



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**PLANTEAR UN SISTEMA ALTERNATIVO
COMO FUENTE DE ENERGÍA PARA EL
DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DE UN
HORNO CREMATORIO DENTRO DE LOS
ESTÁNDARES AMBIENTALES**

Autores

Briceño B. José D.

Silva G. Carlos M.

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA INGENIERÍA MECÁNICA**

**PLANTEAR UN SISTEMA ALTERNATIVO COMO FUENTE DE ENERGÍA PARA EL
DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DE UN HORNO CREMATORIO DENTRO DE LOS
ESTÁNDARES AMBIENTALES.**

Proyecto del Trabajo Grado para optar al Título de
INGENIERO MECÁNICO

Autores:

Briceño B. José D.
C.I:27.856.360
Silva G. Carlos M.
C.I:29.569.860

Tutora: Ing. Alicia Yánez de Pizzella

San Diego, septiembre del 2022



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

ACTA DE APROBACIÓN

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de Ingeniería para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado: Plantear un sistema alternativo como fuente de energía para el diseño y funcionamiento de un horno crematorio dentro de los estándares Quindío-centales

Realizado por el (la) Br. Briccio B. José D.

C.I. N° 27856360 cursante de la carrera de Mecánica

hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral, considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

APROBADO

NO APROBADO

El Jurado

[Signature]
Tutor Académico (Coordinador)
Nombre: Alcides López
C.I.: 41598880

[Signature]
Jurado
Nombre: FREYD BARLAGAN
C.I.: 11151678

[Signature]
Jurado
Nombre: Andrés Rodríguez
C.I.: 11547002

Fecha: 10/10/2022





UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

ACTA DE APROBACIÓN

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de Ingeniería para la
evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado:

Plantear un sistema de tenación como
fuente de energía para el diseño y
funcionamiento de un horno crematorio
dentro de los estándares ambientales

Realizado por el (la) Br. Silva G. Carlos M.

C.I. N° 29569860 cursante de la carrera de Mecánica

hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral,
considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

APROBADO

NO APROBADO

[Signature]
Tutor Académico (Coordinador)
Nombre: Carlos Gómez
C.I.: 4598880

El Jurado

[Signature]
Jurado
Nombre: FREDY BARRAGAN
C.I.: 11151678

[Signature]
Jurado
Nombre: Andrés Rodríguez
C.I.: 11547002

Fecha: 10/10/2022



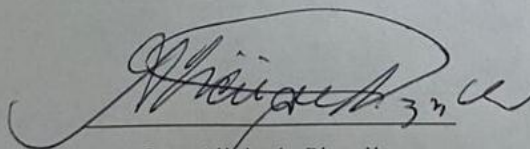


REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CONSTANCIA DE APROBACIÓN PARA LA PRESENTACIÓN
PÚBLICA DEL TRABAJO DE GRADO

Quien suscribe, Ing. Alicia de Pizzella, portador de la cédula de identidad N°4.598.880, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por los ciudadano José Daniel Briceño Bracho N°27.856.360 y Carlos Manuel Silva García N°29.569.860, titulado **PLANTEAR UN SISTEMA ALTERNATIVO COMO FUENTE DE ENERGÍA PARA EL DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DE UN HORNO CREMATORIO DENTRO DE LOS ENTÁNDARES AMBIENTALES**, presentado como requisito parcial para optar al título de **INGENIERO MECÁNICO**, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 15 días del mes de septiembre del año dos mil veintidós.



Ing. Alicia de Pizzella
C.I: 4.598.880

UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
DECANATO DE INGENIERÍA



FI N 004 2022-2CR TG

Valencia, 08 de junio de 2022

Ciudadanos:

BRICEÑO BRACHO, JOSE DANIEL

27.856.360

SILVA GARCIA, CARLOS MANUEL

29.569.860

Presente -

Cumplo con informarles que la comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 6-2022 de fecha 12/05/2022 aprobó el proyecto de grado titulado:

Plantear un sistema alternativo como fuente de energía para el diseño y funcionamiento de un horno crematorio dentro de los estándares ambientales.

Presentado por ustedes como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico

Se ratifica la designación del Tutor Académico que lo asesorará en el desarrollo de este proyecto a:
Ing. Alicia Teresa Yáñez de Pizzella, titular de la cédula de identidad V-4.598.880



Atentamente

Dr. Francisco Gelanzé Sevilla.
Decano de Ingeniería

c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, doy gracias infinitamente a Dios, por haberme permitido hoy por hoy la dicha de poder culminar esta etapa maravillosa etapa en mi vida. Solo es saber lo difícil que ha sido, los altibajos que pase, la infinidad de obstáculos que la vida me presento, pero esto no sería posible sin la persona con las que siempre estuvieron apoyándome incondicionalmente, me sobran las palabras y sentimientos para las personas que menciono, pero sin lugar a duda se merecen cada logro que obtenga y mucho más.

Gracias a mis padres, por confiar en mí y en mis expectativas, gracias a mi madre por estar dispuesta a acompañarme cada larga y agotadora noche de estudio, gracias a mi padre por siempre desear y anhelar lo mejor para mi vida, gracias por todos los consejos y por cada palabra que me guiaron en este trayecto.

A mi hermana, mi Lic. En Administración por ser uno de las personas más importantes en mi vida y ser parte de quien complementa mi Ohana. Tu más que nadie sabe por todos los momentos de desmotivación y preocupación, gracias por ser uno de mis pilares fundamentales para cumplir esta meta.

Abuelita, gracias por tantísimo amor brindado en esos años que estuviste en vida.

A mis tías, gracias por corregir mis faltas y celebrar mis triunfos y sobre todo gracias por el apoyo incondicional.

A mi compañero de Tesis Carlos Silva, por siempre prestarme su apoyo y colaboración, parte de este logro es gracias a ti, te deseo el mejor de los éxitos bro.

Gracias a nuestra tutora académica y metodológica Alicia De Pizella por aceptar ser nuestra guía en este trabajo de investigación, y pilar fundamental en toda nuestra carrera académica.

Y gracias a todos los que brindaron su granito de arena para la culminación de este proyecto.

José Daniel Briceño Bracho

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, doy gracias a Dios y al Nazareno de Achaguas, por permitirme culminar mis estudios, por siempre iluminarme y acompañarme en este recorrido.

Gracias a mis padres Carlos Silva e Isabel García, por el apoyo a lo largo de este camino y de la vida.

Gracias a mis abuelos paternos Carlos Silva e Hilda Sorando de Silva y abuelos maternos Manuel García (†) e Hilda Sánchez por el cariño y consejos a lo largo de mi vida.

Gracias a mis familiares que me apoyaron en este proceso.

Gracias a mi amigo salvador leal, con quien compartí académicamente en mi carrera y sigo compartiendo grandes momentos.

Gracias a mi compañero de tesis Daniel Briceño por aceptar este reto juntos, te deseo éxito en tu futuro bro.

Gracias a nuestra tutora académica y metodológica Alicia De Pizella por aceptar ser nuestra guía en este trabajo de investigación, y pilar fundamental en toda nuestra carrera académica.

Gracias a nuestro director de escuela mecánica Donato Romanello por sus sabios consejos y compartir con nosotros sus conocimientos.

Gracias a todos los profesores que dedicaron su tiempo en enseñarnos, Giovanni Pizella, Yndira Rodríguez, Ana Avendaño, Luis Ortega...

Carlos Manuel Silva García

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo primeramente a Dios todopoderoso por siempre bendecirnos, acompañarnos e iluminarnos a lo largo de nuestras vidas.

A nuestros padres, por su amor y apoyo incondicional, por siempre incentivarnos a seguir luchando por nuestros sueños y metas.

A nuestros seres queridos, por siempre estar y ayudarnos a lo largo de nuestra carrera.

A nuestros queridos profesores por su incansable esfuerzo y dedicación.

JOSÉ BRICEÑO Y CARLOS SILVA

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	pp.
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE CUADROS	xv
LISTA DE GRÁFICOS	xvi
LISTA DE TABLAS	xvii
RESUMEN INFORMATIVO	xviii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Formulación del Problema.....	4
1.3 Objetivos de la Investigación.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Justificación.....	4
1.5 Alcance.....	5
II MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes.....	6
2.2 Bases Teóricas.....	8
2.2.1. Hornos Industriales.....	8
2.2.2. Tipos de Hornos Industriales.....	9
2.2.3. Biomasa.....	12
2.2.4. Tipos de Biomasa.....	12
2.2.5. Procesos de Conversión de la Biomasa.....	12
2.2.6. Biocombustibles.....	13
2.2.7. Biocombustibles Sólidos.....	13
2.2.8. Tipos de Biocombustibles Sólidos.....	13
2.2.9. Energía Renovable.....	14
2.2.10. Materia Orgánica.....	14
2.2.11. Temperatura.....	14
2.2.12. Combustión.....	14
2.2.13. Termodinámica.....	15
2.2.14. Transferencia de Calor.....	15
2.2.15. Tipos de Transferencia de Calor.....	15
2.2.16. Resistencia Térmica.....	16
2.2.17. Materiales Refractarios.....	19
2.2.18. Tipos de Materiales Refractarios.....	19
2.2.19. Presentación de los Materiales Refractarios.....	19
2.2.20. Aislante Térmico.....	20
2.2.21. Tipos de Aislantes Térmicos.....	20
2.2.22. Quemadores Industriales.....	21

2.2.23. Quemadores Atmosféricos.....	22
2.2.24. Quemadores Mecánicos.....	22
2.2.25. Quemadores de Biomasa.....	23
2.2.26. Poder Calorífico.....	23
2.2.27. Tipos de Poder Calorífico.....	23
2.2.28. Poder Calorífico en los Combustibles.....	24
2.2.29. Número de Nusselt.....	24
2.2.30. Coeficiente de Convección.....	24
2.2.31. Número de Prandtl.....	24
2.2.32. Viscosidad Cinemática.....	25
2.2.33. Viscosidad Dinámica.....	25
2.2.34. Densidad.....	25
2.2.35 Método de Nelson Vílchez.....	26
2.2.35.1 Método de ponderación de criterios y soluciones.....	26
2.3 Bases Legales.....	27
2.4 Definición de Términos.....	30

III MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de Investigación.....	32
3.2 Diseño de la Investigación.....	33
3.3 Nivel de la investigación.....	33
3.4. Población y muestra.....	34
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	34
3.5.1. Técnicas de Recolección de Datos.....	34
3.5.2. Instrumentos de Recolección de Datos.....	35
3.6. Fases metodológicas.....	36

IV RESULTADO

4.1 Identificar las diferentes fuentes de energía alternativa que se adaptan para el funcionamiento de un horno crematorio.....	38
4.1.1 Energía Solar como Fuente de Energía Alternativa.....	39
4.1.2 Biomasa como fuente de energía alternativa.....	41
4.1.3 Bioetanol Como Fuente de Energía alternativa.....	43
4.1.4 Biodiésel como Fuente de Energía Alternativa.....	45
4.2 Seleccionar la fuente de energía alternativa que se adapta para el funcionamiento de un horno crematorio.....	47
4.2.1 Propuesta de alternativa para la selección de tipo de energía.....	47
4.2.2 Criterios de evaluación y escogencia de la propuesta.....	47
4.2.2.1 Aplicación de restricciones y criterios para la selección de la mejor posible solución.....	48
4.3 Análisis de los criterios técnicos y variables para el diseño del horno crematorio.....	50
4.3.1 Diseño de cámara de combustión con dimensiones.....	50
4.3.2 Diseño de la cámara de post combustión con dimensiones.....	55
4.3.3 Dimensión del orificio de la chimenea.....	56
4.3.4 Quemadores ubicados en cámara de post combustión.....	56

4.3.5 Cálculo de la combustión.....	57
4.3.5.1 Balance Estequiométrico.....	58
4.3.5.2 Composición de los gases de la combustión.....	59
4.3.6 Cálculo del Flujo másico del quemador.....	60
4.3.6.1 Masa Molar de la Biomasa de cascara de coco.....	60
4.3.6.2 Masa Molar del aire.....	61
4.3.6.3 Flujo másico total.....	61
4.3.7 Determinación de la transferencia de calor en el horno.....	63
4.3.7.1 Cálculo de los coeficientes de convección y radiación exterior.....	63
4.3.7.2 Cálculo de los coeficientes de convección y radiación interior.....	65
4.3.7.3 Cálculo del flujo de calor a través de la pared externa.....	69
4.3.7.4 Cálculo del flujo de calor a través de la pared interna.....	71
4.3.8 Cálculo de los espesores.....	72
4.3.9 Cálculo de las temperaturas entre las paredes.....	74
4.3.10 Cálculo de tiempo estimado de cremación.....	76
4.3.11 Cálculo de las dimensiones de la chimenea.....	77
4.3.11.1 Sección.....	77
4.3.11.2 Cálculo del área.....	79
4.3.11.3 Cálculo del diámetro de la chimenea.....	79
4.3.11.4 Cálculo de los espesores.....	80
4.4 Diseño en el software SolidWorks las partes del horno crematorio para el funcionamiento con una fuente de energía alterna.....	82
4.5 Determinación de la viabilidad económica, operativa y ambiental del diseño.....	98
4.5.1 Viabilidad Económica.....	98
4.5.2 Viabilidad Operativa.....	101
4.5.3 Viabilidad Ambiental.....	102
CONCLUSIONES.....	103
RECOMENDACIONES.....	105
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106
ANEXOS	
A Planos.....	113
B Quemador.....	116
C Emisividades.....	120
D Longitud media del haz L.....	121
E Propiedades del aire.....	122
F Conductividad térmica de algunos materiales.....	123
G Cargas térmicas al ensamblaje del horno crematorio, corte alzado.....	124
H Temperatura en la capa exterior del horno.....	125
I Temperatura con un corte frontal.....	126
J Análisis de flujo en el horno, vista isométrica.....	127

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS	pp.
1 Esquema de Horno Rotatorio.....	10
2 Funcionamiento de un Horno de Parrilla.....	10
3 Horno de Lecho Fluidizado.....	11
4 Esquema de un Horno Crematorio.....	12
5 Transferencia de Calor a Través de una Pared Plana.....	17
6 Transferencia de Calor a Través de una Pared Compuesta.....	17
7 Transferencia de Calor a Través de Capa Cilíndrica.....	18
8 Distribución de Temperatura en Pared Cilíndrica Compuesta.....	18
9 Presentación Cemento Refractario.....	20
10 Lana de Vidrio.....	21
11 Esquema de Funcionamiento de un Quemador Atmosférico.....	22
12 Esquema de un Quemador de Biomasa.....	23
13 Esquema de las diferentes fuentes de energía que se adaptan al horno crematorio.....	38
14 Diagrama de bloques del crematorio solar.....	39
15 Cimentación de hormigón armado.....	40
16 Horno crematorio solar.....	40
17 Horno crematorio eléctrico EMISON.....	41
18 Horno crematorio eléctrico DFW.....	41
19 Conversión de la biomasa.....	42
20 Biomasa en Venezuela.....	42
21 Distribución de la biomasa en Venezuela.....	43
22 Tipos de biomasa en Venezuela.....	44
23 Proceso de producción de bioetanol.....	44
24 Biochimenea.....	45
25 Conversión del Biodiésel.....	46
26 Horno Con Biodiésel.....	46
27 Segmento circular.....	50
28 Prisma de urna normal.....	51
29 Arco de la cámara principal.....	53
30 Volumen del segmento circular.....	54
31 Volumen total de la cámara principal.....	55
32 Características técnicas.....	56
33 Quemador Y-200.....	57
34 Capas de los materiales de la primera cámara.....	63
35 Circuito externo.....	70
36 Circuito pared externo.....	70

37	Circuito de la resistencia.....	72
38	Distribución de las temperaturas entre paredes.....	74
39	Distribución de la temperatura.....	75
40	Ubicación de chimenea.....	79
41	Pared de ladrillo refractario.....	82
42	Pared de Aislante térmico.....	82
43	Pared de Acero A36.....	83
44	Soporte de cámara de post combustión.....	83
45	Aislante de marco, ubicado en la puerta.....	84
46	Aislante central de puerta.....	84
47	Ensamblaje de puerta.....	85
48	Tapa frontal superior.....	85
49	Codo de 45 grados de la chimenea.....	86
50	Ducto chimenea horizontal.....	86
51	Ducto chimenea vertical.....	87
52	Cañón de quemador.....	87
53	Ensamblaje del horno crematorio, vista isométrica.....	88
54	Ensamblaje del horno crematorio, vista frontal.....	88
55	Ensamblaje del horno crematorio, vista lateral.....	89
56	Ensamblaje del horno crematorio, vista posterior.....	89
57	Mallado de ensamblaje del horno crematorio.....	90
58	Aplicación de cargas térmicas al ensamblaje del horno crematorio.....	91
59	Resultado de cargas térmicas al ensamblaje del horno crematorio, corte alzado.....	91
60	Resultado de cargas térmicas al ensamblaje del horno crematorio, corte lateral.....	92
61	Resultado de cargas térmicas al ensamblaje del horno crematorio, corte de planta.....	92
62	Resultado de cargas térmicas al ensamblaje del horno crematorio.....	93
63	Resultado de cargas térmicas al ensamblaje del horno crematorio.....	93
64	Resultado de cargas térmicas al ensamblaje del horno crematorio.....	94
65	Resultado de cargas térmicas al ensamblaje del horno crematorio.....	94
66	Resultado de la temperatura en la capa exterior del horno.....	95
67	Resultado de la temperatura con un corte frontal.....	95
68	Resultado de análisis de flujo en el horno, vista isométrica.....	96
69	Resultado de análisis de flujo en el horno, vista lateral.....	97
70	Resultado de análisis de flujo en el horno, vista frontal.....	97
71	Horno Crematorio Comercial 01.....	99
72	Horno Crematorio Comercial 02.....	99
73	Horno Crematorio Comercial 03.....	99

LISTA DE CUADROS

CUADROS		pp.
1	Alternativas para la selección	47
2	Restricciones y Criterios.	48

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICOS		pp.
1	IMC vs Tiempo	77
2	Valores de temperatura de la Figura 67.....	96
3	Biomasa vs Diésel.....	101
4	Gasto en Combustible Biomasa vs Diésel.	101
5	Biomasa porcentaje de los gases.....	102

LISTA DE TABLA

TABLAS		pp.
1	Comparación de Restricciones vs Alternativas	48
2	Ponderación de criterios.....	49
3	Parámetros de puntuación.....	49
4	Ponderación de soluciones de acuerdo a criterios de selección.....	49
5	Evaluación de soluciones.....	49
6	Medidas del prisma.	50
7	Composición de la Cascara de Coco.....	57
8	Composición del Aire Atmosférico.....	58
9	Composición de los Gases.....	50
10	Interpolación de conductividad KL.....	73
11	IMC vs Tiempo.....	76
12	Densidad del aire respecto a la altitud.....	78
13	Factibilidad Económica.....	98
14	Costo de Hornos Comerciales.....	100
15	Comparación de costos con respecto a Hornos Comerciales.....	100



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA INGENIERÍA MECÁNICA**

**PLANTEAR UN SISTEMA ALTERNATIVO COMO FUENTE DE ENERGÍA PARA EL
DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DE UN HORNO CREMATORIO DENTRO DE LOS
ESTÁNDARES AMBIENTALES.**

Autores: Briceño B. José D.

Silva G. Carlos M.

Tutora: Ing. Alicia Yáñez de Pizzella

Fecha: mayo 2022

RESUMEN INFORMATIVO

En este trabajo de investigación se desarrolló un proyecto factible, diseño de investigación documental y de campo, cuya línea de investigación está enmarcada en: gestión ambiental, habitad y vivienda, en la cual se diseñó un sistema alternativo como fuente de energía para el diseño y funcionamiento de un horno crematorio dentro de los estándares ambientales, en el cual el tipo de fuente alternativo de combustible que se empleó es la biomasa, luego de haber realizado es uso de las técnicas metodológicas “observación directa, revisión documental, revisión bibliográfica y entrevista no estructurada”, se tuvo en cuenta los factores para el diseño del horno, tales como sus características físicas, su capacidad de generar calor para la cremación, así como la emisión de gases al medio ambiente del mismo y las dimensiones del mismo. Realizado los criterios técnicos y variables para el diseño y funcionamiento, se procedió a desarrollar en el programa de SolidWorks una vista digitalizada de lo que sería el horno crematorio, además de un análisis térmico, que permitió conocer los diversos datos mediante el flujo de calor en la cámara principal y secundaria del horno. Luego de ejecutado el análisis y simulaciones, se procedió a determinar la viabilidad económica, operativa y ambiental del diseño del horno crematorio, el cual permitió saber si este diseño con una fuente de energía alternativa a la convencional es viable en los tres aspectos mencionados.

Descriptor: Energía Alternativa, Hornos crematorios, Biomasa.

INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad, la humanidad hizo uso de cocinas para la cocción de alimentos, donde el registro de los primeros hornos primitivos se remonta a la época de los antiguos griegos, los cuales utilizaban dichos hornos para la fabricación de pan y otros productos de la época. Con el paso de los años y la evolución del hombre, en la Edad Media, la construcción de dichos hornos fue más sofisticada ya que contaba con ladrillos y mortero, de tal modo, se cree que el horno moderno se creó en Francia a finales del siglo XV, el cual contaba en su diseño con ladrillos y azulejos, además de contar con el conducto de humos que en la actualidad se le conoce como chimenea.

Así mismo, como todo invento en evolución, la emisión de humo fue un problema, por lo que se implementó cámaras de fuego, las cuales eran alimentadas por leña. A principios del XIX, se comenzó a fabricar hornos de hierro fundido en grandes cantidades, con la ventaja de poder regular el calentamiento del mismo. Para el año 1833, se creó el primer horno de carbón práctico por Jordan Mott, conocido por el Horno de Mott, el cual contaba con una mayor eficiencia, este invento sentó las bases para el horno industrial moderno. En cuanto a la cremación, antes de la Revolución industrial todo proceso de cremación se realizaba con carbón y al aire libre, lo que lo hacía un proceso poco utilizado, por lo que, durante la Revolución industrial con el desarrollo de nuevas tecnologías para hornos crematorios generó que la cremación sea un método viable para el período de 1870, seguido de esto se construyó en 1878 el Crematorio de Woking en Gran Bretaña y en Alemania años más tarde.

Actualmente, los hornos crematorios son utilizados en el mundo para la desintegración de cuerpos, lo cual se logra alcanzando temperaturas de 870-980 °C, convirtiendo el cuerpo en cenizas, estos hornos crematorios funcionan con varios combustibles como lo son el diésel, el propano o el gas natural. Con referente a lo anterior, en Venezuela no se cuenta con un servicio constante de estos combustibles, generando así que dichos hornos crematorios no puedan ser operados de manera continua con respecto a la alta demanda que ha generado el COVID-19, por lo que, una fuente de energía alternativa a la convencional sería una buena opción para operar constantemente los hornos crematorios, un claro ejemplo de estas energías alternativas es la biomasa, ya que se puede adaptar como fuente de energía para el funcionamiento de un horno crematorio, siendo la misma, una energía renovable y limpia la cual se encuentra bajo la ley Orgánica del ambiente con respecto a la emisión de gases. Estas energías renovables se definen como aquellas que se pueden reponer, por lo que, son inagotables y esta reposición puede ser por

procesos cíclicos con una velocidad variable de acuerdo a cada energía.

Este proyecto tiene como objetivo, proponer un sistema alternativo como fuente de energía para el funcionamiento y diseño de un horno crematorio, el mismo está estructurado en cuatro capítulos de la siguiente manera: Capítulo I, El Problema, en el cual se habla sobre el planteamiento del problema junto con la formulación del problema, seguido de los objetivos tanto general como específicos, los que permiten trazar las metas que se quieren lograr en la investigación, y por último, la justificación y alcance de la investigación.

Capítulo II, Marco Teórico, en este capítulo se encuentran las bases teóricas que sustentan al proyecto, a través de los antecedentes, las bases teóricas, las bases legales y la definición de términos referentes a la investigación.

Por su parte, el Capítulo III, Marco Metodológico, abarca la parte metodológica de la investigación que permite a través de técnicas y procesos poder llevar a cabo la investigación y alcanzar el objetivo de la misma, incluye el tipo de investigación, el diseño y nivel de la investigación, la población y muestra del estudio, las técnicas e instrumentos de recolección de datos seguido de las fases metodológicas de la investigación.

Capítulo IV, análisis e interpretación de los resultados obtenidos de la investigación en las fases metodológicas, conclusiones y recomendaciones, seguido de referencias bibliográficas y anexos.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

A lo largo de la historia, la humanidad ha sufrido pandemias y epidemias, causando la muerte de millones de personas. Actualmente, a nivel mundial se atraviesa por una de las peores pandemias que se ha presentado para la población, conocida como el virus del COVID-19, el cual ha ido mutando con el paso del tiempo, siendo sumamente mortal para la población, en consecuencia, los cadáveres deberán ser cremados y no sepultados como se realiza habitualmente, por consiguiente, el proceso de cremación hoy por hoy a nivel mundial tiene una alta demanda por la necesidad que se ha generado con el virus del COVID-19.

Con referente a lo anterior, Venezuela no escapa de las secuelas que causa una pandemia, “Ha habido 512.947 contagios y 5625 muertes relacionadas con el coronavirus en el país desde que comenzó la pandemia”, (Gurman, Prasanta y Jon, 2022, p. 3). Así mismo, por la situación económica que atraviesa el país las personas han optado por la cremación para sus fallecidos.

Zurima, V. (2019), con respecto al aumento en la demanda de la cremación, afirma que:

El 60% de los fallecidos son incinerados, debido a que el servicio de cremación es menos costoso porque los hornos emplean gas y las cajas para el resguardo de las cenizas son más pequeñas, por lo que se requiere menos material. (p. 14).

