales no resultan convenientes para uso masivo como combustible.
- **Residuos Ganadería:** Estos se producen en menor escala y con mayor dificultad de recolección, pueden ser residuos de comida de ganado, heces de ganado.
- **Residuos Industriales:** Como sabemos en Ecuador principalmente existen varias plantas que generan grandes cantidades de estos residuos y no los aprovechan debido a su poca capacidad de almacenamiento, tales como residuos de cascarillas de arroz en piladoras, chips de madera (aserrín), residuos de papel, cascara de coco, bagazo de caña de azúcar, etc.

VII-B. *Biomasa como fuente de energía.*

La biomasa es una energía renovable y existe desde tiempos antiguos, en la actualidad es aprovechada para sustitución de combustibles fósiles debido a su fácil manejo y en la actualidad continúa creciendo debido a que muchas empresas optan por reducir el porcentaje de contaminación en el mundo además de reducir gastos por combustible químicos.

La conversión de biomasa en combustible requiere de un proceso el cual transforma los biocombustibles por medio de procesos termoquímicos como la combustión, dicho proceso hace referencia a transformar biomasa en energía exponiéndola a condiciones de temperatura y presión elevada con ayuda del oxígeno para generar energía en forma de calor. La biomasa sólida como residuos de madera y basura puede ser directamente aprovechada para producir energía [6] .

VII-B1. *Ventajas en combustible de cascarilla:*

■ **Cascarilla de arroz**

- **Renovable:** La cascarilla de arroz es un subproducto agrícola que puede ser renovado cada temporada de cultivo.
- **Baja emisión de CO₂:** Su combustión produce menos dióxido de carbono en comparación con los combustibles fósiles.
- **Biodegradable:** Es biodegradable y, por lo tanto, tiene un menor impacto ambiental en términos de residuos.
- **Local y disponible:** En áreas agrícolas, la cascarilla de arroz está fácilmente disponible dentro de la ciudad de Guayaquil y su uso puede apoyar la economía local debido a que son residuos que muchas veces son desechados por exceso del mismo.
- **Generalmente más económico:** En muchas regiones, la cascarilla de arroz suele ser más barata que los combustibles químicos tradicionales.
- **Menos volátil en precio:** Dado que está vinculada a la producción de arroz, su precio tiende a ser más estable en comparación con los precios volátiles del petróleo y otros combustibles fósiles.

■ **Diésel**

- **No renovable:** Los combustibles químicos tradicionales (gasolina, diésel, petróleo, etc.) son recursos no renovables que se agotarán con el tiempo.
- **Emisiones contaminantes:** La combustión de combustibles fósiles emite una gran cantidad de contaminantes atmosféricos, incluyendo CO_2 óxidos de azufre y partículas nocivas.

- **Impacto ambiental:** La explotación de combustibles fósiles está asociada con problemas ambientales como derrames de petróleo y degradación del hábitat.
- **Varía según la oferta y la demanda:** Los precios de los combustibles fósiles están influenciados por factores geopolíticos y la oferta y demanda mundial, lo que puede llevar a aumentos abruptos en los costos.

VII-C. *Teoría de los calderos.*

Una caldera de vapor es definida como una máquina a presión en donde el calor proveniente de cualquier fuente de energía la cual es convertida en utilizable mediante un proceso de combustión, donde es convertida en energía calórica utilizando un mediador como el agua con la cual podemos generar el vapor de agua para su utilización industrial.

Las calderas de vapor existen desde el siglo XIX, durante la revolución industrial, época en la cual la fabricación de máquinas generaba impulsos a nuevos mecanismos para producción masiva. La primera máquina a vapor fue fabricada por James Watt, un ingeniero escocés quien fue impulsado por la idea de un físico francés llamado Denis Papin quien habría inventado años antes una máquina en la cual se podía almacenar agua y calentarla para la generación de vapor. El científico la denominaba como Marmita, esta tenía una capacidad de almacenamiento de 150 litros de agua y estaba diseñada para regular la presión en la misma mediante un sistema de válvulas.

Gracias a estos inventos el vapor se convirtió en una de las energías mayor usadas en la industria, ya que se usaba para mover máquinas de gran tamaño; por otro lado, permitió tener calefacción en los hogares de las ciudades donde fueron adaptándolas con el pasar de los años.

En la mitad del siglo XX las calderas se habrían convertido en un invento indispensable para hogares y su diseño habría sido rediseñado para que fueran impulsadas mediante carbón. En la actualidad determinamos que estas máquinas han ido evolucionando y siendo adaptadas de una forma muy rápida. Ahora estas máquinas son muy utilizadas en las industrias y cuentan con alta tecnología para un mejor aprovechamiento energético, además de ser muy eficaces.

VII-D. *Clasificación de los calderos según su diseño.*

VII-D1. *Caldera Piro-tubular:*

Las calderas de vapor piro-tubulares son un tipo de caldera que utiliza gases calientes generados por la combustión para transferir calor al agua que circula por los tubos de la caldera. Las calderas piro-tubulares son el tipo más común de calderas utilizadas en aplicaciones industriales, como la fabricación, el procesamiento y la generación de energía.

El diseño de una caldera piro-tubular consta de una carcasa cilíndrica llena de agua y rodeada de tubos que se calientan con los gases de combustión. Los gases de combustión pasan a través de los tubos, transfiriendo calor al agua, que luego genera vapor. El vapor se recolecta en un tambor de vapor ubicado en la parte superior de la carcasa de la caldera y luego se usa para varias aplicaciones.

Una de las principales ventajas de las calderas de vapor piro-tubulares es su simplicidad de diseño y facilidad de operación. Las calderas piro-tubulares tienen menos piezas móviles que otros tipos de calderas y requieren menos mantenimiento. Además, son más compactas y ligeras que otro tipo de calderas, lo que las hace más fáciles de instalar y transportar.

VII-D2. Caldera Acuotubular:

Las calderas acuotubulares de vapor son un tipo de caldera que utiliza gases de combustión calientes para generar vapor al hacer pasar agua a través de tubos que se calientan externamente por los gases. El agua dentro de los tubos se calienta y se convierte en vapor, que luego se recoge en un tambor de vapor ubicado en la parte superior de la caldera. Las calderas acuotubulares de vapor se utilizan comúnmente en aplicaciones de alta presión, como la generación de energía y el calentamiento de procesos industriales.

El diseño de las calderas acuotubulares de vapor consta de un gran número de tubos dispuestos en un patrón específico para maximizar la eficiencia de la transferencia de calor. Los tubos suelen estar hechos de acero u otro material de alta temperatura y están conectados a los tambores de la caldera en cada extremo. Los gases de combustión fluyen sobre los tubos, calentándolos y transfiriendo calor al agua dentro de los tubos.

Una de las principales ventajas de las calderas acuotubulares de vapor es su alta eficiencia, que se debe a su mayor superficie de calentamiento y a una transferencia de calor más eficiente. Esto permite que las calderas acuotubulares generen vapor a presiones y temperaturas más altas que las calderas pirotubulares. Las calderas acuotubulares también tienen la capacidad de responder rápidamente a los cambios en la demanda de vapor, lo que las hace adecuadas para aplicaciones que requieren arranques y paradas rápidos.

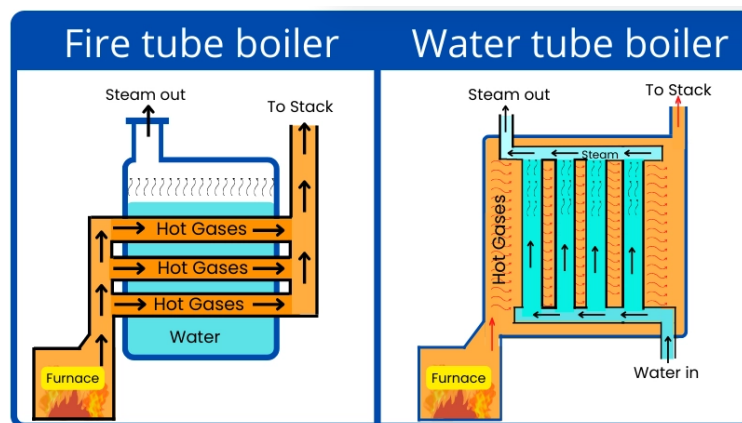


Figura 2. Caldera pirotubular y acuotubular [2]

VII-E. Calderos de biomasa.

El petróleo es un combustible fósil no renovable el cual al pasar de los años incrementa su costo y al ser utilizado como combustible genera daños en la atmósfera, es por esto que muchas industrias que ocupan energía generada mediante dichos combustibles químicos han optado por desarrollar nuevos métodos de generación de energía implementando combustibles ecológicos como lo es la biomasa.

Su funcionamiento es muy parecido a las calderas convencionales, pero en este proceso la combustión se genera por la quema de materiales denominados "Biomasa", los cuales después de ser dosificados y pasar por un proceso de calor, producen energía en forma de vapor.

Este tipo de calderos son usados principalmente en las industrias farmacéuticas, alimenticias, químicas, etc. Aquellos que a la vez de generar energía crean un ambiente más limpio ya que en su mayoría disminuyen gases nocivos los cuales pueden resultar muy perjudiciales para el ser humano como para el medio ambiente [3].

VII-F. Tipos de caldero de biomasa.

VII-F1. Calderas Stoker:

Estas calderas están diseñadas para quemar combustibles de biomasa sólida, como astillas de madera o pellets, utilizando una parrilla y un sistema de fognero para alimentar el combustible a la caldera. Las calderas Stoker están disponibles en diferentes configuraciones, incluidos diseños horizontales y verticales.

VII-F2. Calderas de lecho fluidizado:

Estas calderas utilizan un lecho fluidizado de partículas para quemar el combustible de biomasa. El lecho fluidizado crea una suspensión de partículas, lo que permite una mejor mezcla de combustible y aire y una combustión más eficiente. Las calderas de lecho fluidizado pueden quemar una variedad de combustibles de biomasa, incluidas astillas de madera, residuos agrícolas y desechos.

VII-F3. Calderas híbridas:

Las calderas híbridas utilizan una combinación de diferentes fuentes de combustible, incluida la biomasa, para generar calor o electricidad. Las calderas híbridas se pueden diseñar para quemar biomasa en combinación con otros combustibles, como gas natural o petróleo, para proporcionar una mayor flexibilidad y reducir las emisiones.

Cada tipo de caldera de biomasa industrial tiene sus propias ventajas y desventajas, y la elección de la caldera depende de factores como el tipo y la disponibilidad de combustible, la eficiencia y las emisiones requeridas y la aplicación específica.

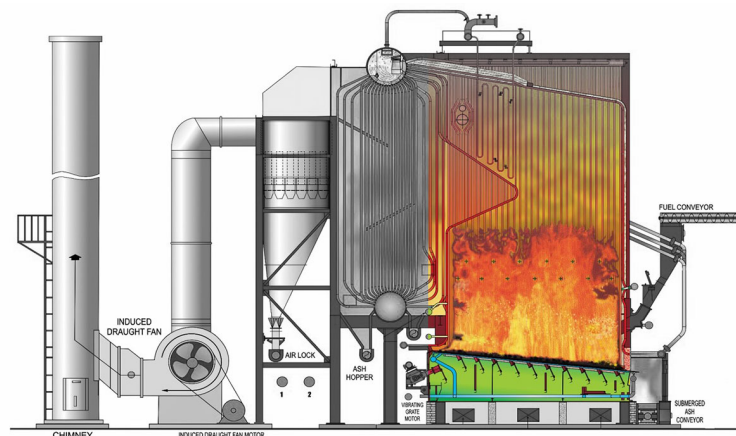


Figura 3. Caldera de Biomasa[12].

VII-G. Características de los calderos de biomasa.

Las calderas de biomasa son ideales para generar energía mediante vapor de manera ecológica convirtiéndose en una mejor alternativa para procesos industriales [10], entre sus principales características tenemos:

- **Menor costo de combustible:** Al ser un combustible renovable y de fácil acceso, se convierte en una opción mucho más económica.
- **Fácil manejo y mantenimiento:** Su sistema de manejo es muy fácil y por lo tanto sus mantenimientos son sencillos de realizar, a su vez esto generará un ahorro significativo respecto a la mano de obra.

- **Mayor seguridad:** Con el funcionamiento automático de la misma hace que se regule automáticamente respecto a cómo se configurará la máquina y respecto al combustible que usa.
- **Respeto por el medio ambiente:** Debido a que su combustión reduce la cantidad de gases nocivos emitidos al medio ambiente.

VII-H. Sistema dosificador.

En este proyecto denominaremos dosificador al sistema encargado de almacenar en una tolva la biomasa, con ayuda de un tornillo sin fin el cual estará encargado de suministrar poco a poco el combustible dependiendo la velocidad de quemado que se configure en el sistema.

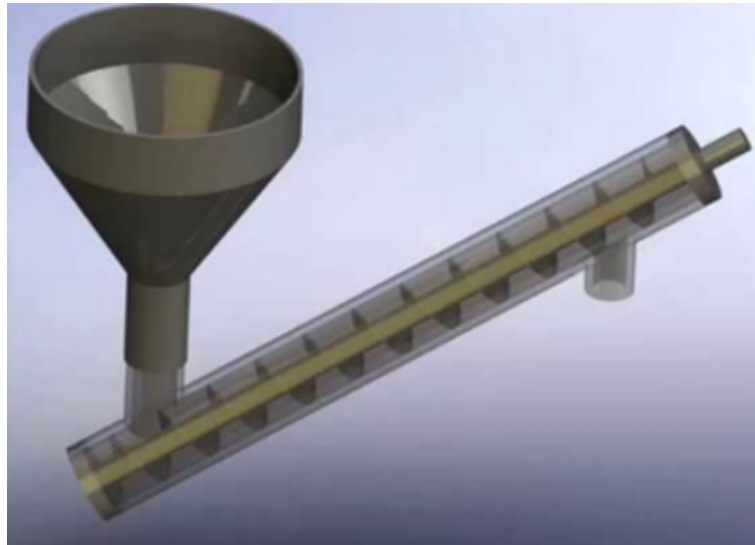


Figura 4. Dosificador por medio de tornillo sin fin[19].

VII-I. Funcionamiento de un blower.

Los blowers en pocas palabras son sopladores que impulsan grandes cantidades de aire de forma directa. Son utilizados para enfriar, ventilar o transportar usando el principio de fuerza centrífuga, a diferencia de los compresores de aire estos generan su flujo a presiones más bajas.

El blower para su funcionamiento aspira aire por el lado de succión el cual tiene un damper para regular la entrada de aire. Los rotores e impulsores rotan para presurizar el aire y posteriormente liberarlo. Son muy utilizados en industrias alimenticias, mineras, para transportar materiales de manera neumática, en la fabricación de cemento y tratamiento de aguas residuales.



Figura 5. Blower Centrífugo [8]

VII-J. Tipos de blower.

VII-J1. Blower de lóbulo rotativo:

Está fabricado por dos rotores que giran en sentidos opuestos, el blower se encarga de aspirar aire y los lóbulos hacen que este gire antes de soltarlo, puede producir grandes cantidades de aire a baja presión.

VII-J2. Blower de tornillo rotativo:

Su sistema se basa en la combinación de rotores macho y hembra los cuales al girar van reduciendo el volumen entre ellos para que el aire sea comprimido. Es una de las mejores opciones ya que mantiene almacenado el aire y después va comprimiéndolo y soltándolo poco a poco a medida que los motores giran.

VII-J3. Blower Centrífugo:

El blower centrífugo simple está diseñado por un ventilador interno y una carcasa en forma de espiral, el cual tiene la función de cambiar la dirección del flujo de aire, haciendo que entre por la escotilla del ventilador y con ayuda del motor eléctrico gire 90° mientras presuriza el aire antes de salir por el soplador. Este modelo es muy utilizado en procesos simples gracias a su fácil manejo e instalación además de sus bajos costos y disponibilidad.

VII-J4. Blower Centrífugo de etapas múltiples.:

Son usados para crear presión cambiando la dirección del aire, a diferencia del blower centrífugo simple, este tiene varios niveles los cuales pueden crear alta presión y altos niveles de flujo, son muy utilizados en tareas que requieren flujo variable y presión constante.

VII-K. Control de variables.

Existen calderas cuya producción es vapor saturado, de tal forma que la temperatura del vapor viene marcada por la presión de operación, pues son variables directamente relacionadas.

VII-K1. Control de temperatura y sus elementos:

El control de la temperatura en las calderas industriales es fundamental para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente. Las calderas industriales se utilizan para generar vapor o agua caliente para diversos procesos industriales, como la fabricación, la generación de energía y la calefacción. El sistema de control de temperatura en una caldera

industrial involucra monitorear y regular la temperatura del agua o vapor para mantenerla dentro de un rango seguro y eficiente.

Hay varias formas de controlar la temperatura en una caldera industrial, entre ellas:

- **Termostatos:** Los termostatos son dispositivos que miden la temperatura del agua o del vapor y regulan la entrada de calor en consecuencia. A menudo se usan en calderas de pequeña escala y son relativamente simples de instalar y operar.
- **Controladores PID:** Los controladores PID (proporcional-integral-derivativo) son dispositivos de control de temperatura más avanzados que utilizan bucles de retroalimentación para ajustar la entrada de calor en función de la diferencia entre la temperatura deseada y la temperatura real. Son más precisos y eficientes que los termostatos y se usan comúnmente en calderas industriales más grandes [16].
- **Sistemas de control basados en PLC:** Los controladores lógicos programables (PLC) son sistemas de control computarizados que se pueden usar para monitorear y controlar todos los aspectos del funcionamiento de una caldera, incluido el control de temperatura. Se pueden personalizar para satisfacer las necesidades específicas de una caldera en particular y pueden proporcionar un control de temperatura preciso y confiable.

Además de estos dispositivos de control de temperatura, otros factores que pueden afectar el control de temperatura en las calderas industriales incluyen la calidad del combustible que se quema, la cantidad de aire y agua que se suministra a la caldera y la eficiencia del sistema de transferencia de calor. El mantenimiento regular y el control de estos factores son esenciales para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente de la caldera.

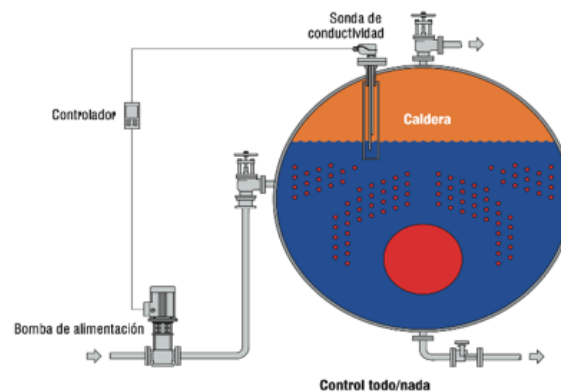


Figura 6. Control de temperatura en caldero[13].

VII-K2. Control de presión y sus elementos.: El control de la presión es un aspecto importante del funcionamiento de las calderas industriales para garantizar un rendimiento seguro y eficiente. Las calderas industriales generan vapor o agua caliente calentando agua u otros fluidos a alta presión. La presión en la caldera debe mantenerse dentro de límites seguros para evitar accidentes y garantizar un rendimiento confiable.

Hay varias formas de controlar la presión en las calderas industriales, entre ellas:

- **Válvulas de seguridad:** Las válvulas de seguridad están diseñadas para evitar que la presión en la caldera exceda un límite seguro liberando automáticamente el exceso de presión. Son una característica de seguridad crucial y deben inspeccionarse y mantenerse regularmente para garantizar un funcionamiento adecuado.

- **Sensores de presión:** Los sensores de presión se utilizan para medir la presión dentro de la caldera y transmitir la información a un sistema de control. El sistema de control puede entonces ajustar el funcionamiento de la caldera para mantener el rango de presión deseado.
- **Reguladores de presión:** Los reguladores de presión son dispositivos que regulan el caudal de fluido a la caldera para mantener una presión constante. A menudo se usan en combinación con sensores de presión y sistemas de control para mantener una presión constante.
- **Válvulas de purga:** Las válvulas de purga se utilizan para eliminar el exceso de agua y los sólidos disueltos de la caldera para evitar la acumulación y mantener niveles de presión seguros. Por lo general, se usan junto con otros dispositivos de control de presión.

El mantenimiento y el funcionamiento adecuados de los dispositivos de control de presión son fundamentales para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente de las calderas industriales. La inspección y las pruebas periódicas de las válvulas de seguridad, los sensores de presión y otros dispositivos de control de presión pueden ayudar a identificar y prevenir posibles problemas antes de que provoquen accidentes o tiempo de inactividad. Además, la capacitación adecuada de los operadores de calderas puede ayudar a garantizar que los dispositivos de control de presión se utilicen de manera correcta y eficaz.



Figura 7. Manómetro para medición de presión[7].

VII-K3. Control de nivel de agua.: El control de nivel en calderas desempeña un papel muy importante debido a que este nos permite manipular con mayor seguridad el mismo. Este sistema se manipula con sensores que envían señales directamente a las electroválvulas para una mejor regulación del mismo, desempeña un papel importante en diferentes procesos industriales y va directamente ligado a la mayoría de ingenierías. Son sistemas pensados en ser libres de manipulación de operadores dentro de cualquier proceso, sin embargo, también pueden ser controlados manualmente en el caso de requerirlo dentro de las tareas a realizarse [5].

- **Sistema de válvula y flotador.** Un flotador está unido a una varilla, que está conectada a una válvula. A medida que el nivel del agua en la caldera sube o baja, el flotador se mueve hacia arriba o hacia abajo, lo que hace que la válvula se abra o cierre y regule el flujo de agua hacia la caldera.
- **Sistema de bombeo continuo** Además de estos métodos, algunas calderas también pueden usar una bomba de agua de alimentación para mantener el nivel del agua. La bomba bombea continuamente agua a la caldera para mantener el nivel deseado.

Es importante tener en cuenta que el sistema de control del nivel del agua se debe mantener e inspeccionar periódicamente para garantizar un funcionamiento adecuado. Además, el operador siempre debe controlar el nivel de agua en la caldera y estar al tanto de cualquier cambio o anomalía.



Figura 8. Medidor de nivel de agua en calderas[24].

VII-L. PLC para control de calderos.

En las calderas industriales, los sistemas de control de temperatura y presión son esenciales para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente. Los controladores lógicos programables (PLC) se utilizan a menudo para implementar estos sistemas de control.

El sistema de control de temperatura en un PLC generalmente implica medir la temperatura del agua o el vapor en la caldera utilizando sensores de temperatura, como termopares o RTD (detectores de temperatura de resistencia). Luego, el PLC usa esta información para ajustar los elementos calefactores o el suministro de combustible para mantener el punto de ajuste de temperatura deseado. El PLC también puede incorporar funciones de seguridad, como alarmas de alta temperatura o paradas de emergencia, para evitar daños o accidentes.

Del mismo modo, el sistema de control de presión en un PLC consiste en medir la presión del vapor o del agua en la caldera mediante sensores de presión, como transductores de presión o presostatos. Luego, el PLC ajusta el flujo de agua o vapor para mantener el punto de ajuste de presión deseado. Las funciones de seguridad, como alarmas de alta presión o paradas de emergencia, también se pueden incluir en el sistema de control para evitar situaciones de sobrepresión.

Los PLC proporcionan una solución de control fiable y flexible para el control de temperatura y presión en calderas industriales. Permiten un control preciso y exacto, así como la capacidad de responder rápidamente a los cambios en las condiciones del proceso. Además, los PLC pueden integrarse fácilmente con otros sistemas de control, como el control de combustión o el control de agua de alimentación, para brindar una solución completa para el control de calderas[28].

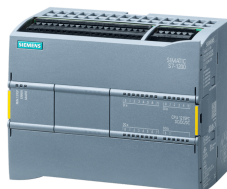


Figura 9. S7 1200 PLC[21].

VIII. METODOLOGÍA

VIII-A. Estructura de un caldero

Se tiene que realizar un diagrama acerca de los elementos principales de la construcción de un caldero, se procede a mostrar el esquemático.



Figura 10. Esquema caldero.

Para la elaboración del caldero propuesto se debe diseñar y construir las partes principales antes de empezar a realizar el proceso de automatización, estas partes son:

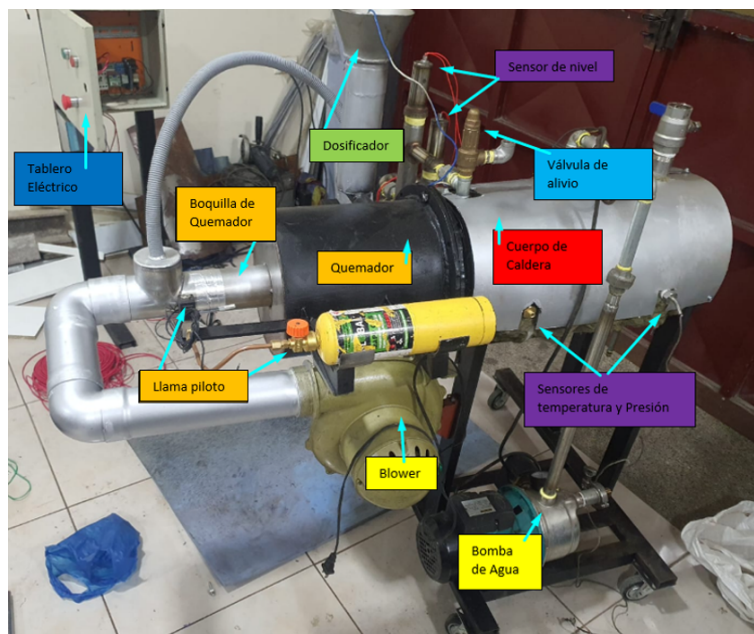


Figura 11. Partes de prototipo de caldero.

VIII-A1. Quemador:

Se usará una chispa piloto generada por una pequeña cantidad de gas GLP (gas licuado de petróleo) o gas doméstico el cual encenderá la biomasa previamente mezclada durante el proceso de combustión.

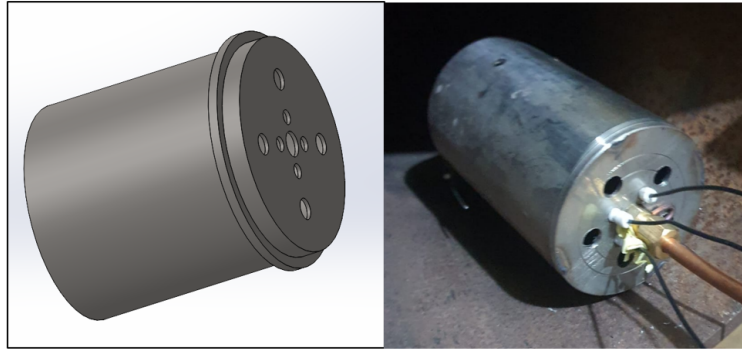


Figura 12. Diseño de boquilla en quemador.

VIII-A2. Cámara de combustión:

En esta parte se realizará la mezcla entre aire y biomasa la cual será encendida por la chispa piloto y se ira alimentando la llama con el oxígeno suministrado por el blower creando un proceso de combustión encargado de calentar el agua.

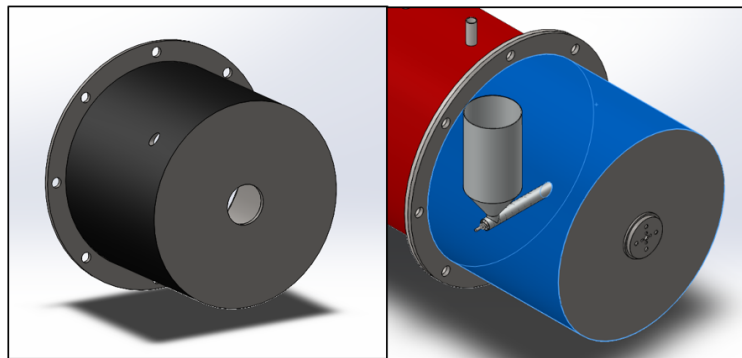


Figura 13. Diseño de Cámara de combustión.