Sin embargo, la cremación a pesar de ser mejor opción con respecto a la sepultura convencional, esta requiere de fuentes de energía para su funcionamiento del horno crematorio como lo es el gas natural, el propano (C_3H_8) o el diésel, donde se debe controlar las emisiones de los gases tóxicos como dióxido de carbono, dióxido de azufre, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, entre otros, que se producen en el proceso de combustión y se emiten al medio ambiente. Por otra parte, Venezuela no cuenta con la seguridad en el suministro de gas natural, propano (C_3H_8) o diésel, siendo estas las fuentes de energía convencionales para el funcionamiento de un horno crematorio.

Con respecto a lo anterior, Meneses, C (2021) afirmó que:

A Venezuela no llega un buque con diésel desde el 24 de octubre de 2020 debido a las sanciones. La producción nacional no cubre ni la mitad de la demanda. Por los momentos el Estado ha aguantado la situación con las reservas, pero expertos afirman que se van a agotar en el primer cuatrimestre de 2021. (p.1).

Cabe agregar, que no solo está presente en el país la problemática de la escasez de combustibles sino también del aumento del costo del mismo, donde Molina, M (2021) afirmó que: “Pdvs aumentó el precio del gasoil a partir de este lunes 25 de octubre, lo que significa que el litro del combustible costará 0,50 dólares” (p.1), siendo el diésel uno de los principales combustibles para el funcionamiento de un horno crematorio. Con referencia a lo anterior, el problema de la escasez de combustible genera mucho tiempo de espera al momento de realizar la operación de cremación, según Urribari, J. (2021): “Personas que solicitan el servicio en Caracas, esperan tres o cuatro días, y no sé si todos son fallecidos por COVID-19”, (p. 10), esto se debe a la alta demanda que se presenta en el país con una baja oferta de combustible.

1.2 Formulación del Problema:

De acuerdo a las fuentes de energía alternativas existentes en el mundo, ¿Cuál fuente de energía será una solución viable para el funcionamiento y diseño de un HORNO CREMATORIO debido a la falta de combustibles convencionales en Venezuela, que a su vez generan gases contaminantes que afectan al ambiente producto de la cremación?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Proponer un sistema alternativo como fuente de energía para el funcionamiento y diseño de un horno crematorio.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Identificar las diferentes fuentes de energía alternativa que se adaptan para el funcionamiento de un horno crematorio.
2. Seleccionar la fuente de energía alternativa que se adapta para el funcionamiento de un horno crematorio.
3. Analizar los criterios técnicos y variables para el diseño del horno crematorio.
4. Diseñar en el software SolidWorks las partes del horno crematorio para el funcionamiento con una fuente de energía alterna.
5. Determinar la viabilidad económica, operativa y ambiental del diseño.

1.4 Justificación

La investigación tiene como objetivo plantear un sistema alternativo como fuente de energía para el diseño y funcionamiento de un horno crematorio bajo estándares ambientales, con el fin de disponer de otra energía que permita operar un horno crematorio. Dicha investigación servirá a

nivel académico para próximas investigaciones en el área de ingeniería de la Universidad José Antonio Páez y cualquier persona o institución que disponga de la misma.

Con respecto al alto índice de fallecimiento que ocurre debido a la pandemia del COVID-19 tanto a nivel internacional como nacional, genera una alta demanda de urnas y colapso en los cementerios, y seguido, los fallecidos por COVID-19 es recomendable por protocolos internacionales y sugerencias de la ONU que sean incinerados a través de hornos crematorios por factores de seguridad. Sin embargo, dado que en Venezuela existen pocos estados que dispongan con el beneficio de los hornos crematorios, debido a la alta demanda y poca oferta de combustible, se propone implementar una fuente de energía alternativa como fuente de combustible para disminuir gastos y la necesidad de depender de un combustible convencional, ocasionado mayor continuidad al proceso de cremación.

De lo anterior, se debe disminuir la contaminación producto de los gases expulsados generados en el proceso de incineración, además de usar una fuente de energía no contaminante o de bajo impacto al medio ambiente, para proporcionar una solución viable y eficaz a la problemática que atraviesa el país en estos momentos en cuestión de oferta de combustibles. De igual modo, la biomasa es una buena opción de energía alternativa, ya que es de bajo costo y de bajo impacto ambiental, así como lo son las demás fuentes de energías renovables.

Por otro lado, el costo que presenta tanto el diseño del horno crematorio, así como los gastos en combustibles convencionales para su funcionamiento, generan dificultad de aumentar el número de incineradores en el país, así como de mantenerlos operativos, debido al alto costo, Urribari, J. (2021) afirmó que: “En el territorio nacional hay 22 crematorios privados, siete de ellos en Caracas” (p.7), por lo tanto, una fuente de energía alternativa proporcionara gran ventaja no solo en el ámbito del bajo impacto ambiental sino también la disminución de los gastos operativos necesario para el funcionamiento de un horno crematorio.

1.5 Alcance

La investigación se basará en el diseño de un horno crematorio con un sistema de energía alternativo para su funcionamiento, el cual se enfoca hacia las energías limpias que permitan generar poco impacto en el medio ambiente, de esta manera dando una solución a la poca oferta de combustibles convencionales en el país, esta fuente de energía será viable en los aspectos económicos, operativos y ambientales.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se establecen las bases teóricas necesarias para la comprensión del presente estudio. El contenido se organiza partiendo de los antecedentes de mayor importancia asociados al tema tratado.

2.1 Antecedentes de la Investigación

Estraño, M. y Serrano, A. (2022) egresados de la Universidad José Antonio Páez en su estudio titulado **“Diseño de una Caldera de Biomasa como Generador Eléctrico Auxiliar para el Hospital Central Dr. Enrique Tejada de Valencia”** para optar por el título de Ingenieros Mecánicos, el problema observado fue: el servicio de energía de Venezuela están siempre presentes y aún siendo otro país, instituciones tan importantes como los hospitales deberían tener generadores de energía eléctrica que puedan sustentar la demanda de energía del mismo o en su efecto cubrir un margen de tiempo que sea el aproximado a lo que puede dura una falla eléctrica ocasionada por desastres naturales o por la ya mencionada red de energía nacional.

La metodología de estudio utilizada es un proyecto factible el cual propone una solución a la problemática ya existente la cual es la crisis energética existente en Venezuela, el estudio permitió captar información vital para los parámetros de diseño del proyecto, como lo es la demanda energética del hospital, el ambiente o condiciones de trabajo que puede tener un instrumento de ingeniería como el que se va a diseñar.

En conclusión, para realizar el diagnóstico completo de la demanda de energía eléctrica en el hospital, se hace la estimación del consumo energético en hospitales de mayor consumo en entes internacionales, debido a que no hay fuentes de estimaciones nacionales. El uso de biomasa es una manera de disminuir el impacto ambiental y generar un cambio y concientización sobre las energías renovables.

Además, Sinchire, P. y Topa, D. (2020) egresados de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito en su estudio titulado **“Diseño y Simulación de un Horno Pírolítico de 200 Litros para la Generación de Biochar”** para optar por el título de Ingenios Mecánicos, el propósito de esta investigación fue generar una alternativa para enriquecer los suelos con biochar o carbón vegetal, debido a su alto porcentaje en carbono, para que el biochar sea una solución real para los suelos

pobres en minerales y nutrientes, este debe cumplir ciertas condiciones químicas, tales como: el contenido de carbono mínimo de 50 %, área superficial entre (1 a 2) m^2/g y también otros elementos como; oxígeno, hidrógeno, azufre, cationes básicos, compuestos orgánicos y metales pesados.

Por otra parte, quemar residuos de especies vegetales de la biomasa es una práctica muy antigua y fue destinada como nutriente para enriquecer la tierra y purificar los cultivos de enfermedades y plagas existentes en el suelo. En resume, tomando en cuenta las tecnologías de hornos existentes para la generación de biochar, el horno pirolítico de doble cilindro metálico, es la mejor opción para la producción de biochar mediante el uso de biomasa de eucalipto, debido a las grandes ventajas que este presenta, el cual grandes ventajas que este presenta, el cual mediante el software SolidWorks se pudo corroborar que, al usar la biomasa de eucalipto como combustible, la temperatura media se encuentra dentro del rango de temperatura esperada de 400 a 500 °C.

En este orden de ideas, Guerrero, N. y Mariela, I. et. al (2020), egresados de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en su estudio titulado **“Diseño y Construcción de un Equipo de Cremación para la Incineración de Residuos Biológicos Generados en el Bioterio de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”** para optar por el título de Ingeniero Químico, en cuanto a la problemática presente, es la gran cantidad de residuos provenientes de las diversas áreas de la institución, provocando así un alto nivel de contaminación, debido a las características del residuo, donde la única manera que se procese a tratar es enterrando, generando focos de contaminación, por tal razón se ha visto en la necesidad de diseñar y construir un equipo de cremación que permita la eliminación de este tipo de residuos.

La metodología que se aplicó fue un estudio de campo, con un enfoque Cuantitativo y Cualitativo, el cual figura para la adquisición de información que permita llegar hacia una idea general planteada a partir de ideas separadas y específicas. En relación a nuestro estudio nos permite hacer un análisis de las opciones óptimas de espesor de los aislantes de la estructura del equipo basados en la transferencia de calor. En conclusión, cumplido el proceso de incineración, ellos determinaron una reducción de la cantidad de residuos biológicos entre el 85 y 90 % en masa y la medida de los gases de combustión se sujetaron a los límites permisibles por la ley ambiental. Para conseguir mejor efectividad del proceso, es recomendable el precalentamiento del horno por 5 minutos previo a la operación principal.

Así mismo, González, L. y Urrego, C. (2020) quienes en su trabajo de grado titulado **“Análisis**

del Impacto Ambiental Generado por el Horno Crematorio Jardín de la Localidad de Fontibón” egresado de la Universidad Antonio Nariño, para optar por el título de Ingeniería Ambiental, el cual tuvo como objetivo general diseñar estrategias de manejo frente al impacto ambiental generado por las emisiones atmosféricas en la localidad de Fontibón, principalmente a causa del horno crematorio jardín de la localidad de Fontibón.

La metodología implementada para analizar el impacto ambiental generado por un horno crematorio en Fontibón, consta de tres fases, la primera, fase de diagnóstico, el cual permite la identificación de la situación actual en la localidad de Fontibón, la segunda, fase de Modelación, es la consulta de datos meteorológicos, y la tercera, fase de formulación de alternativas, es la encargada de la identificación de alternativas de mitigación y corrección. En conclusión, con base a las modelaciones en los softwares Screen View y Arcgis, se lograron observar, que la dispersión de estos contaminantes es superior a los 2500 metros, adicionalmente, a medida que aumenta la distancia de dispersión, simultáneamente disminuye las concentraciones de estos contaminantes. La investigación de Gonzales y Urrego, es de relevancia, pues nos permite tener una percepción de la disipación de los gases contaminantes producto de la cremación.

Y, por último, Hernández, J. (2019) en su estudio titulado **“Caracterización Química y Determinación de Factores de Emisión de Contaminantes Emitidos por Hornos Crematorios”** egresada de la Universidad Autónoma Metropolitana, para obtener el grado de Maestra en ciencias e ingeniería Ambiental, quien realizo una investigación sobre la emisión de partículas, producto de la cremación de cadáveres, los cuales exceden las normas mexicanas contribuyendo a la contaminación del aire. La metodología que se aplicó fue de campo, con un enfoque cuantitativo, en el cual se realizaron visitas a varios hornos, en este caso tres de grupo Gayosso, permitiendo así observar y recolectar información en cuanto a la capacidad del horno, tiempo de duración, características de los hornos, número y horarios de servicio.

En resumen, se consideraron las características del cuerpo cremado (genero, peso, edad, enfermedades) y las condiciones de operación descritas anteriormente, con la finalidad de poder determinar si existía alguna correlación que influyera en la cantidad de emisiones provenientes de los hornos crematorios.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Hornos Industriales

El Horno es la cámara donde se vaporiza, piroliza, gasifica y, aunque parcialmente,

combustiona el residuo. Es evidente que un parte importante de la combustión ha de generarse en el interior del horno, de lo contrario la temperatura generada sería insuficiente para mantener el nivel térmico. En las actividades industriales se realizan con regularidad cantidades grandes de residuos sólidos y líquidos los cuales deben ser eliminados de forma económica, cumpliendo la normativa ambiental.

2.2.2 Tipos de Hornos Industriales

- **Hornos Rotatorios**

Los hornos rotatorios reducen el volumen de los desechos originales entre un 90 y un 95 por ciento, según la composición y el grado de recuperación de materiales. Además de ahorrar grandes cantidades de energía proveniente de la quema de desechos químicos líquidos como combustibles alternativos o sintéticos. Este tipo de horno es muy versátil y es apto para trabajar con materiales sólidos, fangosos e incluso líquidos. La alimentación del horno se ajusta hasta lograr que la carga ocupe, aproximadamente un 20% del volumen interno del horno.

La función principal del horno es convertir los residuos sólidos, líquidos o pastosos en gases. Ello se consigue en este tipo de hornos gracias a:

- Variación de la velocidad e inclinación del horno, con lo que el tiempo de residencia de los sólidos aumenta hasta lograr su total destrucción.
- Aumento de la temperatura muy por encima de la que puede conseguirse en un horno de parrillas, puesto que en su interior está íntegramente construido con materiales refractarios y aislantes.
- Posibilidad de inyectar aire de combustión caliente (más de 250 °C), con lo que la calidad y cinética de los procesos se ve muy mejorada.
- Posibilidad de trabajar con un exceso de aire mínimo, estequiometría e incluso defecto de aire. En estas condiciones la velocidad de la corriente de gases es muy débil y se minimiza el arrastre de material particulado.

El horno está constituido por un recipiente de acero recubierto interiormente con una capa de refractario y aislante. Su forma es casi cilíndrica. El horno dispone de una entrada para la alimentación de residuos, un quemador auxiliar y la entrada de aire comburente (ver figura 1).

La salida de gases se lleva a cabo en toda la sección del horno y por la chimenea. Las escorias, caen por el cenicero que dispone el horno. De esta manera es factible extraer del horno las escorias de un proceso continuo, circunstancia que favorece la marcha general del proceso y evita que la

instalación deba pararse periódicamente.

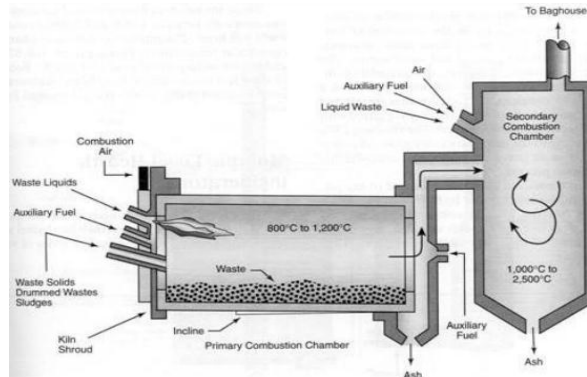


Figura 1. Esquema Horno Rotatorio.
Fuente: Duarte, M. (2015).

- **Hornos de Parrillas**

Según Elías, X. (2005) “Los Hornos de Parrillas son los más conocidos y los más extendidos debido a su empleo en el tratamiento de restos sólidos, por su versatilidad y capacidad de tratamiento”. (p. 7). Un soplante de aire primario fuerza la entrada de aire, a través de pequeñas aberturas de la parrilla, hasta la capa de combustible. Normalmente, se añade más aire sobre el lecho de residuos para completar la combustión. En general, el tiempo de permanencia de los residuos en las parrillas no es superior a 60 minutos.

La carga se introduce en la parrilla por gravedad o por medio de un cilindro hidráulico. Por lo general el residuo se introduce “todo en uno”, es decir sin triturar lo que favorece la presencia de acumulaciones de material que impiden la libre transmisión de calor por radiación (ver figura 2).

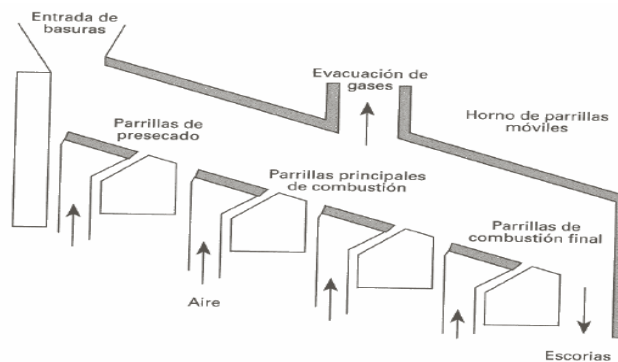


Figura 2. Funcionamiento de un Horno de Parrillas.
Fuente: Elías, X. (2005).

El movimiento de la carga sobre la superficie de la parrilla se logra por efecto de la gravedad o bien por diversos mecanismos que obligan a la carga a desplazarse, como los rodillos o las parrillas móviles. Según el modo de accionamiento de las parrillas la introducción del aire, que se inyecta

por la parte inferior es diferente.

- **Hornos de Lecho Fluidizado**

Este tipo de Horno ha sido concebido para el tratamiento de materiales conflictivos. Así es un buen candidato para la incineración de residuos sólidos y/o pastosos. El principio de funcionamiento estriba en la gran transferencia de calor que se lleva a cabo desde las partículas de refractario que constituyen el lecho que se mantiene en constante agitación, gracias al caudal de fluidificación. A una determinada velocidad de ascensión del aire (1,2 a 2 m/s) el lecho se fluidiza y adquiere las características de un fluido (régimen de burbujeo). La alimentación se realiza por la parte central de lecho. En función del diseño y del tipo de horno (burbujeante o circulante) el arrastre de material será más o menos intenso.

El principio de funcionamiento supone unas limitaciones en la alimentación. Así, un horno de lecho fluidizado no es adecuado para la introducción de residuos de gran tamaño o dimensiones no homogéneas (ver figura. 3).

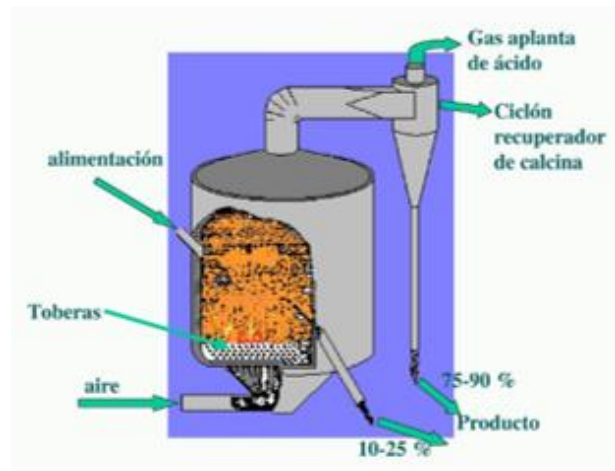


Figura 3. Horno de Lecho Fluidizado.

Fuente: Ferreyra, E. (2019).

- **Hornos Crematorios**

La incineración de cuerpos o desechos sólidos es el proceso de transformarlos en material inerte (cenizas) y productos de combustión. Se dice que la incineración es un tratamiento y no un método de disposición final dado la existencia de dicho material. Un horno de cremación es un horno industrial capaz de alcanzar altas temperaturas (870 ° a 980 °C) con modificaciones para asegurar la eficiente desintegración del cuerpo. Una de esas modificaciones consiste en dirigir las llamas al torso del cuerpo en donde reside la principal masa corporal.

Antes de introducir la carga, la primera cámara debe de estar a un mínimo de 600 °C. En la segunda cámara se exige una temperatura de 850 °C y un tiempo de residencia de dos segundos (este es un factor primordial en estas instalaciones). La velocidad de salida de los gases ha de ser, como mínimo de 15 m/s. El proceso generalmente toma entre uno y tres horas dependiendo del tamaño del cuerpo (ver figura.4). Después de este procedimiento, se requiere un período de enfriamiento antes de poder manejar los restos.

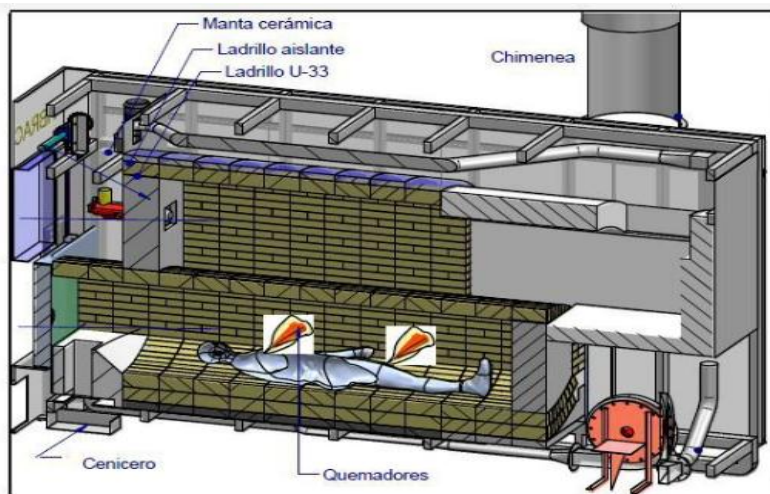


Figura 4. Esquema de un Horno Crematorio
Fuente: Grupo Ambiental GKL. S.A.S (2019)

2.2.3 Biomasa

Se refiere a un tipo de energía útil en términos energéticos formales. El origen de la energía de la biomasa puede ser tanto animal como vegetal y puede haber sido obtenida de manera natural o proceder de transformaciones artificiales que se realizan en las centrales de biomasa. Esta materia se convierte en energía al aplicarle distintos procesos químicos.

2.2.4 Tipos de Biomosas

- **Biomasa natural:** Es la que se produce en la naturaleza sin la intervención humana.
- **Biomasa residual:** Son los residuos orgánicos que provienen de las actividades de las personas (residuos sólidos urbanos (RSU) por ejemplo).
- **Biomasa producida:** Son los cultivos energéticos, es decir, campos de cultivo donde se produce un tipo de especie concreto con la única finalidad de su aprovechamiento energético.

2.2.5 Procesos de Conversión de la Biomasa en Energía

Los métodos de conversión de la biomasa pueden ser métodos térmicos como:

- **Combustión:** Existe cuando quemamos la biomasa con mucho aire (20-40% superior al teórico) a una temperatura entre 600 °C y 1.300 °C.
- **Pirólisis:** Se trata de descomponer la biomasa utilizando el calor (a unos 500 °C) sin oxígeno.
- **Gasificación:** Existe cuando hay una combustión y se producen diferentes elementos químicos: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrógeno (H) y metano (CH₄), en cantidades diferentes. La temperatura de la gasificación puede estar entre 700 y 1.500 °C y el oxígeno entre un 10 y un 50%.

Y los métodos biológicos como:

- **Fermentación Alcohólica:** Consiste en la fermentación de hidratos de carbono que se encuentran en las plantas y en la que se consigue un alcohol (etanol) que se puede utilizar para la industria.
- **Fermentación Metánica:** Es la digestión anaerobia (sin oxígeno) de la biomasa, donde la materia orgánica se descompone (fermenta) y se crea el biogás.

2.2.6 Biocombustibles

Es una combinación de materias primas orgánicas, como de plantas o de desechos de la agricultura, domésticos o industriales, siempre que tengan un origen biológico, utilizable como fuente de energía.

2.2.7 Biocombustibles Sólidos

Son una fuente de energía producida y generada a partir de restos de productos forestales y vegetales. En otras palabras, se trata de residuos de materia orgánica y natural de gran poder calorífico y energético donde podemos incluir residuos provenientes de la actividad agrícola, industrial y desechos originados de la gestión forestal de los bosques.

2.2.8 Tipos de Biocombustibles Sólidos

- **Pellet:** Son pequeños cilindros de 6 a 8 mm de diámetro y de 10 a 40 mm de longitud, que se obtienen prensando serrín de madera. Los pellets no pueden ser almacenados a la intemperie, ya que la humedad los destruye. Dadas sus características homogéneas en cuanto a tamaño forma y densidad se comportan como un fluido, facilitando su utilización, de tal manera que son el biocombustible sólido de mayor calidad.
- **Cascara de Coco:** La cáscara de coco posee propiedades que la hacen apta para el aprovechamiento como fuente de energía. El valor del poder calorífico de la capa fibrosa

es de 14,70 MJ/kg y constituye el 33% del fruto; este usualmente es desechado como residuo sólido y, por tanto, se puede usar como biomasa. Por otro lado, la capa dura tiene un poder calorífico de 23,01 MJ/kg y constituye el 15% del fruto, lo cual implica un mayor poder calorífico en la capa dura. Teniendo en cuenta que la cáscara es totalmente desechada como residuo sólido, se puede hacer uso de ella como biomasa sin afectar la seguridad alimentaria; de igual modo, se sabe que este recurso se puede considerar renovable, haciendo de él un buen candidato para su uso en la generación de energía.

- **Cascarilla de Arroz:** La cascarilla de arroz es un residuo vegetal que sólo hace combustión en condiciones de exceso de oxígeno del aire y niveles bajos de humedad del material. Se usa como combustible en aplicaciones, tanto domésticas como industriales. Sus propiedades térmicas sustentan su uso como fuente de energía para la combustión en hornos, incluso a un nivel industrial.

2.2.9 Energía Renovable

La energía renovable se obtiene a partir de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

2.2.10 Materia Orgánica

Es materia conformada por compuestos orgánicos que provienen de los restos de organismos que alguna vez estuvieron vivos, tales como plantas, animales y sus productos de residuo en el ambiente natural. La materia orgánica está formada por materia inerte y energía.

2.2.11 Temperatura

Es una magnitud referida a las nociones comunes de calor, tibio o frío, por lo general un objeto más "caliente" tendrá una temperatura mayor. La temperatura está relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, la cual está más directamente relacionada con la parte de la energía interna asociada a los movimientos de las partículas del sistema, sea en un sentido traslación, rotacional o en forma de vibraciones, la llamada agitación térmica.