VIII-A3. Cuerpo de caldero:

El Cuerpo principal del caldero o tanque de almacenamiento está encargado de almacenar agua para bañar las tuberías y llevará a cabo todo el proceso internamente manteniendo el volumen correspondiente de agua dejando un espacio para el almacenamiento de vapor. Una vez realizado el proceso mantendrá el vapor en la parte superior donde estará acumulado hasta tener la presión suficiente que le permita llegar a la tubería de salida.

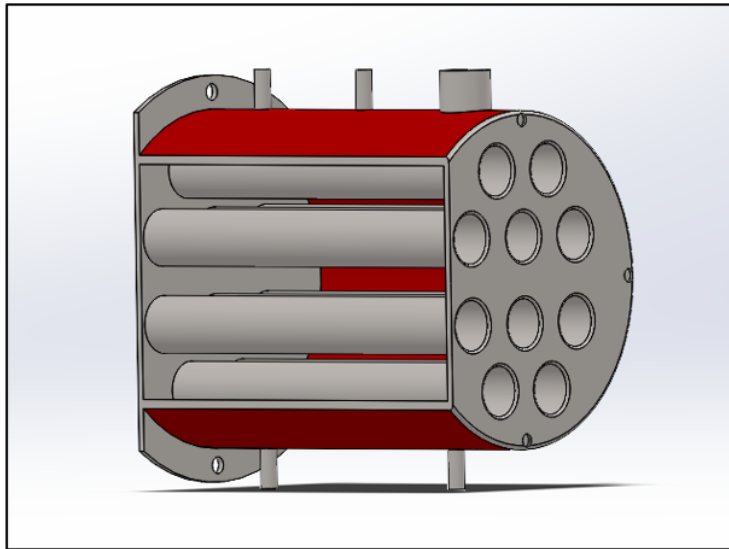


Figura 14. Diseño de cuerpo de caldero.

VIII-A4. Tuberías para calentamiento:

Será formada por tubos pequeños alrededor del circuito de agua los cuales darán paso al calor internamente para cumplir el proceso de convección dado directamente al bañar estas tuberías calentadas a altas temperaturas en agua.



Figura 15. Tuberías para calentamiento.

VIII-A5. Circuito de agua:

Es el sistema el cual dará el ingreso del agua a la caldera hacia la cámara donde bañará la tubería de calentamiento, este será el principal encargado de mantener a la cámara con el nivel de agua adecuado haciendo que esta pase de la parte inferior a la superior.

VIII-A6. Chimenea:

En este lugar se alojarán los residuos del biocombustible incinerado junto con sus cenizas las cuales podremos retirar con una bandeja y darles un uso adecuado para no liberarla directamente al ambiente.

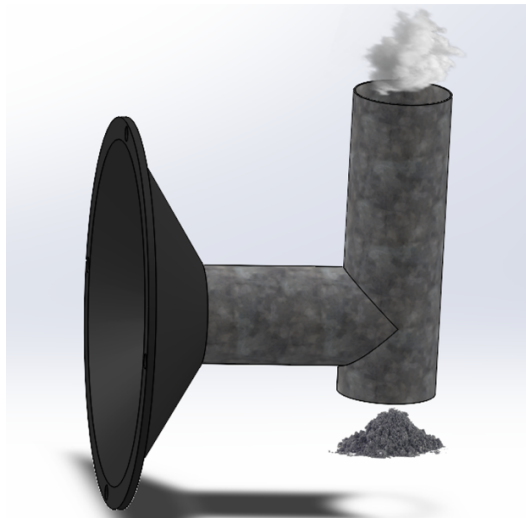


Figura 16. Diseño de Chimenea.

VIII-B. Estructura de un dosificador

El dosificador tiene como componentes principales el blower, un tornillo sin fin, una tolva, tuberías transportadoras y motor eléctrico.

VIII-B1. Blower:

El blower utilizado es de tipo centrífugo simple debido a su accesibilidad y fácil manejo, este se encargará de transportar la biomasa mezclando con aire antes de entrar a la cámara de combustión y proporcionará oxígeno para alimentar la llama en la misma.



Figura 17. Blower Centrífugo

VIII-B2. Tornillo sin fin:

Su función principal consiste en transportar de manera continua el biocombustible, estando directamente relacionado con la cantidad de vapor que debe generarse. Esto implica mantener un equilibrio entre la cantidad de biocombustible suministrado y la demanda de vapor del proceso industrial.

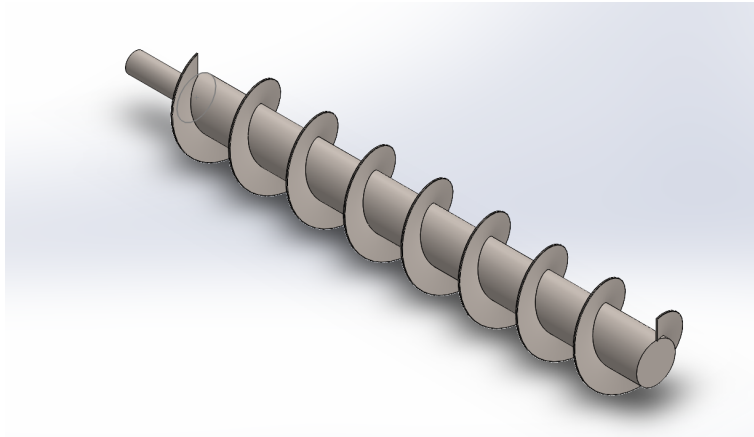


Figura 18. Diseño de Tornillo sin fin.

VIII-B3. Tolva:

La tolva cuenta con un tamaño apropiado para almacenar la biomasa y suministrar combustible durante el tiempo calculado. Se emplea acero inoxidable en su fabricación para facilitar el lavado y prevenir la posible corrosión que podría desarrollarse.

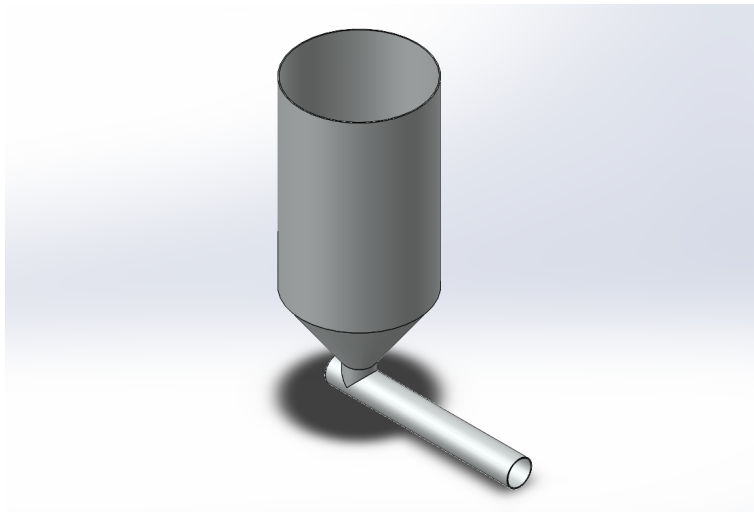


Figura 19. Diseño de Tolva dosificadora.

VIII-B4. Tuberías Transportadoras:

Estas tuberías estarán fabricadas con acero al carbono y acero inoxidable se encargarán de generar una intersección entre producto y aire generado por el blower para que llegue a la cámara de combustión previamente mezclado y listo para quemar.

VIII-B5. Motores eléctricos:

Se utiliza motores eléctricos en el transportador y blower, para que el prototipo pueda ser utilizado en cualquier instalación utilizamos voltajes de 12v y 110V respectivamente.



Figura 20. Servomotor S3003[20].

VIII-C. Biomasa utilizada

El tipo de biomasa seleccionado es la cascarilla de arroz por su disponibilidad dentro de la provincia del Guayas, ya que se tiene muchas piladoras de arroz cercanas que podrían proporcionar el combustible y en grandes cantidades.

En dicho proyecto se consideran diversos factores para que el funcionamiento sea el adecuado respecto a la biomasa, el tipo de biomasa utilizado será de tamaño ideal para el funcionamiento del proyecto además de contar con la temperatura y humedad adecuada para iniciar el proceso con el fin de evitar realizar la fase de secado en la biomasa.



Figura 21. Cascarilla de arroz como biomasa.

VIII-D. *Descripción del sistema*

El sistema empezará en la tolva donde se colocará nuestra biomasa y esta será transportada por el tornillo sin fin el cual irá dosificando poco a poco la cantidad de biomasa que entrará a la cámara de combustión dependiendo del flujo másico establecido en cálculos. Al caer la biomasa dentro de esta cámara se mezclará con aire producido por el blower y encenderá con ayuda de la chispa piloto para generar una pequeña llama la cual será alimentada con la mezcla de biomasa y oxígeno con el fin de fomentar una combustión más intensa y eficiente. Posteriormente el agua se introducirá en la caldera desde la parte inferior a la superior bañando las tuberías y dando paso al proceso de transferencia de calor por conducción y convección, en donde se generará el vapor. Una vez el vapor llegue a la tubería de salida estará listo para utilizarse. Por otro lado, el quemador con ayuda de la presión de aire del interior empujará todo el humo y cenizas a la chimenea en la cual se encontrará una bandeja que permitirá recoger los residuos los cuales podrán ser utilizados en otros procesos externos ya que poseen muchas ventajas.

Los sensores estarán encargados de supervisar los excesos de presión, temperatura y nivel de agua dentro del caldero. Además, enviarán señales de alertas en caso de exceder los límites de las variables establecidas para ejercer un control sobre el sistema. Para prevenir el exceso de presión, se contará con válvulas de seguridad para evitar que la presión aumente de manera significativa y garantizar una operación segura y confiable.

La velocidad de quema requerida en el proceso y la cantidad de aire introducida estarán directamente vinculadas al flujo másico de cascarilla que se alimente en el dosificador.

VIII-E. *Caracterización de la cascarilla de arroz*

La caracterización de la cascarilla de arroz se refiere al proceso de analizar y describir las propiedades químicas, físicas y biológicas de este subproducto agrícola. A través de la caracterización, se obtiene información detallada sobre la composición, estructura y comportamiento de la cascarilla de arroz, lo que resulta fundamental para comprender sus potenciales usos y aplicaciones en diferentes industrias.

En el presente proyecto la caracterización se enfoca en la utilización de cascarilla como combustible. Se llevan a cabo análisis exhaustivos para poder evaluar las propiedades físicas y químicas de la biomasa, como su contenido de humedad, poder calorífico, densidad aparente, composición química y otros factores relevantes para determinar su viabilidad como fuente de energía. Esta caracterización busca proporcionar una comprensión precisa de cómo la cascarilla puede contribuir al proceso de combustión, garantizando así un uso eficiente y sostenible de este subproducto agrícola en la generación de energía.

VIII-E1. Análisis químico de cascarilla de arroz: La cascarilla se clasifica como un subproducto agrícola desechado, sin embargo posee una composición química única y valiosa que la convierte en un material de interés en diversas aplicaciones industriales y agrícolas. Se procedió a realizar un análisis completo de la composición química en la cascarilla de arroz, del cual se extrajeron los siguientes hallazgos.

VIII-E2. Prueba de humedad de la cascarilla de arroz: Se realiza un análisis de humedad en la cascarilla de arroz con el objetivo de determinar el contenido de agua presente en el material para verificar que cumpla con las condiciones apropiadas para el proceso de combustión. Se debe realizar el siguiente procedimiento para llevar a cabo esta prueba utilizando un método de secado en horno:

- **Preparación de la muestra:** Se obtiene una muestra representativa de cascarilla de arroz, seleccionando al azar una cantidad adecuada de cascarillas de diferentes partes del lote y se verifica que la muestra esté bien mezclada para obtener resultados precisos.

- **Pesar la muestra:** Se utiliza una balanza analítica para pesar una cantidad conocida de la muestra de cascarilla de arroz. Anota el peso inicial con precisión.



Figura 22. Pesado de cascarilla de arroz.

- **Secado en horno:** la muestra es pesada en una balanza y colócala en un horno de secado precalentado a una temperatura moderada (aproximadamente 105°C a 110°C). Se Mantiene la muestra en el horno durante un período de tiempo de 1 a 3 horas.



Figura 23. Mufla utilizada para obtención de muestras.

- **Enfriamiento y pesaje:** Después de completar el tiempo de secado, se deja enfriar la muestra a temperatura ambiente en un lugar libre de humedad, finalmente se procede a pesar nuevamente.



Figura 24. Calorímetro utilizado para obtención de datos.

VIII-E3. Cálculo de poder calorífico.: Para calcular el poder calorífico en la cascarilla de arroz con diferentes niveles de humedad, primero debemos determinar la composición base seca de cascarilla de arroz. Dado que los valores proporcionados están en porcentajes de masa, primero debemos normalizarlos a una base de 100 g de materia seca para realizar los cálculos. La composición base seca se calcula excluyendo el porcentaje de humedad en cada caso.

Cálculo del contenido de humedad: Utiliza la siguiente fórmula para poder calcular el contenido de humedad de la cascarilla de arroz: $\text{Contenido de humedad (\%)} = [(\text{Peso inicial} - \text{Peso final}) / \text{Peso inicial}] * 100$
Obtenemos una humedad del 10 a 20 % de humedad en las 2 pruebas que realizamos en el horno.

Los datos para realizar los cálculos a continuación son recopilados mediante análisis de laboratorio para la cascarilla de arroz de los cuales se obtuvieron los resultados mostrados en la sección de anexos.(Figura 72)

VIII-E4. Cálculo de poder calorífico inferior.: Para calcular el poder calorífico inferior (PCI) de la cascarilla de arroz con niveles de humedad, primero debemos determinar la composición base seca de la cascarilla de arroz. Se utilizó una muestra de 100 gramos de cascarilla de arroz para realizar los cálculos. La composición base seca se calcula excluyendo el porcentaje de humedad en cada caso. Composición base seca de la cascarilla de arroz.

En base a los resultados obtenidos como lo es el análisis químico de la cascarilla de arroz se procede a calcular el poder calorífico inferior de la cascarilla de arroz, en base al poder que desprende cada una de su composición química. (véase Figura 72), se obtienen los siguientes datos: (Tabla IV)

Carbono:

$$\frac{40\%}{100\% - \text{Humedad}} \quad (1)$$

Oxígeno:

$$\frac{32\%}{100\% - \text{Humedad}} \quad (2)$$

Análisis de composición químico en Cascarilla de Arroz	
Peso de muestra	100g
Componente	Porcentaje
Azufre [S]	2 %
Carbono [C]	40 %
Hidrógeno [H]	5 %
Nitrógeno [N]	0,3 %
Oxígeno [O]	32 %
Cenizas	20 %
Total	100 %

Tabla I
TABLA DE PODER CALORÍFICO

Ceniza:

$$\frac{20\%}{100\% - Humedad} \quad (3)$$

Hidrógeno:

$$\frac{5\%}{100\% - Humedad} \quad (4)$$

Nitrógeno:

$$\frac{0,3\%}{100\% - Humedad} \quad (5)$$

Azufre:

$$\frac{2\%}{100\% - Humedad} \quad (6)$$

A continuación, calculamos el PCI utilizando la siguiente fórmula:

$$PCI(kJ/kg) = 337C + 1442\left(H - \frac{O}{8}\right) + 93S - 22,6A - 23,8M \quad (7)$$

Dónde:

C: Fracción en masa de carbono

H: Fracción en masa de hidrógeno

O: Fracción en masa de oxígeno

S: Fracción en masa de azufre

A: Fracción en masa de ceniza

M: Fracción en masa de humedad



Figura 25. Pruebas de humedad 10 % y 20 %

Caso 1: Humedad del 10 %

Composición base seca:

Carbono:

$$\frac{40 \%}{100 \% - 10 \%} = 44,44 \% \quad (8)$$

Oxígeno:

$$\frac{32 \%}{100 \% - 10 \%} = 35,56 \% \quad (9)$$

Ceniza:

$$\frac{20 \%}{100 \% - 10 \%} = 22,22 \% \quad (10)$$

Hidrógeno:

$$\frac{5 \%}{100 \% - 10 \%} = 5,56 \% \quad (11)$$

Nitrógeno:

$$\frac{0,3 \%}{100 \% - 10 \%} = 0,33 \% \quad (12)$$

Azufre:

$$\frac{2\%}{100\% - 10\%} = 2,22\% \quad (13)$$

Calculamos el PCI:

$$PCI = 337 * 44,44 + 1442 * \left(5,56 - \frac{35,56}{8}\right) + 93 * 2,22 \quad (14)$$

$$-22,6 * 22,22 - 23,8 * 10PCI \approx 14913,54kJ/kg$$

Caso 2: Humedad del 20 %

Composición base seca:

Carbono:

$$\frac{40\%}{100\% - 20\%} = 50\% \quad (15)$$

Oxígeno:

$$\frac{32\%}{100\% - 20\%} = 40\% \quad (16)$$

Ceniza:

$$\frac{20\%}{100\% - 20\%} = 25\% \quad (17)$$

Hidrógeno:

$$\frac{5\%}{100\% - 20\%} = 6,25\% \quad (18)$$

Nitrógeno:

$$\frac{0,3\%}{100\% - 20\%} = 0,375\% \quad (19)$$

Azufre:

$$\frac{2\%}{100\% - 20\%} = 2,5\% \quad (20)$$

Calculamos el PCI:

$$PCI = 337 * 50 + 1442 * (6,25 - \frac{40}{8}) + 93 * 2,5 \quad (21)$$

$$-22,6 * 25 - 23,8 * 20 PCI \approx 14229,5 kJ/kg$$

VIII-E5. Poder calorífico superior:

El poder calorífico superior (PCS) de un combustible se puede calcular usando la siguiente fórmula:

$$PC(kJ/kg) = 338C + 1442(H - \frac{O}{8}) + 93S + 23,8N + 22,6A - 22,6M \quad (22)$$

Dado que los valores proporcionados están en porcentajes de masa, primero debemos normalizarlos a una base de 100 g de materia seca para realizar los cálculos. La composición base seca se calcula excluyendo el porcentaje de humedad en cada caso.

Composición base seca de la cascarilla de arroz:

Carbono:

$$\frac{40\%}{100\% - Humedad} \quad (23)$$

Oxígeno:

$$\frac{32\%}{100\% - Humedad} \quad (24)$$

Ceniza:

$$\frac{20\%}{100\% - Humedad} \quad (25)$$

Hidrógeno:

$$\frac{5\%}{100\% - Humedad} \quad (26)$$

Nitrógeno:

$$\frac{0,3}{100\% - Humedad} \quad (27)$$

Azufre:

$$\frac{2\%}{100\% - Humedad} \quad (28)$$

A continuación, calculamos el PCS en cada caso (10 % y 20 % de humedad) y ajustamos la composición base seca según la humedad en cada caso.

Caso 1: Humedad del 10 %

Composición base seca:

Carbono:

$$\frac{40\%}{100\% - 10\%} = 44,44\% \quad (29)$$

Oxígeno:

$$\frac{30\%}{100\% - 10\%} = 35,56\% \quad (30)$$

Ceniza:

$$\frac{20\%}{100\% - 10\%} = 22,22\% \quad (31)$$

Hidrógeno:

$$\frac{5\%}{100\% - 10\%} = 5,56\% \quad (32)$$

Nitrógeno:

$$\frac{0,3\%}{100\% - 10\%} = 0,33\% \quad (33)$$

Azufre:

$$\frac{2\%}{100\% - 10\%} = 2,22\% \quad (34)$$

$$\begin{aligned} \text{Calculamos el PCS : } PCS &= 338 * 44,44 + 1442 * \left(5,56 - \frac{35,56}{8}\right) + 93 * 2,22 \\ &+ 23,8 * 0,33 + 22,6 * 22,22 - 22,6 * 10 PCS \approx 16378,81 kJ/kg \end{aligned} \quad (35)$$

Caso 2: Humedad del 20 %

Composición base seca:

Carbono:

$$\frac{40\%}{100\% - 20\%} = 50\% \quad (36)$$

Oxígeno:

$$\frac{32\%}{100\% - 20\%} = 40\% \quad (37)$$

Ceniza:

$$\frac{20\%}{100\% - 20\%} = 25\% \quad (38)$$

Hidrógeno:

$$\frac{5\%}{100\% - 20\%} = 6,25\% \quad (39)$$

Nitrógeno:

$$\frac{0,3\%}{100\% - 20\%} = 0,375\% \quad (40)$$

Azufre:

$$\frac{2\%}{100\% - 20\%} = 2,5\% \quad (41)$$

Calculamos el PCS:

$$\begin{aligned} PCS &= 338 * 50 + 1442 * (6,25 - 40/8) + 93 * 2,5 + 23,8 * 0,375 \\ &+ 22,6 * 25 - 22,6 * 20 \quad PCS \approx 15810,62 \text{kJ/kg} \end{aligned} \quad (42)$$

VIII-F. *Diseño del sistema*

El dimensionamiento de los componentes mecánicos en el diseño de una caldera es esencial, ya que garantiza tanto el cumplimiento de las condiciones de diseño térmico como la satisfacción de los requisitos operativos necesarios.

Los elementos mecánicos que deben ser diseñados en este capítulo:

Casco: El casco de la caldera es la carcasa externa que alberga los componentes internos. Su diseño debe asegurar la resistencia estructural para soportar las presiones internas y externas, así como las condiciones de temperatura de operación. Se deben considerar el espesor del material, la resistencia a la corrosión y los métodos de construcción y soldadura.

Tubos: Los tubos en una caldera transportan el agua o vapor y están sometidos a altas temperaturas y presiones. El dimensionamiento de los tubos implica seleccionar el diámetro adecuado, el espesor de pared y el material, para garantizar la resistencia estructural y la capacidad de transferencia de calor requerida.

Placa Portatubos: La placa Portatubos proporciona el soporte para los tubos y ayuda a distribuir el flujo de calor de manera uniforme. Su diseño debe asegurar una sujeción segura de los tubos, permitiendo la expansión térmica adecuada y facilitando el mantenimiento y la limpieza de los tubos.

El dimensionamiento de estos elementos mecánicos debe realizarse en función de los requerimientos de diseño térmico y los requisitos de operación. Además, es fundamental seguir las normas y códigos aplicables, como los estándares ASME (American Society of Mechanical Engineers) y otras regulaciones locales, para garantizar la seguridad y el rendimiento de la caldera.

Se presentan los cálculos realizados para el diseño de nuestra caldera y su correcto funcionamiento. Para que una caldera sea clasificada como una mini caldera, debe cumplir con los siguientes límites:

- El diámetro del casco no debe ser superior a 16 in.
- La superficie de transferencia de calor no debe exceder los 20 ft².
- La presión de operación debe ser de máximo 100 psig.
- El volumen neto no debe ser superior a 5 pies cúbicos.

VIII-G. *Diseño Térmico.*

Para realizar el cálculo, se establecen los valores de entrada que se muestran en la (Figura 26). Se establece como inicio una temperatura de entrada del agua $T_a=27\text{ }^\circ\text{C}$ la cual es la temperatura del agua en el ambiente y una presión de operación manométrica de $P_o=50\text{ PSI}$. Se considera que la capacidad de diseño es de 1 BHP por lo cual se determina que la capacidad másico de vapor es de 29,38 lb/BHP*h, como se puede observar en la siguiente ecuación:

- m_v = Gasto másico de vapor.

$$27^\circ\text{C} = 80,6^\circ\text{F} \quad (43)$$

(temperatura de entrada del agua)

$$29,6 * \frac{\text{lb}}{\text{BHP} * \text{h}} \quad (44)$$

(dato obtenido de la curva, a una temperatura y presión establecida)

$$\dot{m}_v = \left(29,6 * \frac{lb}{BHP * h} \right) * (1BHP) \quad (45)$$

$$\dot{m}_v = \left(29,6 * \frac{lb}{h} \right) = 13,426 \frac{kg}{h} \quad (46)$$

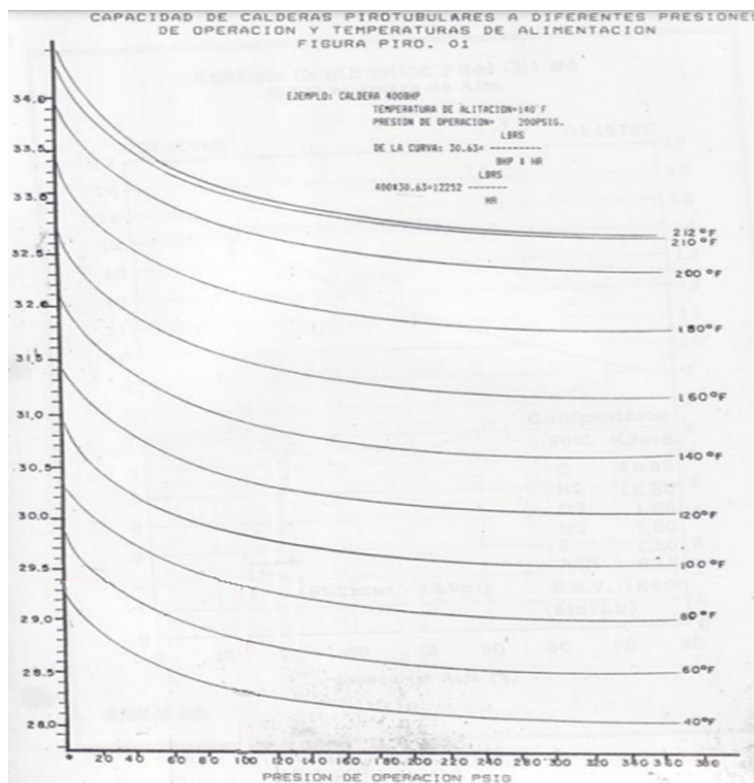


Figura 26. Capacidad de caldera pirotubulares a diferentes presiones. [15]

1. Cálculo de calor de agua.

Para calcular el calor del agua, se debe obtener valores de calor sensible y calor latente. Para calcular el calor sensible, se emplea la siguiente fórmula.

$$Q_{sensible} = \dot{m}_v * \Delta T * C_p \quad (47)$$

Expresamos las siguientes variables como:

- m_v = Gasto másico de vapor.
- C_p = Calor específico, (1BTU/lb °F).
- ΔT = Variación de temperatura.