2.2.12 Combustión

La combustión se refiere a las reacciones de oxidación que se producen de forma rápida, de materiales llamados combustibles, formados fundamentalmente por carbono (C) e hidrógeno (H) y en algunos casos por azufre (S), en presencia de oxígeno, denominado el comburente, y con gran desprendimiento de calor. En sentido amplio, puede entenderse como toda reacción química, de

carácter notablemente exotérmico, que se desarrolla en fase gaseosa o heterogénea (líquido-gas, sólido-gas) con o sin manifestación de llamas o de radiaciones visibles.

2.2.13 Termodinámica

La Termodinámica estudia las transferencias de calor, la conversión de la energía y la capacidad de los sistemas para producir trabajo. Las leyes de la termodinámica explican los comportamientos globales de los sistemas macroscópicos en situaciones de equilibrio. Además de estudiar cómo esta reacciona a cambios en su volumen, presión y temperatura, entre otras magnitudes.

2.2.14 Transferencia de Calor

Es la propagación del calor en distintos medios. La transferencia de calor se produce siempre que existe un gradiente térmico en un sistema o cuando dos sistemas con diferentes temperaturas se ponen en contacto. El proceso persiste hasta alcanzar el equilibrio térmico, es decir, hasta que se igualan las temperaturas. Cuando existe una diferencia de temperatura entre dos objetos cercanos o regiones lo suficientemente próximas se transfiere calor más rápido. El calor se transfiere mediante convección, radiación o conducción.

2.2.15 Tipos de Transferencia de Calor

- **Convección:** Es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que está en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. El movimiento del fluido puede ser natural o forzado. Si se calienta un líquido o un gas, su densidad (masa por unidad de volumen) suele disminuir. Si el líquido o gas se encuentra en el campo gravitatorio, el fluido más caliente y menos denso asciende, mientras que el fluido más frío y más denso desciende. Este tipo de movimiento, debido exclusivamente a la no uniformidad de la temperatura del fluido, se denomina convección natural.

En cuanto al movimiento forzado, se debe a que el fluido es forzado a fluir por la fuerza de un agente externo, de acuerdo a las leyes de la mecánica de los fluidos.

Sin importar la naturaleza particular del proceso de transferencia de calor por convección, la ecuación apropiada es de la forma:

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad \text{Ec. 1.}$$

Donde:

\dot{Q}_{conv} : Rapidez de la Transferencia de Calor por Convección. (W/m^2)

A_s : Área Superficial en la que tiene lugar la Transferencia de Calor por Convección. m^2 .

T_s : Temperatura de la Superficie.

T_∞ : Temperatura del Fluido.

h : Coeficiente de Transferencia de Calor por Convección. ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

- **Conducción:** La conducción se considera como la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. En los gases y líquidos la conducción se debe a los choques y a la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio.

Es posible cuantificar los procesos de transferencia de calor en términos de las ecuaciones o modelos apropiados. Estas ecuaciones sirven para calcular la rapidez o razón de la conducción de calor por unidad de tiempo. Para la conducción de calor el modelo se conoce como Ley de Fourier.

$$\dot{Q}_{cond} = kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad \text{Ec. 2.}$$

Donde:

\dot{Q}_{cond} : Rapidez de la Transferencia de Calor por Unidad de Área. (W/m^2)

k : Conductividad Térmica ($W/m^2 \cdot K$)

A : Área de Transferencia de Calor por Conducción.

$\Delta T/\Delta x$: Gradiente de Temperatura.

2.2.16 Resistencia Térmica

De igual manera en la que se asocia una resistencia eléctrica con la conducción de electricidad se asocia una resistencia térmica con la conducción de calor. La diferencia de temperatura a la tensión y la rapidez de la transferencia de calor a la corriente eléctrica.

$$\dot{Q}_{conv} = \frac{T_s - T_\infty}{R_{conv}} \quad \text{Ec. 3.}$$

- **La Pared Plana:** Una resistencia térmica también se asocia con la transferencia de calor mediante convección a una superficie (ver figura 5.)

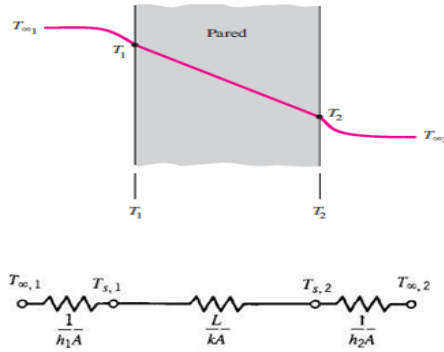


Figura 5. Transferencia de Calor a través de una Pared Plana.
Fuente: Cengel, Y. y Afshin, G. (2011).

Donde:

$$R_{conv} = \frac{T_s - T_\infty}{q} \frac{1}{hA_s} \quad \text{Ec. 4.}$$

- **Paredes Compuestas:** A menudo se encuentran paredes planas que constan de varias capas de materiales diferentes. Estas paredes incluyen cualquier número de resistencias térmicas en serie y en paralelo (ver figura 6).

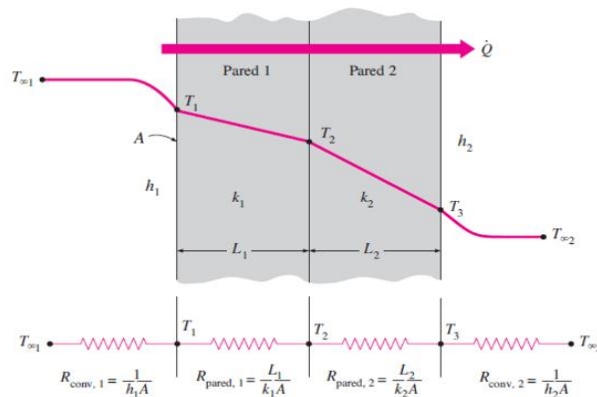


Figura 6. Transferencia de Calor a través de una Pared Compuesta.
Fuente: Cengel, Y. y Afshin, G. (2011).

Donde:

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{\frac{1}{h_1 A} + \frac{L_1}{k_1 A} + \frac{L_2}{k_2 A} + \frac{1}{h_2 A}} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}} \quad \text{Ec. 5.}$$

- **El Cilindro:** La distribución de temperaturas asociada con la conducción radial a través de una pared cilíndrica es logarítmica y no lineal, como lo es para la pared plana. En base a lo dicho anteriormente, para la conducción radial en una pared cilíndrica la resistencia térmica es de la forma (ver figura 7).

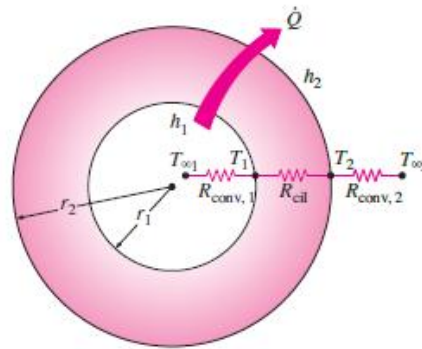


Figura 7. Transferencia de Calor a través de Capa Cilíndrica.
Fuente: Cengel, Y. y Afshin, G. (2011).

Donde:

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{\frac{1}{(4\pi r_1^2)h_1} + \frac{r_2 - r_1}{(4\pi r_1 r_2)k} + \frac{1}{(4\pi r_2^2)h_2}} \quad \text{Ec. 6.}$$

Para paredes Cilíndricas Compuestas

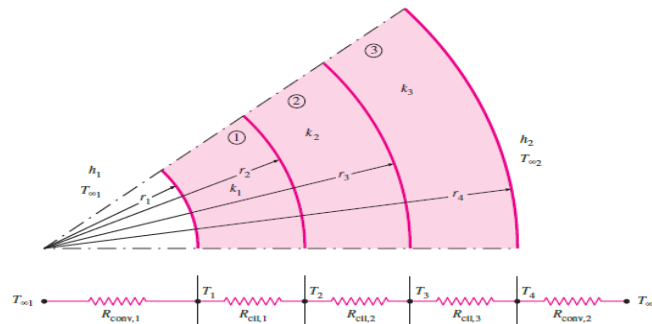


Figura 8. Distribución de Temperatura en Pared Cilíndrica Compuesta
Fuente: Cengel, Y. y Afshin, G. (2011).

Donde:

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{\frac{1}{h_1(2\pi r_1 L)} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi L k_1} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi L k_2} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi L k_3} + \frac{1}{h_2(2\pi r_4 L)}} \quad \text{Ec. 7.}$$

2.2.17 Materiales Refractarios

Son materiales que pueden mantener su resistencia y estructura a altas temperatura. Dependiendo de la operación, estos materiales deben resistir los choques térmicos, ser químicamente inertes, presentar una baja conductividad térmica y un bajo coeficiente de dilatación.

2.2.18 Tipos de Materiales Refractarios

- **Materiales Refractarios Ácidos:** Los refractarios ácidos son producidos a base de sílice en sus distintas formas como cuarzo, cuarcita o arena. La sílice pura a veces se utiliza para contener metal derretido.
- **Materiales Refractarios Neutros:** Son los más comunes y se usan en todo tipo de industrias. Son estables químicamente ante ácidos y bases. Son producidos a base de bauxita o chamote. Tienen (SiO_2) y (Al_2O_3) son igual de resistentes.
- **Materiales Refractarios Básicos:** Sus principales componentes son el óxido de magnesio y óxido de calcio; el ladrillo más común es el de magnesita, el cual tiene buena resistencia a la compresión y alta refractariedad. Se usa principalmente en hornos abiertos, convertidores alimentados por oxígeno, hornos eléctricos y otros equipos operados a altas temperaturas.
- **Materiales Refractarios Especiales:** El carbono, el grafito, es utilizado en muchas aplicaciones refractarias, particularmente cuando operan en atmósfera no oxidante. Estos materiales refractarios incluyen la circona (ZrO_2), el circón ($ZrO_2.SiO_2$) y una diversidad de nitruros, carburos y boruros.

2.2.19 Presentación de los Materiales Refractarios

- **Cemento Refractario:** Es una mezcla, la cual se utiliza cubrir las paredes de Hornos, Calderas y Chimeneas. Posee una composición del 53% de Al_2O_3 , un 6% de SiO_2 , 2.5% de Fe_2O_3 y 0.4% de R_2O . Con una resistencia térmica de 1500 °C (ver figura.9).



Figura 9. Presentación Cemento Refractorio.
Fuente: Arcosa. (2021).

- **Mortero Refractorio:** Es un compuesto que funciona para unir piezas aptas para soportar altas temperaturas como ladrillos y losetas refractarias.
- **Ladrillos Refractorios:** Es un material cerámico, las caras de estos ladrillos son lisas, lo que permite que disminuya la adherencia con el mortero, logrando la resistencia a altas temperaturas y la abrasión. Debido a sus buenas propiedades térmicas este material es considerablemente costoso.

2.2.20 Aislante Térmico

Es un material con una alta resistencia térmica, empleado en la construcción y en la industria. Establece una barrera al paso del calor entre dos medios que naturalmente tenderían a igualarse en temperatura, impidiendo que el calor traspase los separadores del sistema que nos interesa. Uno de los mejores aislantes térmicos es el vacío, en el que el calor solo se trasmite por radiación, pero debido a la gran dificultad para obtener y mantener condiciones de vacío se emplea en muy pocas ocasiones. En la práctica se utiliza mayoritariamente aire con baja humedad, que impide el paso del calor por conducción, gracias a su baja conductividad térmica, y por radiación, gracias a un bajo coeficiente de absorción.

2.2.21 Tipos de Aislantes Térmicos

- **Lana de Vidrio:** Es una lana mineral, hecha por hilado del vidrio para convertirse en un material fibroso (ver figura. 10). Las burbujas de aire atrapadas en las fibras impiden la transmisión térmica. Este material ha sido ampliamente usado en la preservación térmica, el aislamiento térmico y acústico en la construcción.



Figura. 10. Lana de Vidrio

Fuente: Okorder. (2014).

- **Lana de Roca:** Es un material que se utiliza como aislante térmico en la construcción y en la industria. Es un tipo de lana mineral que se produce a partir de roca natural como la basáltica, un tipo de roca volcánica muy común. Este material se diferencia de otros aislantes en que es un material resistente al fuego, con un punto de fusión superior a los 1.200 °C.

Coeficiente de conductividad térmica: 0.037 (W/m*K)

- **Poliestireno Extruido:** Es una espuma rígida resultante de la extrusión del poliestireno en presencia de un gas espumante, usada principalmente como aislante térmico.

Posee una conductividad térmica típica entre 0,025 (W/m*K) y 0,040 (W/m*K).

- **Espuma elastomérica:** Es un aislante con un excelente rendimiento en baja y media temperatura y de fácil instalación. Posee en su estructura una barrera de vapor y un comportamiento totalmente ignífugo.

✓ Coeficiente de conductividad: 0,030 kcal/h·m·°C

✓ Temperatura de trabajo óptima: -40 a 115 °C

Es fácilmente atacable por la radiación ultravioleta por lo cual se lo debe proteger de la luz del sol.

2.2.22 Quemadores Industriales

No son más que ciertos equipos que se utilizan para realizar el proceso de combustión. Esto nos quiere decir que se encargan de lograr cualquier mezcla íntima del combustible junto con el aire,

y proporcionar la energía necesaria para la activación. Estos quemadores son exclusivos para los combustibles líquidos y gaseosos, ya que cuando se trata de ciertos combustibles sólidos, estos se queman sobre una parrilla, o contrario a este proceso, requieren de ciertos tratamientos previos del combustible, que luego se unen con ciertos quemadores cuyos diseños suelen ser especiales.

2.2.23 Quemadores Atmosféricos

Son aquellos que se caracterizan por utilizarse únicamente con combustibles gaseosos. En su funcionamiento, parte necesaria del aire (Aire Primario) que se necesita para la combustión, debe ser introducido en el quemador a través del chorro de gas que debe salir por un inyector (Efecto Venturi). Luego, el aire que resta (Aire Secundario), debe obtenerse a través de la difusión el aire del ambiente que se encuentra alrededor de toda la llama (ver figura. 11).

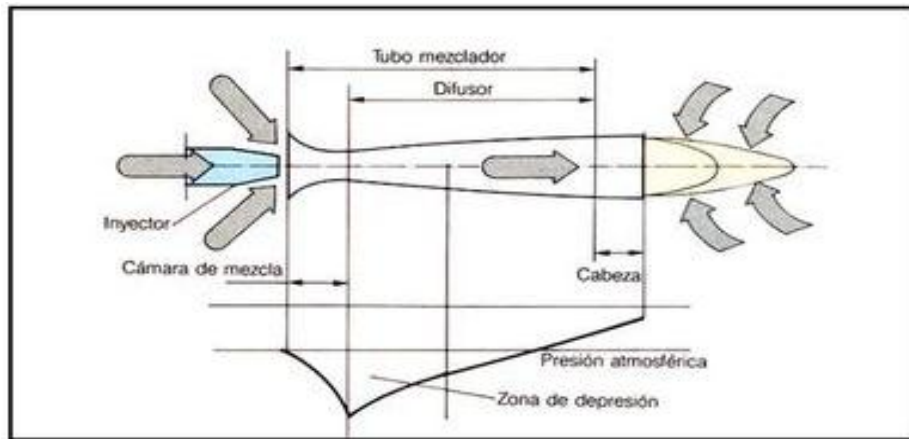


Figura 11. Esquema de Funcionamiento de un Quemador Atmosférico

Fuente: Lincoln, J. (2012).

2.2.24 Quemadores Mecánicos

También conocidos como quemadores de sobrepresión, se caracterizan por introducir todo el aire de combustión a través de un ventilador. En lo que se refiere al gas, el combustible suele ser introducido a través de inyectores que aprovechan la presión de suministro. En lo que se refiere a la combustión, la misma puede ir ajustándose de diversas maneras, bien sea sobre la cantidad de aire que se va a impulsar y sobre cualquiera de los elementos que produzcan la mezcla. Esto genera que el rendimiento de combustión sea bastante alto.

Estos quemadores, a su vez, se pueden dividir en tres tipos, según sea el número de escalones de potencia que logren producir. Estos son los siguientes:

1. **En Marcha:** Funcionan con una sola potencia, aquella a la que han sido regulados desde el comienzo. Se caracterizan por contar con una potencia pequeña.

2. **Varias Marchas:** Estos son quemadores que cuentan con dos o más escalones de potencia, lo que quiere decir que funcionan produciendo diversas potencias. Se caracterizan por contar con rendimientos de potencia muy altos.
3. **Modulantes:** Son aquellos que se caracterizan por ajustarse en todo momento a la estrecha relación que existe entre el aire y el combustible, lo cual permite que estos vayan funcionando a altas potencias.

2.2.25 Quemadores de Biomasa

Es un quemador capaz de poner en combustión cualquier tipo de materia orgánica adecuada, ya sea de origen vegetal o animal. Como cualquier otro tipo de quemador, el quemador de biomasa se activa y se desactiva automáticamente en función de una temperatura de consignación establecida por un termostato, que puede ser digital o analógico. Pueden lucir de forma muy semejante a los quemadores de gas, pero por dentro son relativamente distintos. De hecho, son quemadores de combustible sólido (ver figura. 12).

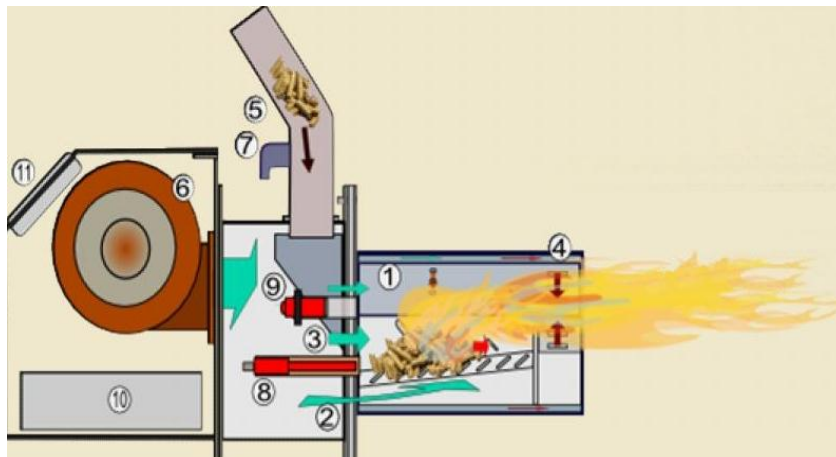


Figura 12. Esquema de un Quemador de Biomasa.
Fuente: La tienda del gas. (2022).

2.2.26 Poder Calorífico

Es la cantidad de energía por unidad de masa o unidad de volumen de materia que se desprenderá al producirse una reacción química de oxidación. La energía que puede liberar la unión química entre un combustible y el comburente y es igual a la energía que mantenía unidos los átomos en las moléculas de combustible (energía de enlace), menos la energía utilizada en la formación de nuevas moléculas en las materias (generalmente gases) formadas en la combustión.

2.2.27 Tipos de Poder Calorífico

- **Poder Calorífico Superior:** Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de una unidad de masa de combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión está condensado y, por consiguiente, se tiene en cuenta el calor desprendido en este cambio de fase.
- **Poder Calorífico Inferior:** Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de una unidad de masa de combustible sin tomar en cuenta la parte correspondiente al calor latente del vapor de agua generado en la combustión, ya que no se produce cambio de fase, y se expulsa como vapor. Es el valor que interesa en los usos industriales, por ejemplo, en hornos.

2.2.28 Poder Calorífico en los Combustibles

Es la cantidad de energía desprendida en la reacción de combustión, referida a la unidad de masa de combustible. Es la cantidad de calor que entrega un kilogramo, o un metro cúbico, de combustible al oxidarse en forma completa.

2.2.29 Número de Nusselt

Es un número adimensional que permite determinar el aumento de la transmisión de calor desde una superficie por la que un fluido discurre (transferencia de calor por convección) comparada con la transferencia de calor si esta ocurre solamente por conducción.

$$Nu = \frac{hL}{k} \quad \text{Ec. 8.}$$

Donde:

k: Conductividad Térmica del Fluido.

L: Longitud

h: Coeficiente de Transferencia de Calor por Convección.

2.2.30 Coeficiente de Convección

Permite cuantificar la influencia de las propiedades del fluido, de la superficie y del flujo cuando se produce transferencia de calor por convección.

2.2.31 Número de Prandtl

Es un número adimensional proporcional al cociente entre la velocidad de difusión de la cantidad de momento (viscosidad) y la difusividad térmica.

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu C_p}{k} \quad \text{Ec. 9.}$$

Donde:

ν : Viscosidad Cinemática

α : Difusividad Térmica

μ : Viscosidad Dinámica

C_p : Calor Especifico.

k : Conductividad Térmica

2.2.32 Viscosidad Cinemática

Es una medida de la resistencia interna de un fluido a fluir bajo fuerzas gravitacionales. Se determina midiendo el tiempo en segundos requerido para que un volumen fijo de fluido fluya por gravedad una distancia conocida a través de un capilar dentro de un viscosímetro calibrado a una temperatura estrechamente controlada.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad \text{Ec. 10.}$$

Donde:

μ : Viscosidad Dinámica

ρ : Densidad

2.2.33 Viscosidad Dinámica

Denominada también viscosidad absoluta, es una propiedad característica de cada fluido y es además dependiente de la temperatura y la presión.

2.2.34 Densidad

Es la relación de la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia o un objeto sólido.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ec. 11.}$$

Donde:

m : Masa.

V : Volumen.

2.2.35 Método de Nelson Vélchez

Este método tiene como finalidad describir de modo general la solución del problema. Por lo cual es necesario, dedicarse a idear opciones que satisfagan esa descripción. Para ello principalmente se aplica una serie de restricciones.

Un procedimiento para descubrir e identifica restricciones ficticias es el siguiente:

- a) Generar varias alternativas de soluciones (sistemas de referencia)
- b) Buscar característica común a todas las alternativas
- c) Generar otras alternativas que no posea esa característica común
- d) Repetir los dos pasos anteriores, usando cada vez una característica común distinta.

Como se puede observar, en este caso se utilizan varios sistemas de referencia, cuando se emplea el recurso de la inversión se toma, en cambio, un solo sistema de referencia

Para poder emprender la toma de decisión es necesario:

- ❖ Haber elaborado previamente las especificaciones de diseño.
- ❖ Tener varias probables soluciones para el problema.

Por haber cumplido con estos requisitos en la etapa anterior, se está en condiciones para decidir cuál es la solución que mejor concuerda con las exigencias establecidas para el sistema a diseñar. Se procede a estudiar algunos métodos que nos ayuden en esta tarea.

2.2.35.1 Método de ponderación de criterios y soluciones.

Este método consta de las tres etapas que se describen en los párrafos siguientes.

Se estudian todas las probables soluciones generadas durante la etapa de búsqueda. El diseñador debe efectuar un análisis de las probables soluciones con el propósito de comprenderlas si lo considera necesario, el analista adquiere así una visión de conjunto del resultado de la etapa de búsqueda de soluciones y queda en mejores condiciones para seleccionar el curso de acción más apropiado.

- Se aplican las restricciones a todas las probables soluciones. Teniendo en cuenta las siguientes premisas: **1)** las restricciones permiten eliminar probables soluciones, sin necesidad de compararlas entre sí, **2)** para que una probable solución se convierta en solución es necesario que cumpla con todas las restricciones del problema.
- Se aplican los criterios a las soluciones. Esta etapa consta de tres pasos: **1)** ponderación de criterios, **2)** ponderación de soluciones de acuerdo a cada uno de los criterios y **3)** ponderación final de soluciones.

Por lo tanto, la mejor solución será aquella que se obtiene de la ponderación final de las soluciones.

2.3 Bases legales

Las bases legales no son más que leyes que sustentan esta investigación, las cuales se trabajan de manera jerárquica de acuerdo a la pirámide de “Kelsen”. Según Palella, S. y Martíns, F. (2012) indican que las bases legales “son las normativas jurídicas que sustenta el estudio desde la carta magna (Constitución), las leyes orgánicas, las resoluciones decretos entre otros” (p.63).

La Constitución de la República Bolivariana de Venezuela Gaceta Oficial Extraordinaria Nro. 5.453 (2000), establece en su capítulo IX de los derechos ambientales que:

El texto constitucional se caracteriza por desarrollar con la amplitud necesaria, los derechos y deberes ambientales de cada generación, y por reconocer el derecho que ellas tienen a un medio ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado. Destaca, en este sentido, la necesidad de mantener un eficaz desarrollo de la seguridad ambiental en las fábricas y complejos industriales. (p.16).

De acuerdo a la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela Gaceta Oficial Extraordinaria Nro. 5.453 (2000), establece en su artículo 127 que:

Es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí misma y del mundo futuro. Toda persona tiene derecho individual y colectivamente a disfrutar de una vida y de un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado. El Estado protegerá el ambiente, la diversidad biológica, los recursos genéticos, los procesos ecológicos, los parques nacionales y monumentos naturales y demás áreas de especial importancia ecológica. El genoma de los seres vivos no podrá ser patentado, y la ley que se refiera a los principios bioéticos regulará la materia.

Es una obligación fundamental del Estado, con la activa participación de la sociedad, garantizar que la población se desenvuelva en un ambiente libre de contaminación, en donde el aire, el agua, los suelos, las costas, el clima, la capa de ozono, las especies vivas, sean especialmente protegidos, de conformidad con la ley. (p.71).

Así también, la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela Gaceta Oficial Extraordinaria Nro. 5.453 (2000), resalta en su artículo 129 que:

Todas las actividades susceptibles de generar daños a los ecosistemas deben ser previamente acompañadas de estudios de impacto ambiental y socio cultural. El Estado impedirá la entrada al país de desechos tóxicos y peligrosos, así como la fabricación y uso de armas nucleares, químicas y biológicas. Una ley especial regulará el uso, manejo, transporte y almacenamiento de las sustancias tóxicas y peligrosas.