La temperatura se determina con la temperatura de entrada a la temperatura de saturación del equipo

$$27^{\circ}C = 80,6^{\circ}F \quad (48)$$

(temperatura de entrada del agua)

$$138^{\circ}C = 280^{\circ}F \quad (49)$$

(temperatura de saturación a presión de 50 psi)

Propiedades del agua saturada (líquido-vapor): Tabla de presiones

Presión bar	Temp. °C	Volumen específico m ³ / kg		Energía interna kJ / kg		Entalpía kJ / kg			Entropía kJ / kg K	
		Líquido sat.	Vapor sat.	Líquido sat.	Vapor sat.	Líquido sat.	Vapor sat.	Vapor vaporiz.	Líquido sat.	Vapor sat.
		$v_f \times 10^3$	v_g	u_f	u_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_g
0,04	28,96	1,0040	34,800	121,45	2415,2	121,46	2432,9	2554,4	0,4226	8,4746
0,06	36,16	1,0064	23,739	151,53	2425,0	151,53	2415,9	2567,4	0,5210	8,3304
0,08	41,51	1,0084	18,103	173,87	2432,2	173,88	2403,1	2577,0	0,5926	8,2287
0,10	45,81	1,0102	14,674	191,82	2437,9	191,83	2392,8	2584,7	0,6493	8,1502
0,20	60,06	1,0172	7,649	251,38	2456,7	251,40	2358,3	2609,7	0,8320	7,9085
0,30	69,10	1,0223	5,229	289,20	2468,4	289,23	2336,1	2625,3	0,9439	7,7686
0,40	75,87	1,0265	3,993	317,53	2477,0	317,58	2319,2	2636,8	1,0259	7,6700
0,50	81,33	1,0300	3,240	340,44	2483,9	340,49	2305,4	2645,9	1,0910	7,5939
0,60	85,94	1,0331	2,732	359,79	2489,6	359,86	2293,6	2653,5	1,1453	7,5320
0,70	89,95	1,0360	2,365	376,63	2494,5	376,70	2283,3	2660,0	1,1919	7,4797
0,80	93,50	1,0380	2,087	391,58	2498,8	391,66	2274,1	2665,8	1,2329	7,4346
0,90	96,71	1,0410	1,869	405,06	2502,6	405,15	2265,7	2670,9	1,2695	7,3949
1,00	99,63	1,0432	1,694	417,36	2506,1	417,46	2258,0	2675,5	1,3026	7,3594
1,50	111,4	1,0528	1,159	466,94	2519,7	467,11	2226,5	2693,6	1,4336	7,2233
2,00	120,2	1,0605	0,8857	504,49	2529,5	504,70	2201,9	2706,7	1,5301	7,1271
2,50	127,4	1,0672	0,7187	535,10	2537,2	535,37	2181,5	2716,9	1,6072	7,0527
3,00	133,6	1,0732	0,6058	561,15	2543,6	561,47	2163,8	2725,3	1,6718	6,9919
3,50	138,9	1,0786	0,5243	583,95	2546,9	584,33	2148,1	2732,4	1,7275	6,9405
4,00	143,6	1,0836	0,4625	604,31	2553,6	604,74	2133,8	2738,6	1,7766	6,8959
4,50	147,9	1,0882	0,4140	622,25	2557,6	623,25	2120,7	2743,9	1,8207	6,8565
5,00	151,9	1,0926	0,3749	639,68	2561,2	640,23	2108,5	2748,7	1,8607	6,8212
6,00	158,9	1,1006	0,3157	669,90	2567,4	670,56	2086,3	2756,8	1,9312	6,7600
7,00	165,0	1,1080	0,2729	696,44	2572,5	697,22	2066,3	2763,5	1,9922	6,7080
8,00	170,4	1,1148	0,2404	720,22	2576,8	721,11	2048,0	2769,1	2,0462	6,6628
9,00	175,4	1,1212	0,2150	741,83	2580,5	742,83	2031,1	2773,9	2,0946	6,6226
10,0	179,9	1,1273	0,1944	761,68	2583,6	762,81	2015,3	2778,1	2,1387	6,5863
15,0	198,3	1,1539	0,1318	843,16	2594,5	844,84	1947,3	2792,2	2,3150	6,4448
20,0	212,4	1,1767	0,09963	906,44	2600,3	908,79	1890,7	2799,5	2,4474	6,3409
25,0	224,0	1,1973	0,07998	959,11	2603,1	962,11	1841,0	2803,1	2,5547	6,2575
30,0	233,9	1,2165	0,06668	1004,8	2604,1	1008,4	1795,7	2804,2	2,6457	6,1869
35,0	242,6	1,2347	0,05707	1045,4	2603,7	1049,8	1753,7	2803,4	2,7253	6,1253
40,0	250,4	1,2522	0,04978	1082,3	2602,3	1087,3	1714,1	2801,4	2,7964	6,0701
45,0	257,5	1,2692	0,04406	1116,2	2600,1	1121,9	1676,4	2798,3	2,8610	6,0199
50,0	264,0	1,2859	0,03944	1147,8	2597,1	1154,2	1640,1	2794,3	2,9202	5,9734
60,0	275,6	1,3187	0,03244	1205,4	2589,7	1213,4	1571,0	2784,3	3,0267	5,8892
70,0	285,9	1,3513	0,02737	1257,6	2580,5	1267,0	1505,1	2772,1	3,1211	5,8133
80,0	295,1	1,3842	0,02352	1305,6	2569,8	1316,6	1441,3	2758,0	3,2068	5,7432
90,0	303,4	1,4178	0,02048	1350,5	2557,8	1363,3	1378,9	2742,1	3,2858	5,6772
100	311,1	1,4524	0,01803	1393,0	2544,4	1407,6	1317,1	2724,7	3,3596	5,6141
110	318,2	1,4886	0,01599	1433,7	2529,8	1450,1	1255,5	2705,6	3,4295	5,5527
120	324,8	1,5267	0,01426	1473,0	2513,7	1491,3	1193,6	2684,9	3,4962	5,4924
130	330,9	1,5671	0,01278	1511,1	2496,1	1531,5	1130,7	2662,2	3,5606	5,4323
140	336,8	1,6107	0,01149	1548,6	2476,8	1571,1	1066,5	2637,6	3,6232	5,3717
150	342,2	1,6581	0,01034	1585,6	2455,5	1610,5	1000,0	2610,5	3,6848	5,3098
160	347,4	1,7107	0,009306	1622,7	2431,7	1650,1	930,6	2580,6	3,7461	5,2455
170	352,4	1,7702	0,008364	1660,2	2405,0	1690,3	856,9	2547,2	3,8079	5,1777

Tabla II
AGUA SATURADA A DISTINTAS PRESIONES

$$Q_{sensible} = 29,6 \frac{lb}{h} * 1 \frac{BTU}{lb} ^\circ F * (280,4 - 80,7) * ^\circ F \quad (50)$$

$$Q_{sensible} = 5914,08 \frac{BTU}{h} \quad (51)$$

Temperatura saturación (temperatura de trabajo del caldero) = 138°C ≈ 280,4°F

Se cumplen con las recomendaciones establecidas por el código ASME para el diseño de calderos, lo que implica que la descarga de vapor proveniente del caldero consiste en vapor en su forma más pura.

TABLA A.4E

TABLA DE TEMPERATURA. AGUA SATURADA

SISTEMA INGLÉS

SISTEMA INGLÉS		Volumen del Líquido	Volumen del Vapor	Energía interna del Líquido	Energía interna de Evaporización	Energía interna del Vapor	Entalpía del Líquido	Entalpía de Evaporización	Entalpía del Vapor	Entropía del Líquido	Entropía de Evaporización	Entropía del Vapor
T (°F)	PSAT(Psia)	Vf (ft³/lbm)	Vg (ft³/lbm)	Uf (Btu/lbm)	Ufg (Btu/lbm)	Ug (Btu/lbm)	hf (Btu/lbm)	hfg (Btu/lbm)	hg (Btu/lbm)	s ^f (Btu/lbm R)	s ^{fg} (Btu/lbm R)	s ^g (Btu/lbm R)
32,018	0,08866	0,016022	3302,0	0	1021,2	1021,2	0,01	1075,39	1075,4	0	2,18690	2,1869
35	0,09992	0,016021	2948,0	2,99	1019,2	1022,2	3,00	1073,70	1076,7	0,00607	2,17033	2,1764
40	0,12166	0,016020	2445,0	8,02	1015,9	1023,9	8,02	1070,88	1078,9	0,01617	2,14303	2,1592
45	0,14748	0,016021	2037,0	13,04	1012,5	1025,5	13,04	1068,06	1081,1	0,02618	2,11612	2,1423
50	0,17803	0,016024	1704,2	18,06	1009,1	1027,2	18,06	1065,24	1083,3	0,03607	2,08983	2,1259
60	0,2563	0,016035	1206,9	28,08	1002,3	1030,4	28,08	1059,62	1087,7	0,05555	2,03875	2,0943
70	0,3632	0,016051	867,7	38,09	995,6	1033,7	38,09	1053,91	1092,0	0,07463	1,98957	2,0642
80	0,5073	0,016073	632,8	48,08	988,9	1037,0	48,09	1048,31	1096,4	0,09332	1,94228	2,0356
90	0,6988	0,016099	467,7	58,07	982,1	1040,2	58,07	1042,63	1100,7	0,11165	1,89665	2,0083
100	0,9503	0,016130	350,0	68,04	975,5	1043,5	68,05	1036,95	1105,0	0,12963	1,85257	1,9822
110	1,2763	0,016166	265,1	78,02	968,7	1046,7	78,02	1031,28	1109,3	0,14730	1,81010	1,9574
120	1,6945	0,016205	203,0	87,99	961,9	1049,9	88,00	1025,50	1113,5	0,16465	1,76895	1,9336
130	2,225	0,016247	157,17	97,97	955,0	1053,0	97,98	1019,82	1117,8	0,18172	1,72918	1,9109
140	2,892	0,016293	122,88	107,95	948,3	1056,2	107,96	1013,94	1121,9	0,19851	1,69069	1,8892
150	3,722	0,016343	96,99	117,95	941,4	1059,3	117,96	1008,14	1126,1	0,21503	1,65337	1,8684
160	4,745	0,016395	77,23	127,94	934,4	1062,3	127,96	1002,14	1130,1	0,23130	1,61710	1,8484
170	5,996	0,016450	62,02	137,95	927,5	1065,4	137,97	996,23	1134,2	0,24732	1,58198	1,8293
180	7,515	0,016509	50,20	147,97	920,3	1068,3	147,99	990,21	1138,2	0,26311	1,54779	1,8109
190	9,343	0,016570	40,95	158,00	913,3	1071,3	158,03	984,07	1142,1	0,27866	1,51454	1,7932
200	11,529	0,016634	33,63	168,04	906,2	1074,2	168,07	977,83	1145,9	0,29400	1,48220	1,7762

Tabla III

CARACTERÍSTICAS DEL VAPOR DE AGUA A DIFERENTES TEMPERATURAS.[29]

En el siguiente cálculo se emplea variaciones de entalpía para cuantificar el calor latente.

Donde: h_g la cual es la entalpía del vapor a la presión de 50 psi, que nos da una temperatura de saturación de 138 grados y h_{atm} la cual es la entalpía del agua a la temperatura de entrada la cual es 27°C. Para ello se usa la la tabla de temperatura de agua saturada mostrada a continuación: (Figura III).

- h_g = Entalpía del vapor saturado.
- h_{atm} = Entalpía del agua.
- Δh_{fg} = diferencia de entalpías.

Para obtener el calor latente el cual es la energía del cambio de fase de estado líquido a gaseoso, por lo cual se utiliza el cambio de entalpía de el agua que ingresa para el gas que se genera en el prototipo.

$$Q_{latente} = \dot{m}_v[(\Delta h_{fg})] \tag{52}$$

$$Q_{latente} = \dot{m}_v[(h_g) - (h_{atm})] \tag{53}$$

$$Q_{latente} = \dot{m}_v[(1121,9) - (48,6)] \tag{54}$$

$$Q_{latente} = 29,6 \frac{BTU}{h} [(1121,9) - (48,6)] \tag{55}$$

$$Q_{latente} = 31769,7 \frac{BTU}{h} \quad (56)$$

2. Cálculo de calor total

$$Q_{total} = (Q_{sensible}) + (Q_{latente}) \quad (57)$$

$$Q_{total} = 31769,7 \frac{BTU}{h} + 5914,78 \frac{BTU}{h} \quad (58)$$

$$Q_{total} = 37684,48 \frac{BTU}{h} \quad (59)$$

3. Calor del combustible 80% de rendimiento

Q_s = Calor del combustible

$$n = \frac{Q_t}{Q_s} \text{ Calor carga} \quad (60)$$

$$Q_s = \frac{37684,48}{n} \quad (61)$$

$$Q_s = \frac{37684,48}{0,8} \quad (62)$$

$$Q_s = 47105,6 \frac{BTU}{h} \quad (63)$$

4. Cálculo del flujo de combustible

$$Q_s = PSI * P_e * B \quad (64)$$

$$B = \frac{Q_s}{PCI * P_e} \quad (65)$$

El peso específico de la cascarilla de arroz se sitúa en 125 kg/m³. Esto significa que una tonelada de cascarilla de arroz ocuparía un espacio de 8 m³ si se encuentra en un estado a granel. [27]

- B: Consumo de combustible.
- PCI: Poder calorífico inferior.
- P_e : Peso específico.
- Q_s :Calor generado por el combustible.

$$B = \frac{47105,6 \frac{kJ}{h}}{14229,5 \frac{kJ}{kg} * 125 \frac{kg}{m^3}} \quad (66)$$

(Cascarilla de arroz)

$$B = 0,027 \frac{m^3}{h} \quad (67)$$

$$B = 3,42 \frac{kg}{h} \quad (68)$$

Peso del aire y oxígeno para la combustión. Proceso de combustión ideal del sistema.

- 40 % Carbono.
- 32 % Oxígeno.
- 20 % Ceniza.
- 5 % Hidrógeno.
- 0.3 % Nitrógeno.
- 2 % Azufre.

P_o :Peso del oxígeno.

$$P_o = 2,67C + 8H + 5 - 0[Kg] \quad (69)$$

P_a :Peso del aire.

$$P_a : 4,34 P_o \quad (70)$$

$$P_o = 2,67(0,4) + 8(0,05) + 0,2 - 0 [kg] \quad (71)$$

$$P_o = 1,656kg \quad (72)$$

$$P_a = 4,34 * P_o \quad (73)$$

$$P_a = 7,187kg \quad (74)$$

Nota:

El aire tiene un 23 % de oxígeno $100/23=4.34$

$P_a = 4.34 * P_o$ P_a (la cantidad de aire que se necesita para la combustión de 1kg de combustible)

5. Temperatura de los gases de combustión.

Temperatura en el hogar, dependiendo de la cantidad de agua calentada, el coeficiente de exceso de aire, la cantidad de combustible por unidad de tiempo.

$$t_{g1} = \frac{(1 - \delta) * (P_c)}{P_g * C_e} + t_a \quad (75)$$

Donde:

- t_a : Temperatura ambiental.
- t_{g1} : Temperatura gas combustible.
- C_e : Calor específico.
- δ : 20 % en la pérdida caldera.
- P_c : Poder calorífico.
- P_g : Peso gases de combustión.

6. Exceso de aire 20 %

El peso de los gases de combustión según las normas ASME oscilan entre un 20 Y 30 % de aire.[18]

(para la biomasa 20 % de aire)

$$P_g = 1 + S * P_e - Z [kg] \quad (76)$$

$$P_g = 1 + 1,2 * (7,187 \text{ kg}) - 0,2 \quad (77)$$

$$P_g = 9,4244 \text{ kg} \quad (78)$$

Cantidad de combustibles quemados para combustión.

Se procede a calcular el flujo másico de combustible que se utiliza en el proceso dentro de la cámara de combustión.

$$F_c = \frac{\dot{m}_v(606,5 + 0,305 * (t_{f_2} - t_{f_1}))}{Q_u * n} \quad (79)$$

Donde:

- \dot{m}_v : Flujo de vapor.
- t_{f_2} : Temperatura de saturación.
- t_{f_1} : Temperatura ingreso de agua.
- Q_u : Poder calorífico de la cascarilla de arroz.

$$F_c = \frac{13,42 \frac{\text{kg}}{\text{h}}(606,5 + 0,305 * (138^\circ\text{C} - 27^\circ\text{C}))}{14229,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * 0,8} \quad (80)$$

$$F_c = 3,06 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \quad (81)$$

7. Conversiones

$$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \rightarrow \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

Dato conversión

$$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} / 4,184 = \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$14229,5 / 4,184 = 34300,93 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

δ : 20 %

$$C_e = 0,3064 \frac{Kcal}{kg^\circ C}$$

$$t_a = 27^\circ C$$

$$tg_1 = \frac{1 - \delta * Q_u}{P_g * C_e} + t_a \quad (82)$$

$$tg_1 = \frac{(1 - 0,2) * 3400,93 \frac{kcal}{kg}}{9,42kg * 0,3064 \frac{kcal}{kg^\circ C}} + 27^\circ C \quad (83)$$

$$tg_1 = 969,64^\circ C \quad (84)$$

Se tiene transferencia para convección y transferencia por conducción del material.

$$R_1 = \frac{1}{h_1 * A_1}$$

$$R_o = \frac{1}{h_o * A_o}$$

Por lo que el coeficiente global del sistema es igual. Primero se encuentra la convección interna, tenemos el número de Reynols. Por medio de la tabla de datos obtenemos el número de Reynols.

Con la tabla a la que está sometida a presión y temperatura del agua.

Se obtiene los datos de:

TABLA A-9

Propiedades del agua saturada

Temp., T °C	Presión de saturación, P _{sat} , kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpia de vaporización, h _g , kJ/kg	Calor específico, c _p , J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻³	0.922 × 10 ⁻⁵	13.5	1.00	-0.068 × 10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519 × 10 ⁻³	0.934 × 10 ⁻⁵	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307 × 10 ⁻³	0.946 × 10 ⁻⁵	9.45	1.00	0.733 × 10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 185	1 863	0.589	0.0179	1.138 × 10 ⁻³	0.959 × 10 ⁻⁵	8.09	1.00	0.138 × 10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002 × 10 ⁻³	0.973 × 10 ⁻⁵	7.01	1.00	0.195 × 10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891 × 10 ⁻³	0.987 × 10 ⁻⁵	6.14	1.00	0.247 × 10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798 × 10 ⁻³	1.001 × 10 ⁻⁵	5.42	1.00	0.294 × 10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720 × 10 ⁻³	1.016 × 10 ⁻⁵	4.83	1.00	0.337 × 10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653 × 10 ⁻³	1.031 × 10 ⁻⁵	4.32	1.00	0.377 × 10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596 × 10 ⁻³	1.046 × 10 ⁻⁵	3.91	1.00	0.415 × 10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547 × 10 ⁻³	1.062 × 10 ⁻⁵	3.55	1.00	0.451 × 10 ⁻³
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504 × 10 ⁻³	1.077 × 10 ⁻⁵	3.25	1.00	0.484 × 10 ⁻³
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467 × 10 ⁻³	1.093 × 10 ⁻⁵	2.99	1.00	0.517 × 10 ⁻³
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433 × 10 ⁻³	1.110 × 10 ⁻⁵	2.75	1.00	0.548 × 10 ⁻³
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404 × 10 ⁻³	1.126 × 10 ⁻⁵	2.55	1.00	0.578 × 10 ⁻³
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378 × 10 ⁻³	1.142 × 10 ⁻⁵	2.38	1.00	0.607 × 10 ⁻³
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355 × 10 ⁻³	1.159 × 10 ⁻⁵	2.22	1.00	0.653 × 10 ⁻³
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333 × 10 ⁻³	1.176 × 10 ⁻⁵	2.08	1.00	0.670 × 10 ⁻³
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315 × 10 ⁻³	1.193 × 10 ⁻⁵	1.96	1.00	0.702 × 10 ⁻³
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297 × 10 ⁻³	1.210 × 10 ⁻⁵	1.85	1.00	0.716 × 10 ⁻³
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282 × 10 ⁻³	1.227 × 10 ⁻⁵	1.75	1.00	0.750 × 10 ⁻³
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255 × 10 ⁻³	1.261 × 10 ⁻⁵	1.58	1.00	0.798 × 10 ⁻³
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232 × 10 ⁻³	1.296 × 10 ⁻⁵	1.44	1.00	0.858 × 10 ⁻³
130	270.1	934.6	1.496	2 174	4 263	2 177	0.684	0.0288	0.213 × 10 ⁻³	1.330 × 10 ⁻⁵	1.33	1.01	0.913 × 10 ⁻³
140	361.3	921.7	1.965	2 145	4 286	2 244	0.683	0.0301	0.197 × 10 ⁻³	1.365 × 10 ⁻⁵	1.24	1.02	0.970 × 10 ⁻³
150	475.8	916.6	2.546	2 114	4 311	2 314	0.682	0.0316	0.183 × 10 ⁻³	1.399 × 10 ⁻⁵	1.16	1.02	1.025 × 10 ⁻³
160	617.8	907.4	3.256	2 083	4 340	2 420	0.680	0.0331	0.170 × 10 ⁻³	1.434 × 10 ⁻⁵	1.09	1.05	1.145 × 10 ⁻³
170	791.7	897.7	4.119	2 050	4 370	2 490	0.677	0.0347	0.160 × 10 ⁻³	1.468 × 10 ⁻⁵	1.03	1.05	1.178 × 10 ⁻³
180	1 002.1	887.3	5.153	2 015	4 410	2 590	0.673	0.0364	0.150 × 10 ⁻³	1.502 × 10 ⁻⁵	0.983	1.07	1.210 × 10 ⁻³
190	1 254.4	876.4	6.388	1 979	4 460	2 710	0.669	0.0382	0.142 × 10 ⁻³	1.537 × 10 ⁻⁵	0.947	1.09	1.280 × 10 ⁻³
200	1 553.8	864.3	7.852	1 941	4 500	2 840	0.663	0.0401	0.134 × 10 ⁻³	1.571 × 10 ⁻⁵	0.910	1.11	1.350 × 10 ⁻³
220	2 318	840.3	11.60	1 859	4 610	3 110	0.650	0.0442	0.122 × 10 ⁻³	1.641 × 10 ⁻⁵	0.865	1.15	1.520 × 10 ⁻³
240	3 344	813.7	16.73	1 767	4 760	3 520	0.632	0.0487	0.111 × 10 ⁻³	1.712 × 10 ⁻⁵	0.836	1.24	1.720 × 10 ⁻³
260	4 688	783.7	23.69	1 663	4 970	4 070	0.609	0.0540	0.102 × 10 ⁻³	1.788 × 10 ⁻⁵	0.832	1.35	2.000 × 10 ⁻³
280	6 412	750.8	33.15	1 544	5 280	4 835	0.581	0.0605	0.094 × 10 ⁻³	1.870 × 10 ⁻⁵	0.854	1.49	2.380 × 10 ⁻³
300	8 581	713.8	46.15	1 405	5 750	5 980	0.548	0.0695	0.086 × 10 ⁻³	1.965 × 10 ⁻⁵	0.902	1.69	2.950 × 10 ⁻³
320	11 274	667.1	64.57	1 239	6 540	7 900	0.509	0.0836	0.078 × 10 ⁻³	2.084 × 10 ⁻⁵	1.00	1.97	—
340	14 586	610.5	92.62	1 028	8 240	11 870	0.469	0.110	0.070 × 10 ⁻³	2.255 × 10 ⁻⁵	1.23	2.43	—
360	18 651	528.3	144.0	720	14 690	25 800	0.427	0.178	0.060 × 10 ⁻³	2.571 × 10 ⁻⁵	2.06	3.73	—
374.14	22 090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043 × 10 ⁻³	4.313 × 10 ⁻⁵	—	—	—

Figura 27. Sistema termodinámico [17]

Datos para el agua a 138 °C:

$$\text{Densidad} = 921 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Viscosidad} = 0.197 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$k = 4.286 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\text{Pr} = 1.24$$

Datos para el CO_2 a $970\text{ }^\circ\text{C}$:

$$\text{Densidad} = 0.4376 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Viscosidad} = 0.197 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$k = 4.286 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\text{Pr} = 0.7455$$

$$Re = \frac{\delta * V_v * \phi_{tubo}}{\mu} \quad (85)$$

Donde:

- δ = Densidad del vapor en $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- V_v = Velocidad del vapor en $\frac{\text{m}}{\text{s}}$
- Re = Reynolds.
- N = Viscosidad dinámica.

$$Re = \frac{(0,4376 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) * (50 \sqrt{0,0304}) * (0,0254)}{4,8090 * 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}} \quad (86)$$

$$Re = 2014,95 < 1000 \quad (87)$$

Flujo laminar.

Utilizando tabla para flujo laminar en una corona circular.

Número de Nusselt para flujo laminar completamente desarrollado en una corona circular con una de las superficies aislada y la otra isotérmica (Kays y Perkins, 1972).

D_i/D_o	Nu_i	Nu_o
0.00	—	3.66
0.05	17.46	4.06
0.10	11.56	4.11
0.25	7.37	4.23
0.50	5.74	4.43
1.00	4.86	4.86

Figura 28. sistema termodinámico

$$D_i = 0.0254\text{in}$$

$$D_o = 0.0304\text{in}$$

$$\frac{D_i}{D_o} = \frac{0,0254\text{in}}{0,0304\text{in}} = 0,8355 \quad (88)$$

$$Nu = 5,15 \quad (89)$$

$$\begin{aligned} h_i &= \frac{5,15(0083 \frac{W}{m \cdot K})}{0,0254m} \\ &= 16,8287 \frac{W}{m^2 \cdot K} \\ &= 14,4626 \frac{kcal}{m^2 \cdot hr \cdot ^\circ C} \end{aligned} \quad (90)$$

Coefficiente de convección para calor externo del agua.

$$h_o = 5000 \frac{kcal}{m^2 \cdot hr \cdot ^\circ C} \quad (91)$$

Obteniendo los datos

MATERIAL	A CONDUCTIVIDAD TÉRMICA W/(K·M) 23°C	CALOR ESPECÍFICO J/(KG·K) 25°C	DENSIDAD KG/M³
Acero	50	450	7500
Acero inoxidable	17	460	7900
Agua	0.58	4186	1000
Aluminio	237	909	2700
Baquelita	0.24	900	1270
Bronce	116-186	360	8700
Carbono	129	710	2267
Caucho Celular	0.06	1500	130
Caucho de Silicona	0.24	1300-1500	1100
Caucho EPDM Etileno Propileno	0.25	1000	1150
Caucho Natural	0.13	1100	910
Caucho Policloropreno Neopreno®	0.23	2140	1300
Cobre	380	389	8900
Corcho	0.04	1880	120
Diamante	2300	509	3513
Etanol	0.013	1520	789
Fibra de vidrio	0.04	795	220
Filtro lana	0.06	1300	200

Figura 29. Conductividad de materiales.

$$h_i = 14,4626 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$h_o = 5000 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$d_i = 0,254\text{m} (\text{cámara de combustión})$$

$$d_e = 0,273\text{m} (\text{cámara de combustión})$$

$$\delta = \frac{3}{8}\text{in} = 0,0095\text{m}$$

$$k = 43 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}} (\text{conductividad del acero})$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{5d_m}{k \cdot d_m} + \frac{d_e}{h_o \cdot d_i}} \quad (92)$$

$$d_m = \frac{d_e - d_i}{2} + d_i \quad (93)$$

$$d_m = \frac{0,273m - 0,254m}{2} + 0,254m$$

$$d_m = 0,2635m \quad (94)$$

Con los datos obtenidos se calcula el coeficiente de calor global.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{14,4636 \frac{kcal}{hr * m^2 * ^\circ C}} + \frac{(0,0095m)(0,273m)}{43 \frac{kcal}{m * hr * ^\circ C}} + \frac{1(0,273m)}{(5000 \frac{kcal}{hr * m^2 * ^\circ C})(0,254m)}} \quad (95)$$

$$U = 14,4 \frac{kcal}{hr * m^2 * ^\circ C} \approx 62,7534 \frac{BTU}{hr * m^2 * ^\circ C} \quad (96)$$

Cálculo de transferencia de calor.

$$Q = U * A * \Delta T_m \quad (97)$$

Donde:

- U = Coeficiente global de transferencia de calor.
- A = Área de transferencia de calor.
- ΔT = Densidad del vapor en $\frac{kg}{m^3}$

$$A = \frac{Q}{U * \Delta T_m} \quad (98)$$

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (99)$$

$$\Delta T_1 = tg_1 - tg_2 \quad (100)$$

$$\Delta T_1 = 969,64^\circ C - 138^\circ C$$

$$\Delta T_1 = 831,64^\circ C \quad (101)$$

$$\Delta T_2 = t_{g2} - t_{g1} \quad (102)$$

$$\Delta T_2 = 320^\circ C - 27^\circ C$$

$$\Delta T_2 = 293^\circ C \quad (103)$$

$$\Delta T_m = \frac{831,64^\circ C - 293^\circ C}{\ln\left(\frac{831,64^\circ C}{293^\circ C}\right)} \quad (104)$$

$$\Delta T_m = 516,32^\circ C \quad (105)$$

$$Q = 37684,48 \frac{BTU}{hr}$$

$$A = \frac{37684,48 \frac{BTU}{hr}}{62,7534 \frac{kcal}{hr * m^2 * ^\circ C} * 516,32^\circ C} \quad (106)$$

$$A = 1,14 m^2 \quad (107)$$

Se determina el área mínima de transferencia de calor que tiene que tener el sistema para poder transferir correctamente el calor desde la cámara de combustión al agua del sistema.

VIII-H. *Diseño mecánico.*

VIII-H1. *Diseño de hogar de la caldera:* Las dimensiones para una caldera se estima según las normas DIN4787, podemos usar las siguientes ecuaciones para obtener el volumen del hogar gracias a su largo y su diámetro mínimo.

B = Combustible consumido por la caldera.

$$D = 0,17B^{1/3,5} \quad (108)$$

$$L' = 0,2B^{1/2}(109)$$

$$D = 0,17(3,06)^{1/3,5} \quad (110)$$

$$D = 0,17(1,3765) \quad (111)$$

$$D = 0,234m = 234mm \quad (112)$$

Tenemos un diámetro mínimos de 234mm en el hogar de combustión, no se tiene a disposición tubos de esa medida exacta por lo que se utilizará un tubo de 254mm o 10in para la construcción del hogar.

$$L' = 0,2(3,05)^{1/2} \quad (113)$$

$$L' = 0,3498m \approx 350mm \quad (114)$$

Podemos obtener el área superficial de la caldera.

$$A_{hogar} = \pi * D_{hogar} * L_{hogar} \quad (115)$$

$$A_{hogar} = \pi * 254mm * 350mm = 0,27928m^2 \quad (116)$$

VIII-H2. Diseño de la cámara de vapor.:

$$t = \frac{PD}{2SE + 2YP} + C \quad (117)$$

Donde:

- t = Espesor mínimo requerido.
- C = Margen de roscado.
- D = Diámetro exterior cilindro.
- E = Eficiencia de la junta.
- S = Valor del esfuerzo admisible a la temperatura.
- P = Máxima presión de trabajo admisible (MAWP)[psi].
- Y = Coeficiente de temperatura.

Metodología a usar el código ASME para cálculo de espesores en componentes sometidos a presión.

En este capítulo se presentan los cálculos realizados para el diseño de nuestra caldera y su correcto funcionamiento.

Para que una caldera sea clasificada como una minicaldera según la norma ASME, debe cumplir con los siguientes límites:

- El diámetro del casco no debe ser superior a 16 in.
- La superficie de transferencia de calor no debe exceder los 20 ft².
- La presión de operación debe ser de máximo 100 psig.
- El volumen neto no debe ser superior a 5 pies cúbicos.

Estos límites de diseño nos dan un punto de partida para realizar el análisis termodinámico de nuestra caldera, como es un prototipo demostrativo vamos a poner parámetro de diseño congruentes con los calderines, en este caso vamos a utilizar una caldera que genere 1BHP.

En este tipo de límites o requerimientos se define que el espesor mínimo necesario para un hogar cilíndrico o recipiente sometido a una presión, sean estos en ausencia de soldadura o con presencia de soldadura longitudinal a tope, se debe necesariamente calcular los espesores por medio de los procedimientos presentados en la norma ASME. (ASME, 2010)

Usando el diámetro del cuerpo de la cámara de combustión, procedemos a utilizar 254mm o 10in para el cálculo de la presión de la cámara de vapor.

Se calcula el espesor requerido y la presión que este puede soportar bajo el cálculo del código ASME.

se procede a calcular el espesor que tendría que tener el cuerpo de caldera.

$$S = 700 \text{ } ^\circ \approx F370^\circ C (\text{constantedelcodigoasme})$$

ϵ = Eficiencia junta para placas sin soldadura es 1
la interpolación según tabla es.

350 °C = 108Mpa

400 °C = 88.9Mpa

370 °C = 100.36Mpa

Región N°	Forma del producto ⁽²⁾	Denominación	Tipo Grado Clase	Grupo N°	Tensión	Tensión	Máxima tensión admisible (MPa), en función de la temperatura en °C													
					de rotura MPa	de fluencia MPa	-30 a 40	65	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	
1	Placa	SA-283	C	1	380	205	108	108	108	108	108	108	107	101	
2	Placa	SA-285	C	1	380	205	108	108	108	108	108	108	107	101	89,1	62,6	31,6	
3	Placa	SA-515	60	1	415	220	118	118	118	118	118	118	115	108	88,9	62,7	31,6	12,7	...	
4	Placa	SA-515	65	1	450	240	128	128	128	128	128	128	125	118	95	63,2	31,7	12,7	...	
5	Placa	SA-515	70	2	485	260	138	138	138	138	138	138	136	128	101	67,1	33,6	12,9	...	
6	Placa	SA-516	55	1	380	205	108	108	108	108	108	108	107	101	89,1	62,6	31,6	12,7	...	
7	Placa	SA-516	60	1	415	220	118	118	118	118	118	118	115	108	88,9	62,7	31,6	12,7	...	
8	Placa	SA-516	65	1	450	240	128	128	128	128	128	128	125	118	95	63,2	31,7	12,7	...	
9	Placa	SA-516	70	2	485	260	138	138	138	138	138	138	136	128	101	67,1	33,6	12,9	...	
10	Accesorios (1)	SA-234	WPB	1	415	240	118	118	118	118	118	118	118	117	88,9	62,7	31,6	12,7	...	
11	Forjado	SA-105	...	2	485	250	138	138	138	138	138	136	129	122	101	67	33,6	12,9	...	
12	Forjado	SA-181	60	1	415	205	118	118	118	118	118	114	107	101	89,1	62,6	31,6	12,7	...	
13	Forjado	SA-350	LF1	1	415	205	118	118	118	118	118	114	107	101	89,1	62,6	31,6	12,7	...	
14	Forjado	SA-350	LF2	2	485	250	138	138	138	138	138	136	129	122	101	67	33,6	12,9	...	
15	Caño soldado	SA-53	E/B	1	415	240	118	118	118	118	118	118	117	117	88,9	62,7	31,6	
16	Caño sin costura	SA-106	B	1	415	240	118	118	118	118	118	118	117	117	88,9	62,7	31,6	12,7	...	
17	Perno (2)	SA-193	B7	...	690	515	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	115	68,4	18,9	...
18	Tuerca	SA-194	H2	...	1206
19	Perno	SA-307	B	...	415	...	48,3	48,3	48,3	48,3	48,3	48,3
20	Placa, lámina	SA-36	...	1	400	250	114	114	114	114	114	114	114	114

Figura 30. Fluencia de materiales a temperaturas.

100.36Mpa = 14555Psi

$$t = \frac{(100psi) * (5in)}{(1 * 0,8(14555psi)) - 0,6(100)} \quad (118)$$

t = 0.05in (espesor mínimo)

t = 1.27mm

Debido a que el espesor mínimo no se encuentra en el mercado, se utiliza un espesor mínimo nominal de 0,25in añadiendo $\frac{1}{8}$ in por lo que se procede a usar un espesor de $\frac{3}{8}$ in in.

Procedemos a calcular la presión admisible máxima del sistema.

$$P = \frac{0,8 * S * \epsilon * t}{R + 0,6t} \quad (119)$$

$$P = \frac{0,8(14555psi)(1)(\frac{3}{8}in)}{5in + 0,6(\frac{3}{8}in)} \quad (120)$$

$$P = 835psi \quad (121)$$

$P \rightarrow$ Presión máxima que podría admitir el sistema.

Corroboramos que la placa a escoger es capaz de aguantar los 100psi de presión máxima de diseño.

VIII-H3. Corroborar espesor de hogar de caldera: Los datos mínimos de diseño del hogar es el punto de partida para validar el diseño de nuestro hogar, usaremos el mismo espesor calculado para el cuerpo de la caldera ya que serán sometidos a presiones similares. validamos la presión máxima admisible por el hogar con las tablas del código ASME.

$D_o=10in$

$L=350mm=13.78in$

$$\frac{L}{D_o} = \frac{13,78in}{10in} \quad (122)$$

$$\frac{L}{D_o} = 1,378 \quad (123)$$

$$\frac{D_o}{t} = \frac{10in}{3/8in} \quad (124)$$

$$\frac{D_o}{t} = 26,6666 \quad (125)$$

Con en valor calculado, se procede a obtener el valor del factor A por medio de las tablas ASME.

$A=0.0008$

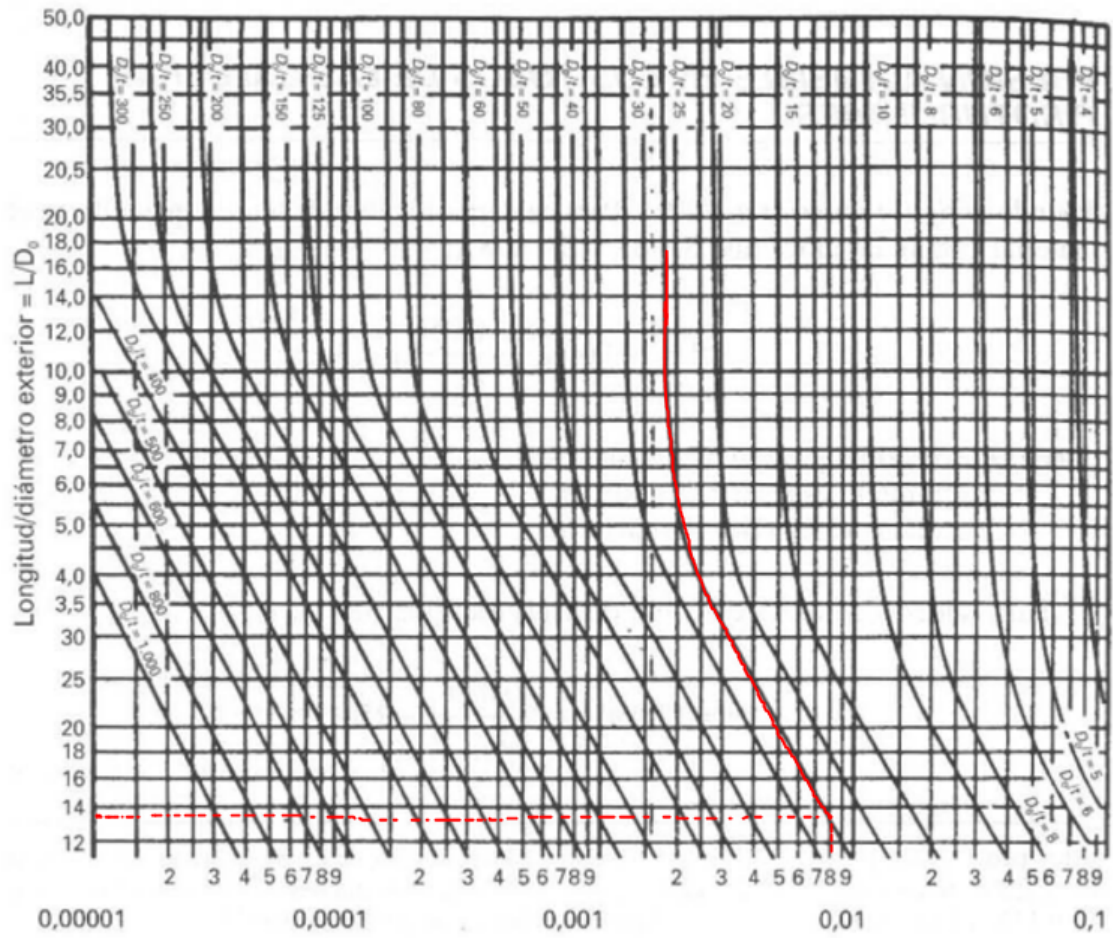


Tabla IV
 TABLA DE SISTEMA TERMODINÁMICO FACTOR A [18]

Con el valor que se obtiene de la tabla IV, buscamos la segunda tabla del factor B.
 B=9500

Figure CS-1
Chart for Determining Shell Thickness of Components Under External Pressure Developed for Carbon or Low Alloy Steels With Specified Minimum Yield Strength Less Than 30,000 psi

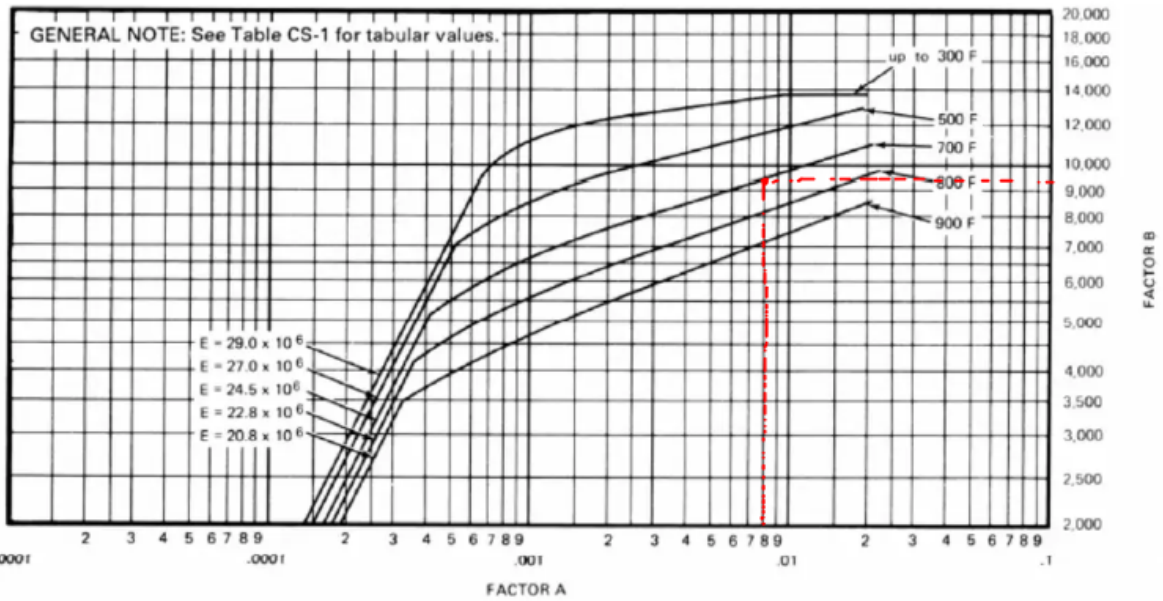


Tabla V
 TABLA DE SISTEMA TERMODINÁMICO FACTOR B [18]

Con los valores obtenidos se procede a calcular la presión máxima de trabajo de la cámara de combustión con el espesor deseado.

B=factor B de diseño
 t=espesor de diseño
 Do=diámetro

$$MAWP = \frac{4B}{3(D_o/t)} \quad (126)$$

$$MAWP = \frac{4(9500psi)B}{3(26,666)} = 475,11psi \quad (127)$$

La presión máxima admisible o MAWP es de 475 psi, por lo cual va a soportar satisfactoriamente los 100 psi máximas como presión de diseño.

VIII-H4. *Cálculo de longitud y espesor de tubos:* El calor es transmitido desde el hogar hacia la cámara por las tapas y por el haz de tubos.

$$A_{tubos} = A_{total} - A_{hogar} - A_{tapa} \quad (128)$$

$$A_{tubos} = 1,14m^2 - 0,27928m^2 - 0,05m^2 \quad (129)$$

$$A_{tubos} = 0,8107m^2 \quad (130)$$

$$A_{tapa} = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2 \quad (131)$$

$$A_{tapa} = \pi * \left(\frac{0,254}{2}\right)^2 \quad (132)$$

$$A_{tapa} = 0,05m^2 \quad (133)$$

$$A_t = \pi * d_t * L * \eta \quad (134)$$

- d_t : Diámetro exterior.
- η : Numero de tubos.

$$L = \frac{A_t}{\pi * d_t * \eta} \quad (135)$$

$$L = \frac{0,8107m^2}{\pi * 0,0442m * 10}$$

$$L = 0,583m(\text{Longitudutilizada}) \quad (136)$$

$$L \approx 0,6m(\text{Longitud utilizada}) \quad (137)$$

Según ASME para diseño de caldero se utilizan tubos de calor de 1.5 in o 0.0442 m. Para este caso se calcula el espesor mínimo del material.

$$t = \frac{PD}{2SE + 2YP} + C \quad (138)$$

$$t = \frac{(100psi) * (1,5in)}{2(14555psi)(1) + 2(1)(100psi)} + 0 \quad (139)$$

$$t = 0,00511in \quad (140)$$

Como resultado se obtuvo que el espesor mínimo para soportar la presión máxima de trabajo en los tubos de humos es de 0.000511m in o 0.13 mm, espesor que no se encuentra en el mercado, por lo que se determina que el espesor a utilizar es de 3 mm, sobredimensionando el sistema.

Cálculo de espesor de los tubos de caldera del sistema. Se validan los datos de espesor de los tubos. Para asegurar el diseño se realiza el cálculo de las siguientes fórmulas.

$$\frac{L}{D_o} = \frac{600mm}{44,2mm} = 13,574 \quad (141)$$

$$\frac{D_o}{t} = \frac{44,2mm}{3mm} = 14,79 \quad (142)$$

Con los valores de las ecuaciones se procede a obtener los valores de la tabla A.

A = 0.005 (Tabla A)

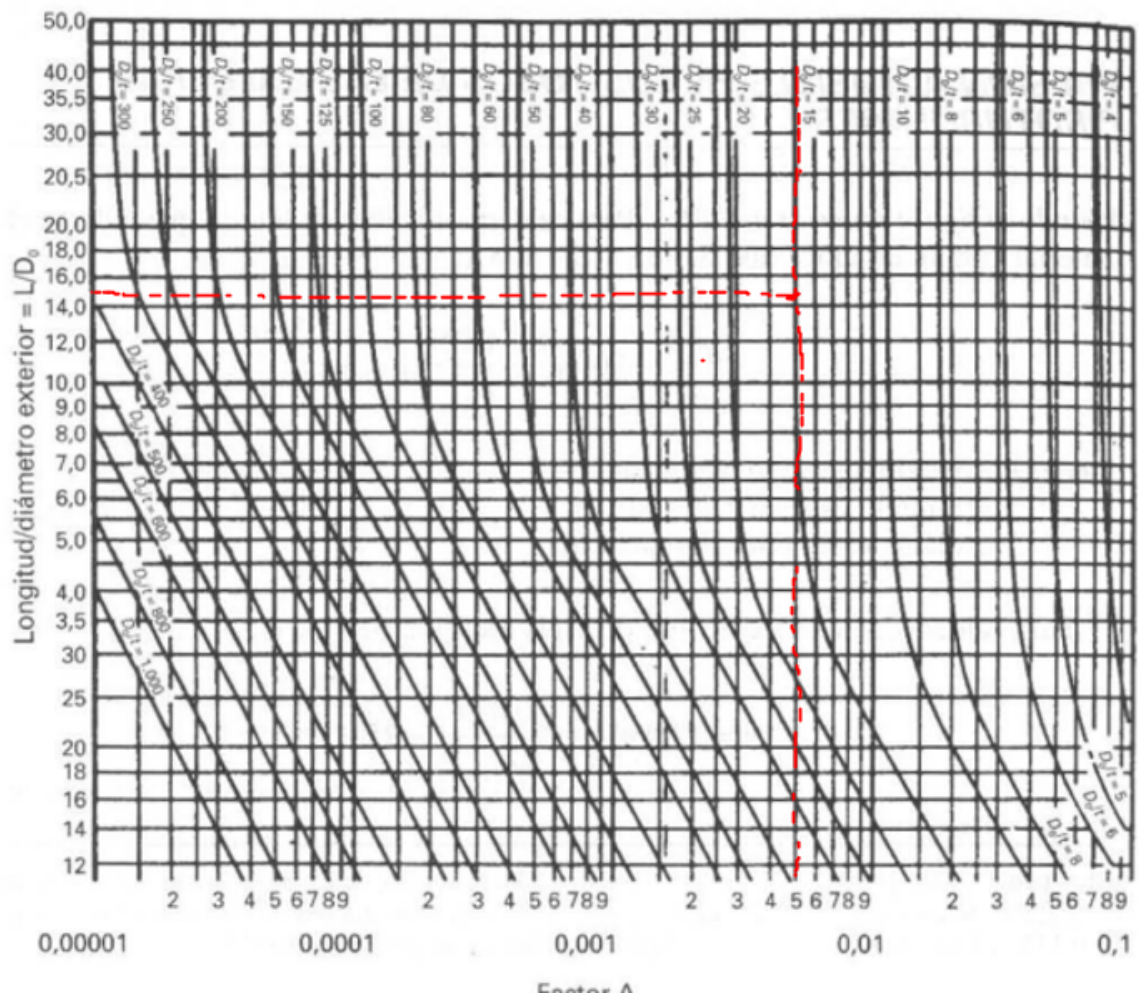


Tabla VI
 TABLA DE SISTEMA TERMODINÁMICO FACTOR A [18]

Se procede a obtener el valor de B.

$$B = 8750$$

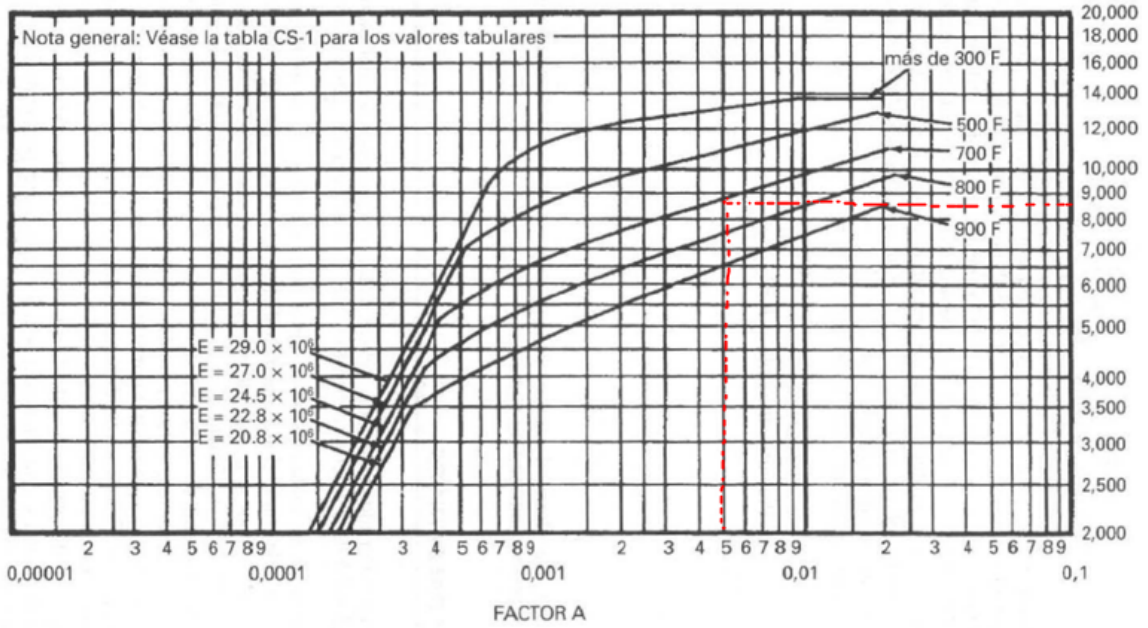


Tabla VII
TABLA DE SISTEMA TERMODINÁMICO FACTOR B [18]

Se procede a obtener la presión admisible de los tubos de calor a partir de las tablas.

$$MAWP = \frac{4(8750)}{3\left(\frac{44,2mm}{3}\right)} = 791psi \quad (143)$$

Es el valor máximo que pueden soportar los tubos de llama.

VIII-H5. Espesor de los espejos: El cálculo del espesor de los espejos o tapas planas se lo puede realizar con la fórmula mostrada y siguiendo correctamente las recomendaciones del Código ASME en el cual está mencionado que las placas del cuerpo como tapas planas, deben tener un espesor mínimo de diseño 8mm, se procede a realizar el cálculo mínimo del espesor de las tapas planas.

TAPAS PLANAS

$$(1) \quad t = d \sqrt{C' P / S E} \quad \text{Ó} \quad (2) \quad t = d \sqrt{(C' P / S E) + 1.9 W h g / S E d^3}$$

Figura 31. Ecuación de espesor de brida y tapa plana[18]

$$t = D \sqrt{\frac{C' P}{S E}} \quad (144)$$

Donde:

- t = Espesor obtenido.
- P = Presión interna máxima.
- D = Diámetro de la tapa plana.
- S = Esfuerzo bajo tensión del material a 300 °F. (norma)
- E = Eficiencia de la junta (eficiencia 1 por cuerpo sin soldadura).
- C' = Constante adimensional entre tapa y cilindro.

Se considera el diseño del cuerpo de la caldera por lo cual se utiliza la misma presión máxima de diseño de 100 psi se selecciona el mismo material de cuerpo.

$$t = 10in \sqrt{\frac{0,08 * 100psi}{14555psi * 1}} \quad (145)$$

$$t = 0,234in \quad (146)$$

$$t = 5,94mm \quad (147)$$

Como el espesor mínimo no se encuentra de forma comercial, se escoge el grosor mínimo según ASME que es de $\frac{5}{16}n$ o 8mm de grosor.

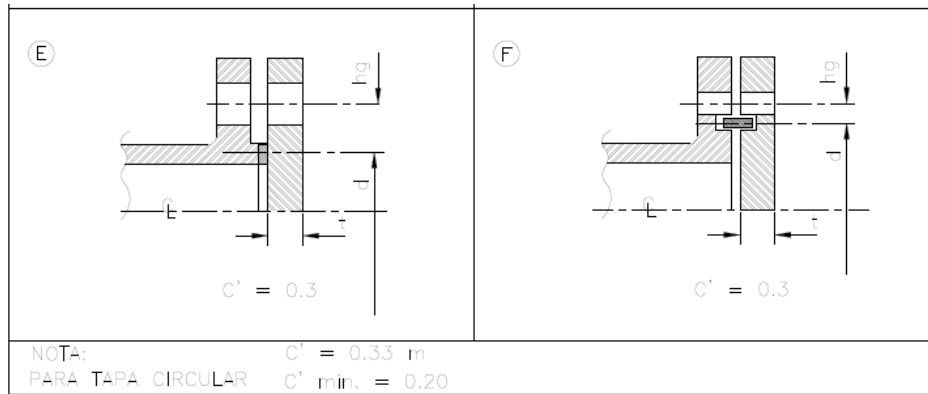


Figura 32. Cálculo de brida [9]

VIII-H6. Cálculo de bridas:

$$t = D \sqrt{\left(\frac{C'P}{SE}\right) + \left(\frac{1,9 * W * hg}{S * E * D^3}\right)} \quad (148)$$

Primero sabremos que utilizaremos 8 pernos.

Para calcular el espesor de estas uniones atornilladas.

Utilizamos la siguiente ecuación.

- t = Espesor de la brida.
- P = Presión máxima de diseño.
- S = Esfuerzo de fluencia del material.
- E = Eficiencia de junta.
- W = Carga total del tornillo.
- hg = Distancia radial entre el centro.

Para calcular la eficiencia de la junta en uniones atornilladas se utilizan los siguientes datos.

$$t = 10 \sqrt{\left(\frac{0,08 * 100psi}{14555psi * 1}\right) + \left(\frac{1,9 * W * hg}{S * E * D^3}\right)} \quad (149)$$

$$W = \pi * b * G * y \quad (150)$$

- y = Carga máxima del empaque (200psi).