En los contratos que la República celebre con personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras, o en los permisos que se otorguen, que afecten los recursos naturales, se considerará incluida aun cuando no estuviera expresa, la obligación de conservar el equilibrio ecológico, de permitir el acceso a la tecnología y la transferencia de la misma en condiciones mutuamente convenidas y de restablecer el ambiente a su estado natural si éste resultara alterado, en los términos que fije la ley. (p.72).

Por otra parte, la Ley Orgánica del Ambiente de la República Bolivariana de Venezuela, Gaceta Oficial Nro. 5.833 emitida el 22 de diciembre de 2006, esta tiene como objetivo de la gestión ambiental en el desarrollo sustentable, en donde la sociedad y el Estado deben contribuir para el máximo bienestar de la población, bajo las normas que proporcionen un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y seguro. De esta ley, tenemos los siguientes artículos:

Título I, Capítulo I, Disposiciones Generales, Artículo 7:

La política ambiental deberá fundamentarse en los principios establecidos en la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, en la presente Ley, las demás leyes que la desarrollen y conforme a los compromisos internacionales contraídos válidamente por la República Bolivariana de Venezuela. (p. 6).

Título III, Capítulo I, De la Planificación del Ambiente, Artículo 22 afirma que “la planificación del ambiente constituye un proceso que tiene por finalidad conciliar el desarrollo económico y social con la gestión del ambiente, en el marco del desarrollo sustentable”. (p.10).

Título III, Capítulo I, De la Planificación del Ambiente, Artículo 25 establece que “las personas naturales y jurídicas, públicas y privadas, deberán programar y ejecutar sus actividades de acuerdo con los planes establecidos y las disposiciones contenidas en esta Ley y los demás instrumentos legales aplicables”. (p.11).

Título III, Capítulo III, De los Mecanismos de Elaboración, Ejecución y Revisión de los Planes, Artículo 33 establece “los planes ambientales serán de obligatorio cumplimiento y estarán sujetos a revisión y actualización periódica. Los planes y sus modificaciones entrarán en vigencia una vez sean publicados en la Gaceta Oficial que corresponda al nivel político territorial respectivo”. (p.15).

Título IV, Capítulo II, De la Participación Ciudadana, Artículo 39 afirma que “Todas las personas tienen el derecho y el deber de participar en los asuntos relativos a la gestión del ambiente”. (p.17).

Título V, Capítulo III, De los demás Elementos del Ambiente, Artículo 60, apartado 1,2,3 y 4:

Para la conservación de la calidad de la atmósfera se considerarán los siguientes aspectos:

1. Vigilar que las emisiones a la atmósfera no sobrepasen los niveles permisibles establecidos en las normas técnicas.
2. Reducir y controlar las emisiones a la atmósfera producidas por la operación de fuentes contaminantes, de manera que se asegure la calidad del aire y el bienestar de la población y demás seres vivos, atendiendo a los parámetros establecidos en las normas que la regulan y en cumplimiento de los convenios internacionales suscritos y ratificados por la República Bolivariana de Venezuela.
3. Establecer en las normas técnicas ambientales los niveles permisibles de

concentración de contaminantes primarios y secundarios, capaces de causar molestias, perjuicios o deterioro en el ambiente y en la salud humana, animal y vegetal.

4. Establecer prohibiciones, restricciones y requerimientos relativos a los procesos tecnológicos y la utilización de tecnologías, en lo que se refiere a la emisión de gases y partículas, entre otros, que afectan la capa de ozono o inducen el cambio climático. (p.23).

Cabe agregar, el Decreto No. 638 de fecha 26-04-95, por el cual se dictan las Normas sobre Calidad del Aire y Control de la Contaminación Atmosférica. Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 4.899 Extraordinario del 19 de mayo de 1995. Deroga el Decreto No. 2.225 de fecha 23-04-92, Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 4.418 Extraordinario del 27 de abril de 1992. Del mismo se extrajeron los siguientes artículos:

Capítulo I, Disposiciones Generales, Artículo 1 afirma que “Este Decreto tiene por objeto establecer las normas para el mejoramiento de la calidad del aire y la prevención y control de la contaminación atmosférica producida por fuentes fijas y móviles capaces de generar emisiones gaseosas y partículas”. (p.1).

Capítulo VII, Disposiciones finales y transitorias, Artículo 39:

El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, a solicitud de parte interesada, podrá otorgar constancias de cumplimiento de la normativa ambiental en materia de emisiones, a aquellas actividades inscritas en el registro que hayan presentado la caracterización correspondiente, con resultados satisfactorios, y a quienes hayan cumplido con su proceso de adecuación. (p. 14).

En cuanto, a la normativa para los hornos crematorios, la Norma Española UNE 123001:2012, establece los criterios para el cálculo, el diseño y la instalación de chimeneas modulares para la evacuación de los productos de la combustión, así como la Norma COVENIN 1649: 1996 de Chimeneas y Ductos las cuales serán de gran utilidad, ya que un horno crematorio con un sistema alternativo como fuente de energía, bien sea la biomasa emite gases en su proceso de combustión.

De igual forma, las normas ISO son una serie de estándares internacionales con el fin de estandarizar procesos, ha tenido énfasis en el uso de biomasa como “el uso sostenible y eficiente de la bioenergía desempeña un papel fundamental en la mayoría de escenarios de bajas emisiones”, (Gould, R. 2021, p. 1). Además, la norma “ISO ha trabajado en el desarrollo de toda una serie de normas acerca de los combustibles sólidos de biomasa y la sostenibilidad de la bioenergía”, (Douck, M. 2021, p. 3), donde se encuentra la norma ISO/TC 238 para combustibles sólidos, por otra parte, la serie ISO 17225, establecen requisitos de calidad para los combustibles, algo que ayudará a garantizar una combustión limpia en las distintas tecnologías.

En ese mismo sentido, está la norma venezolana COVENIN, con la comisión técnica XXII de

materiales refractarios, está la norma COVENIN 2975-92 de materiales refractarios, concretos (moldeables) aislantes, muestreo y condiciones de aceptación, la cual tiene como objetivo establecer el plan de muestreo a ser aplicado a los concretos (moldeables) aislantes para precisar la aceptación de los mismos.

En esta norma fueron consultadas la norma COVENIN 2110-83 de materiales refractarios, clasificación de los concretos (moldeables) refractarios, la norma COVENIN 1894-92 determinación de las dimensiones y peso volumétrico de los ladrillos refractarios densos y aislantes, la norma COVENIN 1751-81 materiales refractarios y terminología, la norma COVENIN 1747-90 materiales refractarios, determinación del cambio lineal permanente, la norma COVENIN 1966-84 materiales refractarios, concretos (moldeables) refractarios, preparación de probetas por vaciado y la norma COVENIN 1965-82 cocción de probetas de concreto (moldeables) refractarios. Esto permite al momento de seleccionar para el diseño del horno crematorio, debe estar bajo esta normativa.

A su vez, está la norma ASME que desarrolla los códigos y los estándares que mejoran la seguridad pública, y proporciona aprendizaje constante y oportunidades de intercambio técnico que benefician la comunidad global de la ingeniería y de la tecnología, esta normativa proporciona en su sección IX calificación de soldadura, en la Sección V Ensayos no destructivos y en la sección II código de materiales ferrosos, no ferrosos, aportes y propiedades.

2.4 Definición de términos

Agitación Térmica: Es el movimiento caótico que tienen las moléculas dependiendo de la temperatura y del estado de agregación. Por movimiento caótico se entiende al movimiento no ordenado, cada una se mueve en un sentido y constantemente están cambiando su dirección y sentido de movimiento. La dependencia con la temperatura es, a mayor temperatura, mayor agitación térmica y viceversa.

Biochar: Es carbón vegetal que se obtiene de restos vegetales y residuos de biomasa. A diferencia del carbón vegetal clásico es empleado como combustible, el biocharo bio carbón no se utiliza como tal, no se quema, sino que se aplica al suelo para mejorar sus propiedades.

Biomasa: La biomasa es un tipo de energía renovable en la que se emplea materia orgánica como fuente de energía. Esta materia orgánica es originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado.

Calor: Es la energía que surge de la vibración de moléculas y que conlleva a un incremento en la

temperatura. En física, el calor termodinámico no es más que una energía en tránsito que se conoce sólo cuando cruza una frontera de sistemas termodinámicos. Cuando este se encuentra dentro de ese sistema o en sus alrededores, la transferencia, que se hace de adentro hacia afuera, se vuelve parte de la energía de ese sistema, a esto se le llama conducción de calor.

Combustión: La combustión es un tipo de reacción química exotérmica. Puede involucrar materia en estado gaseoso o en estado heterogéneo (líquido-gaseoso o sólido-gaseoso). Genera luz y calor en la mayoría de los casos, y se produce de manera considerablemente rápida. Casi siempre, las combustiones generan energía térmica y lumínica y además producen otras sustancias gaseosas y sólidas, como el dióxido de carbono (CO_2) y el vapor de agua, o los residuos sólidos del combustible (la sustancia consumida en la reacción) y del comburente (la sustancia que propicia la reacción).

Conductividad Térmica: Es una propiedad de ciertos materiales capaces de transmitir el calor, es decir, permitir el paso de la energía cinética de sus moléculas a otras sustancias adyacentes. Se trata de una magnitud intensiva, inversa a la resistividad térmica (que es la resistencia de ciertos materiales a la transmisión del calor por sus moléculas).

Efecto Venturi: Es un fenómeno físico que consiste en que cuando un fluido en movimiento dentro de un tubo o conducto de determinada sección, atraviesa una sección menor, inevitablemente este aumenta su velocidad. Al aumentar su velocidad se descubrió que disminuye su presión. A esto se lo llama efecto Venturi.

Energía Renovable: Son fuentes de energías limpias, inagotables y crecientemente competitivas. Se diferencian de los combustibles fósiles principalmente en su diversidad, abundancia y potencial de aprovechamiento en cualquier parte del planeta, pero sobre todo en que no producen gases de efecto invernadero causantes del cambio climático con emisiones contaminantes. Además, sus costes evolucionan a la baja de forma sostenida, mientras que la tendencia general de costes de los combustibles fósiles es la opuesta, al margen de su volatilidad coyuntural.

Monóxido de carbono: El monóxido de carbono es un gas incoloro no irritante sin olor o sabor. Se le encuentra tanto en el aire puertitas adentro como al aire libre. El monóxido de carbono se produce de la combustión incompleta del carbón. Es producido tanto por actividades humanas como por fuentes naturales.

Refractario: Se denomina refractario el material que resiste temperaturas de entre 600° y 1500° . Se necesitan para procesos industriales, por ejemplo, en los hornos de fusión.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

El marco metodológico permite a través de técnicas y procesos poder llevar a cabo la investigación y alcanzar el objetivo de la misma, siendo este, proponer un sistema alternativo como fuente de energía para el funcionamiento y diseño de un horno crematorio y sus diferentes fases. Así mismo, Arias, F. (2012) establece que el marco metodológico es el “conjunto de pasos, técnicas y procedimientos que se emplean para formular y resolver problemas” (p.16). Este método se basa en la formulación de hipótesis las cuales pueden ser confirmadas o descartadas por medios de investigaciones relacionadas al problema.

De igual forma, Tamayo y Tamayo (2012) define al marco metodológico como “Un proceso que, mediante el método científico, procura obtener información relevante para entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento” (p.37), dicho conocimiento se adquiere para relacionarlo con las hipótesis presentadas ante los problemas planteados.

3.1 Tipo de Investigación

Según Hurtado, J. (2000), establece que una investigación proyectiva:

Consiste en la elaboración de una propuesta o de un modelo, como solución a un problema o necesidad de tipo práctico, ya sea de un grupo social, o de una institución, en un área particular del conocimiento, a partir de un diagnóstico preciso de las necesidades del momento, los procesos explicativos o generadores involucrados y las tendencias futuras. (p.325).

Con referente a lo anterior, los proyectos factibles según Balestrini, M. (2002) “son aquellos proyectos o investigaciones que proponen la formulación de modelos, sistemas entre otros, que dan soluciones a una realidad o problemática real planteada, la cual fue sometida con anterioridad o estudios de las necesidades a satisfacer” (p. 9).

En cuanto, a la presente investigación titulada “plantear un sistema alternativo como fuente de energía para el diseño y funcionamiento de un horno crematorio dentro de los estándares ambientales” se encuentra dentro de una investigación proyectiva factible, ya que en el mismo se propone una solución a la falta de combustibles convencionales para el funcionamiento de los hornos crematorios en el país, con una fuente de energía alternativa.

En el mismo orden de ideas, la investigación de proyecto factible se realiza en fases, según

Palella, S. y Martíns, F. (2012) establece que “las fases para desarrollar un proyecto factible son: Diagnóstico, Factibilidad, Diseño de la propuesta, Ejecución de la propuesta y Evaluación de la propuesta” (pág. 162).

3.2 Diseño de la Investigación

Según Altuve, S. y Rivas, A. (1998), asegura que el diseño de una investigación: “es una estrategia general que adopta el investigador como forma de abordar un problema determinado, que permite identificar los pasos que deben seguir para efectuar su estudio” (p. 231).

Con referente a lo anterior, según Figueredo et. al (2020), establece que los proyectos factibles son “trabajos que conllevan a propuestas viables para atender necesidades demostradas a través de una investigación de campo o documental ya sea de una organización, grupo social o institución, a ser usados como solución al problema delimitado” (p.13).

Así mismo, según Pérez, R. (2014) establece que la investigación documental:

Es un procedimiento científico, un proceso sistemático de indagación, recolección, organización, análisis e interpretación de información o datos en torno a un determinado tema. Al igual que otros tipos de investigación, éste es conducente a la construcción de conocimientos. La investigación documental tiene la particularidad de utilizar como una fuente primaria de insumos, mas no la única y exclusiva, el documento escrito en sus diferentes formas: documentos impresos, electrónicos y audiovisuales. (pág.1)

Por lo tanto, la investigación es documental o bibliográfica ya que a través de la búsqueda en textos libros, normas, páginas web y electrónica para orientarse y poder manipular las variables para proponer un sistema alternativo como fuente de energía para el funcionamiento y diseño de un horno crematorio. Además, este trabajo de grado se apoya en una investigación de campo ya que parte de la información necesaria se obtuvo de manera directa en el lugar de trabajo. La investigación de campo según Arias, F. (2012) se define como: “Es aquella que consiste en la recolección de todos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variable alguna” (pág. 31).

3.3. Nivel De la Investigación

El tipo de investigación del proyecto, según Arias, F. (2012) establece como: “El nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio.” (pág. 23).

La investigación se desarrollará como una investigación descriptiva, según Arias, F. (2012) la define como:

La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere. (pág. 24).

Por lo tanto, el nivel en el cual se enfoca el presente trabajo es descriptivo, ya que describe a detalle el paso a paso de todos los lineamientos, tanto de seguridad ambiental como de diseño de hornos crematorios de biomasa, lo cual proporcionar energía limpia y de bajo impacto ambiental. Siendo así, esta investigación será la más adecuada al problema planteado por su origen y desarrollo.

3.4 Población y Muestra

3.4.1 Población

Según Arias, F. (2016) lo define como: “Población un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para las cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación.” (pág. 81). La población en el presente trabajo será los diferentes tipos de hornos presentes en el estado Carabobo.

3.4.2 Muestra

En una investigación, una muestra según Arias, F. (2012) se refiere a: “Un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible” (pág. 83). La muestra seleccionada para este trabajo son todos los hornos crematorios que emplean la biomasa como fuente de combustible.

3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.

3.5.1 Técnicas de Recolección de Datos

Las técnicas de recolección de datos proporcionan al investigador la información necesaria, oportuna y verdadera sobre el problema planteado. A través de la recolección, no sólo se observa la realidad, sino que se fijan los lineamientos con los cuales se puede dar soluciones a los objetivos de la investigación.

Es necesario recalcar que, según Arias, F. (1999) “La técnica de recolección de datos son las distintas formas o maneras de obtener la información.” (pág. 25). En la siguiente investigación se utilizaron las siguientes técnicas de recolección de datos:

- **Observación Directa**

Según Tamayo y Tamayo, M. (2012), la observación directa puede describirse como “Aquella en la cual el investigador puede observar y recoger datos mediante su propia observación” (pág.

183). De acuerdo con lo dicho anteriormente, esta técnica es muy útil para el investigador, ya que permite establecer una relación de lo que se está ejecutando, la manera en la que se está ejecutando, el tiempo en que tarde en ejecutarse y la manera en la que se debe abordar luego de haber terminado el proceso.

- **Revisión Bibliográfica**

Según Gálvez, A. (2001) establece que la revisión bibliográfica:

Se ha definido como la operación documental de recuperar un conjunto de documentos o referencias bibliográficas que se publican en el mundo sobre un tema, un autor, una publicación o un trabajo específico. Es una actividad de carácter retrospectivo que nos aporta información acotada a un periodo determinado de tiempo. (p. 6).

Con referente a lo anterior, esta técnica permite, abordar información de trabajos académicos, revistas y artículos.

- **Revisión Documental**

Hurtado, J. (2012), define esta técnica como: “el proceso mediante el cual un investigador recopila, revisa, analiza, selecciona y extrae información de diversas fuentes, acerca de un tema particular (su pregunta de investigación), con el propósito de llegar al conocimiento y comprensión del mismo”. (pág. 198). Esta técnica sirve para tener información referente a los índices de muertes producto de la pandemia, así como también el daño al ambiente que genera la emisión de los gases producto de la incineración y la alta demanda y poca oferta del combustible.

- **Entrevista no Estructura**

Según Arias, F. (2012), establece que en la entrevista no estructurada:

En esta modalidad no se dispone de una guía de preguntas elaboradas previamente. Sin embargo, se orienta por unos objetivos preestablecidos que permiten definir el tema de la entrevista, de allí que el entrevistador deba poseer una gran habilidad para formular las interrogantes sin perder la coherencia. (pág. 73).

Con respecto a lo anterior expuesto, esta técnica permite; a través de conversaciones con diversas personas que aportan información detallada, de los valores técnicos como los rangos de temperatura de trabajo, la cantidad de energía que debe generar el quemador, entre otros.

3.5.2 Instrumentos de Recolección de Datos

En cuanto a los instrumentos, según Arias, F. (2012), lo define como: “Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información.” (pág. 68). Lo antes mencionado, resume los aportes del marco teórico, al seleccionar los datos que corresponden a los indicadores, variables y

conceptos utilizados. En la investigación se aplicó:

- **Ficha de Observación**

En cuanto a la observación directa, se hará uso la ficha como material de recolección de datos para la observación, debido a que es un instrumento que se utilizara para conocer y documentar los elementos y para registrar, mediante un orden cronológico, practico y concreto.

- **Fichas Bibliográficas**

Las cuales sirven para registrar las características técnicas y operativas de las máquinas bajo estudio, basados en los manuales técnicos de las mismas, así como las características del diseño del horno crematorio.

Además, de computadora y sus unidades de almacenaje, así como también software de simulación para el análisis de fluido, libro de nota el cual permite anotar todos los acontecimientos, y datos observados con respecto al funcionamiento y operatividad de un horno crematorio. Hay que mencionar, además la grabadora que permite al momento de una entrevista no estructurada almacenar toda la conversación, de manera tal que no pase por alto ninguna información importante, y el teléfono el cual posee funciones esenciales, como la posibilidad de llamar o enviar mensajes de texto, y además de almacenar archivos multimedia o navegar por internet, siendo así, instrumentos de alta importancia para la recolección de información.

3.6 Fases metodológicas

Se muestran las diversas fases metodológicas que se siguieron en el desarrollo de la investigación, las cuales están relacionadas con cada objetivo específico.

Fase I: Identificación de las diferentes fuentes de energía alternativa que se adaptan para el funcionamiento de un horno crematorio

Esta fase se identificó las diferentes fuentes de energía alternativas para el diseño y funcionamiento del horno crematorio, conociendo otras fuentes de energías alternativas al diésel, gas natural o propano, que cumplen para el funcionamiento del horno, siendo estas capaces de cumplir con el rendimiento que ofrece los combustibles convencionales, pero dentro de estándares ambientales, se recurrió a identificar las diversas fuentes de energía en el país como la energía eólica, energía solar, biomasa, entre otras.

Fase II: Selección de la fuente de energía alternativa que se adapta para el funcionamiento de un horno crematorio.

En esta fase luego de que se identificó las diferentes fuentes de energías alternativas, se

procedió a seleccionar la que cumpla y se adaptase con el propósito requerido, no deben ser iguales en cuanto a su poder calorífico con respecto a la energía convencional, ya que la misma se adaptara al diseño del horno para que cumpla los requerimientos de un horno crematorio para su funcionamiento. Los autores seleccionaron a la biomasa como fuente de energía alternativa, ya que fue opción viable en lo que se requiere de acuerdo al ámbito económico, operacional y ambiental.

Fase III: Análisis de los criterios técnicos y variables para el diseño del horno crematorio.

Una vez que se identificó la fuente de energía alternativa para el diseño y funcionamiento, y se seleccionó la energía con la que se va trabajar en el horno crematorio, se analizó todos los factores para el diseño del horno, en cuanto a sus características físicas ya que su fuente de combustible es otra a la convencional, como su capacidad de generar calor para la cremación, así como la emisión de gases al medio ambiente del mismo. Esta fase es de suma importancia para el diseño ya que permitió adaptar la energía alternativa al horno y corroborará que si cumple para el funcionamiento del horno crematorio mediante cálculos de transferencia de calor.

Para el análisis de los criterios y variables se recurrió a la observación directa y revisión documental, de este modo permitió conocer de manera clara los elementos que conforman el horno crematorio para su diseño.

Fase IV: Diseño en el software SolidWorks las partes del horno crematorio para el funcionamiento con una fuente de energía alterna.

Una vez analizada la fuente de energía alternativa que cumpla con los criterios técnicos y variables para el diseño y funcionamiento, de acuerdo a la información obtenida en la fase III se obtuvo las dimensiones del horno crematorio la cual facilito el diseño de los elementos en el software SolidWorks, la cual se representó de manera visual el diseño del horno crematorio termina ya adaptado a la nueva fuente de energía.

Fase V: Determinación de la viabilidad económica, operativa y ambiental del diseño.

En esta fase se procedió a determinar la viabilidad económica, operativa y ambiental del diseño del horno crematorio mediante, se calculó de costo beneficio del mismo, se debe establecer el costo de operación con la energía convencional y la alternativa, que permita saber si diseñar un horno crematorio con una fuente de energía alternativa a la convencional es viable en los tres aspectos mencionados anteriormente sí o no.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Identificar las diferentes fuentes de energía alternativa que se adaptan para el funcionamiento de un horno crematorio

Una cremación eficiente es una innovación dentro de la industria de la cremación. La eficiencia para un horno crematorio es el principal factor comercial, uno a reconocer desde el punto de vista financiero. Se sabe que la huella de CO_2 de un crematorio normal es grande. Actualmente, los crematorios pueden reducir las emisiones con un sistema de filtro de cremación de alta tecnología. Esta instalación de filtro de cremación reducirá todas las emisiones a casi cero. Muy por debajo de las normas y reglamentos de cremación establecidos. Existen diferentes tipos de combustibles como el Bio Diésel, Bio Etanol, Biomasa (ver figura 13) que se pueden utilizar para realizar una cremación a base de llamas. El horno de cremación más eficiente es el mejor para tener en su crematorio local.

Para la mayoría de personas, las opciones para una verdadera cremación ecológica siguen siendo relativamente limitadas. Sin embargo, generalmente se considera que la cremación es menos dañina para el medio ambiente que el entierro tradicional bajo tierra.

Además, Consultoría Crematorio (2017), menciona que:

La cremación no requiere la gran superficie de tierra necesaria para los cementerios y no deja alrededor de 800,000 galones de formaldehído cada año. Con el entierro bajo tierra también existe el problema de que quedan en el suelo grandes cantidades de metales, hormigón y madera sin reciclar. (párr. 2).

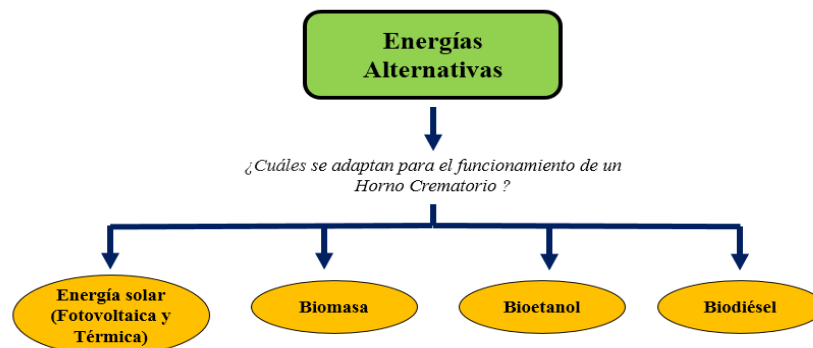


Figura 13. Esquema de las diferentes fuentes de energía que se adaptan al horno crematorio.

Fuente: Briceño y Silva (2022)

4.1.1 Energía Solar como Fuente de Energía Alternativa.

El concepto básico del crematorio solar es encender el cuerpo muerto localmente en cualquier lugar y de todos modos con la ayuda de un gran reflector concentrador que tiene un CR muy alto y para mantener la combustión del cuerpo muerto suministrando el aire fresco atmosférico con la ayuda de un ventilador. Una vez la combustión del cadáver comienza dentro de la cámara de cremación, también libera calor que automáticamente en combinación con la energía solar obtenida del reflector de concentración mantiene la combustión continua de cuerpo muerto hasta que el cuerpo muerto completo se convierte en ceniza. Basado en el concepto mencionado anteriormente, sistema de energía solar.

El crematorio se puede dividir en los siguientes cuatro Componentes: reflector Scheffler, sistema de seguimiento, Cámara Crematoria, Sistema de respaldo para horas no soleadas (ver figura. 14).