- G = Diámetro del perno que se encuentra la reacción del empaque.
- b = Ancho efectivo del contacto del empaque.

$$W = \pi \left(\frac{1}{4} in \right) (1in)(200psi) \quad (151)$$

$$hg = 139.7mm = 5.5 in$$

MATERIALES DE EMPAQUE Y CARAS DE CONTACTO		NORMAS				
MATERIAL DEL EMPAQUE		FACTOR DE EMPAQUE	ESFUERZO DE EMPAQUE	FORMA Y TIPO	EFECTIVO DE LA FORMA DE CARA	TABLA O USOS COLUMNA
HULE SIN TERCER O UN ALT. PORCENTAJE DE FIBRA DE ASBESTO	CON DUREZA SHORE MENOR DE 75	0.50	0			
	CON DUREZA SHORE 75 Y MAYOR	1.00	200			
ASBESTO CON UN LIQADO ADECUABLE PARA LAS CONDICIONES DE OPERACION	1/8 ESPESOR	2.00	1600			
	1/16 ESPESOR	2.75	3700			
	1/32 ESPESOR	3.50	6500			
HULE CON TEJIDO DE ALGODON INSERTADO		1.25	400		1(a,b,c,d)	II
HULE CON TEJIDO DE ASBESTO INSERTADO CON O SIN REFUERZO DE ALAMBRE	3 JUEGOS	2.26	2200			
	2 JUEGOS	2.50	2900			
	1 JUEGO	2.75	3700			
FIBRAS VEGETALES		1.75	1100			
METAL DEVANADO ESPIRAL CON ACERO AL CARBON ASBESTO ACERO INOX. O MONEL		2.50	2900			
		3.00	4500			
METAL CORRUGADO CON ASBESTO INSERTADO O METAL CORRUGADO CON ALMA DE ACERO	ALUMINO SUAVE	2.50	2900			
	COBRE SUAVE BRONCE	2.75	3700			
	HIERRO O ACERO SUAVE	3.00	4500			
	MONEL O 1-3% CR. ACERO INOX.	3.25	5500			
		3.50	6500		1(a,b)	

Figura 33. resistencia del asbesto.[9]

$$t = 10 \sqrt{\left(\frac{0,08 * 100psi}{14555psi * 1} \right) + \left(\frac{1,9 * W * hg}{S * E * D^3} \right)} \quad (152)$$

$$t = 10 \sqrt{\left(\frac{0,08 * 100psi}{14555psi * 1} \right) + \left(\frac{1,9 * 157,08psi * 5,5in}{14555psi * 1 * 10in^3} \right)} \quad (153)$$

$$t = 0,25in \quad (154)$$

Como se obtuvo un espesor mínimo de diseño de 0.25 in o 6.35 mm el cual no se obtiene en el mercado se utilizará una brida de 8mm de grosor la cual sigue cumpliendo los requerimientos de funcionalidad.

VIII-1. Análisis estático

El análisis siguiente se realizó utilizando el software de SolidWorks, con el propósito de llevar a cabo pruebas que permitan verificar la adecuación del diseño del prototipo. Durante estas pruebas se recopilan datos para identificar posibles áreas de debilidad que podrían dar lugar a grietas o deformaciones excesivas. El objetivo fundamental de estas pruebas es asegurar que el diseño del caldero cumpla con las normativas de seguridad establecidas.

Mediante el análisis llevado a cabo en SolidWorks, se busca obtener información detallada sobre cómo el prototipo responderá a diversas condiciones de carga. Esto incluye fuerzas internas como la presión interna generada por el vapor y otros tipos de tensiones. Al simular estos escenarios, es posible identificar áreas potenciales de concentración de tensiones, lo que a su vez podría provocar grietas o deformaciones no deseadas en la estructura.

La prueba se llevó a cabo utilizando una presión de 200 psi, lo cual excede el nivel máximo de presión para el prototipo diseñado. Esta prueba se realiza con el objetivo de evaluar la resistencia estructural del prototipo en condiciones extremas.

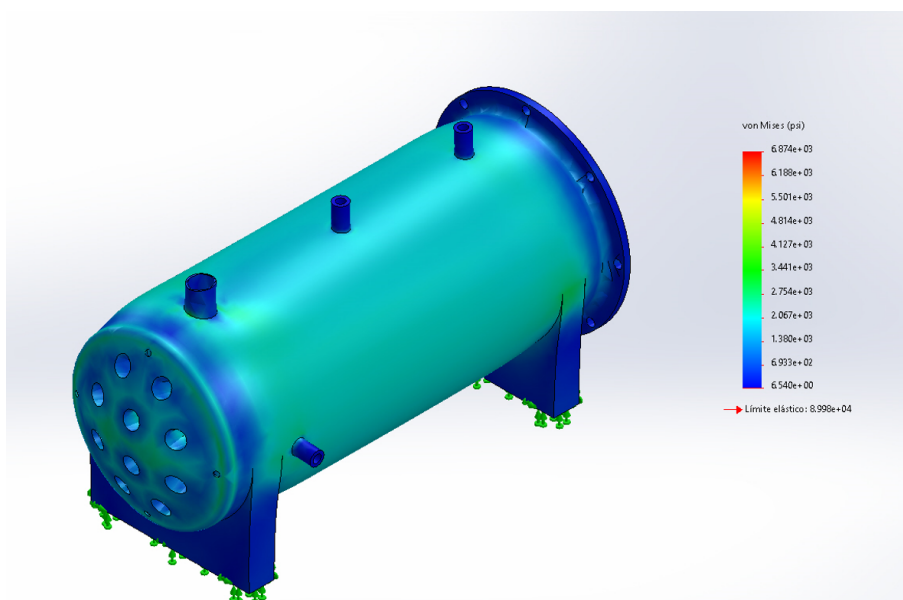


Figura 34. Análisis de tensión.

Este análisis evalúa cómo se distribuyen las tensiones dentro de la caldera bajo la presión interna y las cargas externas. Como se muestra en la figura la estructura es capaz de soportar estas cargas sin exceder los límites de tensión permisibles.

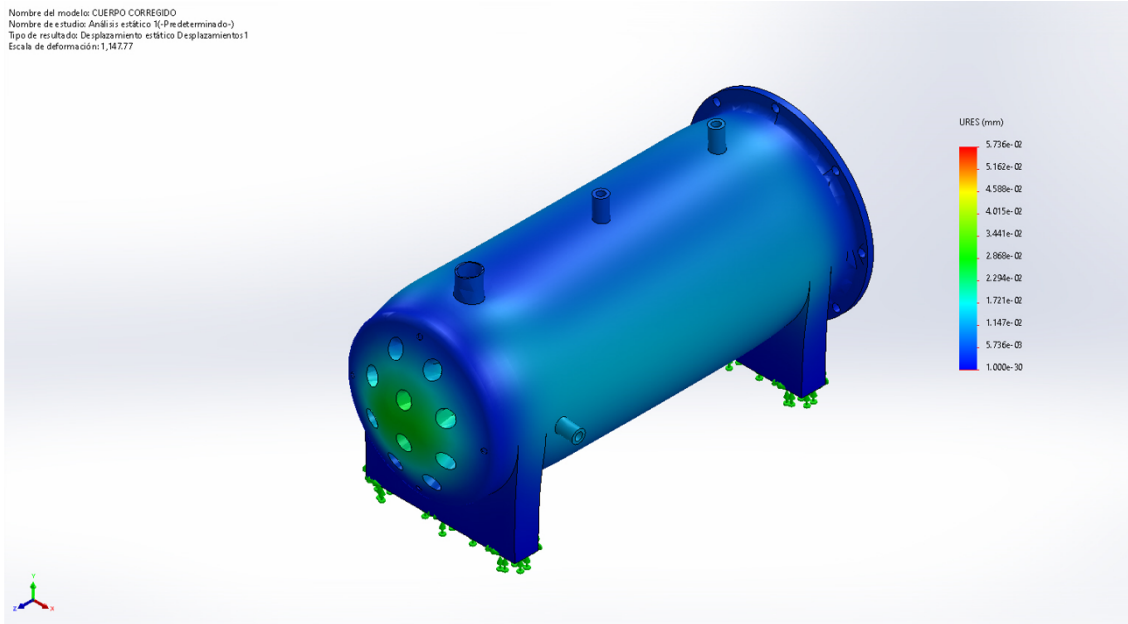


Figura 35. Análisis de desplazamiento.

Con el propósito de comprobar la resistencia y la capacidad de la pieza para soportar las cargas aplicadas, se efectuó un estudio de deformación, cuyos resultados se presentan en la (Figura 35). Se muestra que la deformación de la pieza se mantiene dentro de los límites de deformación aceptables.

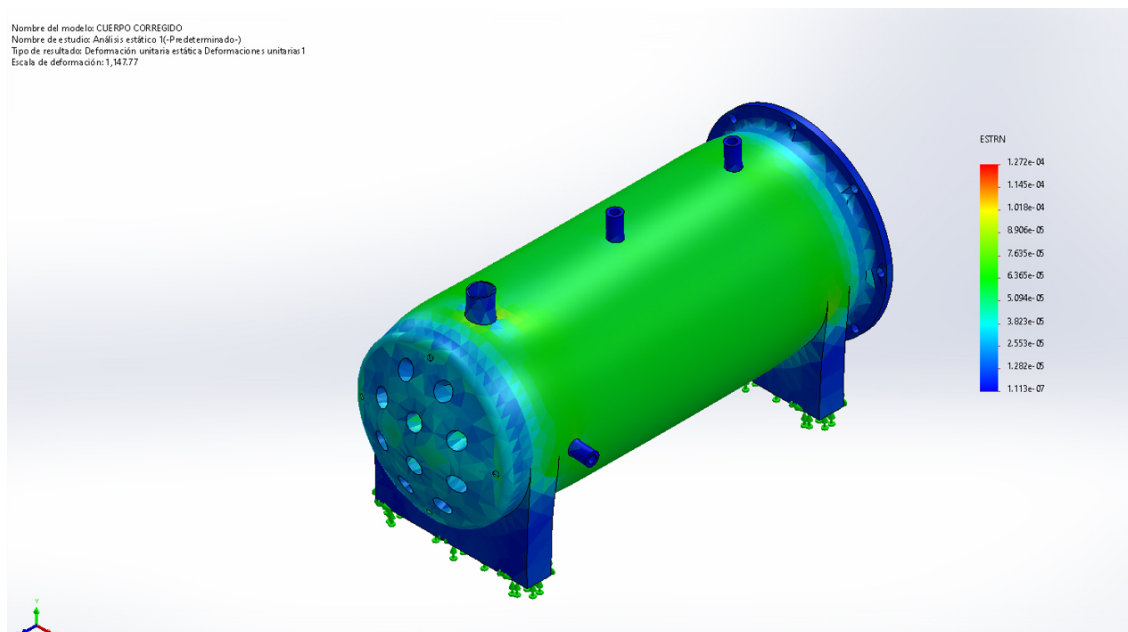


Figura 36. Análisis de deformación unitaria.

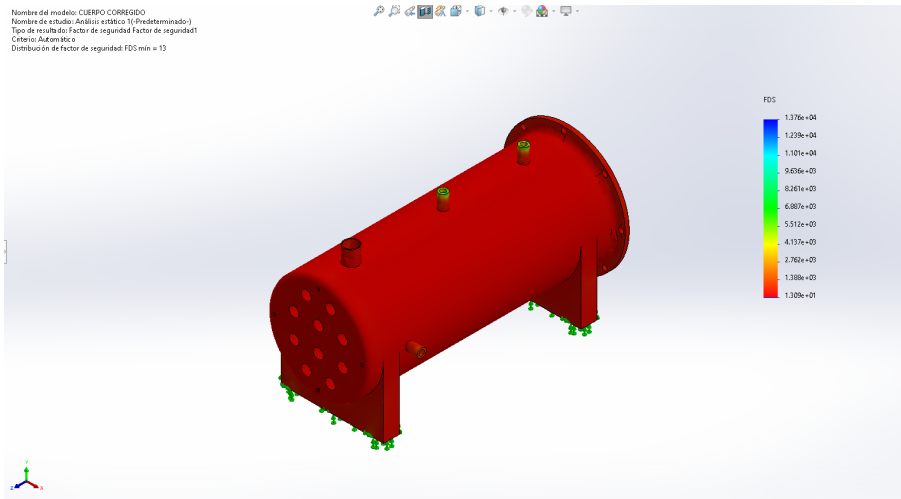


Figura 37. Factor de seguridad.

Con ayuda del software de SolidWorks podemos identificar el factor de seguridad óptimo para nuestro equipo el cual se presenta como dato en (Figura 37).

VIII-II. Conclusiones del análisis en software: A lo largo de los datos obtenidos en base al código ASME para la fabricación de recipientes sometidos a presión y tensión se pudo ratificar las medidas mínimas que el material debería tener para su correcto funcionamiento, así como el material idóneo para que este trabaje correctamente, el proceso al cual se sometió la pieza en un análisis por software a la presión máxima de trabajo que este pueda soportar, en este caso 100 psi, como se ve en la imagen, la gráfica de la derecha da a conocer la tabla de esfuerzos que el material es capaz de soportar tanto por la geometría como por la disposición de esfuerzos. La pieza a evaluar no rompe la línea de color de fluencia o en su caso de deformación y esta muy lejos a este punto, por lo cual se concluye que la pieza sometida a las cargas propuestas si será capaz de soportar las presiones necesarias.

VIII-J. Diseño de dosificador

Se describe el dosificador como la combinación de un tornillo sin fin y tolva que permite el transporte y la descarga controlada de materiales granulares o pulverulentos. El tornillo sin fin es el elemento principal encargado de mover el material a lo largo de su trayectoria. La tolva almacena y suministra el material de manera continua al tornillo sin fin. El funcionamiento de ambos componentes permiten un flujo uniforme y una dosificación precisa del material, lo que es esencial para un correcto proceso de combustión.

Un dosificador mejora la eficiencia energética del proceso de combustión al asegurarse de que se suministre la cantidad precisa de combustible para evitar el desperdicio generando ahorro y a su vez maximizando la conversión de energía química en energía térmica.

VIII-J1. Diseño del tornillo sin fin:

$$\text{Flujo másico} = 0.027 \frac{m^3}{h} \text{ (combustible)}$$

$$\text{Conversión} = 0.95 \frac{ft^3}{h}$$

$$\text{Revoluciones} = \frac{\text{Capacidad por hora}}{(\text{Pies cúbicos por hora})(RPM)}$$

Estandar = Paso = Diámetro helicoidal (Cf1)

$$Cf1 = 1$$

$$Cf2 = 1.37 \text{ (helicoidal de listón) al } 30\%$$

$$Cf3 = \text{No hay pelets por pasos} = 1$$

$$\text{Capacidad} = 0.95(1)(1.37)(1)$$

$$\text{Capacidad} = 1.3 \frac{ft^3}{h}$$

$$4in = 0.41 \frac{ft^3}{h} @ 1Rev.$$

$$1in = 0.0525 \frac{ft^3}{h} @ 1Rev.$$

MAL

Tabla 1-3

Factores de Capacidad para Transportador con Paso Especial CF ₁		
Paso	Descripción	CF ₁
Estándar	Paso = Diámetro del Helicoidal	1.00
Corto	Paso = 2/3 Diámetro del Helicoidal	1.50
Medio	Paso = 1/2 Diámetro del Helicoidal	2.00
Largo	Paso = 1/2 Diámetro del Helicoidal	0.67

Tabla 1-4

Factores de Capacidad para Transportador con Helicoidal Especial CF ₂			
Tipo de Helicoidal	Carga del Transportador		
	15%	30%	45%
Helicoidal con Corte	1.95	1.57	1.43
Helicoidal con Corte y Doblez	N.R.*	3.75	2.54
Helicoidal de Listón	1.04	1.37	1.62

*No se recomienda.
Si no se utilizan ninguno de los tipos anteriores de helicoidal: CF2 = 1.0

Figura 38. Factor de capacidad de transporte [25]

Tabla 1-3

Factores de Capacidad para Transportador con Paso Especial CF ₁		
Paso	Descripción	CF ₁
Estándar	Paso = Diámetro del Helicoidal	1.00
Corto	Paso = 2/3 Diámetro del Helicoidal	1.50
Medio	Paso = 1/2 Diámetro del Helicoidal	2.00
Largo	Paso = 1/2 Diámetro del Helicoidal	0.67

Tabla 1-4

Factores de Capacidad para Transportador con Helicoidal Especial CF ₂			
Tipo de Helicoidal	Carga del Transportador		
	15%	30%	45%
Helicoidal con Corte	1.95	1.57	1.43
Helicoidal con Corte y Doblez	N.R.*	3.75	2.54
Helicoidal de Listón	1.04	1.37	1.62

*No se recomienda.
Si no se utilizan ninguno de los tipos anteriores de helicoidal: CF2 = 1.0

Figura 39. Factores de capacidad de transporte CF1 Y CF2 [25].

Tabla 1-5

Capacidad para Transportador con Paletas Mezcladoras CF ₃					
Paletas Estándar de Paso Invertido a 45°	Paletas por Paso				
	Ninguna	1	2	3	4
Factor CF ₃	1.00	1.08	1.16	1.24	1.32

Figura 40. Factores de capacidad de transporte CF3 [25].

$$N = \frac{1,30 \frac{ft^3}{h}}{0,0525 \frac{ft^3}{h}} \tag{155}$$

$$N = 30RPM \tag{156}$$

Cálculo de potencia de motor

$$H_{total} = \frac{(H_{pf} + H_{pf})F_o}{e} \tag{157}$$

$$H_{pf} = \frac{L * N * Fd * Fb}{1000000} \tag{158}$$

$$H_{pm} = \frac{C * L * W * Ff * Fm * Fp}{1000000} \tag{159}$$

L=longitud del transportador.

N=Revoluciones por minuto.

Fd=Factor del diámetro del transportador

Fb=Factor del buje para colgante.

C=Capacidad en pies cúbicos por hora.

W=Densidad del material en libras por pie cubico.

Ff=Factor de helicoidal.

Fm=Factor del material.

Fp=Factor de paletas.

Fo=Factor de sobrecarga.

e=Eficiencia de transmisión.

$$Hpf = \frac{L * N * Fd * Fb}{1000000} \quad (160)$$

$$Hpf = \frac{0,5 * 30 * 3 * 1}{1000000} \quad (161)$$

$$Hpf = 0,00045hp \quad (162)$$

$$L = 0.5ft$$

$$N = 30rpm$$

$$Fd = 3$$

$$Fb = 1$$

Tabla 1-13

Factor del Buje para Colgante			
Tipo de Buje		Factor del Buje para Colgante F_B	
B	Rodamiento de Bolas	1.0	
L	<i>Martin</i> Bronce		
S	* Bronce Grafitado	2.0	
	* Bronce, Impregnado en Aceite		
	* Madera, Impregnado en Aceite		
	* Nylatron		
	* Nylon		
	* Teflón		
	* UHMW		
	* Melamine (MCB)		
H	* Ertalite® Quadrent	3.4	
	* Uretano		
	* <i>Martin</i> Hierro Endurecido*		4.4
	* Superficie Endurecida		
	* Stellite		
* Cerámico			
	* Aleación de Hierro Blanco		

* Bujes no lubricados o bujes sin lubricación adicional.

Figura 41. Factor de buje colgante F_B . [25]

Tabla 1-12

Factor del Diámetro del Transportador, F_d	
Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)	Factor F_d
4	12.0
6	18.0
9	31.0
10	37.0
12	55.0
14	78.0
16	106.0
18	135.0
20	165.0
24	235.0
30	365.0
36	540.0

Figura 42. Factor de diámetro [25].

$$H_{pm} = \frac{C * L * W * F_f * F_m * F_p}{1000000} \quad (163)$$

$$Hpm = \frac{1,3 * 0,5 * 7,8 * 0,4 * 1}{1000000} \quad (164)$$

$$Hpm = 0,0002hp \quad (165)$$

$$C = 1.3 \frac{ft^3}{h}$$

$$L = 0.5ft$$

$$W = 125 \frac{kg}{h}$$

$$Fm = 0.4$$

$$Fp = 1$$

Material	Peso libras por pie cúbico	Código de Material	Selección de Rodamiento Intermedio	Serie de Componentes	Factor de Material Fm	Carga de Artesa
Tierra para molde de fundición	76	C1/2-36	H	2	1.2	30B
Trebol en semilla	45-48	B6-25N	L-S-B	1	0.4	45
Trigo	45-48	C1/2-25N	L-S-B	1	0.4	45
Trigo sarraceno	37-42	B6-25N	L-S-B	1	0.4	45
Trigo, gérmen	18-28	B6-25	L-S-B	1	0.4	45
Trigo, grano Quebrado	40-45	B6-25N	L-S-B	1	0.4	45
Trigo, harina	33-40	A40-45LP	S	1	0.6	30A
Urea en grano, con recubrimiento	43-46	B6-25	L-S-B	1	1.2	45
Uva, pulpa de	15-20	D3-45U	H	2	1.4	30A
Vermiculita, expandida	16	C1/2-35Y	L-S	1	0.5	30A
Vermiculita, mineral	80	D3-36	H	2	1	30B
Vidrio a granel	80-100	C1/2-37	H	3	2.5	15
Vidrio, pedazos finos	80-120	C1/2-37	H	3	2	15
Vidrio, pedazos, desperdicio	80-120	D16-37	H	3	2.5	15
Viruta de acero, compactada	100-150	D3-46WV	H	3	3	30B
Viruta de Bronce	30-50	B6-45	H	2	2	30A
Yeso, calcinado	55-60	B6-35U	H	2	1.6	30A
Yeso, calcinado, en polvo	60-80	A100-35U	H	2	2	30A
Yeso, crudo 1"	70-80	D3-25	H	2	2	30A
Zinc, residuos concentrados	75-80	B6-37	H	3	1	15

*Consulte a Martin

Figura 43. Factor FM [25].

Factor de Paleta Fp					
Paletas Estándar por Paso. Paletas Ajustadas a 45° Paso Invertido					
Número de Paletas por Paso	0	1	2	3	4
Factor de Paleta - Fp	1.0	1.29	1.58	1.87	2.16

Figura 44. Factor FP [25].

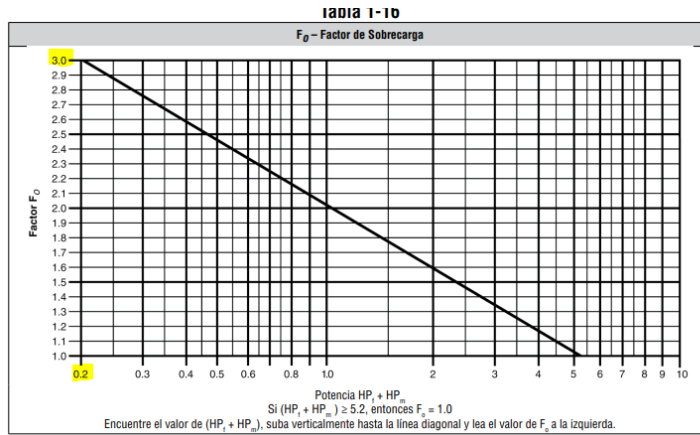


Figura 45. Factor Fo [25].

$$H_{total} = \frac{(H_{pf} + H_{pf})F_o}{e} \quad (166)$$

$$H_{total} = \frac{(0,00045 + 0,005)3}{0,95} \quad (167)$$

$$H_{total} = 0,0015hp \quad (168)$$

Selección de rodamientos.

Datos = 180 fahrenheit o 82 ° C(Temperatura máxima a trabajar según catalogo martinsprocket)

$\phi = 8$ mm

n = 30rpm

Carga máxima = 0.03kN

*619/8 tipo de rodamiento seleccionado

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	B	C	C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-
3	10	4	0,54	0,18	0,007	130 000	80 000	0,0015	623
4	9	2,5	0,423	0,116	0,005	140 000	85 000	0,0007	618/4
	11	4	0,624	0,18	0,008	130 000	80 000	0,0017	619/4
	12	4	0,806	0,28	0,012	120 000	75 000	0,0021	604
	13	5	0,936	0,29	0,012	110 000	67 000	0,0031	624
	16	5	1,11	0,38	0,016	95 000	60 000	0,0054	634
5	11	3	0,468	0,143	0,006	120 000	75 000	0,0012	618/5
	13	4	0,884	0,335	0,014	110 000	70 000	0,0025	619/5
	16	5	1,14	0,38	0,016	95 000	60 000	0,005	625
	19	6	2,34	0,95	0,04	80 000	50 000	0,0085	635
6	13	3,5	0,715	0,224	0,01	110 000	67 000	0,002	618/6
	15	5	0,884	0,27	0,011	100 000	63 000	0,0039	619/6
	19	6	2,34	0,95	0,04	80 000	50 000	0,0081	626
7	14	3,5	0,78	0,26	0,011	100 000	63 000	0,0022	618/7
	17	5	1,06	0,375	0,016	90 000	56 000	0,0049	619/7
	19	6	2,34	0,95	0,04	85 000	53 000	0,0076	607
	22	7	3,45	1,37	0,057	70 000	45 000	0,012	627
8	16	4	0,819	0,3	0,012	90 000	56 000	0,003	618/8
	19	6	1,46	0,465	0,02	85 000	53 000	0,0071	619/8
	22	7	3,45	1,37	0,057	75 000	48 000	0,012	608
	24	8	3,9	1,66	0,071	63 000	40 000	0,018	628
9	17	4	0,871	0,34	0,014	85 000	53 000	0,0034	618/9
	20	6	2,34	0,98	0,043	80 000	50 000	0,0076	619/9
	24	7	3,9	1,66	0,071	70 000	43 000	0,014	609
	26	8	4,75	1,96	0,083	60 000	38 000	0,02	629
10	19	5	1,72	0,83	0,036	80 000	48 000	0,0053	61800
	22	6	2,7	1,27	0,054	70 000	45 000	0,01	61900
	26	8	4,75	1,96	0,083	67 000	40 000	0,019	6000
	28	8	5,07	2,36	0,1	60 000	38 000	0,024	16100
	30	9	5,4	2,36	0,1	56 000	36 000	0,031	6200
	35	11	8,52	3,4	0,143	50 000	32 000	0,053	6300

Figura 46. selección de rodamiento [14].

3.06kg → 0.03kN

Tabla 1-11

Selección de Bujes para Colgantes				
Grupos de Componentes de Bujes	Tipos de Bujes	Material Recomendado para Ejes de Acoplamiento Δ	Temperatura de Operación Máxima Recomendada	F _b
B	Rodamiento de Bolas	Estándar	180°F	1.0
L	Bronce	Estándar	300°F	
S	<i>Nilex</i> Bronce*	Estándar	450°F	2.0
	Bronce Grafitado	Estándar	500°F	
	Bronce Impregnado de Aceite	Estándar	200°F	
	Madera Impregnado de Aceite	Estándar	160°F	
	Nylatron	Estándar	250°F	
	Nylon	Estándar	160°F	
	Teflon	Estándar	250°F	
	UHMW	Estándar	225°F	
	Melamina (MCB)	Estándar	250°F	
	Ertalite® Quadrant	Estándar	200°F	
Uretano	Estándar	200°F		
H	<i>Nilex</i> Hierro Endurecido*	Endurecido	500°F	3.4
	Hierro Endurecido	Endurecido	500°F	4.4
	Sup. Endurecida	Endurecido o Especial	500°F	
	Stellite	Especial	500°F	
	Cerámica	Especial	1,000°F	
	Aleación de Hierro Blanco	Especial	500°F	

* Metal Sinterizado. Auto Lubricado.
 Δ OTROS TIPOS DE MATERIALES PARA EJES
 Otros tipos de ejes pueden ser suministrados en varias aleaciones y acero inoxidable.