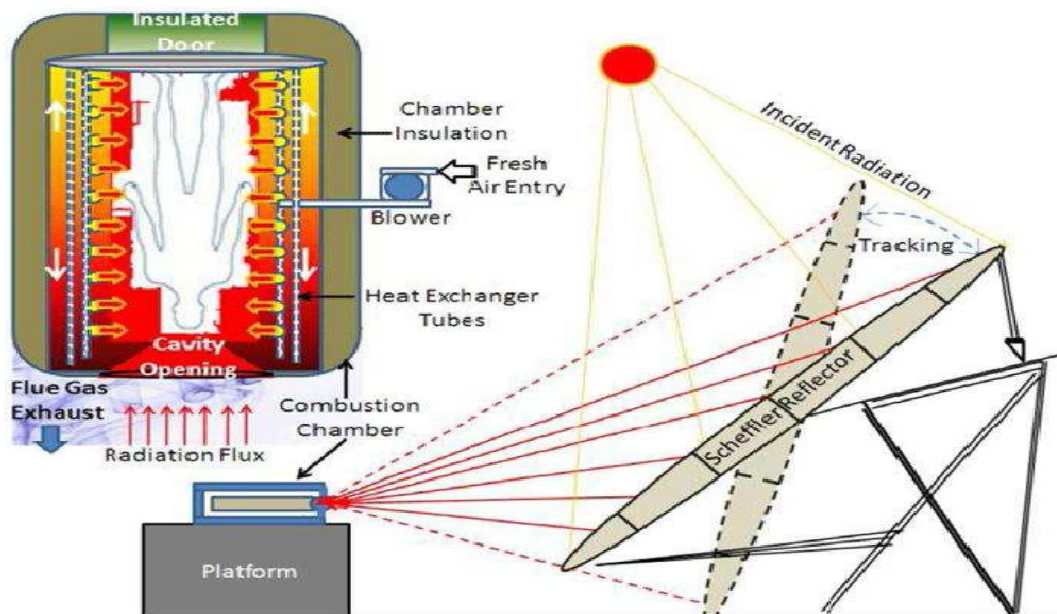


Figura 14. Diagrama de bloques del crematorio solar.

Fuente: Hadders, H. (2014).

Los reflectores Scheffler se componen de varios pequeños de doble cara (dos espejos planos se unen por sus uno al otro lado de la capa de plata) espejos planos. Teóricamente, el espejo de un solo lado es suficiente para el Reflector Scheffler, pero se utiliza un espejo de doble cara para proteger el material plateado que está recubierto en casi vidrio completamente transparente. Debido al intenso calor y temperatura de la energía solar hay posibilidad de plata recubrimientos se derritan de la superficie trasera del vidrio. Por lo tanto, el espejo lateral trasero protege que el

revestimiento plateado se derrita y refleje la luz del sol, simultáneamente evitando la erosión y corrosión. Este espejo lateral trasero también proporciona la fuerza adicional al espejo frontal.

El marco tiene que ser ajustable para un posicionamiento exacto (ver figura 15).



Figura 15. Cimentación de hormigón armado.
Fuente: Hadders, H. (2014).

La implementación de un horno crematorio de energía solar contribuye significativamente al calentamiento global y la contaminación atmosférica. La fuente de energía sostenible es la luz solar que es totalmente inagotable y disponible de forma gratuita. Mitiga todos los problemas anteriores. Una de la desventaja de construir un crematorio solar es muy caro, ya que el reflector solar cuesta una gran cantidad de dinero. Pero en cremación solar, ya que no hay que pagar combustibles, como en la cremación convencional, con una gran cantidad de madera. Se requiere pila o electricidad. Entonces el dinero puede ahorrarse en el largo plazo (ver figura 16).



Figura 16. Horno crematorio solar.
Fuente: Hadders, H. (2014).

De igual modo, la energía solar se puede utilizar como fuente de energía para hornos crematorio eléctricos por medio de resistencias y celdas fotovoltaicas, donde el principio de funcionamiento de estos hornos se basa en la descomposición pirolítica, quemando la materia orgánica, que desaparece en forma de gases no contaminantes. El funcionamiento es continuo con cargas sucesivas. Las materias a quemar se cargan de forma manual en el horno mantenido a la temperatura adecuada mediante el funcionamiento de las resistencias, y la acción del pirómetro de control, que se encarga de regular las calorías aportadas al horno en función de las necesidades (ver figura 17 y 18).



Figura 17. Horno crematorio eléctrico EMISON.
Fuente: Emison (2022)



Figura. 18: Horno crematorio eléctrico DFW.
Fuente: DFW Europa (2022).

4.1.2 Biomasa como fuente de energía alternativa

Dentro de las energías alternativas existen en el mundo se encuentra la biomasa, la cual es un combustible que está constituido por materia orgánica, bien sea de origen vegetal o animal, la cual a través de varios procesos se puede transformar en energía eléctrica y térmica, así como se expresa

en la figura 19. En Venezuela, la biomasa es una energía alternativa que viene tomando fuerza desde hace más de 20 años, “Para el 2008 en Venezuela se estaba construyendo al menos cuatro plantas para producir etanol a base de yuca y caña de azúcar” (Velásquez, Salvador, pág. 5).



Figura 19. Conversión de la biomasa.

Fuente: Domínguez, López y Vivas. (2010).

Con referente a lo anterior, de las diferentes conversiones de la biomasa esta la densificación, la cual consiste en compactar la biomasa para mejor manejo y almacenamiento de la misma, esta se transforma en pellets y en briquetas, y se utilizan de acuerdo al sistema en que se vaya a emplear. De igual manera, en Venezuela para determinar con qué tipo de biomasa se puede trabajar, se debe tener en cuenta la ubicación geográfica dentro del territorio, ya que de acuerdo a la ubicación se puede identificar cual es la fuente de energía alternativa presente, así como se evidencia en la figura 20, donde en el estado Carabobo se identificó biomasa a partir de maíz leguminosa de grano, cacao, algodón, caña de azúcar, hortalizas y coco. De igual modo Venezuela cuenta con gran parte del territorio con presencia de biomasa como se evidencia en la figura 20 y 21.

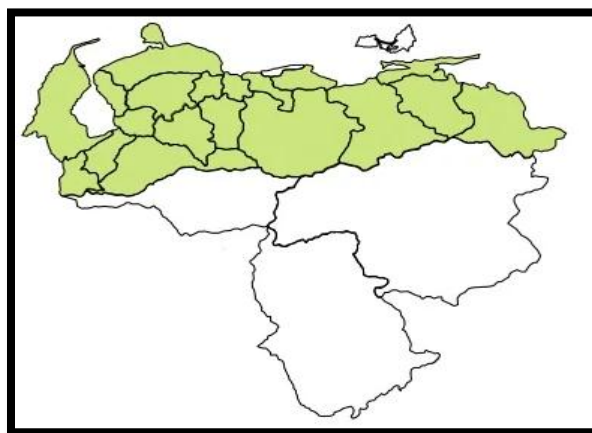


Figura 20. Biomasa en Venezuela.

Fuente: Domínguez, López y Vivas. (2010).

BIOMASA EN VENEZUELA	
Estado	Producción Agrícola
Zulia	Algodón, cambur, coco, frijol, melón, plátano y sorgo.
Táchira	Ajo, cambur, caña de azúcar, café, caraota, cebolla, papa, plátano y tomate.
Mérida	Ajo, apio, caraota, cacao, café, yuca, plátano, zanahoria.
Trujillo	Café, cambur, caña de azúcar, maíz, papa, plátano, remolacha, yuca y champiñón.
Lara	Papas, cambur, sisal, cebolla, tomate, uvas, caña de azúcar, arroz, caraotas, piña y café.
Yaracuy	Caña de azúcar, maíz, bananos, hortalizas, cacao, cocos, palma africana y frutas.
Aragua	Aguacate, café, caraota, cebolla, maíz, pimentón, quinchoncho, caña de azúcar, algodón, cacao y sorgo.
Barinas	Algodón, ajonjolí, cambur, maíz, ñame y plátano. Arroz y Sorgo.
Cojedes	Arroz, tabaco, ajonjolí, algodón, maíz, yuca, madera.
Carabobo	Maíz leguminosa de grano, cacao, tabaco, algodón, caña de azúcar, hortalizas, coco.
Anzoátegui	Forestal, Maíz, sorgo, Café y forestal.
Monagas	Café, maíz, naranja, palma aceitera, sorgo, tomate y yuca, caña de azúcar, algodón, cacao, mani.
Sucre	Cacao, coco, caña de azúcar, café, yuca, algodón.
Apure	Algodón, frijoles, cambur, maíz, arroz y yuca.
Falcón	Caña de azúcar, coco, maíz, melón, ñame, ocumo y sorgo.
Miranda	Cacao, frutas, flores, hortalizas, cereales.
Guarico	Arroz, caraota, frijol, maíz, mango, patilla, sorgo y tomate. caña de azúcar, algodón, plátanos.
Portuguesa	Arroz, café, algodón, maíz, ajonjolí, caña de azúcar, caraota, patilla, sorgo y forestales.
Delta Amacuro	Arroz, maíz, coco, plátano, yuca, piña, palmito.

Figura 21. Distribución de la biomasa en Venezuela.
Fuente: Domínguez, López y Vivas. (2010).

Por otra parte, luego de tener en cuenta la ubicación geográfica, se debe identificar las propiedades que presenta cada tipo de biomasa para que se adapte de manera eficiente al sistema en el cual se va a emplear como combustible, se identifica su poder calorífico, como factor principal para una selección adecuada, algunos de estos tipo biomasa con su poder calorífico se evidencian en la Figura 22, siendo una buena opción para el estado Carabobo la cascara de coco ya que cumple con la ubicación y valor calorífico bruto siendo de 18.60 MJ/kg.

4.1.3 Bioetanol Como Fuente de Energía alternativa

Otra fuente de energía alternativa que se adapta para el funcionamiento de un horno crematorio, es el bioetanol el cual forma parte de un biocombustible de origen vegetal que contenga azúcares simples o algún compuesto que pueda convertirse en azúcares, como el almidón o la celulosa. Las especies vegetales a partir de las cuales se puede obtener el bioetanol son el maíz, trigo, sorgo, cebada, remolacha azucarera, caña de azúcar.

Tipo de Biomasa	Valor calorífico bruto (MJ/kg)
Madera	
Astilla de madera	20,89
Corteza de pino	20,95
Desechos industriales de madera	19,00
Sub-productos agrícolas	
Paja de trigo	18,94
Caña	18,06
Bagazo	18,09
Cáscara de coco	18,60
Olote de maíz	17,72
Paga de arroz	15,61
Cascarilla de arroz	15,58
Aserrín	19,34

Figura 22. Tipos de biomasa en Venezuela.

Fuente: Domínguez, López y Vivas. (2010).

Al ser una biomasa de origen vegetal, el bioetanol es considerado una energía renovable y su empleo disminuye ampliamente la emisión de gases contaminantes a la atmósfera, lo que es un gran aporte para disminuir la contaminación ambiental y como consecuencia, el calentamiento global. Actualmente es utilizado como fuente de calor en chimeneas y hornos pequeños. (ver Figura 23 y 24).

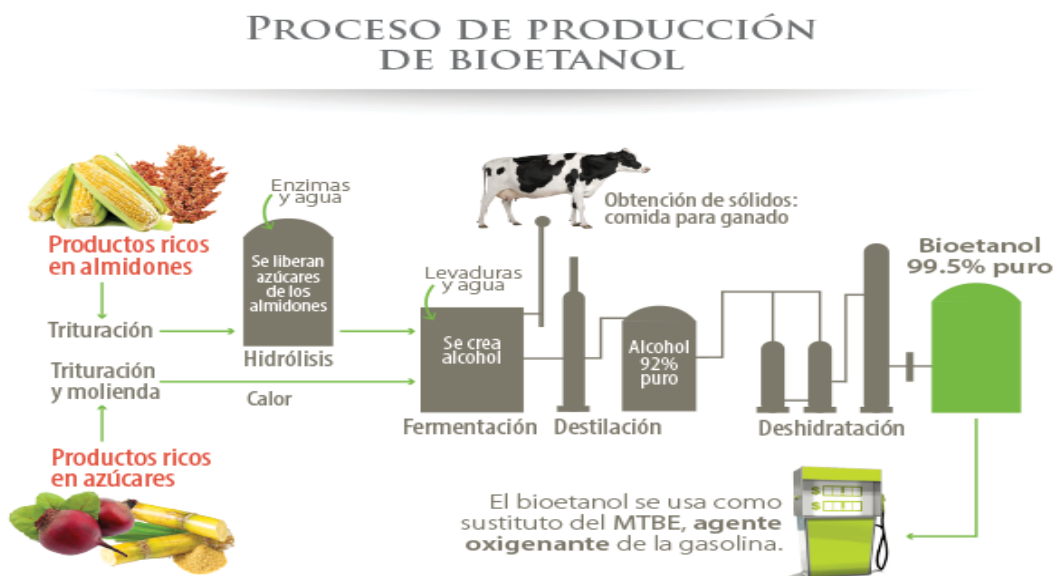


Figura. 23 Proceso de producción de bioetanol.

Fuente: Sociedad rural de rosario. (2022).



Figura. 24 Biochimenea
Fuente: El corte inglés. (2022).

4.1.4 Biodiésel como Fuente de Energía Alternativa

Dentro de las energías alternativas que se adaptan al horno crematorio está el biodiésel el cual es un combustible que está formado, como pueden ser la soja, el maíz o la colza, cuyos aceites son empleados en el biocombustible, el cual se obtiene el mezclado directo y la microemulsión. Alcohol y un catalizador son usados en esa mezcla. Otros métodos más modernos utilizan la llamada transesterificación, una reacción química entre los triglicéridos del aceite y alcohol, que transforma a los primeros y proporciona un biodiésel fiable y con menos inconvenientes para ser usado. (ver Figura 25).

Con respecto al biodiésel de acuerdo a su composición, se utiliza en ciertos casos, para los hornos crematorios es el BiOil 5000: es un biocombustible, elaborado para reemplazar a los combustibles residuales de petróleo (Petróleos industriales N° 6 y N° 500), con la gran diferencia que su contenido de azufre es mucho menor y es biodegradable. Diseñado para la generación de vapor en calderas industriales, hornos, y para quemadores de calentamiento directo, cuándo éstas, ya estén calentadas (el horno) a más de 700 °C (figura 26).

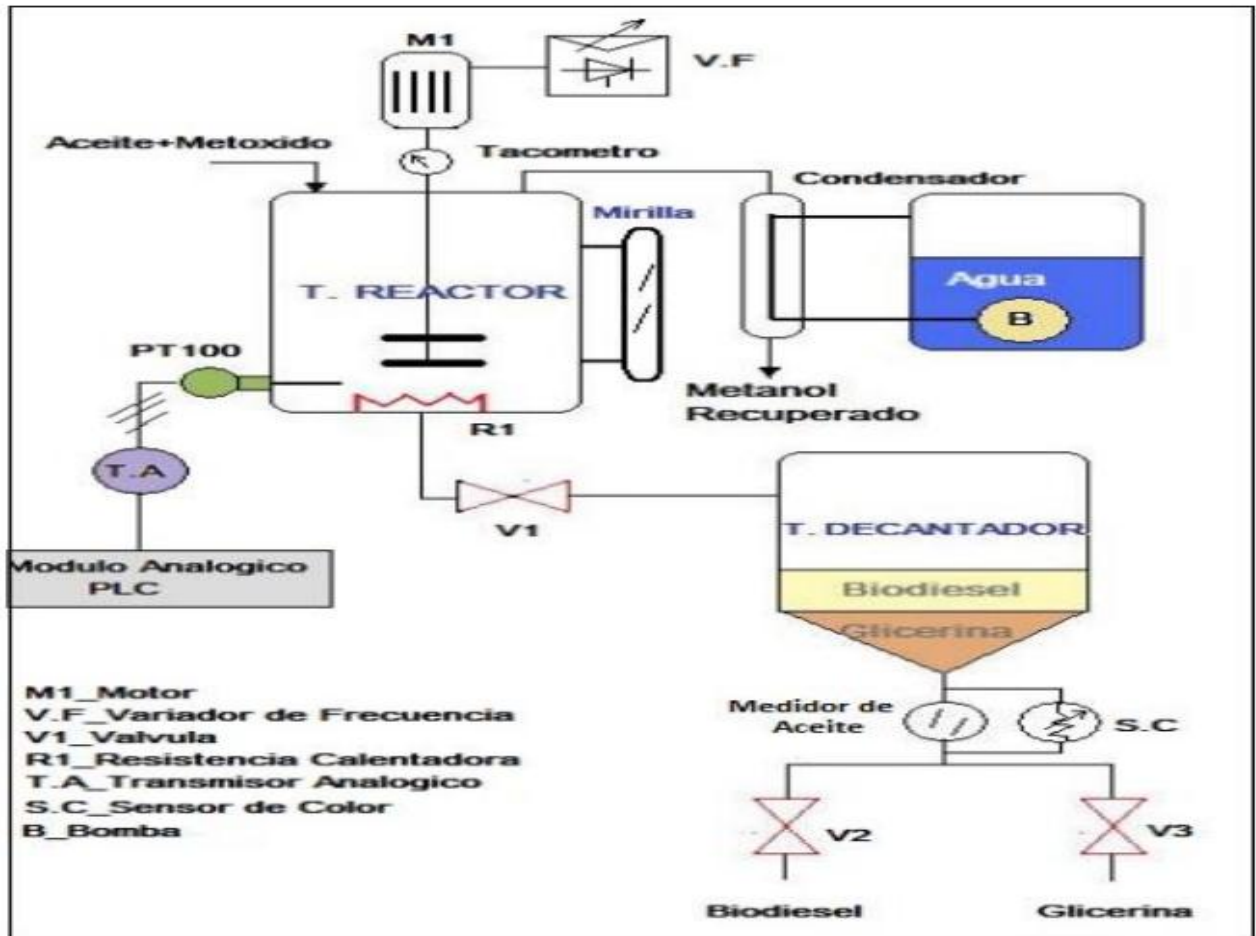


Figura. 25. Conversión del Biodiésel
Fuente: Caro, J. (2017).

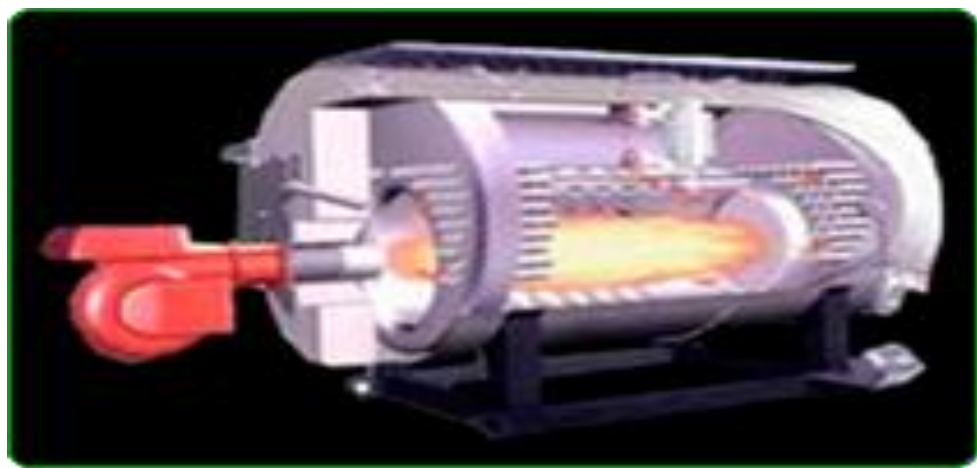


Figura. 26. Horno Con Biodiésel.
Fuente: Nordtraube Perú (2014)

4.2 Seleccionar la fuente de energía alternativa que se adapta para el funcionamiento de un horno crematorio.

Una vez terminado la identificación de las fuentes de energía alternativas, se procedió a seleccionar el tipo de energía alterna más conveniente para el proceso de cremación. Para ello se aplicó el método Vilchez.

4.2.1 Propuesta de alternativa para la selección de tipo de energía

Cuadro 1. Alternativas para la selección

Alternativa I	Alternativa II	Alternativa III	Alternativa IV
ENERGÍA BIODIÉSEL	ENERGÍA BIOETANOL	ENERGÍA SOLAR	ENERGÍA BIOMASA
FUENTE Aceites vegetales y Grasas animales	FUENTE Materia orgánica: natural	FUENTE Sol	FUENTE Materia orgánica : natural, residual o producida
VENTAJAS Biodegradable No contribuye con el efecto invernadero Genera menos emisiones de gases contaminantes	VENTAJAS Combustión limpia Inoloro Alto poder calorífico	VENTAJAS Gratuita Limpia Inagotable Elevada calidad energética	VENTAJAS Renovable y abundante Es fuente de empleo zonas rurales Poco contaminante
DESVENTAJAS Precio elevado Se solidifica a bajas temperaturas	DESVENTAJA Mínimo mantenimiento DESVENTAJA Precio elevado	DESVENTAJAS Llega de forma dispersa y aleatoria Requiere de espacio para baterías de almacenamiento Su uso es limitado	DESVENTAJA No es una energía limpia Mantenimiento costoso
IMPACTO AMBIENTAL Pérdida de biodiversidad Aumento en el consumo y contaminantes del agua	IMPACTO AMBIENTAL Desforestación de terrenos	IMPACTO AMBIENTAL Uso de grandes extensiones	IMPACTO AMBIENTAL Desforestación de terrenos Genera muchas cenizas

Fuente: Briceño y Silva (2022)

4.2.2 Criterios de evaluación y escogencia de la propuesta

A continuación, se elaboró una lista de restricciones (R) y de criterios (C) para la selección de la fuente de energía alterna más conveniente

Cuadro 2. Restricciones y Criterios.

RESTRICCIONES Ri	CRITERIOS Ci
R1 La energía sea renovable.	C1 La emisión de los gases este dentro de los estándares ambientales.
R2 Uso de la energía en todas las estaciones meteorológicas del estado Carabobo, para el funcionamiento del horno crematorio.	C2 Costo accesible de la energía alternativa.
R3 El poder calorífico este por encima de los 20 MJ/kg.	C3 El almacenamiento de la fuente de energía sea seguro.
	C4 Facilidad en la instalación del sistema para la utilización de la energía.

Fuente: Briceño y Silva (2022).

4.2.2.1 Aplicación de restricciones y criterios para la selección de la mejor posible solución:

Una vez elaborado las restricciones y criterios, se procede a comparar las alternativas de solución con las restricciones planteadas, aquellas que no cumplan con las restricciones serán descartadas (ver tabla 1). Posteriormente aquellas posibles soluciones que sí cumplan con las restricciones serán evaluadas con relación a los criterios y así tomar la decisión de cuál es la mejor solución.

Tabla 1. Comparación de Restricciones vs Alternativas

		POSIBLE SOLUCIONES			
		A I	A II	A III	A IV
RESTRICCIONES	R1	SI	SI	SI	SI
	R2	SI	SI	NO	SI
	R3	SI	SI	No Aplica	SI

Fuente: Briceño y Silva (2022)

Con referencia a lo que se observa en la Tabla 1. Se puede observar que la posible solución que no cumple con al menos una de las restricciones establecidas, es la A III. Por lo tanto, las alternativas A I, A II y A IV, serán evaluadas mediante el método de ponderación de criterios (ver tabla 2).

La Tabla 3 muestra los parámetros de puntuación. La tabla 4 muestra la ponderación de soluciones de acuerdo a los criterios empleados para la selección de la mejor solución. Y la tabla 5 muestra la evaluación final de la alternativa seleccionada.

Tabla 2. Ponderación de criterios

CRITERIOR	DESCRIPCIÓN	ORDEN DE IMPORTANCIA
C1	La emisión de los gases este dentro de los estándares ambientales.	5
C2	Costo accesible de la energía alternativa.	4
C3	El almacenamiento de la fuente de energía sea seguro.	3
C4	Facilidad en la instalación del sistema para la utilización de la energía.	2

Fuente: Briceño y Silva (2022)

Tabla 3. Parámetros de puntuación

PUNTUACIÓN	PARÁMETROS
1	No cumple con el criterio a evaluar.
2	No cumple totalmente con la expectativa generada por el criterio.
3	Cumple totalmente con el criterio a evaluar.

Fuente: Briceño y Silva (2022)

Tabla 4. Ponderación de soluciones de acuerdo a criterios de selección

	C1	C2	C3	C4
A I	3	1	2	2
A II	2	1	2	2
A IV	3	3	3	2

Fuente: Briceño y Silva (2022)

Tabla 5. Evaluación de soluciones

	EVALUAR SOLUCIONES	TOTAL PUNTOS
A I	$3x5 + 1x4 + 2x3 + 2x2$	29
A II	$2x5 + 1x4 + 2x3 + 2x2$	24
A IV	$3x5 + 3x4 + 3x3 + 2x2$	40

Fuente: Briceño y Silva (2022)

Se concluye que la mejor solución es la energía biomasa, ya que es la que satisface los criterios debido a que posee el puntaje más alto. Por lo tanto, las demás energías quedan descartadas.

4.3 Análisis de los criterios técnicos y variables para el diseño del horno crematorio.

4.3.1 Diseño de cámara de combustión con dimensiones.

Las dimensiones de la cámara de combustión o cámara principal se eligen en función de la carga, es decir, el cuerpo. Por lo tanto, se diseña un prisma con las dimensiones establecidas en la tabla 6. Debido que en la parte superior a lo largo de toda la cámara se forma un arco, este se debe determinar con ayuda de las especificaciones de la Figura 27

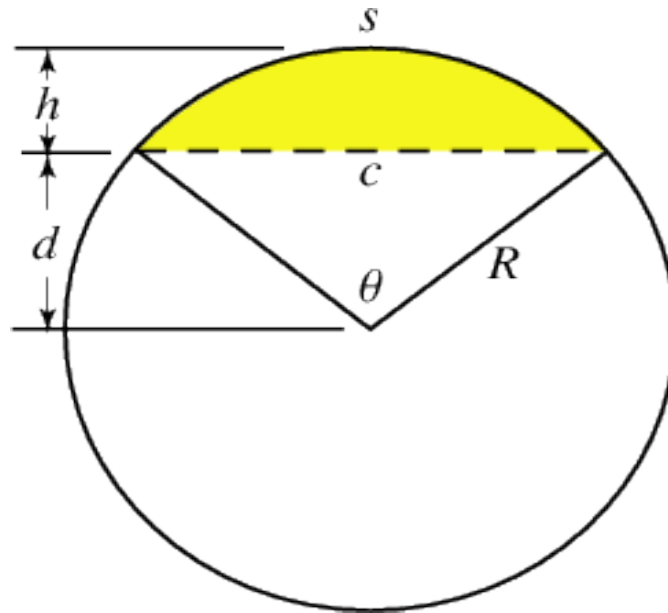


Figura. 27. Segmento circular

Fuente: <https://www.omaforos.com.ar/viewtopic.php?t=458>

Prisma de urna Normal:

Tabla 6. Medidas del prisma

Largo	Ancho	Alto
2.6 m	1 m	1 m

Fuente: Briceño y Silva (2022).

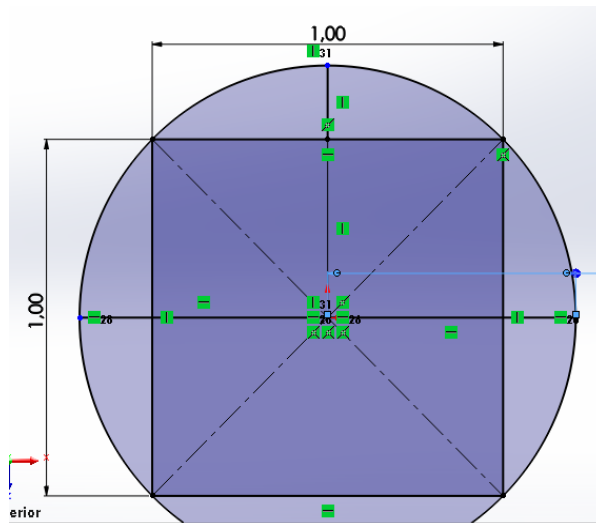
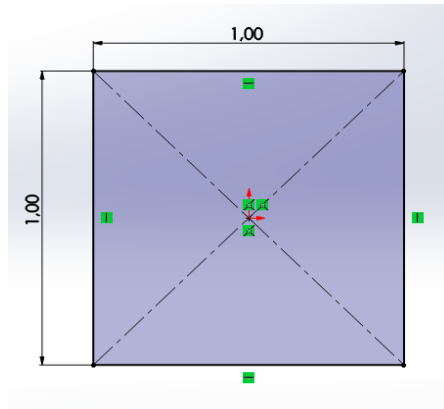


Figura. 28. Prisma de urna normal.

Fuente: Briceño y Silva (2022).

Con un Radio de 0.7071068 m (en el anexo A se pueden ver todos los planos de estas figuras)

$$R = \frac{\sqrt{2}}{2} = 0.7071068 \text{ m}$$

h = Altura del segmento circular

d = Altura de porción triangular.

$$d = 0.5 \text{ m}$$

$$h = 0.20710678 \text{ m}$$

Esto se debe a que $R = d + h$

El ángulo central es:

$$\theta = 2\arccos\left(\frac{d}{R}\right)$$

Ec. 12.

$$\theta = 2\arccos\left(\frac{0.5 \text{ m}}{\frac{\sqrt{2}}{2}}\right)$$

$$\theta = 90^\circ$$

La longitud de la cuerda es:

$$c = 2R \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

Ec. 13.

$$c = 2 * \left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right) \sin\left(\frac{90^\circ}{2}\right)$$

$$c = 1 \text{ m}$$

Comprobando el ángulo se tiene que es:

$$c = 2R \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

$$\theta = 2 \cos^{-1}\left(\frac{c}{2 * R}\right)$$

$$\theta = 2 \cos^{-1}\left(\frac{1 \text{ m}}{2 * \frac{\sqrt{2}}{2} \text{ m}}\right)$$

$$\theta = 90^\circ$$

La longitud de arco es:

$$s = R \times \theta$$

Ec. 14.

$$\theta = 90^\circ \rightarrow 1.57 \text{ rad}$$

$$s = \frac{\sqrt{2}}{2} \text{ m} \times 1.57 \text{ rad}$$

$$s = 1.11 \text{ m}$$

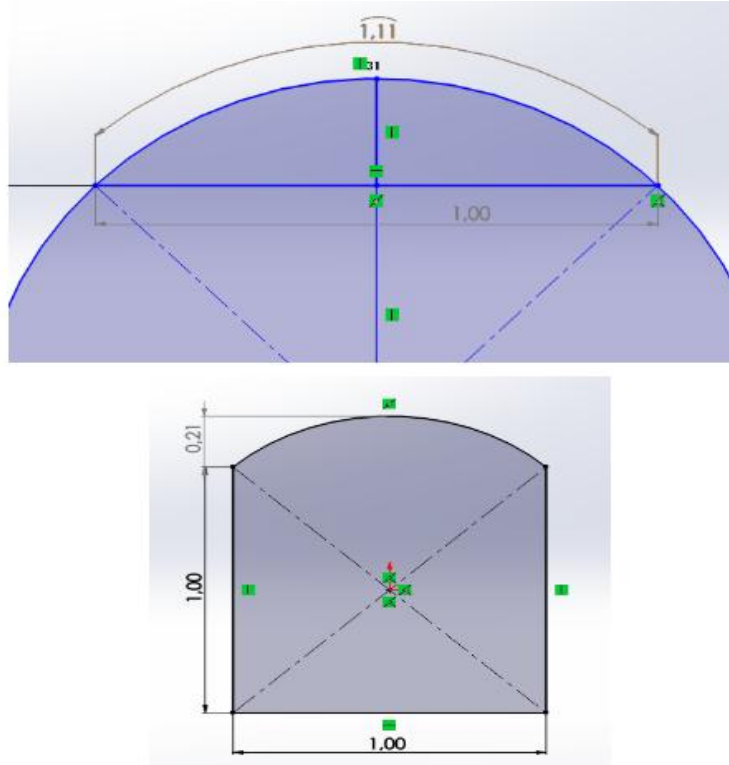


Figura 29. Arco de la cámara principal.
Fuente: Briceño y Silva (2022)

El área del segmento circular es:

$$A = \frac{R^2}{2} \times \left(\frac{\theta \times \pi}{180} - \sin \theta \right) \quad \text{Ec. 15.}$$

$$A = \frac{\left(\frac{\sqrt{2}}{2} \right)^2}{2} \times \left(\frac{90^\circ \times \pi}{180} - \sin 90^\circ \right)$$

$$A_{sc} = 0.1427 \text{ m}^2$$

El volumen del segmento circular se obtiene multiplicando el área del segmento circular por la longitud de la cámara:

$$V_{sc} = A_{sc} \times L \quad \text{Ec. 16.}$$

$$V_{sc} = 0.1427 \text{ m}^2 \times 2.6 \text{ m}$$

$$V_{sc} = 0.371 \text{ m}^3$$

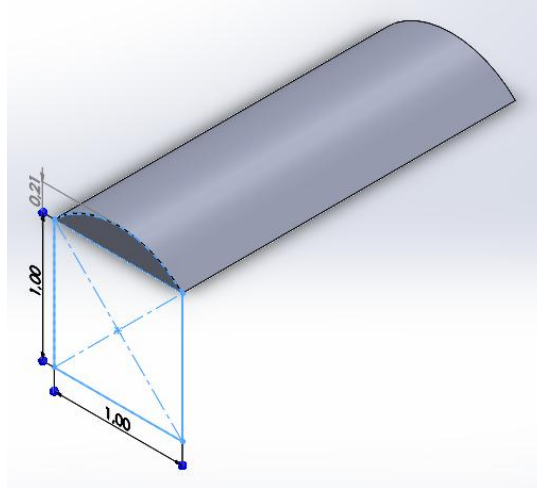


Figura 30. Volumen del segmento circular.
Fuente: Briceño y Silva (2022)

El área del segmento rectangular es:

$$A_{SR} = \text{Ancho} \times \text{Alto} \quad \text{Ec. 17.}$$

$$A_{SR} = 1 \text{ m}^2 \times 1 \text{ m}^2$$

$$A_{SR} = \mathbf{1 \text{ m}^2}$$

Por lo tanto, el Volumen de la sección rectangular es:

$$V_{SR} = A_{SR} \times L \quad \text{Ec. 18.}$$

$$V_{SR} = 1 \text{ m}^2 \times 2.6 \text{ m}$$

$$V_{SR} = \mathbf{2.6 \text{ m}^3}$$

El área Total (frontal) va a ser la suma del área del segmento circular y el área de la sección rectangular:

$$A_T = A_{SC} + A_{SR} \quad \text{Ec. 19.}$$

$$A_T = 0.1427 \text{ m}^2 + 1 \text{ m}^2$$

$$A_T = \mathbf{1.1427 \text{ m}^2}$$

El volumen Total va a ser la suma del volumen del segmento circular y el volumen de la sección rectangular

$$V_T = V_{SC} + V_{SR} \quad \text{Ec. 20.}$$

$$V_T = 0.371 \text{ m}^3 + 2.6 \text{ m}^3$$

$$V_T = \mathbf{2.971 \text{ m}^3}$$

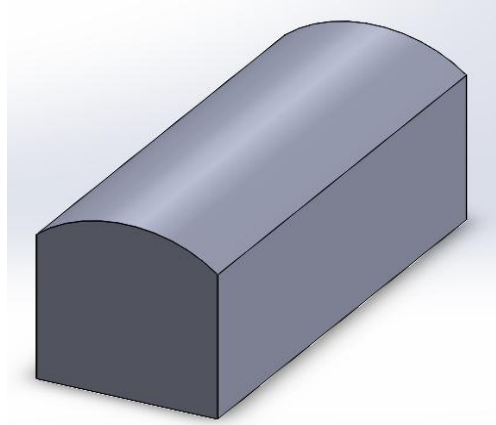


Figura 31. Volumen total de la cámara principal.

Fuente: Briceño y Silva (2022)

También se calcula el valor de la superficie de la pared, es decir, el área de ladrillo refractario que se encuentra en contacto con los gases de combustión. Para el arco se calcula así:

$$A_{\text{spc}} = s \times L \quad \text{Ec. 21.}$$

$$A_{\text{spc}} = 11.1 \text{ m} \times 2.6 \text{ m}$$

$$A_{\text{spc}} = \mathbf{2.886 \text{ m}^2}$$

La superficie de contacto para el resto de la cámara, la cual está conformada de la siguiente manera: 02 laterales, 01 frontal, 01 trasera y 01 Inferior. Se realiza sumando el área de los rectángulos que la conforman

$$A_{\text{spr}} = 2 \times (1\text{m} \times 1\text{m}) + 2 \times (1 \text{ m} \times 2.6 \text{ m}) + (1\text{m} \times 2.6\text{m})$$

$$A_{\text{spr}} = \mathbf{9.8 \text{ m}^2}$$

El área de la superficie total es:

$$A_{\text{ST}} = A_{\text{spc}} + A_{\text{spr}} \quad \text{Ec. 22.}$$

$$A_{\text{ST}} = 2.886 \text{ m}^2 + 9.8 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{ST}} = \mathbf{12.686 \text{ m}^2}$$

4.3.2 Diseño de la cámara de post combustión con dimensiones

La cámara de post combustión o cámara secundaria se sitúa por debajo de la cámara principal. Su misión es quemar los gases que llegan de la combustión, los cuales consiste en dos prismas rectangulares.

El segundo prisma al que llegan los gases al salir de la cámara principal en la parte posterior del horno. Su altura coincide con la base de la cámara principal cuenta con unos orificios de 4 in de diámetro, los cuales sirven de paso de los gases hacia la cámara secundaria. Su longitud es de

260 cm. Su anchura es de 100 cm. La pared que divide el segundo prisma con el primero el cual se encuentra en la parte frontal, cuenta con una serie de orificios con un diámetro de 10,16 cm que sirve de paso de los gases hacia el primer prisma en el cual se encuentra el orificio de la chimenea, tiene un espesor de 27 cm.

4.3.3 Dimensión del orificio de la chimenea

El orificio que da paso a la chimenea y que está situado en la cámara secundaria tiene una altura de 37.5 cm, una anchura de 37.5 cm y se encuentra a un lado de la cámara secundaria.

4.3.4 Quemadores ubicados en cámara de post combustión

Las dimensiones de esta cámara serán similares a la de cámara de combustión, van a depender del quemador seleccionado para su adaptación en espacio. Luego de realizada una entrevista no estructurada al Ing. José Ostos, se obtuvo la información para la selección de los quemadores que es de 1.200.000-1.500.000 BTU/hr, que equivale aproximadamente a 352 kW, con 1.200.000 BTU/hr, por lo se seleccionó dos quemadores de 200 kW cada uno, para tener una potencia teórica de 400 kW. (ver Anexo B)

Quemador de biomasa modelo Y-200 de la marca Natural Fire de 200 kW.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
MODELO Y-200		
Potencia calórica.	Max	250* kW
	Min.	25* kW
Consumo eléctrico	Encendiendo	665 W
	Régimen normal	350 W
Consumo de combustible	Max.	50 kg/h
	Min.	5 kg/h
Mecanismo de control	PLC con pantalla táctil	
Regulación	Sonda integrada, Señales externas de Marcha/Paro, potencia independiente y control analógico 4-20mA	
Tipo de regulación	Modulante con 3 potencias + señal externa	
Rango de regulación por temperatura	0 - 1 100 °C	
Temperatura máxima de seguridad	Configurable	
Alimentación eléctrica	230 VAC / 50-60Hz	
Peso bruto	73 kg	
Eficiencia	99%	

Figura 32. Características técnicas.

Fuente: Natural Fire (2022)



Figura 33. Quemador Y-200.
Fuente: Natural Fire (2022)

4.3.5 Cálculo de la combustión

La combustión estequiometría o teórica se produce cuando la totalidad del combustible reacciona con el comburente. La cantidad de aire necesaria y suficiente que garantiza la combustión completa recibe el nombre de aire estequiométrico o teórico. Como consecuencia, se consume todo el O_2 por lo que este no se encontrará en los humos de combustión. Además, no se generan inquemados, que son sustancias tales como hollín o monóxido de carbono, que proceden de la combustión incompleta del combustible. Sin embargo, en la práctica resulta imposible obtener una mezcla perfecta entre el combustible y el comburente, por lo que no todo el combustible reacciona, y aparecen inquemados en los gases de combustión.

Para realizar los cálculos necesarios relativos a la combustión se debe partir de las composiciones del gas natural y del aire, las cuales se detallan a continuación. (ver Tabla 7).

Tabla 7. Composición de la Cáscara de Coco

Componente	MM $\left[\frac{kmol}{kg} \right]$	CB (DAF)	CB (mol)	CC (DAF)	CC (mol)
C %	12,01	84,46	7,03	52,88	4,40
H %	1,008	5,95	5,90	4,42	4,38
O %	16,00	5,70	0,36	41,11	2,57
N %	14,01	1,90	0,14	0,84	0,06
S %	32,06	1,98	0,06	0,75	0,02

Fuente: Álvarez Daniel (2021)

Tabla 8. Composición del Aire Atmosférico

Composición del aire atmosférico		
Constituyente	Fórmula Química	Composición por volumen (%)
Nitrógeno	N ₂	78,08
Oxígeno	O ₂	20,95
Dióxido de carbono	CO ₂	0,04
Otros (Argón, Neón, etc.)	Ar, Ne, etc.	0,93

Fuente: Fuente: Álvarez Daniel (2021)

4.3.5.1 Balance Estequiométrico

Antes de realizar el balance estequiométrico, se procede a determinar la formula empírica de la cascara de coco, con la ayuda de la Tabla 7. Dividiendo cada componente en la participación molar del carbono se obtiene la formula empírica.

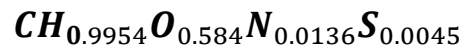
$$C = \frac{4.4 \text{ mol}}{4.4 \text{ mol}} = 1$$

$$H = \frac{4.38 \text{ mol}}{4.4 \text{ mol}} = 0.9954$$

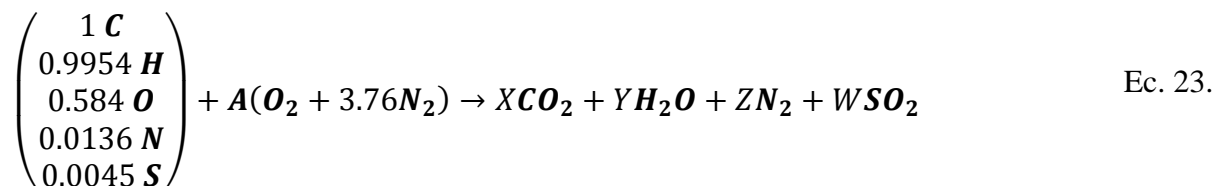
$$O = \frac{2.57 \text{ mol}}{4.4 \text{ mol}} = 0.584$$

$$N = \frac{0.06 \text{ mol}}{4.4 \text{ mol}} = 0.0136$$

$$S = \frac{0.02 \text{ mol}}{4.4 \text{ mol}} = 0.0045$$



Una vez obtenido la formula empírica se procede a calcular los coeficientes estequiométricos (X, Y, W y Z) de la reacción química que tiene lugar en el quemador. A partir de la composición volumétrica del combustible y del aire



Donde “A” significa el aire estequiométrico

De acuerdo a la ley de conservación de la materia según la cual la cantidad de átomos de cada

elemento debe ser igual a ambos lados, se plantean las siguientes ecuaciones para cada elemento con el objetivo de obtener los coeficientes estequiométricos que se desconocen:

$$\text{Carbono: } 1C = XC \quad \therefore 1 * 1 = X * 1 \rightarrow X = 1$$

$$\text{Hidrogeno: } 0.9954H = YH_2 \quad \therefore 0.9954 * 1 = Y * 2 \rightarrow Y = \frac{0.9954}{2} \therefore$$

$$Y = 0.4977$$

$$\text{Oxi: } 0.584O + AO_2 = XO_2 + YO + WO_2 \rightarrow 0.584 * 1 + A * 2 = X * 2 + Y + W * 2 \text{ (incog.1).}$$

$$\text{Nitrogeno: } 0.0136N + A(3.76N_2) = ZN_2 \rightarrow 0.0136 * 1 + A * 7.52 = Z * 2 \text{ (incog.2)}$$

$$\text{Azufre: } 0.0045S = WS \rightarrow 0.0045 * 1 = W * 1 \therefore W = 0.0045$$

Se procede a sustituir los valores **W**, **Y** y **X** en (incog.1) por lo cual se tiene que:

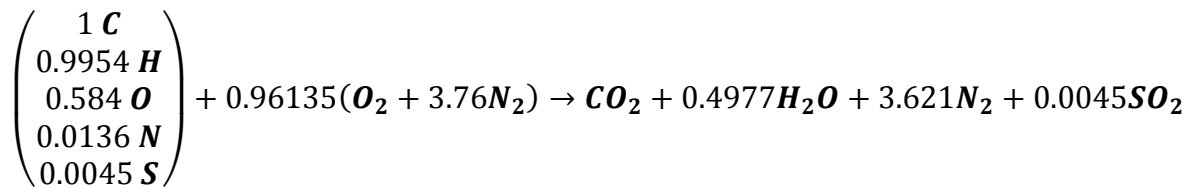
$$0.584 + 2A = 2 * 1 + 0.4977 + 2 * 0.0045 \rightarrow A = \frac{2.5067 - 0.584}{2} \therefore$$

$$A = 0.96135$$

Se sustituye **A** en (incog.2) y se obtiene:

$$0.0136 + 0.96135 * 7.52 = 2Z \rightarrow Z = \frac{7.2429}{2} \therefore Z = 3.621$$

Por lo tanto, el balance estequiométrico es:



4.3.5.2 Composición de los gases de la combustión

Tabla 9. Composición de los Gases

Componentes	% Volumen	Fracción Molar
N₂	70.68	0.707
CO₂	19.52	0.195
H₂O	9.71	0.097
SO₂	0.09	0.001

Fuente: Briceño y Silva (2022).

4.3.6 Cálculo del Flujo másico del quemador

Para la simulación es necesario no solo conocer la temperatura de los gases de combustión, sino también el flujo másico que entra a la cámara de combustión. Por lo tanto, se considera que para ambas cámaras se utilizan quemadores de 250 kW de potencia máxima. Partiendo de este dato, se puede calcular el flujo másico de gas natural que requiere cada uno de los quemadores con la siguiente fórmula:

$$\text{Pot} = \dot{m} \times \text{PCI} \quad \text{Ec. 24.}$$

Donde:

$$\dot{m} = \text{Flujo másico} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Pot = Potencia kW

PCI = Poder calorífico kJ/kg

Se utiliza la parte dura del coco ya que posee mayor poder calorífico, siendo de 23.01 MJ/kg, este debe ser triturado para que obtenga el tamaño de un pellet.

$$\dot{m} = \frac{\text{Pot}}{\text{PCI}} \quad \text{Ec. 25.}$$

$$\text{PCI} = 23.01 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \times \frac{1000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{1 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}}$$

$$\text{PCI} = \mathbf{23010 \text{ kJ/kg}}$$

$$\dot{m}_{\text{comb}} = \frac{200 \text{ kW}}{23010 \text{ kJ/kg}}$$

$$\dot{m}_{\text{comb}} = \mathbf{0.0078 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}$$

Como se quiere obtener el flujo másico de gases de combustión que entran al horno, se necesita determinar el flujo másico del aire, para ello es necesario determinar la masa molar del aire y de la cascara de coco.

4.3.6.1 Masa Molar de la Biomasa de cascara de coco

Para determinar la masa molar se suma cada componente previamente multiplicado por su masa atómica. Datos seleccionados de la Tabla 7.

$$\mathbf{MM_{cc}} = C_{cc}MM_C + H_{cc}MM_H + O_{cc}MM_O + N_{cc}MM_N + S_{cc}MM_S \quad \text{Ec. 26.}$$

Donde:

C_{cc} = Moles de Carbono en la Cascara de Coco

MM_c = Masa atómica del Carbono

H_{cc} = Moles de Hidrogeno en la Cascara de Coco

MM_H = Masa atómica del Hidrogeno

O_{cc} = Moles de Oxigeno en la Cascara de Coco

MM_O = Masa atómica del Carbono

N_{cc} = Moles de Nitrógeno en la Cascara de Coco

MM_N = Masa atómica del Nitrógeno

S_{cc} = Moles de Azufre en la Cascara de Coco

MM_S = Masa atómica del Azufre

$$MM_{cc} = (1)(12.01) + (0.9954)(1.008) + (0.584)(16) + (0.0136)(14.01) \\ + (0.0045)(32.06)$$

$$MM_{cc} = 22.69 \frac{kg_{cc}}{kmol}$$

4.3.6.2 Masa Molar del aire

Con ayuda de la Tabla 8 se puede obtener la masa molar del aire a través de los siguientes cálculos:

$$O_2 = 0.21 \times 32 \rightarrow 6.72 \frac{gr}{mol}$$

$$N_2 = 0.78 \times 28 \rightarrow 21.84 \frac{gr}{mol}$$

$$Ar = 0.01 \times 40 \rightarrow 0.4 \frac{gr}{mol}$$

$$O_2 = 0.21 \times 32 \rightarrow 6.72 \frac{gr}{mol}$$

$$MM_{aire} = 21.84 \frac{gr}{mol} + 6.72 \frac{gr}{mol} + 0.4 \frac{gr}{mol}$$

$$MM_{aire} = 28.96 \frac{kg}{kmol}$$

4.3.6.3 Flujo másico Total

Una vez se determina la masa molar tanto del aire como de la cascara de coco se realizan los cálculos pertinentes para los moles de aire presentes en la combustión.

$$MM_{\text{aire}} = 28.96 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$MM_{\text{cc}} = 22.69 \frac{\text{kg}_{\text{cc}}}{\text{kmol}}$$

$$\dot{m}_{\text{comb}} = 0.0078 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$a_{\text{aire}} = A + (A \times 3.76)$$

Ec. 27.

$$a_{\text{aire}} = 0.96135 + (0.96135 \times 3.76)$$

$$a_{\text{aire}} = 4.576 \text{ mol}$$

$$a_{\text{cc}} = 1 + 0.9954 + 0.584 + 0.0136 + 0.0045$$

$$a_{\text{cc}} = 2.597 \text{ mol}$$

Ya teniendo los moles de aire en la combustión se procede a determinar la cantidad de aire en Kg.

$$\frac{MM_{\text{cc}}}{a_{\text{cc}}} = \frac{X}{a_{\text{aire}}}$$

Ec. 28.

$$X = \frac{MM_{\text{cc}} \times a_{\text{aire}}}{a_{\text{cc}}}$$

$$X = \frac{22.69 \frac{\text{kg}_{\text{cc}}}{\text{kmol}} \times 4.576 \text{ mol}}{2.597 \text{ mol}}$$

$$X = 39.98 \text{ kg}_{\text{aire}}$$

De acuerdo a los datos obtenidos se deduce que para 2.597 moles de cascara de coco son aproximadamente 22.69 kg y 4.576 moles de aire son aproximadamente 39.98 kg, por lo que se requieren 22.69 kg de cascara de coco para 39.98 kg de aire.

$$\frac{\dot{m}_{\text{aire}}}{39.98 \text{ kg}} = \frac{\dot{m}_{\text{comb}}}{22.69 \text{ kg}}$$

Ec. 29.

$$\dot{m}_{\text{aire}} = \frac{0.0078 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 39.98 \text{ kg}}{22.69 \text{ kg}}$$

$$\dot{m}_{\text{aire}} = 0.0137 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{\text{total}} = \dot{m}_{\text{aire}} + \dot{m}_{\text{comb}}$$

$$\dot{m}_{\text{total}} = 0.0137 \frac{\text{kg}}{\text{s}} + 0.0078 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_{\text{total}} = 0.0215 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

4.3.7 Determinación de la transferencia de calor en el horno

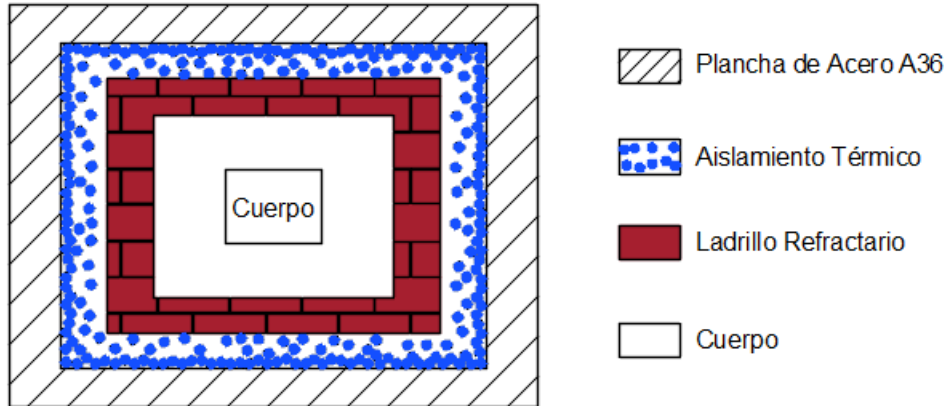


Figura 34. Capas de los materiales de la primera cámara
Fuente: Briceño y Silva (2022)

4.3.7.1 Cálculo de los coeficientes de convección y radiación exterior

El fluido de aire ingresa cuando el horno es abierto, es decir se produce una convección natural y será de $7,5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$. Para encontrar el coeficiente de radiación exterior, se recurre a la ley de Stefan-Boltzman, dicha ley establece que la energía radiada por segundo y por unidad de superficie por un cuerpo negro es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura:

$$E = \sigma T^4 \quad \text{Ec. 30.}$$

Para obtener la energía emisiva de una superficie real (la cual es menor que la de un cuerpo negro) se recurre a la emisividad ϵ , que es una propiedad que varía desde 0 hasta 1 dependiendo del tipo de material que compone la superficie, su acabado, su temperatura y la longitud de onda. La fórmula queda entonces:

$$E = \epsilon \sigma T^4 \quad \text{Ec. 31.}$$

Si la superficie está además radiando energía hacia un entorno que se encuentra a una temperatura inferior, se tiene:

$$E = \epsilon \sigma (T_{se}^4 - T_{ext}^4) \quad \text{Ec. 32.}$$

Donde:

E: Energía radiada por unidad de tiempo por unidad de área

ϵ : emisividad.