Figura 47. temperatura máxima de trabajo. [14]

Lubricación.

$$dm = 0.5(d+D)$$

$$dm = 0,5(8mm+19mm)$$

$$dm = 13.5mm$$

Viscosidad = $190 \text{ mm}^2/s$

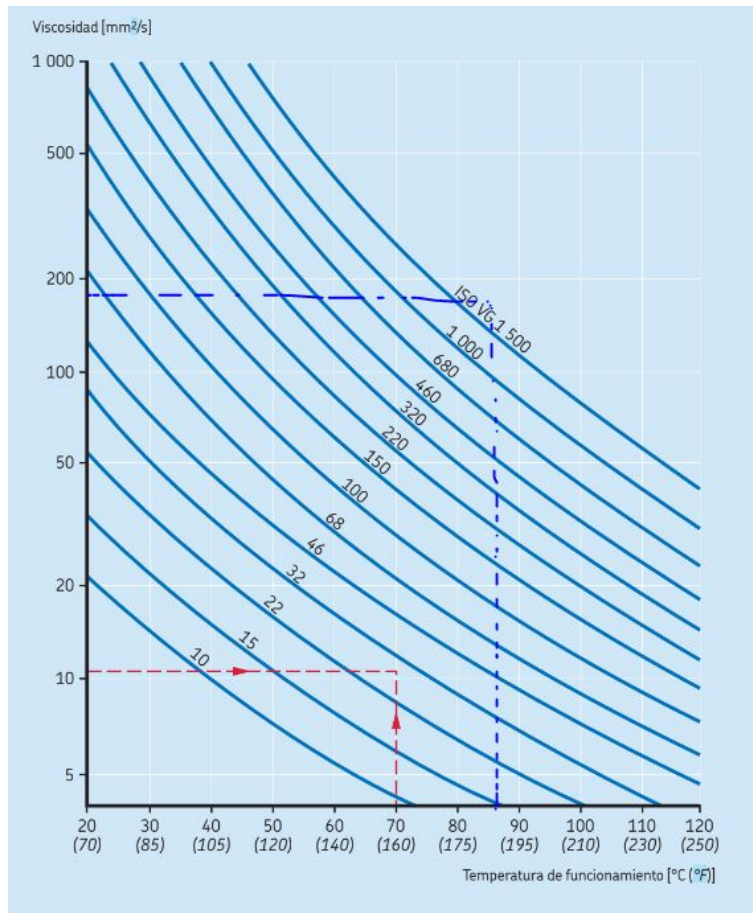


Figura 48. Viscosidad real [14].

Viscosidad tipo lubricante: ISO 220 mm^2/s

Vida nominal

Datos del rodamiento:

$D = 19\text{mm}$

$d = 8\text{mm}$

$C = 1.46$

$C_o = 0.465$

$P_u = 0.02$

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60 * N} \right) \left(\frac{C}{P} \right)^n \quad (169)$$

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60 * 30rpm} \right) \left(\frac{1,46}{0,03kN} \right)^3 \quad (170)$$

$$64035720hr > 1000000hr \quad (171)$$

Factor de contaminación contaminación típica.

$$Ct = 0,2 \quad (172)$$

$$dm < 100mm \quad (173)$$

Condiciones	Factor η_r ¹⁾ para rodamientos con diámetro medio	
	$d_m < 100 \text{ mm}$	$d_m \geq 100 \text{ mm}$
Limpieza extrema <ul style="list-style-type: none"> tamaño de las partículas aproximadamente igual al espesor de la película de lubricante condiciones de laboratorio 	1	1
Gran limpieza <ul style="list-style-type: none"> aceite lubricante con filtración muy fina condiciones típicas: rodamientos sellados lubricados con grasa de por vida 	0,8 ... 0,6	0,9 ... 0,8
Limpieza normal <ul style="list-style-type: none"> aceite lubricante con filtración fina condiciones típicas: rodamientos con placas de protección lubricados con grasa de por vida 	0,6 ... 0,5	0,8 ... 0,6
Contaminación ligera <ul style="list-style-type: none"> condiciones típicas: rodamientos sin sello integral, filtrado grueso, partículas de desgaste y leve ingreso de contaminantes 	0,5 ... 0,3	0,6 ... 0,4
Contaminación típica <ul style="list-style-type: none"> condiciones típicas: rodamientos sin sello integral, filtrado grueso, partículas de desgaste e ingreso de partículas desde el exterior 	0,3 ... 0,1	0,4 ... 0,2
Contaminación severa <ul style="list-style-type: none"> condiciones típicas: altos niveles de contaminación debido a desgaste excesivo o sellos ineficaces disposición de los rodamientos con sellos ineficaces o dañados 	0,1 ... 0	0,1 ... 0
Contaminación muy severa <ul style="list-style-type: none"> condiciones típicas: niveles de contaminación tan graves que los valores de η_r están fuera de escala, lo que reduce significativamente la vida útil del rodamiento 	0	0

¹⁾ La escala para η_r se refiere solo a contaminantes sólidos típicos. No se incluyen contaminantes como el agua u otros fluidos perjudiciales para la vida del rodamiento. Debido al fuerte desgaste abrasivo en entornos altamente contaminados ($\eta_r = 0$), la vida útil de un rodamiento puede ser significativamente inferior a la vida nominal.

Figura 49. contaminación del rodamiento [14].

Condiciones de lubricación.

$$Factoraskr \tag{174}$$

$$n_c \frac{P_u}{P} = 0,2 \left(\frac{0,02}{0,03kN} \right) = 0,133 \tag{175}$$

$$f_{ask} = 2,9 \tag{176}$$

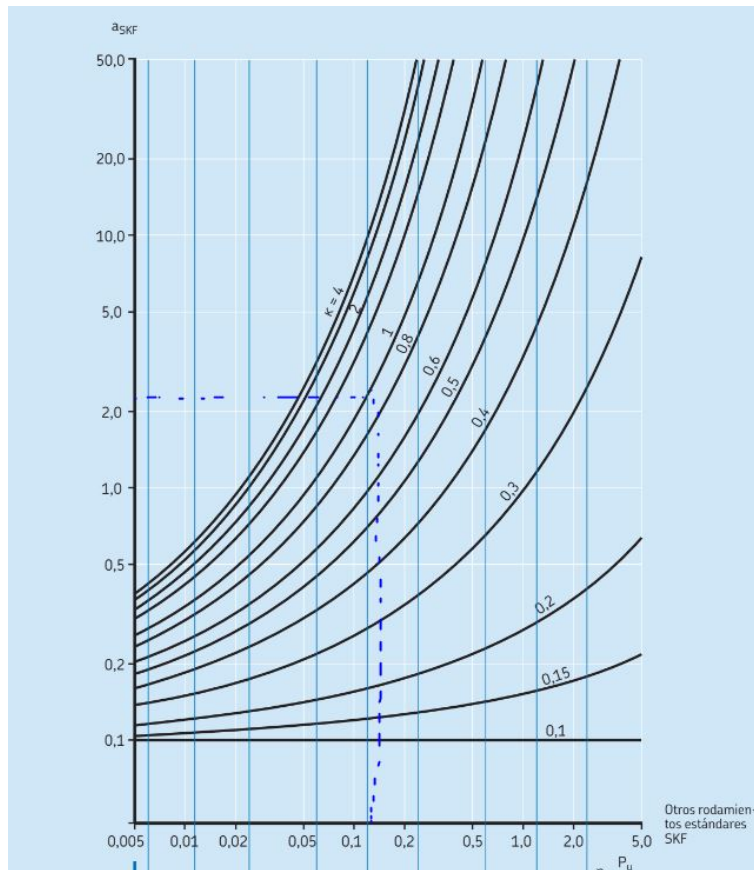


Figura 50. factor askf.[14]

Vida nominal SKF

$$L_{10mh} = askf * L_{10h} \quad (177)$$

$$L_{10mh} = 2,9(64035720) = 185703588 \text{ horas} \quad (178)$$

VIII-J2. Diseño de la tolva:

Para diseñar completamente una tolva cilíndrica se considera varios factores como la capacidad de almacenamiento, la geometría de la tolva, el flujo de material y la velocidad del tornillo. Consideraremos que queremos un funcionamiento de nuestra tolva a ser para dosificar por 5 minutos. Datos proporcionados:

- Flujo de material: 3.06 kg/hora
- Densidad de la cascarilla de arroz: 125 kg/m³
- Diámetro del tornillo: 21mm
- Velocidad del tornillo: 30 revoluciones por minuto

Cálculos:

Calcular el volumen de material a dosificar por hora:

$$\text{Volumen} = \text{Flujo} / \text{Densidad} \quad \text{Volumen} = 3.06 \text{ kg/hora} / (125 \text{ kg/m}^3) = 0.02448 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Calcular el volumen necesario de la tolva:

Dado que el flujo de material es constante y se dosifica durante una hora, el diámetro a utilizar de la tolva es de 5 pulgadas, el volumen de la tolva debe ser igual al volumen de material dosificado durante una hora y su proceso para 10 minutos de trabajo:

$$\begin{aligned} \text{Volumen de la tolva} &= \text{Volumen dosificado por hora} = 0.02448 \text{ m}^3 \\ \text{volumen de la tolva para 10 minutos} &= 0.02448 \text{ m}^3 / 6 = 0.00408 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Calcular el área de la sección transversal de la tolva:

El área de la sección transversal de la tolva es igual a la sección transversal del tornillo, ya que la cascarilla de arroz se descargará a través del tornillo. Utilizaremos la fórmula del área de un círculo:

$$\begin{aligned} \text{Área} &= \pi * (\text{radio})^2 \\ \text{Área} &= \pi * (0,127/2)^2 \\ \text{Área} &= 0.00403225 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Calcular la longitud de la tolva:

Longitud de la tolva = Volumen de la tolva / Área de la sección transversal
Longitud de la tolva = $0.00408 \text{ m}^3 / 0.00403225 \text{ m}^2 = 100 \text{ mm}$

Se hizo el calculo a partir de 1 hora de funcionamiento, pero el sistema a diseñar son 10 minutos de funcionamiento para demostración.

VIII-K. Diseño eléctrico

VIII-K1. Sistema de control de variables:

Presostatos: Son accesorios que funcionan sobre la base de la máxima y mínima presión de trabajo de la caldera. Actúan sobre el quemador, apagándolo al llegar a la máxima presión para lo cual fue regulado y encendiéndolo al alcanzar la mínima presión deseada.

Termostato: Son accesorios que funcionan de acuerdo con la temperatura del agua. Apagan el quemador cuando se obtiene la máxima temperatura para la cual fue regulada.

Control de nivel de agua: Los controles de nivel de agua, tienen por objeto controlar que el agua, dentro de la caldera, se mantenga en un valor o en un rango- determinado.

Inicio y paro de emergencia

Se realiza el inicio del sistema por medio de botón, además de su respectivo paro de emergencia que desenchava la señal de ingreso y apaga la marcha de caldera.

Segmento 1:

inicio y paro de seguridad

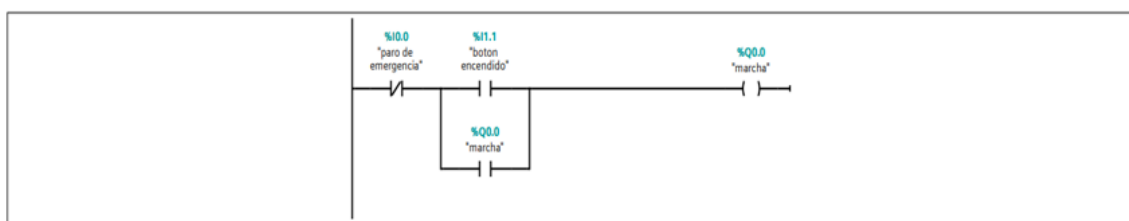


Figura 51. Inicio y paro de emergencia, elaborado por autores.

Método que se utiliza para el control de nivel del agua

El nivel de agua de la caldera se controla poniendo en marcha o parando la bomba de alimentación de agua de la caldera a unos niveles de agua determinados por una sonda y controlador (control on/off), o abriendo o cerrando progresivamente una válvula de alimentación según la demanda de vapor hace que cambie el nivel de agua casos con intervalos entre pruebas extendidos.

Los sistemas de control on / off son más adecuados en instalaciones donde se puede tolerar una cierta variación en la presión de la caldera y el caudal de vapor. Por ejemplo, podrían ser las calderas pequeñas con condiciones

de carga estables.

Se coloca 3 sensores de nivel los cual abrirán la bomba siempre y cuando este entre el rango de nivel alto y nivel mínimo, por el diseño de la caldera la cual no tendrá una gran capacidad, podemos utilizar el sistema on/off.

Segmento 2:

marcha bomba de agua solo se activara en el rango de nivel adecuado y nivel bajo, si llega a tocar el nivel alto este se apagara

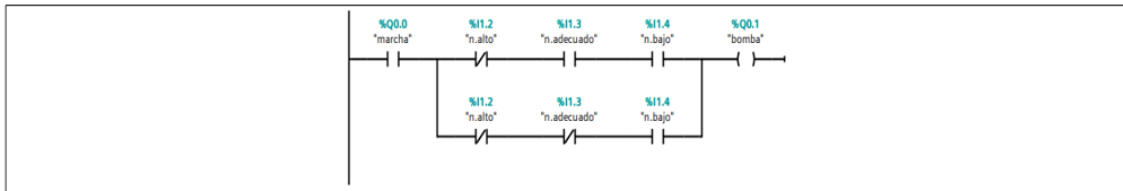


Figura 52. Inicio y paro de emergencia, elaborado por autores.

Método que se utiliza para el control la presión

Se utilizo un presostato el cual dará un bit de salida dependiendo de la presión del caldero, el presostato de colocará y se lo regulará dependiendo de la cantidad de presión a lo que esta diseñada el caldero. Este bit será recogido por el plc el cual apagará tanto el dosificador como el blower para la entrada de aire a la cámara caliente, por lo consiguiente la presión y temperatura de la cámara disminuirá.

Segmento 4:

control de presion, cuando la señal del presostato es activada este mandara una señal al dosificador o blower para que no genere mas presion

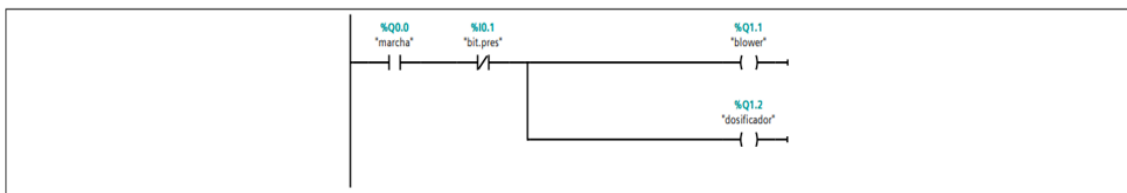


Figura 53. Control de presión, elaborado por autores.

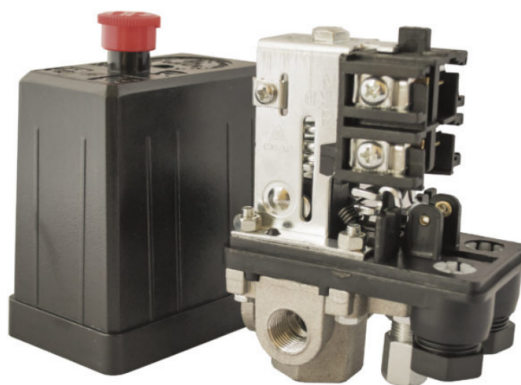


Figura 54. Presostato. [1]

Método utilizado para control de temperatura.

Para controlar temperatura se requiere utilizar una termocupla tipo k, la cual se insertara dentro del caldero para testear la temperatura de este, el caldero trabajara a una temperatura máxima de 150 grados, para la recolección de datos y próxima creación del PID se utiliza las herramientas tecnológicas del tia portal, en este caso PID compact, el cual se regulara con las variables de stock de nuestra termocupla, estos datos se estarán monitoreando regularmente en un ciclo repetitivo y al alcanzar la temperatura máxima, generara un bit on/off el cual desconectara o activara el dosificador y la entrada de aire para que la temperatura dentro de la termocupla no suba a mas de la temperatura deseada.



Figura 55. Sensor de temperatura PT100 [4]

Segmento 5:

control de temperatura

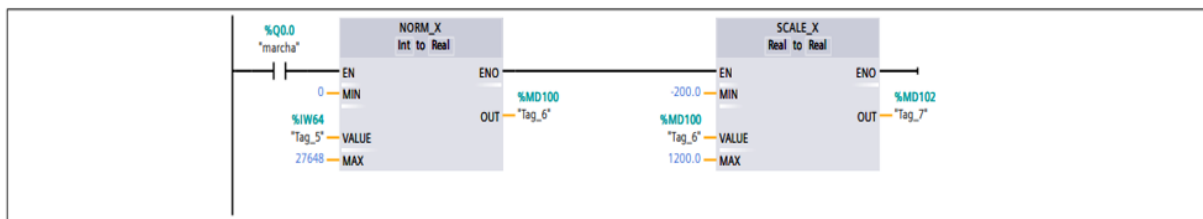


Figura 56. Control de temperatura, elaborado por autores.

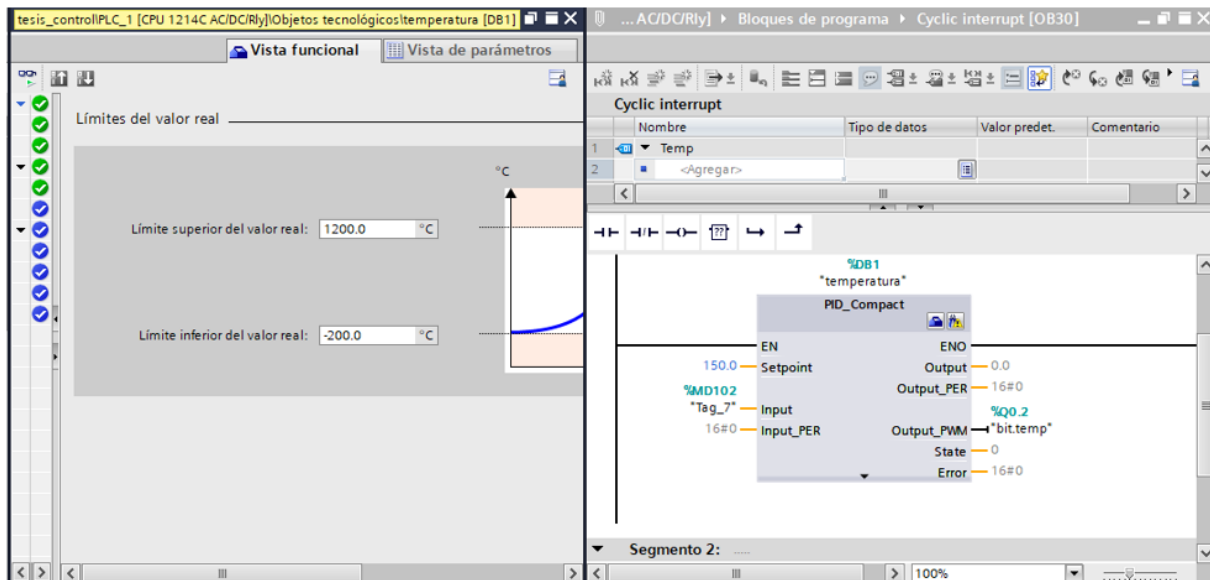


Figura 57. Rango de temperatura, elaborado por autores.

Bit de salida del sistema PID

Segmento 3:

control de temperatura

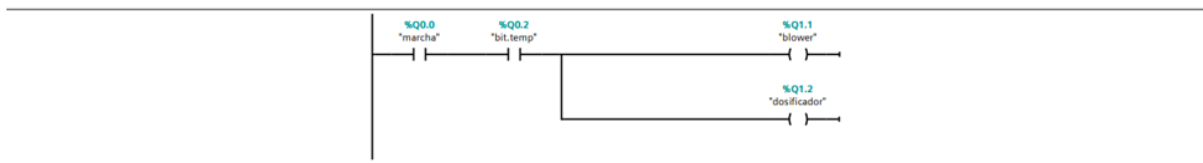


Figura 58. Control temperatura PLC

Diagrama eléctrico.

El siguiente diagrama eléctrico realizado en SolidWorks Electrical (Figura 59) tiene como objetivo representar y documentar de manera clara y organizada la conexión y el funcionamiento de los componentes electrónicos dentro del prototipo de caldera.

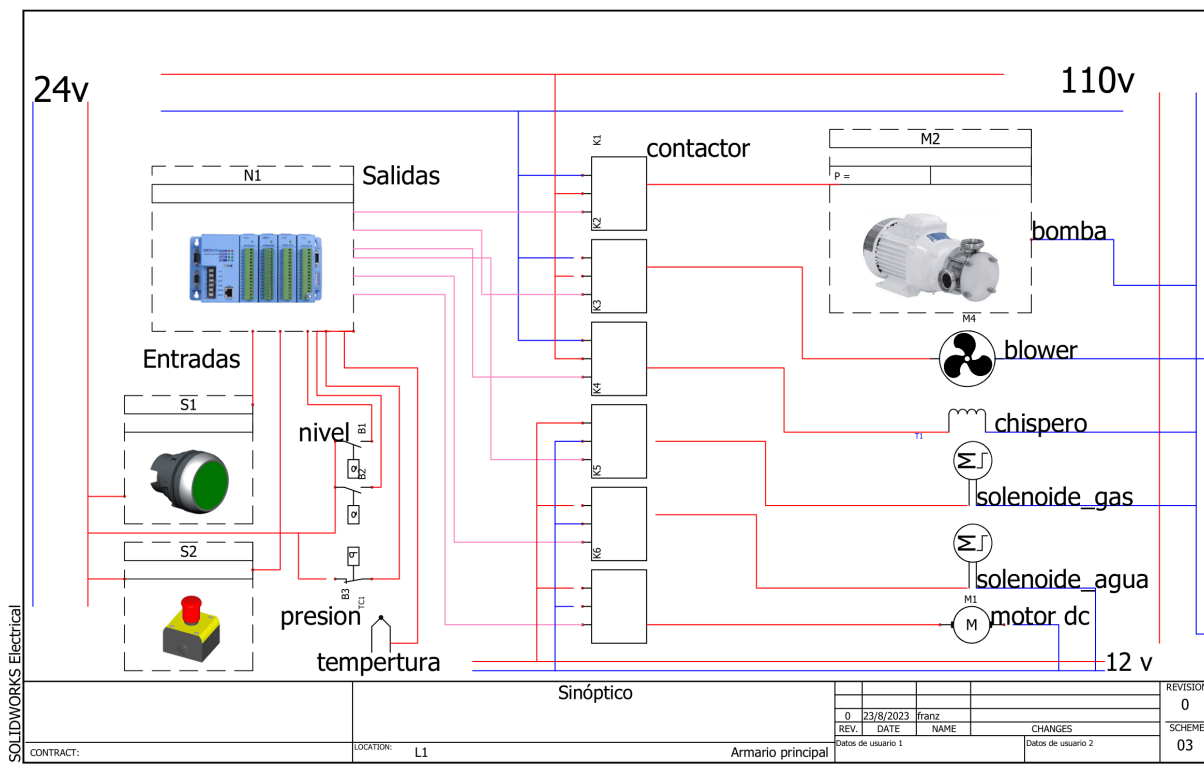


Figura 59. Diagrama de sistema eléctrico

VIII-K2. Cálculos eléctricos:

El consumo de cada componente se calcula por hora siguiendo las especificaciones proporcionadas por los fabricantes. Este consumo se expresa en vatios por hora, ya que el prototipo está diseñado para funcionar demostrativamente durante un período de pocas horas de trabajo.

- V= Voltaje.
- I= Corriente.
- W= Watts.
- T= Tiempo.
- E= Energía Consumida.

$$P = V * I \tag{179}$$

$$E = P * T \tag{180}$$

Motor/Contactor Contactor consumo por hora:

$$P = 110V * 6,5Amp \tag{181}$$

$$P = 715w = 0,72Kw \tag{182}$$

$$E = 0,72Kw * 1h \quad (183)$$

$$E = 0,72Kwh \quad (184)$$

Blower

$$P = 110V * 5Amp \quad (185)$$

$$P = 550w = 0,55Kw \quad (186)$$

$$E = 0,55Kw * 1h \quad (187)$$

$$E = 0,55Kwh \quad (188)$$

Electroválvula para gas

$$P = 110V * 5,5Amp \quad (189)$$

$$P = 605w = 0,61Kw \quad (190)$$

$$E = 0,61Kw * 1h \quad (191)$$

$$E = 0,61Kwh \quad (192)$$

Electroválvula para agua

$$P = 12V * 0,8Amp \quad (193)$$

$$P = 9,6w \quad (194)$$

$$E = 9,6w * 1h \quad (195)$$

$$E = 9,6Wh \quad (196)$$

Relé electromagnético

$$P = 12V * 1,5Amp \quad (197)$$

$$P = 18W \quad (198)$$

$$E = 18w * 1h \quad (199)$$

$$E = 18Wh \quad (200)$$

PLC

$$Consumonominat = 0,5Amp \quad (201)$$

$$P = 24V * 0,5Amp \quad (202)$$

$$P = 12W \quad (203)$$

$$E = 12w * 1h \quad (204)$$

$$E = 12Wh \quad (205)$$

IX. RESULTADOS

IX-A. Análisis de diseño

IX-A1. Pruebas Hidrostáticas en el prototipo: Son procedimientos diseñados para evaluar la resistencia y la integridad de componentes o sistemas que estarán sometidos a presión, como tanques, tuberías, calderas, recipientes a presión y otros equipos.

Para esta prueba se procede a llenar el tanque de agua e introducir aire con un compresor dejando que el manómetro eleve su presión a 50psi lo cual es mayor a la presión que se calcula trabajar con el objetivo de determinar si existen fugas mediante la soldadura de los tubos o defectos en la fabricación del mismo.

La prueba tuvo una duración de 18 horas en la cual se reviso que la presión inicial del manómetro sea igual a la presión al final de la prueba. Una vez comparados los datos se puede seguir con la realización del prototipo, en caso contrario se revisan las soldaduras para determinar las fugas existentes.

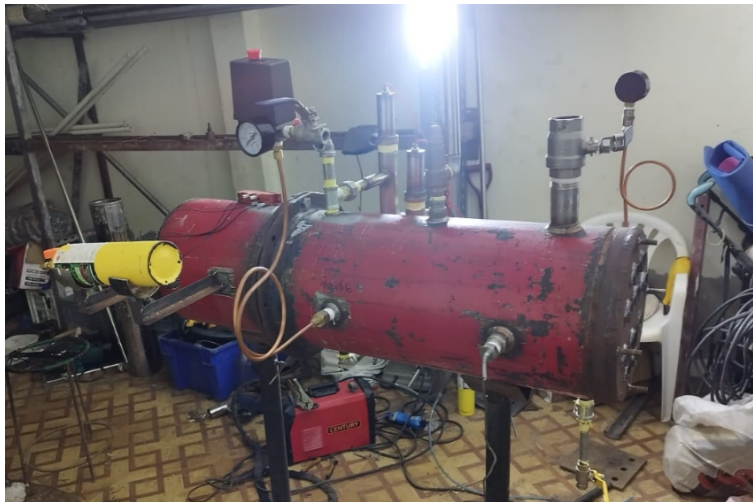


Figura 60. Diseño de prototipo de Caldera, elaborado por autores.

IX-A2. Validación de equipo: En este procedimiento, se llevó a cabo la validación del funcionamiento adecuado del equipo, demostrando su capacidad para generar vapor mediante la utilización de cascarilla de arroz en un proceso de combustión. Como resultado, se obtuvo una cantidad de vapor que se emplea para analizar el rendimiento del equipo. Cabe destacar que esta prueba no se enfoca en un uso específico, sino que está diseñada únicamente con el propósito de demostrar su funcionamiento.



Figura 61. Pruebas realizadas en equipo.

IX-B. Comparación de combustibles.

En esta sección se mostrará la comparación de características y costos del combustible a base de cascarilla de arroz en contraparte al combustible químico tradicional evidenciando sus ventajas para la industria.

IX-B1. *Comparación económica.*: Los precios pueden variar según factores como la demanda, la oferta, la temporada y otros factores locales para ambos combustibles. Para realizar esta comparación se define el poder calorífico de cada uno de los combustibles. (Tabla VIII).

Producción de energía	
Combustible	Poder Calorífico
Cascarilla de arroz	15810 kj/kg
Diésel	42275 kj/kg

Tabla VIII
TABLA DE PODER CALORÍFICO [26]

Los valores son corroborados con cálculos (sección VII-E4), indican cuánta energía se puede obtener al quemar una unidad de masa de cada combustible. La cascarilla de arroz tiene un poder calorífico mucho menor que el diésel, lo que significa que al quemar una cantidad igual de cada combustible, se liberará menos energía de la cascarilla de arroz en comparación con el diésel.

■ Precio de diésel en Ecuador

Para determinar el costo del diésel se obtienen datos de la empresa PETROECUADOR, la cual ofrece precio de ventas mayoristas al sector industrial mostrados en la siguiente tabla.(Tabla IX).

Tabla IX
DATOS DE PRECIO DE DIÉSEL EN ECUADOR.[22]

 **PRECIOS DE VENTA EN TERMINAL PARA LAS COMERCIALIZADORAS CALIFICADAS Y AUTORIZADAS A NIVEL NACIONAL**

PERIODO DE VIGENCIA: DEL 12 DE AGOSTO AL 11 DE SEPTIEMBRE DE 2023

DECRETOS EJECUTIVOS No. 338, 1158, 724 Y 467

PRODUCTO	Unidad de medida	PRECIO EN TERMINAL (Incluye el 12% del I.V.A.) Expresado en US\$
SECTOR INDUSTRIAL		
DIESEL 1 INDUSTRIAL	Galones	\$ 2,859203
DIESEL 2 INDUSTRIAL	Galones	\$ 2,859203
DIESEL PREMIUM INDUSTRIAL	Galones	\$ 3,146119
EXTRA INDUSTRIAL	Galones	\$ 3,174836
EXTRA CON ETANOL INDUSTRIAL	Galones	\$ 3,174836
SUPER PREMIUM 95 PREMIUM INDUSTRIAL	Galones	\$ 3,571781
FUEL OIL No. 6 INDUSTRIAL	Galones	\$ 2,013133
FUEL OIL LIVIANO	Galones	\$ 2,013133
GAS LICUADO DE PETROLEO (GLP) INDUSTRIAL	Kilogramos	\$ 0,731151
RESIDUO CEMENTERO	Galones	\$ 0,964532
RESIDUO INDUSTRIAL	Galones	\$ 0,964532
MINERAL TURPENTINE	Galones	\$ 2,066056
RUBBER SOLVENT	Galones	\$ 2,035182
CEMENTOS ASFALTICOS NO OBRA PUBLICA	Kilogramos	\$ 0,523152
ASFALTOS INDUSTRIALES NO OBRA PUBLICA	Kilogramos	\$ 0,523152
CEMENTOS ASFALTICOS OBRA PUBLICA	Kilogramos	\$ 0,298480
ASFALTOS INDUSTRIALES OBRA PUBLICA	Kilogramos	\$ 0,298480
GASOLINA EXTRA CAMARONERO	Galones	\$ 3,174836
GASOLINA EXTRA CON ETANOL CAMARONERO	Galones	\$ 3,174836
DIESEL 2 CAMARONERO	Galones	\$ 2,859203
DIESEL PREMIUM CAMARONERO	Galones	\$ 3,146119

Nota: Precios conforme la metodología establecida en el Decreto Ejecutivo No. 614, suscrito el 1 de diciembre de 2022

El tipo de diésel utilizado como combustible para calderas es el "DIÉSEL 1 INDUSTRIAL", que posee las siguientes características:

- También conocido como diésel Liviano.

- Está diseñado para motores más modernos y eficientes, como los motores diésel de inyección directa con sistemas de control de emisiones más avanzados.
- Tiene un menor contenido de azufre y emite menos partículas y compuestos dañinos durante la combustión.
- Generalmente es más caro que el diésel 2 debido a su mayor refinamiento y a las tecnologías requeridas para su producción y uso en motores modernos.

■ **Precio de cascarilla de arroz**

Para realizar la correcta verificación de datos con precios actuales en la ciudad de Guayaquil se realizó una cotización en dos piladoras cercanas en vía Daule, luego se procedió a pesar los sacos para anotar el peso y realizar un cálculo de costo por Kg.



Figura 62. Pesado de sacos de cascarilla de arroz.

Se obtiene los siguientes resultados.(Tabla X).

Precio de cascarilla de arroz		
Nombre	Ubicación	Costo por Kg
Piladora Magda Elena	Puente Lucía, Vía Daule Km 27, Guayaquil	\$0,025
Piladora William Manuel	Vía Daule - Salitre E485	\$0,005

Tabla X
TABLA DE PODER CALORÍFICO

En cuanto al costo por kilogramo, la cascarilla de arroz ofrecida por la 'piladora William' resulta más económica, ya que su precio de venta fue de 0.25\$ por 50 kilogramos calculados en dos sacos. Será la opción seleccionada para llevar a cabo la comparación de precios. Dado que la industria siempre busca reducir los costos de materia prima, esta selección se alinea con ese objetivo.

■ **Comparación precio por dolar.**

Diésel

Costo del diésel = \$2.85 por galón

Poder calorífico del diésel = 42275 kJ/kg

Densidad del diésel = 0.835 kg/litro

Conversión de galones a litros: 1 galón 3.78541 litros.

$$Costo\ por\ kilogramo = \frac{Costo\ por\ galón}{(Conversión\ de\ galones\ a\ litros) * (Densidad\ del\ diésel)} \quad (206)$$

$$= \frac{\$2,85}{(3,78541) * (0,835)} = \$1,11 \text{ por kilogramo}$$

$$\text{Poder calorífico por cada dólar} = \left(\frac{\text{Poder calorífico del diésel}}{\text{Costo por kg poder calorífico por dólar}} \right) \quad (207)$$

$$= \frac{42275 \text{ kJ/kg}}{\$1,11/\text{kg}} \approx 38099 \text{ kJ/\$}$$

Cascarilla de arroz.

Costo por kilogramo de cascarilla de arroz = \$0.005 por kilogramo

Poder calorífico de la cascarilla de arroz = 15810 kJ/kg

$$\text{Poder calorífico por cada dólar} = \left(\frac{\text{Poder calorífico de la cascarilla de arroz}}{\text{Costo por kilogramo en dólares}} \right) \quad (208)$$

$$= \frac{15810 \text{ kJ/kg}}{\$0,005/\text{kg}} \approx 3162000 \text{ kJ/\$}$$

Por cada dólar gastado en cascarilla de arroz al costo proporcionado, Se obtiene aproximadamente 3162000 KJ de energía en forma de calor.

En el análisis de los datos, se observa que la cascarilla de arroz tiene un poder calorífico mucho mayor y provee una cantidad significativamente superior de energía por cada dólar invertido en contraposición al diésel.

Se utilizo los datos recolectados para obtener los siguientes gráficos (Figura 63), demostrando claramente que, desde una perspectiva económica, es más conveniente utilizar combustible a base de cascarilla. Esto se debe a que, por un precio menor, podemos obtener una mayor cantidad de energía.

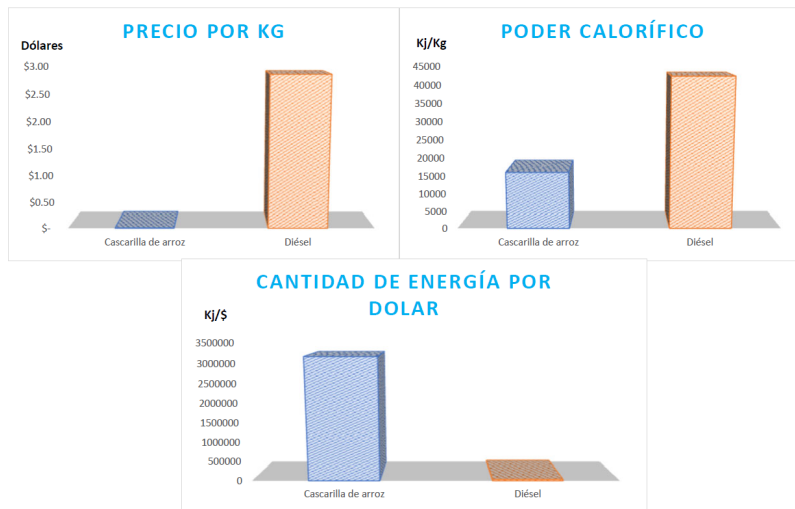


Figura 63. Resultados en comparación de combustibles, elaborado por autores.

En los gráficos (Figura 63) Se visualiza de manera más clara los resultados obtenidos en la comparativa entre costo, poder calorífico y cantidad de energía por dólar.

X. CRONOGRAMA

Se mostrara el cronograma de trabajo en la tabla a continuación: XI.

Tabla XI
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.

PROYECTO TITULACIÓN																												
ACTIVIDADES	FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Propuesta de tema para trabajo de titulación																												
Planteamiento del proyecto																												
Análisis de datos																												
Extraer información y establecer objetivos																												
Planteamiento de alcance																												
Plantear limitaciones																												
Revisión de tutor																												
Correcciones propuestas																												
Segunda Revisión																												
Definición del proyecto																												
Desarrollos de plano de prototipo																												
Desarrollo de parte de control																												
Revisión de planos y planteamiento por el tutor																												
Desarrollo del prototipo																												
Implementación de parte de control																												
Revisión 1																												
Correcciones y modificaciones en prototipo																												
Revisión 2																												
Ultimar detalles correctivos																												
Revisión final con el tutor																												
Demostración de funcionamiento de prototipo																												
Finalización																												

XI. PRESUPUESTO

Tabla XII
TABLA DE PRESUPUESTO.

Presupuesto para prototipo de caldero de Biomasa.		
	RECURSO	VALOR
DOSIFICADOR	TORNILLO SIN FIN	\$ 30.00
	TUBERÍAS TRANSPORTADORAS	\$ 25.00
	CARCAZA	\$ 20.00
	BLOWER	\$ 68.00
	TOLVA	\$ 20.00
QUEMADOR	PROPANO	\$ 20.00
	CHISPERO	\$ 12.00
	BOQUILLAS	\$ 10.00
	ACCESORIOS DE BRONCE	\$ 65.00
CALDERA	QUEMADOR	\$ 50.00
	CÁMARA DE COMBUSTIÓN	\$ 80.00
	BRIDAS Y ESPEJOS	\$ 150.00
	TUBERÍAS PARA CALENTAMIENTO	\$ 50.00
	TUBERÍA PARA CUERPO DE CALDERA	\$ 80.00
	VÁLVULA DE SEGURIDAD	\$ 60.00
	ACCESORIOS PARA TUBERÍA	\$ 60.00
	SOPORTERÍA	\$ 40.00
	VÁLVULAS	\$ 40.00
	CIRCUITO DE AGUA	\$ 40.00
	CHIMENEA	\$ 80.00
AUTOMATIZACIÓN	CABLES	\$ 30.00
	MOTORES ELÉCTRICOS	\$ 12.00
	ELECTROVÁLVULA PARA AGUA	\$ 25.00
	FUENTE DE ALIMENTACIÓN	\$ 30.00
	SENSOR DE TEMPERATURA	\$ 50.00
	BOMBA DE AGUA	\$ 70.00
	PRESOSTATO	\$ 15.00
	CONTACTOR	\$ 20.00
RECURSOS ADICIONALES	SOLDADURA	\$ 300.00
	DISEÑO DE PLANOS	\$ 30.00
	TRANSPORTE	\$ 50.00
TOTAL		\$ 1,632.00

XII. CONCLUSIONES

Se logro demostrar a través de pruebas, cálculos y comparaciones que la implementación de calderas de biomasa puede proporcionar ventajas económicas y ambientales en comparación con los combustibles químicos tradicionales. La generación de vapor a partir de la cascarilla de arroz no solo reduce las emisiones de gases nocivos, sino que también ofrece una solución más eficiente y sostenible en términos de costos y mantenimiento.

Al comparar la generación de energía por dólar entre la cascarilla de arroz y el diésel, se evidencia claramente la ventaja de la cascarilla de arroz. Sin embargo, es fundamental tener en cuenta la disponibilidad de espacio en la empresa que considere su uso, dado que esta fuente genera más energía, pero requiere una mayor cantidad de materia prima.

Mediante el análisis en la caracterización de la biomasa y diseño del prototipo de caldera, esta investigación ha determinado una estrategia viable para reducir las emisiones nocivas y el impacto ambiental de la generación de vapor en entornos industriales.

La utilización de software CAD para análisis de estructura mecánica permitió modelar y simular virtualmente las cargas, tensiones y deformaciones a las que se sometería el prototipo en condiciones operativas reales. Se demuestra como se comportaría la estructura ante diferentes escenarios de funcionamiento, lo que a su vez facilitó la identificación y corrección temprana de posibles puntos débiles o áreas de mejora.

Con la implementación de sensores y sistema de control se logro adquirir experiencia y práctica ante futuras situaciones laborales, garantizando la seguridad y el óptimo rendimiento del prototipo. Además de permitir la supervisión y el mantenimiento efectivo de los dispositivos de control de presión.

XIII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que la implementación del prototipo de caldera ecológica se realice de manera gradual, comenzando con pruebas a pequeña escala hasta obtener que todo funcione en conjunto correctamente.
- En un entorno industrial a gran escala se recomienda la capacitación adecuada para los operadores y personal encargado de operar y mantener la caldera ecológica. Esto incluye la comprensión de los sistemas de control, el manejo de la biomasa y la correcta supervisión de los dispositivos de seguridad.
- Continuar la investigación en el uso de biomasa y otras fuentes de energía renovable como combustible. Proporciona recomendaciones para investigaciones futuras que puedan optimizar aún más la eficiencia y la sostenibilidad de la generación de vapor.
- Considerar la posibilidad de realizar un estudio de evaluación del impacto ambiental a largo plazo de la caldera ecológica implementada en un entorno industrial real.

XIV. ANEXOS

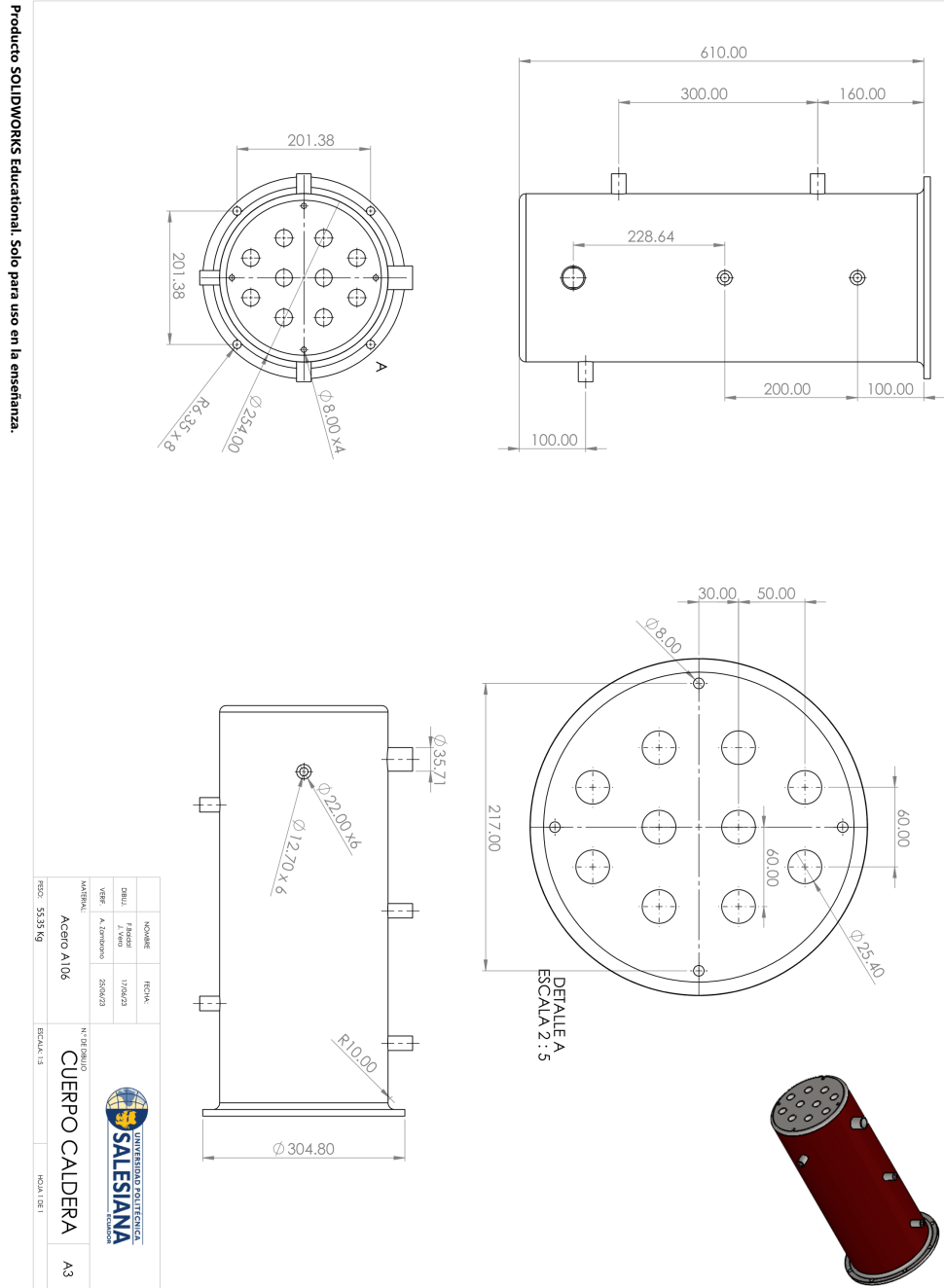


Figura 64. Diseño de Cerpo de caldera

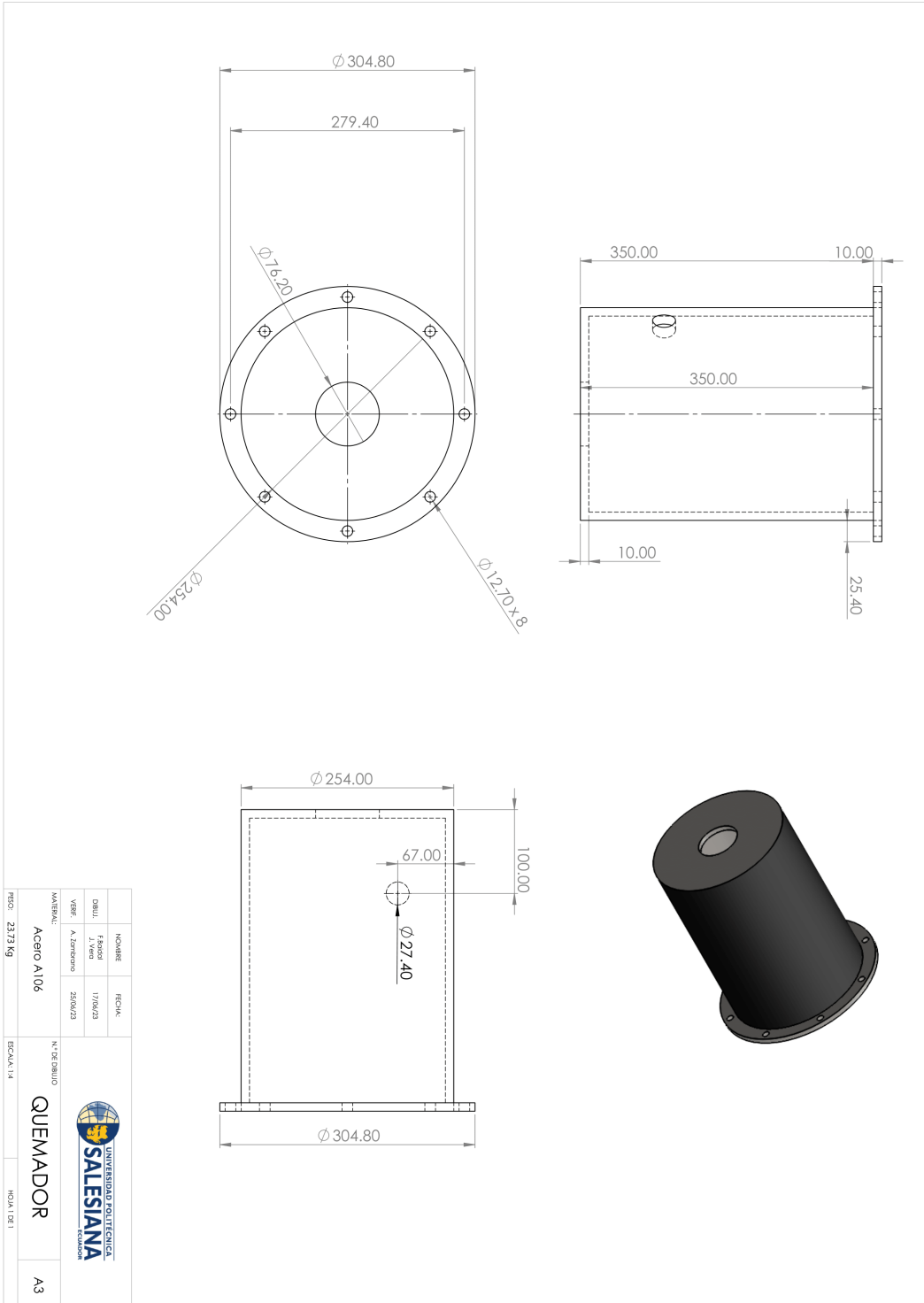
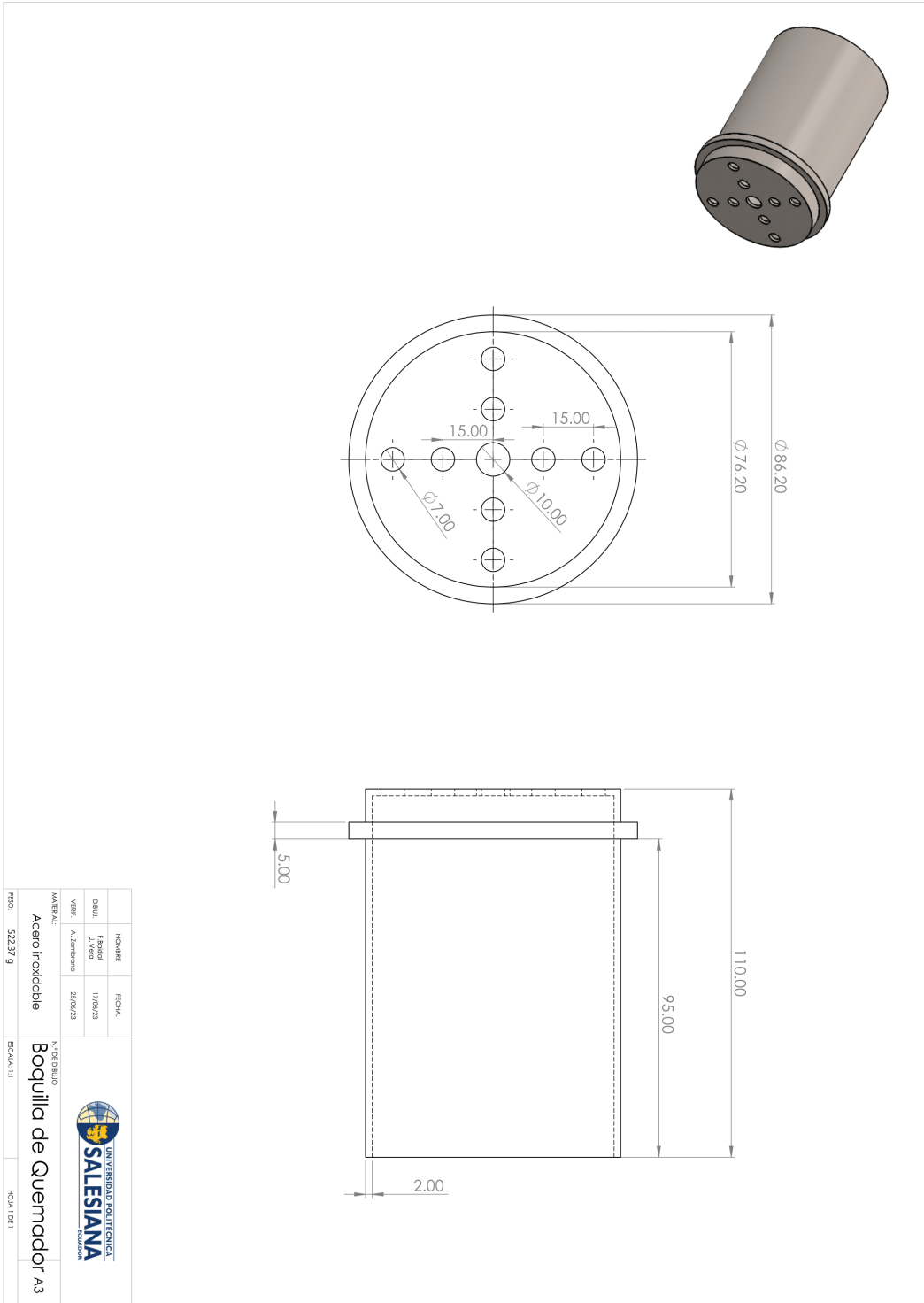


Figura 65. Diseño de Quemador



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Figura 66. Diseño de Boquilla de quemador