σ : constante de Stefan-Boltzmann.

T_{se} : temperatura superficie exterior.

T_{ext} : temperatura exterior.

$$E = h_{rad,ext}(T_{Se} - T_{ext}) \quad \text{Ec. 33.}$$

Donde:

$h_{rad,ext}$: Coeficiente de radiación exterior.

T_{Se} : temperatura superficie exterior.

T_{ext} : temperatura exterior.

Además, se debe tomar en cuenta la fórmula de coeficientes de transferencia de calor “TC”.

$$h_{conv rad;ext} = h_{rad,ext} + h_{conv,ext} \quad \text{Ec. 34.}$$

Donde:

$h_{con,rad;ext}$: Coeficiente de TCCR en la parte exterior del horno.

$h_{rad,ext}$: Coeficiente de TCR externa en el horno.

$h_{conv,ext}$: Coeficiente de TCC externa por el horno.

De esta manera se igualan las ecuaciones 32 y 33 para obtener el coeficiente de radiación.

$$\epsilon\sigma(T_{Se}^4 - T_{ext}^4) = h_{rad,ext}(T_{Se} - T_{ext}) \quad \text{Ec. 35.}$$

Donde:

$$T_{Se}: 60 \text{ }^\circ\text{C} = 333,15 \text{ K.}$$

$$T_{ext} = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

$$\sigma: 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2K^4}$$

$$\epsilon: 0,75 - 0,85 \therefore 0,8 \text{ “Acero A36”}$$

Se sustituye y despeja el coeficiente de radiación:

$$h_{rad,ext} = \frac{\epsilon\sigma(T_{Se}^4 - T_{ext}^4)}{T_{Se} - T_{ext}} = \frac{(0,8) \times \left(5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2K^4}\right) \times (333,15^4 K^4 - 298,15^4 K^4)}{333,15K - 298,15K}$$

$$h_{rad,ext} = 5,723 \frac{W}{m^2K}$$

Entonces se sustituyen los valores en la ecuación. 34:

$$h_{conv rad;ext} = 5,723 \frac{W}{m^2K} + 7,5 \frac{W}{m^2K}$$

$$h_{conv rad;ext} = 13,223 \frac{W}{m^2K}$$

4.3.7.2 Cálculo de los coeficientes de convección y radiación interior.

El coeficiente de convección y radiación interior se obtiene a partir de la ecuación 36.

$$h_{conv\ rad,int} = h_{rad,int} + h_{conv,int} \quad \text{Ec. 36.}$$

Para determinar los coeficientes de radiación y convección se aplican las siguientes formulas:

Para $h_{rad,int}$ se obtiene a partir de:

$$h_{rad,int} = \frac{\epsilon_g \sigma (T_{int}^4 - T_{Si}^4)}{T_{int} - T_{Si}} \quad \text{Ec. 37.}$$

Donde:

ϵ_g : emisividad del gas.

σ : constante de Stefan-Boltzmann.

T_{Si} : temperatura superficie interior.

T_{int} : temperatura interior.

En este caso se necesita conocer el valor de la emisividad del gas “ ϵ_g ” para lo que se recurre al método de Hottel, según el cual en situaciones en las que el vapor de agua y el dióxido de carbono aparecen con otros gases no radiantes (por ejemplo, el oxígeno) en una mezcla, la emisividad del gas se puede expresar como:

$$\epsilon_g = \epsilon_w + \epsilon_c - \Delta\epsilon \quad \text{Ec. 38.}$$

Donde:

ϵ_w : emisividad del Vapor de Agua en una mezcla de gases no radiantes.

ϵ_c : emisividad del dióxido de carbono en una mezcla de gases no radiantes.

$\Delta\epsilon$: factor de corrección asociado con una mezcla de vapor de agua y dióxido de carbono.

Para obtener estas emisividades y el factor de corrección se necesita conocer la temperatura del gas y las presiones parciales de las especies radiantes. La temperatura del gas en el caso más desfavorable es de 1000 °C. Para obtener las presiones parciales es necesario recurrir a la composición de los gases de combustión, la cual se detalla en la Tabla 9 del presente documento.

La presión parcial se calcula multiplicando la fracción molar correspondiente por la presión total de la mezcla:

$$P_i = X_i \times P \quad \text{Ec. 39.}$$

Donde:

P_i : presión parcial del componente i.

X_i : fracción molar del componente i.

P: presión total, la cual es **1 Atm.**

Debido a que las temperaturas son elevadas, el comportamiento de los gases se puede suponer como ideal, y la fracción molar se puede sustituir por el porcentaje en volumen. Lo cual se demuestra fácilmente que ambos términos son equivalentes si se recurre a la ley de los gases ideales. Por lo tanto, usando los datos de la Tabla 9 se puede obtener las presiones parciales de las especies radiantes:

$$P_w = X_w \times P$$

$$P_w = 0,097 \times 1 \text{ atm}$$

$$P_w = \mathbf{0,097 \text{ atm}}$$

Por lo tanto, la presión del vapor de agua es de 0,97 atm.

$$P_c = X_c \times P$$

$$P_c = 0,195 \times 1 \text{ atm}$$

$$P_c = \mathbf{0,195 \text{ atm}}$$

Por lo tanto, la presión del dióxido de carbono es de 0,195 atm.

Ahora se utilizan unas tablas que aparecen en el libro “Transferencia de Calor y Masa” de Yunus A. Cengel y Afshin J. Ghajar (ver Anexo C) que permiten obtener las emisividades deseadas en función de las presiones parciales y de un factor L que depende de la geometría. Dicho factor L se define para casos de formas arbitrarias de volumen V, de acuerdo al Anexo D:

$$L = 3,6 \frac{V}{A_s} \quad \text{Ec. 40.}$$

Donde:

V: Volumen que ocupan los gases radiantes.

As: Superficie radiada.

Se usan los datos que aparecen en el apartado “4.3.1” del presente documento:

$$V = 2,971 \text{ m}^3$$

$$A_s = 12,686 \text{ m}^2$$

Por lo que L será:

$$L = 3,6 \frac{V}{A_s} = 3,6 \frac{2,971 \text{ m}^3}{12,686 \text{ m}^2} = 0,8431 \text{ m}$$

$$L = 0,8431 \text{ m} = \mathbf{2,766 \text{ pie.}}$$

Se utilizan ahora las tablas antes mencionadas. La primera permite obtener el valor de ϵ_w :

Utilizando los siguientes datos:

$$T_g = 1273.15 \text{ K}$$

$$P_w \times L = 0,097 \text{ atm} \times 2,766 \text{ pie} = \mathbf{0,2683 \text{ pie} \times \text{atm}}$$

Del Anexo C se obtiene lo siguiente:

$$\epsilon_w = \mathbf{0,08}$$

Se procede de la misma forma con la siguiente emisividad ϵ_c :

Utilizando los siguientes datos:

$$T_g = 1273.15 \text{ K}$$

$$P_c \times L = 0,195 \text{ atm} \times 2,766 \text{ pie} = \mathbf{0,5393 \text{ pie} \times \text{atm}}$$

Del Anexo C, se obtiene lo siguiente:

$$\epsilon_c = \mathbf{0,12}$$

Y por último se recurre a la siguiente figura para determinar $\Delta\epsilon$:

Utilizando los siguientes datos:

$$T = 1273.15 \text{ K}$$

$$P_c L + P_w L = (0,195 \text{ atm} \times 2,766 \text{ pie}) + (0,097 \text{ atm} \times 2,766 \text{ pie}) = \mathbf{0,8076 \text{ Pie} \times \text{atm}}$$

$$\frac{P_w}{P_c + P_w} = \frac{0,097}{0,195 + 0,097} = \mathbf{0,332 \text{ atm}}$$

Se obtiene del Anexo C

$$\Delta\epsilon = \mathbf{0,03}$$

Ya obtenido todas las emisividades parciales se procede a determinar la emisividad del gas:

$$\epsilon_g = \epsilon_w + \epsilon_c - \Delta\epsilon = 0,08 + 0,12 - 0,03 \therefore \epsilon_g = \mathbf{0,17}$$

Por lo tanto, para determinar $h_{rad,int}$ se realiza igual que antes:

$$h_{rad,int} = \frac{\epsilon_g \sigma (T_{int}^4 - T_{Si}^4)}{T_{int} - T_{Si}} \quad \text{Ec. 41.}$$

Se necesita suponer una temperatura del interior de las paredes. Una vez obtenidos los flujos de calor, se procede a igualar los mismos para comprobar que son iguales y para corregir la temperatura supuesta en caso de que sea necesario. Se supone en un primer momento que:

$$T_{Si} = 900 \text{ }^\circ\text{C} = \mathbf{1173,15 \text{ K}}$$

Luego:

$$h_{rad,int} = \frac{\epsilon_g \sigma (T_{int}^4 - T_{Si}^4)}{T_{int} - T_{Si}}$$

$$h_{rad,int} = \frac{(0,17)\left(5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}\right)(1273,15^4 K^4 - 1173,15^4 K^4)}{1273,15 K - 1173,15 K}$$

$$h_{rad,int} = 70,76 \frac{W}{m^2 K}$$

Se procede a determinar el coeficiente de convección interno $h_{conv,int}$:

$$T = 1000 \text{ °C} = 1273,15 K$$

De acuerdo con el número de Nusselt “Nu”:

$$Nu = \frac{hL}{K} = 0,332 Pr^{1/3} Re^{1/2} \quad \text{Ec. 42.}$$

Donde:

h: coeficiente de convección.

K: conductividad térmica del fluido.

L: longitud.

Pr: Número de Prandtl.

Re: Número de Reynolds.

Para determinar el número de Nusselt se procede a conseguir el número de Prandtl y de Reynolds de acuerdo con las siguientes propiedades del aire (ver Anexo E).

Se puede obtener:

$$Pr = 0,726$$

Para determinar Reynolds:

$$Re = \frac{VL}{\nu} \quad \text{Ec. 43.}$$

Donde:

V: velocidad del fluido.

L: longitud.

ν: viscosidad cinemática del fluido.

La velocidad del fluido se obtiene a partir de:

$$V = \frac{\dot{m}}{t\rho A} \quad \text{Ec. 44.}$$

Donde:

ṁ: Flujo másico.

A: área.

t: tiempo

ρ : densidad del fluido.

Se utilizan los datos del apartado (4.3.6.3) del presente documento:

$$\dot{m} = 0,0215 \frac{Kg}{s}$$

Diámetro del quemador: $D = 0,28 \text{ m}$

El área será:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi(0,28 \text{ m})^2}{4} = \mathbf{0,0616 \text{ m}^2}$$

Luego:

$$V = \frac{0,0215 \frac{Kg}{s}}{(0,2772 \frac{Kg}{m^3})(0,0616 m^2)}$$

$$V = \mathbf{1,26 \frac{m}{s}}$$

$L = 1 \text{ m}$

Se sustituyen los valores obtenidos en la ecuación 43, se obtiene:

$$Re = \frac{(1,26 \frac{m}{s})(1 \text{ m})}{1,741 \times 10^{-4} \frac{m^2}{s}} \therefore Re = \mathbf{7,23 \times 10^3}$$

Luego una vez obtenido los valores de Prandtl y de Reynolds se procede a determinar Nu:

$$Nu = 0,332 (0,726)^{1/3} (7,23 \times 10^3)^{1/2} \therefore Nu = \mathbf{25,37}$$

Luego se procede a obtener el coeficiente de convección:

$$Nu = \frac{hL}{K} \rightarrow h = \frac{Nu \times K}{L} = \frac{25,37 \times 0,07868 \frac{W}{mK}}{1 \text{ m}}$$

$$h_{conv,int} = \mathbf{2 \frac{W}{m^2K}}$$

Se obtiene $h_{conv rad,int}$ sumando ambos términos $h_{conv,int}$ y $h_{rad,int}$:

$$h_{conv rad,int} = 2 \frac{W}{m^2K} + 70,76 \frac{W}{m^2K} = \mathbf{72,76 \frac{W}{m^2K}}$$

4.3.7.3 Cálculo del flujo de calor a través de la pared externa

Una vez se tiene el coeficiente $h_{conv rad,int}$, ya se puede calcular el calor transferido desde la pared exterior hacia el medio que la rodea. A partir de la analogía eléctrica de la transferencia de calor, se sabe que el calor por unidad de tiempo y superficie es:

$$\frac{Q}{A} = \frac{\Delta T}{R_T} = \frac{T_1 - T_2}{R_T} \quad \text{Ec. 45.}$$

Donde R_T es la resistencia térmica.

➤ **Flujo de Calor externo:**

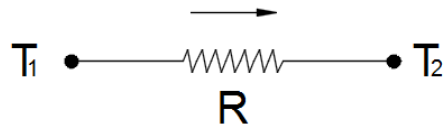


Figura 35. Circuito externo

Fuente: Briceño y Silva (2022)

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_2}{R_T} \quad \text{Ec. 46.}$$

$$R = R_{conv} = \frac{1}{hA_s} \quad \text{Ec. 47.}$$

Donde:

$$T_1 = T_{Se} = 333,15 \text{ K}$$

$$T_2 = T_{ext} = 298,15 \text{ K}$$

$$h = h_{conv,ext} = 7,5 \frac{W}{m^2 K}$$

$$A_s = 12,686 \text{ m}^2$$

Luego:

$$R_{conv} = \frac{1}{hA_s} = \frac{1}{7,5 \frac{W}{m^2 K} \times 12,686 \text{ m}^2} = 0,011 \frac{W}{K}$$

Por lo tanto:

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_2}{R} = \frac{(333,15 - 298,15)K}{0,011 \frac{W}{K}} \therefore \dot{Q} = 3181,81 \text{ W}$$

➤ **Flujo de calor en la pared exterior**

Se puede decir que al ser la transferencia de calor por dos modos distintos: convección y radiación, siendo representado cada uno de los modos por una resistencia. El circuito queda pues así:

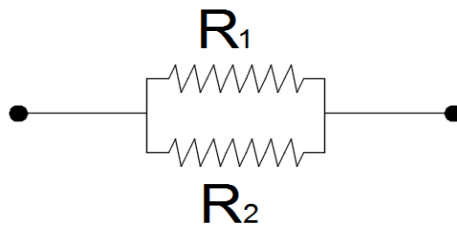


Figura 36. Circuito pared externo

Fuente: Briceño y Silva (2022)

Donde:

$$R_1 = \frac{1}{h_{conv,ext}}$$

$$R_2 = \frac{1}{h_{rad,ext}}$$

Debido a la disposición está en paralelo, la resistencia total del circuito es:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = h_{conv,ext} + h_{rad,ext} \therefore \frac{1}{R_T} = h_{conv,ext} + h_{rad,ext} \quad \text{Ec. 48.}$$

Simplificando:

$$R_T = \frac{1}{h_{conv,ext} + h_{rad,ext}} = \frac{1}{h_{conv rad,ext}} \quad \text{Ec. 49.}$$

$$R_T = \frac{1}{13,223 \frac{W}{m^2 K}} = \mathbf{0,0756} \frac{m^2 K}{W}$$

Por lo tanto, es calor es:

$$\frac{Q}{A} = \frac{T_1 - T_2}{R_T} = \frac{(333,15 - 298,15) K}{0,0756 \frac{m^2 K}{W}} = \mathbf{462,96} \frac{W}{m^2}$$

4.3.7.4 Cálculo del flujo de calor a través de la pared interna

En este caso a partir de $h_{conv rad,int}$ se puede calcular el flujo de calor transferido desde el gas caliente del interior del horno hacia la cara interior de la pared por convección y radiación. El procedimiento se realiza de la misma forma que del apartado anterior (ecuación 46):

Donde:

$$T_1 = T_{int} = 1273,15 \text{ K}$$

$$T_2 = T_{Si} = 1173,15 \text{ K}$$

La resistencia térmica es de nuevo la asociación en paralelo de las resistencias térmicas (una de convección y la otra de radiación), por lo que se tiene:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = h_{conv,int} + h_{rad,int} \therefore \frac{1}{R_T} = h_{conv,int} + h_{rad,int}$$

Simplificando:

$$R_T = \frac{1}{h_{conv,int} + h_{rad,int}} = \frac{1}{h_{conv rad,int}}$$

$$R_T = \frac{1}{72,76 \frac{W}{m^2 K}} = \mathbf{0,014} \frac{m^2 K}{W}$$

Por lo tanto, es calor es:

$$\frac{Q}{A} = \frac{T_1 - T_2}{R_T} = \frac{(1273,15 - 1173,15) K}{0,014 \frac{m^2 K}{W}} = \mathbf{7142,85} \frac{W}{m^2}$$

4.3.8 Cálculo de los espesores:

Para dimensionar los muros se hace necesario antes trabajar con el flujo de calor por conducción que los atraviesa, para lo cual se procede igual que en los apartados anteriores. Se usa la ecuación 46.

Ya se conoce el valor del flujo de calor, puesto que este ha de ser el mismo en todo el sistema. Además, teniendo la temperatura interior aproximada, la una variable que se tendría sería la resistencia térmica. Se despeja su valor para poder dimensionar la pared:

$$R_T = \frac{T_1 - T_2}{\frac{Q}{A}} \quad \text{Ec. 50.}$$

Donde:

$$T_1 = T_{Si} = 1173,15 \text{ K}$$

$$T_2 = T_{Se} = 333,15 \text{ K}$$

$$\frac{Q}{A} = 462,96 \frac{W}{m^2}$$

Por lo tanto:

$$R_T = \frac{T_1 - T_2}{\frac{Q}{A}} = \frac{(1173,15 - 333,15) \text{ K}}{462,96 \frac{W}{m^2}} = \mathbf{1,81} \frac{m^2 \text{ K}}{W}$$

En este caso, la resistencia térmica total es la suma en serie de las resistencias asociadas a cada uno de los tramos de distinto material que conforman el muro:

$$R_T = \sum R_i \quad \text{Ec. 51.}$$

La sumatoria en este caso cuenta con dos sumandos: el correspondiente al muro de ladrillos refractarios y el correspondiente a la capa de material aislante externa. Se debe tener en consideración también el término debido a la placa de acero externa, pero dada la elevada conductividad térmica del acero (en torno a $50,2 \frac{W}{m \text{ K}}$) y el pequeño espesor de la placa, este término se desprecia. Por lo que finalmente el circuito queda así:

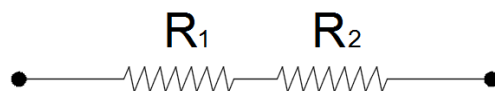


Figura 37. Circuito de la resistencia
Fuente: Briceño y Silva (2022)

Dónde:

$R_1 = R_L = \frac{e_L}{K_L}$: resistencia térmica asociada al muro de ladrillos refractarios.

$R_2 = R_A = \frac{e_A}{K_A}$: resistencia térmica asociada a la capa de material aislante.

Se toma una capa formada por láminas de Lana de Roca como material aislante externo, cuyo espesor y conductividad térmica a la temperatura de trabajo son:

$$e_A = 3'' \rightarrow 0,0762 \text{ m}$$

$$K_A = 0,037 \frac{W}{m \text{ K}}$$

Por lo tanto:

$$R_A = \frac{e_A}{K_A} = \frac{0,0762 \text{ m}}{0,037 \frac{W}{m \text{ K}}} = 2,059 \frac{m^2 \text{ K}}{W}$$

La resistencia de los ladrillos refractarios ha de ser:

$$R_L = R_T - R_A = (1,81 - 2,059) \frac{m^2 \text{ K}}{W} = -0,249 \frac{m^2 \text{ K}}{W}$$

El valor negativo indica que la resistencia térmica del aislante es ya suficiente por sí misma para satisfacer la condición de temperatura en el exterior. Sin embargo, se puede aumentar el espesor de 3'' a 5'', para mayor seguridad.

Si se selecciona un ladrillo refractario típico de dimensiones 24 cm x 13,5 cm x 6 cm y conductividad K_L Anexo F

$$T_{int} = 1273,15 \text{ K}$$

Como en la tabla el valor de la conductividad no está a la temperatura requerida se realiza una interpolación:

Tabla 10. Interpolación de conductividad K_L

T	K_L
922	1,5
1273,15	X
1478	1,8

Fuente: Briceño y Silva (2022).

$$K_L = (1,5) + \left[\frac{1,8-1,5}{1478-922} (1273,15 - 922) \right] = 1,68 \frac{W}{m \text{ K}}$$

Entonces:

$$R_L = \frac{e_L}{K_L} = \frac{0,135 \text{ m}}{1,68 \frac{W}{m \text{ K}}} = 0,08 \frac{m^2 \text{ K}}{W}$$

El espesor de la pared de material aislante y refractario es:

$$L = 0,0762 + 0,135 = 0,2112 \text{ m}$$

Si se considera además la placa de acero de espesor 6 mm o 8mm; se tiene que el espesor total de la pared es:

$$LT = 0,2112 + 0,008 = \mathbf{0,2192 \text{ m}}$$

Se dimensionan de esta manera las paredes de la cámara principal para que la temperatura en las caras externas sea como máximo de 60 °C. El acabado exterior de paneles de acero reduce aún más la temperatura percibida por los operarios.

4.3.9 Cálculo de las temperaturas entre las paredes:

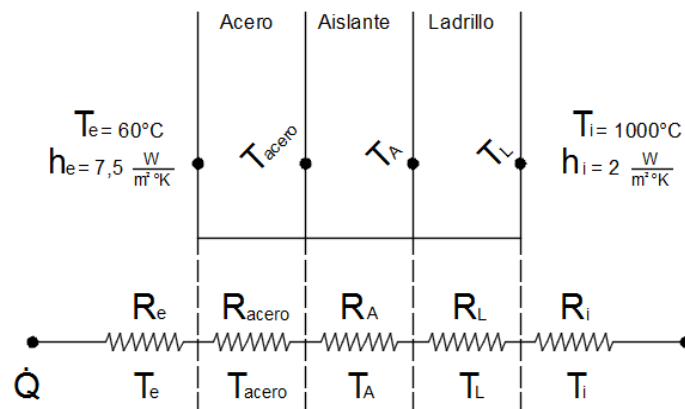


Figura 38. Distribución de las temperaturas entre paredes

Fuente: Briceño y Silva (2022)

Como se conoce los espesores de cada capa que compone el muro, se procede a determinar el flujo de calor que pasa a través de él con la siguiente ecuación:

$$\frac{Q}{A} = \frac{T_1 - T_2}{R_T} = \frac{T_{int} - T_{ext}}{\frac{1}{h_i} + \frac{L_L}{K_L} + \frac{L_A}{K_A} + \frac{L_{Acero}}{K_{Acero}} + \frac{1}{h_{ext}}} \quad \text{Ec. 52.}$$

$$\frac{Q}{A} = \frac{1273,15 \text{ K} - 333,15 \text{ K}}{\frac{1}{2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}} + \frac{0,135 \text{ m}}{1,68 \frac{\text{W}}{\text{m K}}} + \frac{0,0762 \text{ m}}{0,037 \frac{\text{W}}{\text{m K}}} + \frac{0,008 \text{ m}}{50,2 \frac{\text{W}}{\text{m K}}} + \frac{1}{7,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}}}$$

$$\frac{Q}{A} = \mathbf{338,94 \frac{W}{m^2}}$$

Una vez obtenido el flujo de calor se procede a determinar las temperaturas entre cada capa que compone la pared.