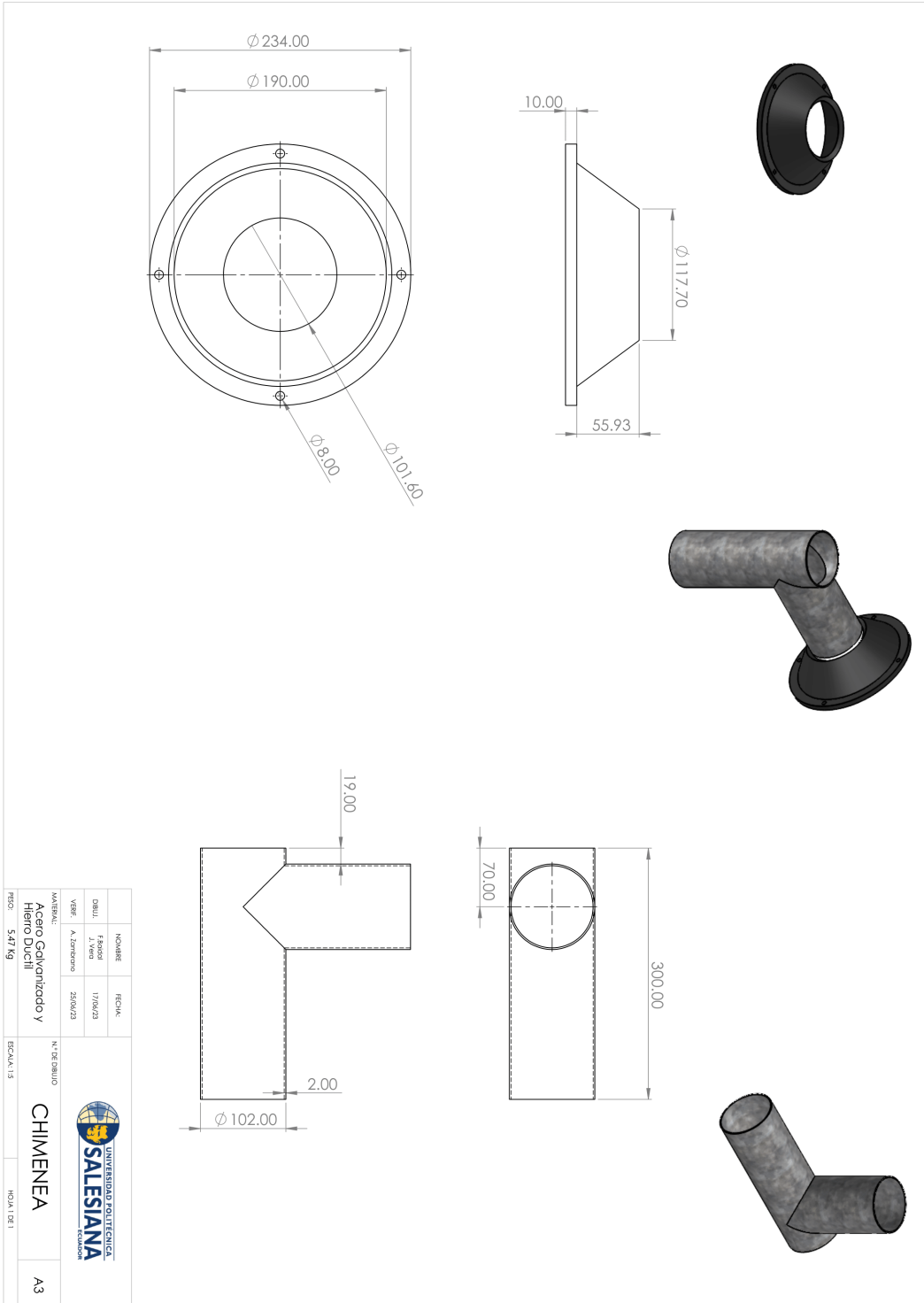


Figura 67. Diseño de Chimenea

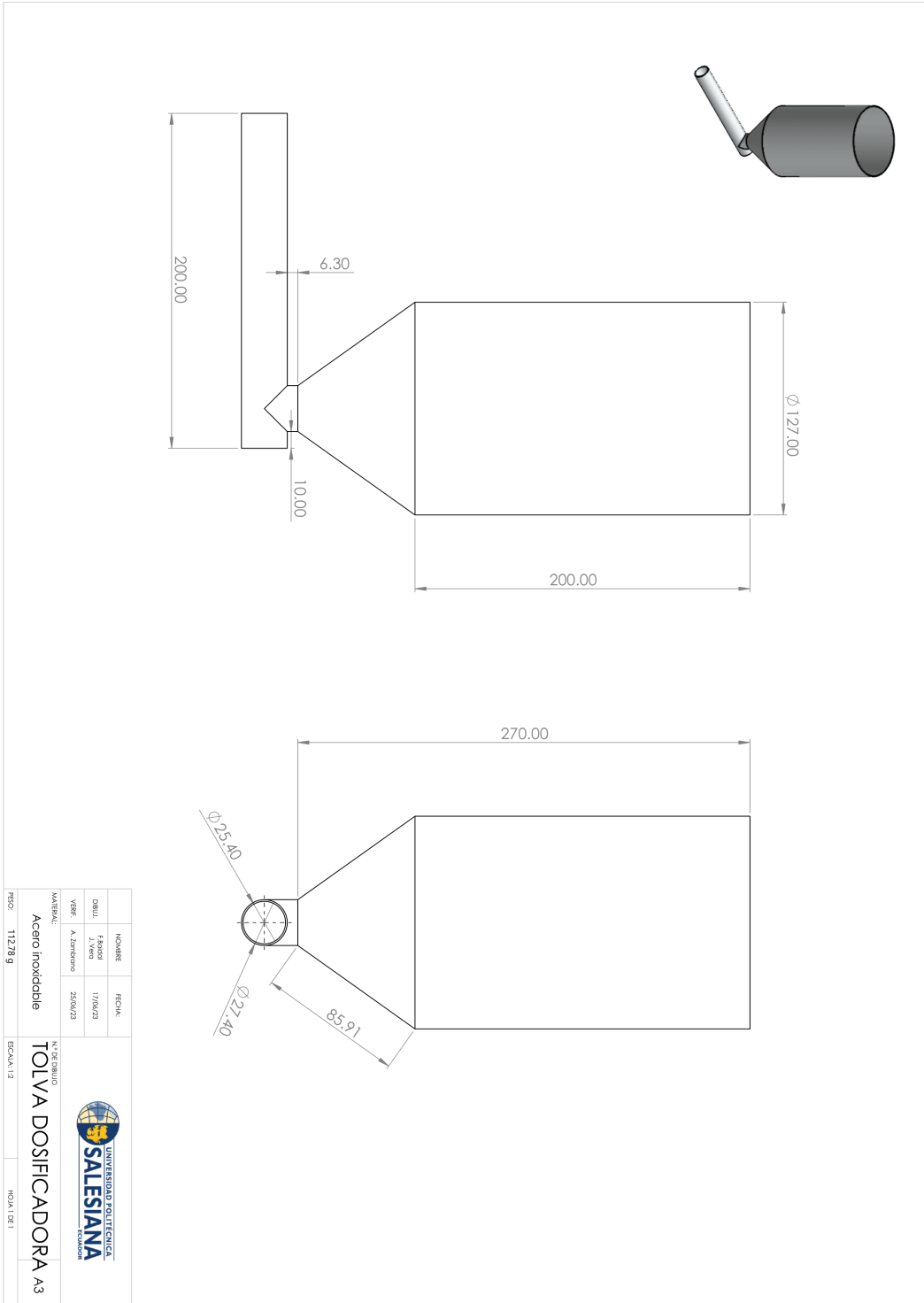
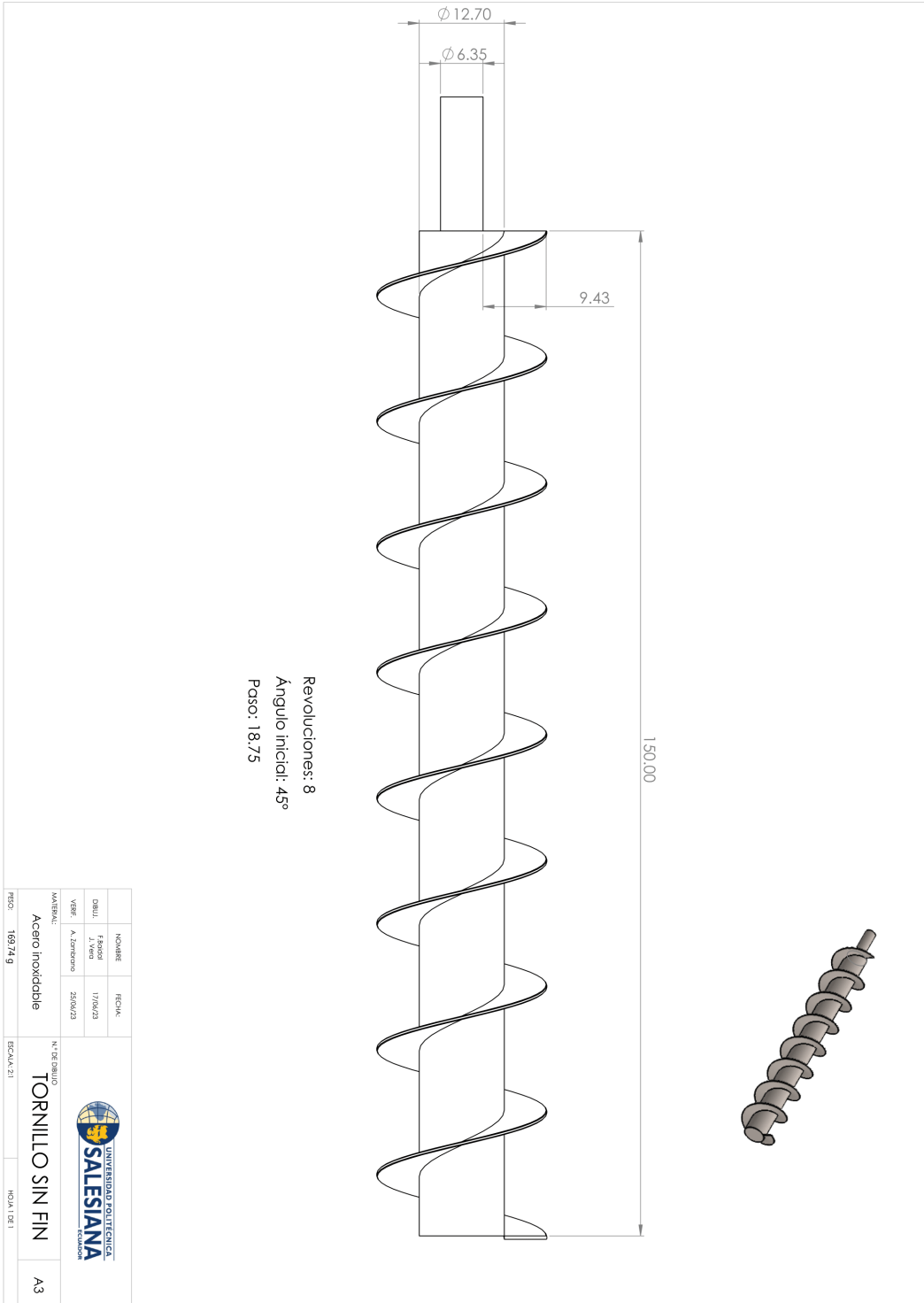
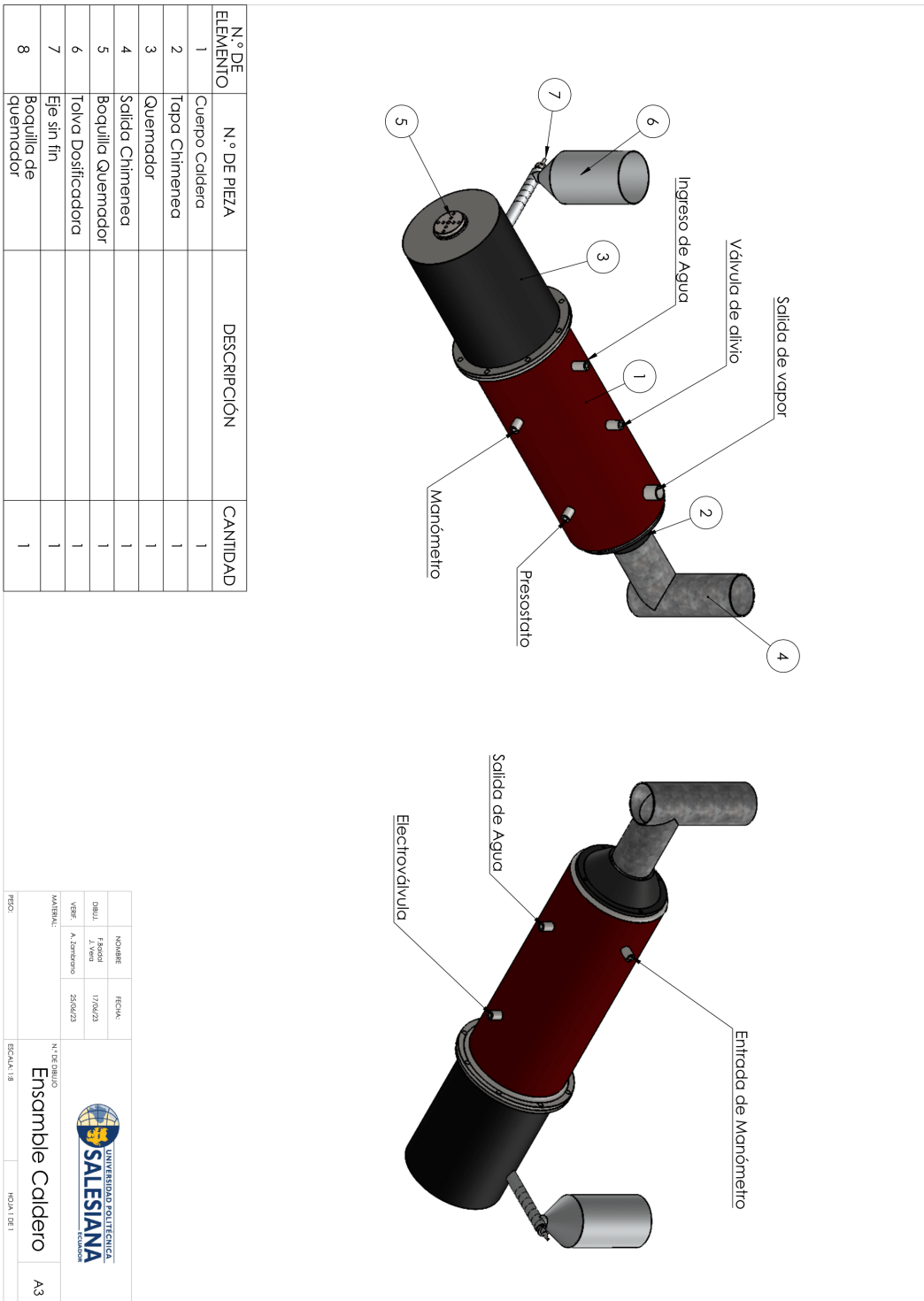


Figura 68. Diseño de Tolva dosificadora



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Figura 69. Diseño de Tronillo sin fin



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Figura 70. Ensamble en SolidWorks



ESPAMMFL

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
AGROPECUARIA DE MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ

**LABORATORIO DE QUÍMICA AMBIENTAL Y SUELOS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

CERTIFICACIÓN

Por medio de la presente certifico que los estudiantes **FRANZ DAVID BAIDAL GOMEZ Y JEAN PIERE VERA CHÁVEZ** realizaron prácticas para la determinación del contenido de Carbono, Oxígeno, Ceniza, Nitrógeno y Azufre, prácticas que estuvieron supervisadas por el técnico a cargo.

Particular que me suscribe a usted para los fines legales pertinentes.

Atentamente

Ing. Fabián Peñarrieta Macías, Mg

**Técnico del Laboratorio de Química Ambiental y Suelo
ESPAM –MFL**

Escaneado con CamScanner

Figura 71. Certificado de pruebas químicas

**LABORATORIO DE QUÍMICA AMBIENTAL
Y SUELOS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



TIPO DE ANÁLISIS

Análisis de composición química en cascarilla de arroz

INTRUMENTOS UTILIZADOS

- Calorímetro (HACH DR900)
- Gramera
- Mufia (BIOBASE)
- Balanza electrónica Analítica (U.S SOLID)
- Probetas

RESULTADOS DE ANALISIS

Tipo de muestra: Cascarilla de arroz

Peso de muestra: 100g .

CASCARILLA DE ARROZ	
Parámetros	%
<i>Azufre</i>	2%
<i>Carbono</i>	40%
<i>Hidrógeno</i>	5%
<i>Nitrógeno</i>	0,3%
<i>Oxígeno</i>	32%
<i>Cenizas</i>	20%
Total	100%

Escaneado con CamScanner

Figura 72. Resultado de pruebas químicas



Figura 73. Conexión de tablero eléctrico.



Figura 74. Preparación de cuerpo de caldera.



Figura 75. Corte de espejo y bridas.



Figura 76. Perforación de espejos.



Figura 77. Perforación de pernos.



Figura 78. Soldadura en Caldero.

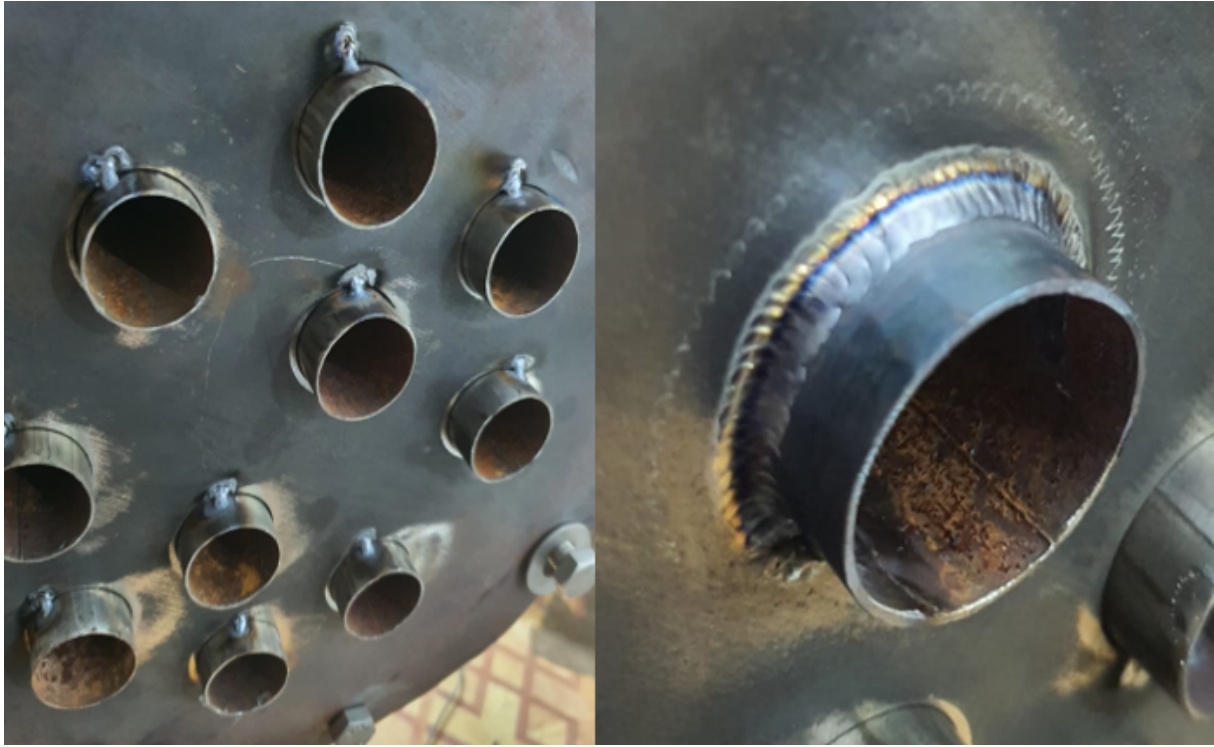


Figura 79. Soldadura de tubos internos

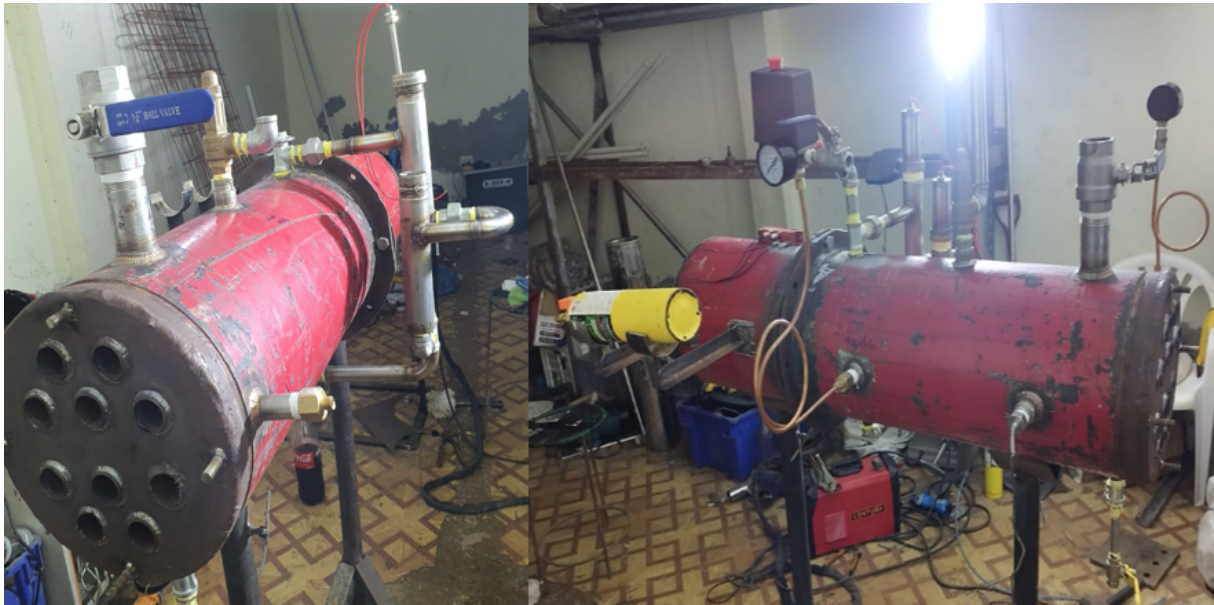


Figura 80. Colocación de tuberías y sensores.



Figura 81. Prototipo Final de Caldero.

REFERENCIAS

- [1] AirCompressorMPC, «Presostato Monofásico 4 vías.,» [Disponible en: <https://www.aircompressormpc.com/producto/presostato-mpc-import-descarga-6-mm/>; Accedido el: 14 de Agosto del 2023], 2022.
- [2] Anónimo, «CALDERAS ACUOTUBULARES FRENTE A CALDERAS PIROTUBULARES.» [Disponible en: <https://hvac-eng.com/es/calderas-acuotubulares-versus-pirotubulares/gsc.tab=0.>; Accedido el: 20 de Enero del 2023], 2022.
- [3] J. S. Arroyo Vinuesa, «Aprovechamiento del recurso biomasa a partir de los desechos de madera para una caldera de vapor,» [Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/11994%7D.>; Accedido el: 20 de Enero del 2023], 2016.
- [4] Avelectronics, «Sensor Temperatura Sumergible WZP PT100.,» [Disponible en: <https://avelectronics.cc/producto/sensor-temperatura-sumergible-wzp-pt100/>; Accedido el: 16 de Agosto del 2023], 2023.
- [5] J. M. Borja Borja, *Diseño y construcción de un equipo para control de nivel de líquidos.* Borja Borja, Johnny Marlon. (2013). Diseño y construcción de un equipo para control de nivel de líquidos. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba., 2013.
- [6] E. Cerdá, *Energía obtenida a partir de biomasa.* FEDER y Ministerio de Ciencia e Innovación ECO2009-14586-C2-01., 2012.
- [7] M. I. Ecu., «MANOMETRO DE BRONCE PARA PRESIÓN.,» [Disponible en: <https://mercadoindustrialec.com/tienda/manometro-de-0-a-30-psi-caratula-4-toma-1-2-vertical-t-inf-bronce-modelo-pfq.>; Accedido el: 20 de Enero del 2023], 2023.
- [8] B. Ecuador, «BLOWER CENTRIFUGO,» [Disponible en: <https://www.bpecuador.com/producto/fraguas-2-1-2-110v/>; Accedido el: 22 de Enero del 2023], 2023.
- [9] J. L. Estrada, «Diseño y cálculo de recipientes a presión.,» [Disponible en: <http://librosdelpobre.blogspot.com/2016/04/a-y-calculo-de-recipientes-presion.html>; Accedido el: 16 de Agosto del 2023], 2001.

- [10] J. Fernández, *Energía de la biomasa*. 1era Edición Pg6-15, 2003.
- [11] ForoNuclear, «¿Qué es la energía biomásica y cómo se puede aprovechar?» [Disponible en: <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-distintas-fuentes-de-energia/que-es-la-energia-biomasica-y-como-se-puede-aprovechar/>.; Accedido el: 25 de Enero del 2023], 2023.
- [12] A. P. Guerra, «CALDEROS DE BIOMASA, UNA GRAN ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA SECTORES RURALES LATINOAMERICANOS,» [Disponible en: <http://mecanotecnia.blogspot.com/2018/07/calderos-de-biomasa-una-gran-alternativa.html>.; Accedido el: 20 de Enero del 2023], 2018.
- [13] V. para la industria., «SISTEMAS DE CONTROL DE NIVEL AUTOMÁTICOS EN CALDERAS DE VAPOR,» [Disponible en: <https://vaporparalaindustria.com/sistemas-de-control-de-nivel-automaticos-en-calderas-de-vapor/>.; Accedido el: 25 de Enero del 2023], 2021.
- [14] S. Industries, «Rodamientos,» [Disponible en: https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d19680416953/pdf_preview/16deAgostodel2023], 2014.
- [15] H. V. Javier Díaz Diego Ortega, «Diseño y construcción de un caldero pirotubular de 5BHP controlado mediante un sistema SCADA,» Universidad Tecnológica Equinoccial, 2011.
- [16] T. H. Karl Johan Åström, *Control PID avanzado*. Åström, K. J., Hägglund, T. (2009). Control PID avanzado. Pearson, Madrid., 2009.
- [17] W. M. Kays y H. G. Perkins, *Experimental Study of Heat Transfer to Flowing Air inside a Circular Tube with Longitudinal Continuous and Interrupted Fins*. 1972.
- [18] J. A. P. Lecter, «Codigo ASME Sección I,» [Disponible en: <https://es.scribd.com/document/420851910/Codigo-ASME-seccion-i-pdf>; Accedido el: 16 de Agosto del 2023], 2020.
- [19] F. P. Ledesma, «Alimentador de tornillo sin fin tubular,» [Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=7EqtK466Fc>; Accedido el: 25 de Enero del 2023], 2014.
- [20] MantisSystems, «servomotor S3003,» [Disponible en: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1221444/ETC1/S3003.html>; Accedido el: 22 de Julio del 2023], 2019.
- [21] MantisSystems, «Siemens SIMATIC S7-1200 PLC,» [Disponible en: <https://mantis-sys.co.nz/product/siemens-simatic-s7-1200-plc/>; Accedido el: 21 de Julio del 2023], 2023.
- [22] E. PETROECUADOR, «precios de venta en terminal para las comercializadoras,» [Disponible en: <https://www.eppetroecuador.ec/?p=6855>; Accedido el: 14 de Agosto del 2023], 2023.
- [23] A. R. SALVADOR, «PROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA ALTERNATIVA A LOS COMBUSTIBLES FÓSILES,» [Disponible en: <https://rac.es/ficheros/doc/00979.pdf%7D>.; Accedido el: 20 de Enero del 2023], 2016.
- [24] J. C. Sanchis, «Medidor de nivel de agua,» [Disponible en: <https://www.calderasformacion.com/medidor-de-nivel-de-agua/>.; Accedido el: 22 de Enero del 2023], 2016.
- [25] M. Sprocket, «Manejo de Materiales,» [Disponible en: <https://pdf.directindustry.es/pdf/martin-sprocket-gear-9091.html> ; Accedido el: 16 de Agosto del 2023], 2014.
- [26] R. J. Urquiza Javier Acero Humberto, «Reemplazar el uso de diesel por cascarilla de arroz empleado para generación de vapor. aspectos técnicos y económicos,» [Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/19195>; Accedido el: 22 de Julio del 2023], 2011.
- [27] J. Varón Cemargo, «Diseño, construcción y puesta a punto de un prototipo de quemador para la combustión continua y eficiente de la cascarilla de arroz,» [Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/478/47802513.pdf>; Accedido el: 14 de Agosto del 2023], 2005.
- [28] J. C. Villajulca, «Introduccion al control de Calderas,» [Disponible en: <https://instrumentacionycontrol.net/cap-1-1-introduccion-al-control-de-calderas/>.; Accedido el: 20 de Enero del 2023], 2019.
- [29] WordPress, «TABLA DE TEMPERATURA. AGUA SATURADA,» [Disponible en: <https://termoaplicadaunefm.files.wordpress.com/2009/02/tablas-del-agua-s-ingles.pdf>; Accedido el: 14 de Agosto del 2023], 2021.