- **Temperatura en el ladrillo refractario TL:**

$$Q = \frac{T_i - T_L}{\frac{1}{h_i A}} \rightarrow T_L = T_i - \left(\frac{1}{h_i}\right) \left(\frac{Q}{A}\right) = 1273,15 \text{ K} - \left(\frac{1}{2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}}\right) \left(338,94 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right)$$

$$T_L = 1103,68 \text{ K} \rightarrow \mathbf{830,53} \text{ } ^\circ\text{C}$$

- **Temperatura en el ladrillo refractario TA:**

$$Q = \frac{T_L - T_A}{\frac{L_L}{K_L A}} \rightarrow T_A = T_L - \left(\frac{L_L}{K_L}\right) \left(\frac{Q}{A}\right) = 1103,68 \text{ K} - \left(\frac{0,135 \text{ m}}{1,68 \frac{\text{W}}{\text{m K}}}\right) \left(338,94 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right)$$

$$T_A = 1076,44 \text{ K} \rightarrow \mathbf{803,29} \text{ } ^\circ\text{C}$$

- **Temperatura en el ladrillo refractario TAcero:**

$$Q = \frac{T_A - T_{Acero}}{\frac{L_A}{K_A A}} \rightarrow T_{Acero} = T_A - \left(\frac{L_A}{K_A}\right) \left(\frac{Q}{A}\right)$$

$$T_{Acero} = 1076,44 \text{ K} - \left(\frac{0,0762 \text{ m}}{0,037 \frac{\text{W}}{\text{m K}}}\right) \left(338,94 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right)$$

$$T_{Acero} = 378,40 \text{ K} \rightarrow \mathbf{105,25} \text{ } ^\circ\text{C}$$

En conclusión, la figura 39 muestra la distribución de las temperaturas a través de los diferentes elementos:

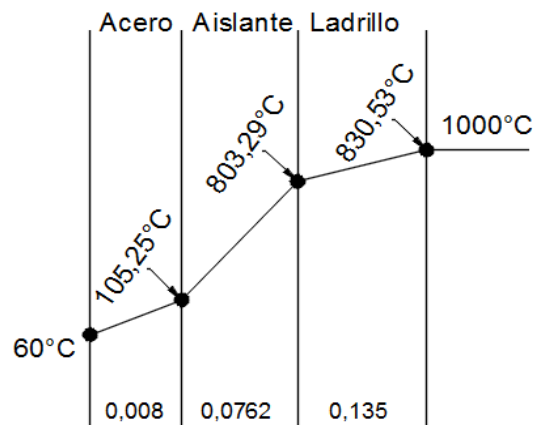


Figura 39. Distribución de la temperatura

Fuente: Briceño y Silva (2022)

Ahora bien, ya determinada la temperatura de la superficie interior del horno, se procede a recalcular el coeficiente de radiación interno:

$$T_{Si} = 830,53^\circ\text{C} = \mathbf{1103,68 \text{ K}}$$

Luego sustituyendo los valores en la ecuación 37:

$$h_{rad,int} = \frac{(0,17) \left(5,67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}\right) (1273,15^4 \text{ K}^4 - 1103,68^4 \text{ K}^4)}{1273,15 \text{ K} - 1103,68 \text{ K}}$$

$$h_{rad,int} = \mathbf{65,04} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

Luego:

$$h_{conv rad,int} = 2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} + 65,04 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} = \mathbf{67,04} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

4.3.10 Cálculo de tiempo estimado de cremación

Para poder estimar el tiempo de cremación, se debe tener en cuenta dos variables, el índice de masa corporal, ya que de él va a depender en parte la duración de la cremación; la temperatura a la que se debe encontrar la cámara principal la cual se puede observar en la figura 39.

El índice de masa corporal es obtenido a partir de la siguiente ecuación:

$$IMC = \frac{\text{peso [Kg]}}{\text{Altura [m}^2\text{]}} \quad \text{Ec. 52.}$$

Se tiene que tomar en consideración que de acuerdo al IMC se agrupan en 4 tipos

➤ **Delgado**

IMC= <18,5

➤ **Peso Normal**

IMC= 18,5-24,9

➤ **Sobrepeso**

IMC= 25-29,9

➤ **Obesidad**

IMC= >30

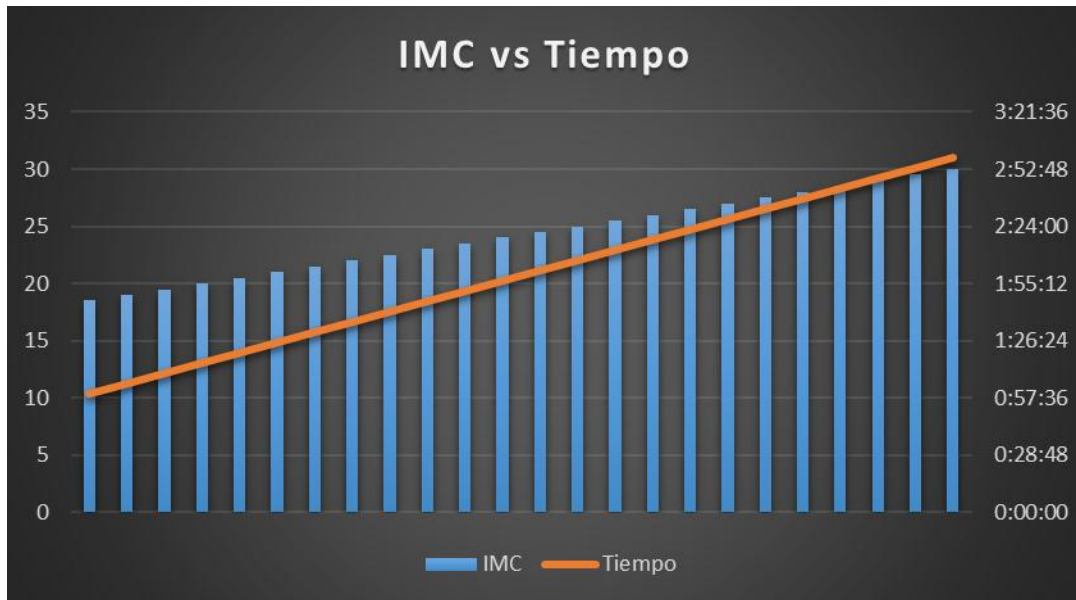
El proceso generalmente toma entre 1 y 3 horas dependiendo del tamaño del cuerpo. En la tabla 11, se puede observar el tiempo estimado dependiendo del IMC

Tabla 11. IMC vs Tiempo

IMC	Tiempo	IMC	Tiempo	IMC	Tiempo
18,5	1:00:00	25,5	2:12:06	29	2:48:09
19	1:05:09	26	2:17:15	29,5	2:53:18
19,5	1:10:18	26,5	2:22:24	30	2:58:27
20	1:15:27	27	2:27:33		
20,5	1:20:36	27,5	2:32:42		
21	1:25:45	28	2:37:51		
21,5	1:30:54	28,5	2:43:00		
22	1:36:03				
22,5	1:41:12				
23	1:46:21				
23,5	1:51:30				
24	1:56:39				
24,5	2:01:48				
25	2:06:57				

Fuente: Briceño y Silva (2022)

Las casillas que se encuentra en azul indican el grupo de pesos normal, la casilla verde indica el grupo con sobre peso y por último la casilla en naranja indica el grupo con obesidad. En conclusio se puedo notar que por cada 0,5 de IMC el tiempo de cremación aumenta aproximadamente cinco minutos: en la Gráfica 1, se puede apreciar cómo se eleva el tiempo a medida que el cuerpo a cremar empieza a encontrar en los grupos de sobre peso y obesidad.



Gráfica 1. IMC vs Tiempo
Fuente: Briceño y Silva (2022)

4.3.11 Cálculo de las dimensiones de la chimenea

El siguiente paso es dimensionar la chimenea, para ello se deben tener en cuenta tres aspectos bien diferenciados: su sección interior, la altura hasta la que va a llegar y los materiales que la forman.

4.3.11.1 Sección

En primer lugar, se calcula la sección interior de la chimenea, por la que pasan los gases que salen del horno antes de salir al exterior. La determinación de la sección tiene como principal objetivo alcanzar una determinada velocidad de salida de los gases de combustión a la atmósfera, ya que la relación entre ambas es inversamente proporcional, y viene establecida por la siguiente fórmula:

$$S = \frac{\dot{m}_{total} * T}{273.16 * V * \rho} \quad \text{Ec. 53.}$$

Donde:

$$S = \text{Seccion } m^2$$

$$\dot{m}_{total} = \text{Flujo masico total } kg/s$$

$$T = \text{Temperatura a la salida } K$$

$$V = \text{Velocidad de salida del fluido } \frac{m}{s} \text{ (se coloca la que se quiere)}$$

$$\rho = \text{Densidad del aire } kg/m^3$$

Los valores se toman de la simulación que se ha realizado en el apartado más adelante. De esta manera se garantiza que la chimenea se dimensiona de tal manera que sea capaz de cumplir su función y soportar las temperaturas en cualquiera de los casos posible. Por lo tanto, la temperatura y la velocidad son los siguientes:

$$T = 1073.15 \text{ K}$$

$$V = 4 \text{ m/s}$$

$$\dot{m}_{total} = 0.0215 \text{ kg/s}$$

La densidad de los humos de acuerdo a la Tabla 12, se estima a partir de la altitud, teniendo en cuenta dicho dato, la altitud en Carabobo según Ernesto Rosales (2022) “es de 653 m.s.n.m”

$$\rho = 1.23 \text{ kg/m}^3$$

$$S = \frac{0.0215 \frac{kg}{s} * 1073.15K}{273.16 * 4 \frac{m}{s} * 1.23kg/m^3}$$

$$S = 0.0171 \text{ m}^2$$

Tabla 12. Densidad del aire respecto a la altitud.

Altitud (metros)	Valores de la densidad del aire ambiente		
	Mínimo (kg/m ³)	Promedio (kg/m ³)	Máximo (kg/m ³)
0	1,1405	1,2254	1,3167
305	1,1101	1,1886	1,2735
610	1,0812	1,1533	1,2302
914	1,0524	1,1197	1,2222
1000	1,0444	1,1101	1,1902
1219	1,0252	1,0861	1,1501
1524	0,9996	1,0556	1,1133
1829	0,9739	1,0236	1,0764
2000	0,9595	1,0076	1,0572
2134	0,9483	0,9931	1,0412
2438	0,9243	0,9643	1,0060
2743	0,8986	0,9355	0,9723

Fuente: Enoch, Cesar (2017).

4.3.11.2 Cálculo del área

$$A = R^2 * \pi \quad \text{Ec. 54.}$$

Donde:

R = Radio m.

$$R = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$R = \sqrt{\frac{0.0171 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$R = 0.073 \text{ m}$$

4.3.11.3 Cálculo del diámetro de la chimenea

D = Diámetro m

$$D = R * 2$$

$$D = 0.073 \text{ m} * 2$$

$$D = 0.147 \text{ m}$$

Según la Norma Venezolana COVENIN 1649:1996 para la altura y separación de la pared del horno.

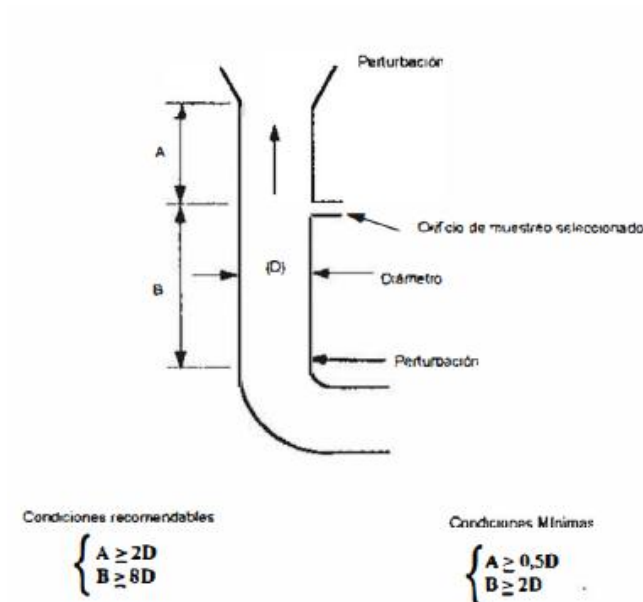


Figura 40. Ubicación de chimenea.

Fuente: COVENIN 1649, (1996)

$$A \geq 2D \rightarrow 2 * (0.147) = 0.3 \text{ m}$$

$$B \geq 8D \rightarrow 8 * (0.147) = 1.2 \text{ m}$$

$$A + B = 1.5 \text{ m}$$

Sumándole 10.5 m en relación a lo que estipula la norma dicha anteriormente.

$$H = 1.5 \text{ m} + 10.5 \text{ m}$$

$$H = 12 \text{ m}$$

Para la distancia a la pared del horno es 1.5D

$$X = 1.5D \rightarrow 1.5 * (0.147) = 0.2 \text{ m}$$

4.3.11.4 Cálculo de los espesores

Para calcular el espesor de los materiales que es necesario en la chimenea, se procede de forma análoga a lo hecho en el apartado 4.3.8 del presente trabajo.

Se utilizan los valores calculados anteriormente.

$$h_{con,rad,ext} = 13.22 \frac{W}{m^2K}$$

$$h_{con,rad,int} = 70.76 \frac{W}{m^2K}$$

➤ Cálculo de Resistencia Total Externa

$$T_{Se} = 60 \text{ °C} = 333,15 \text{ K}$$

$$T_{ext} = 25 \text{ °C} = 298,15 \text{ K}$$

De acuerdo a la ecuación 50. El flujo de calor es:

$$R_T = \frac{1}{h_{con,rad,ext}}$$

$$R_T = \frac{1}{13.22 \frac{W}{m^2K}}$$

$$R_T = 0.0756 \frac{m^2 * K}{W}$$

$$\frac{Q}{A} = \frac{333.15K - 298.15 K}{0.0756 \frac{m^2 * K}{W}}$$

$$\frac{Q}{A} = 462.96 \frac{W}{m^2}$$

➤ **Cálculo de Resistencia Total Interna**

$$R_T = \frac{1}{h_{con,rad,int}}$$

$$R_T = \frac{1}{72.76 \frac{W}{m^2 K}}$$

$$R_T = 0.013 \frac{m^2 * K}{W}$$

T_{SA}: Temperatura salida aire.

T_{Se}: Temperatura superficie exterior.

T_{int}: temperatura interior.

$$T_{int} = 1273.15 \text{ K}$$

$$T_{SA} = 1073.6 \text{ K}$$

$$T_{Se} = 333.15 \text{ K}$$

De igual manera que cálculo anterior

$$\frac{Q}{A} = \frac{1273.15 \text{ K} - 1076.6 \text{ K}}{0.013 \frac{m^2 * K}{W}}$$

$$\frac{Q}{A} = 15339 \frac{W}{m^2}$$

➤ **Resistencia para el espesor**

Con ayuda de la ecuación 50 se determina el valor de la resistencia.

$$R_T = \frac{1073.15 \text{ K} - 333.15 \text{ K}}{462.96 \frac{W}{m^2}}$$

$$R_T = 1.6 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$K_A = 0,037 \frac{W}{m \text{ } ^\circ K}$$

$$e = R_T * K_A$$

Ec. 55.

$$e = 1.6 \text{ m}^2 \text{ K/W} * 0,037 \frac{W}{m \text{ } ^\circ K}$$

$$e = 0.06 \text{ m}$$

4.4 Diseño en el software SolidWorks las partes del horno crematorio para el funcionamiento con una fuente de energía alterna.

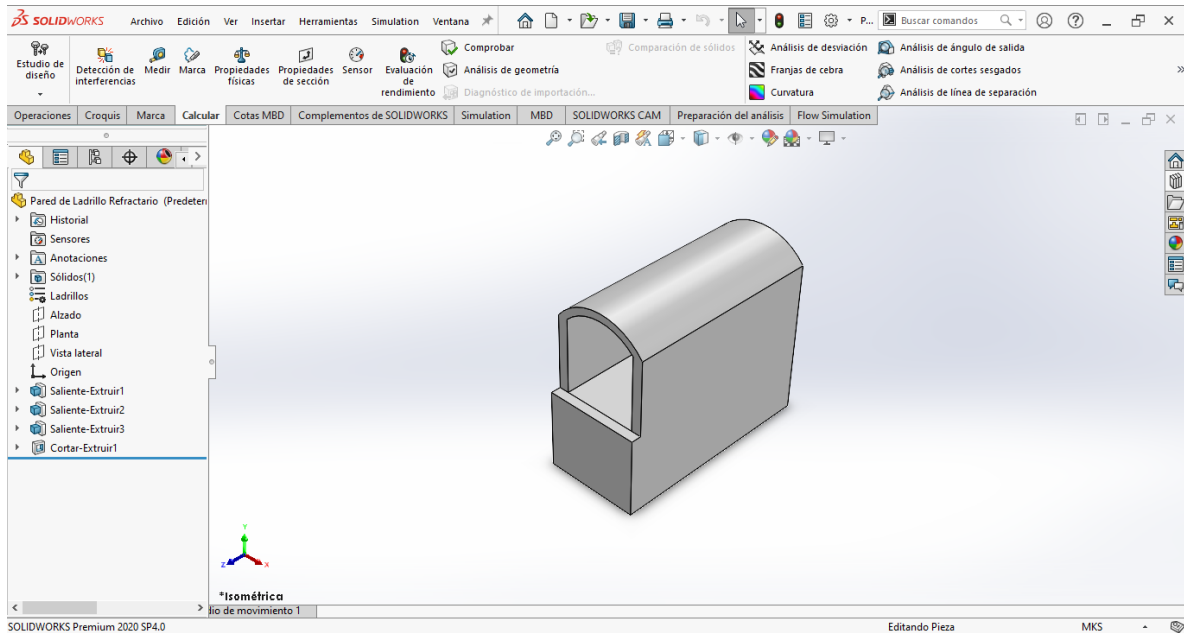


Figura 41. Pared de ladrillo refractario.

Fuente: Briceño y Silva (2022).

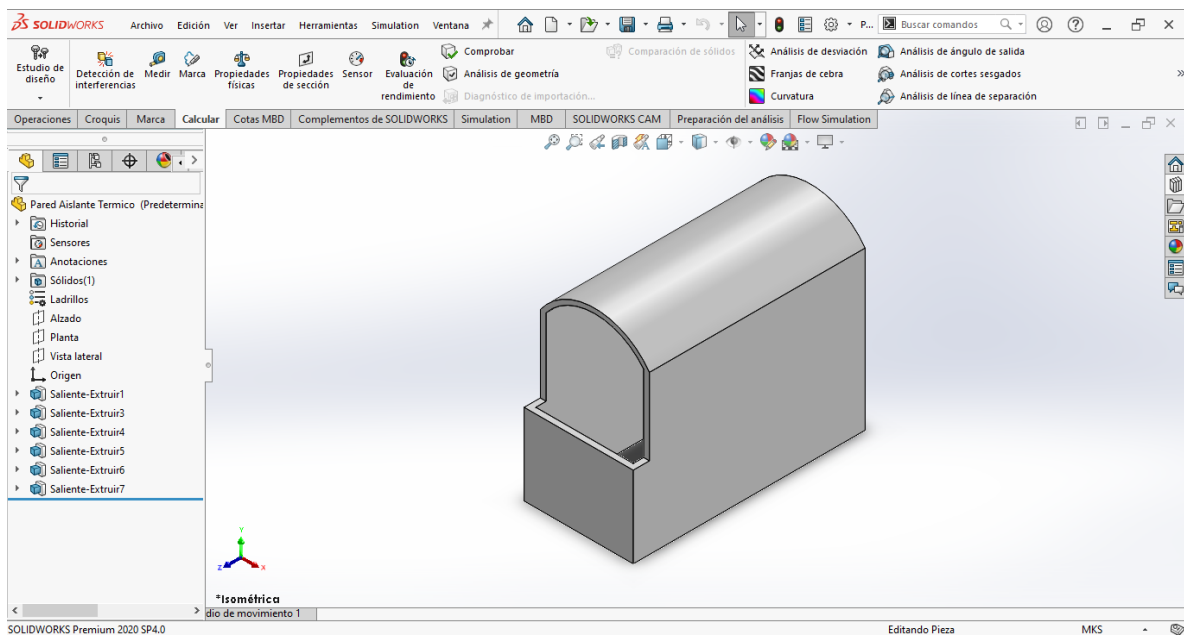


Figura 42. Pared de Aislante térmico

Fuente: Briceño y Silva (2022).

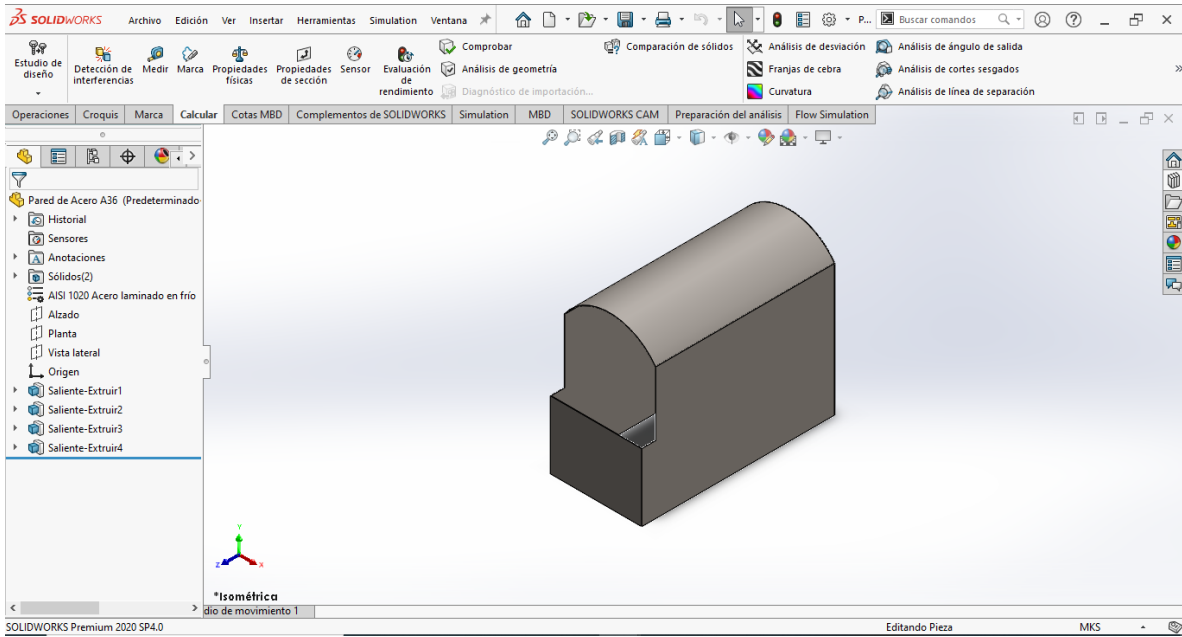


Figura 43. Pared de Acero A36.
Fuente: Briceño y Silva (2022).

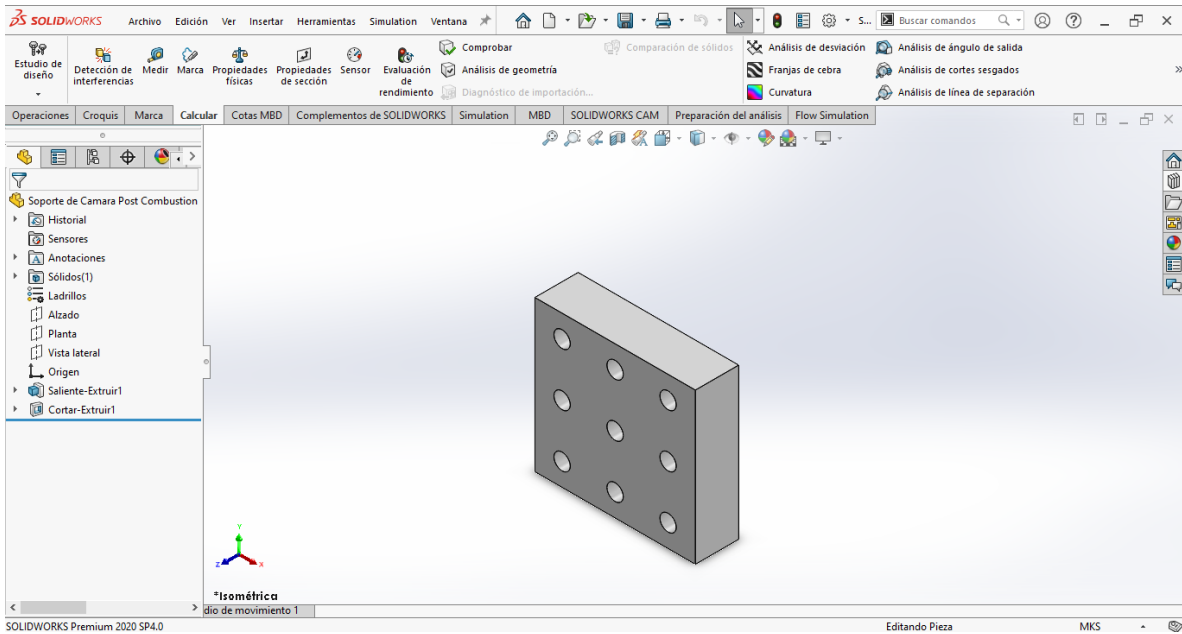


Figura 44. Soporte de cámara de post combustión.
Fuente: Briceño y Silva (2022).

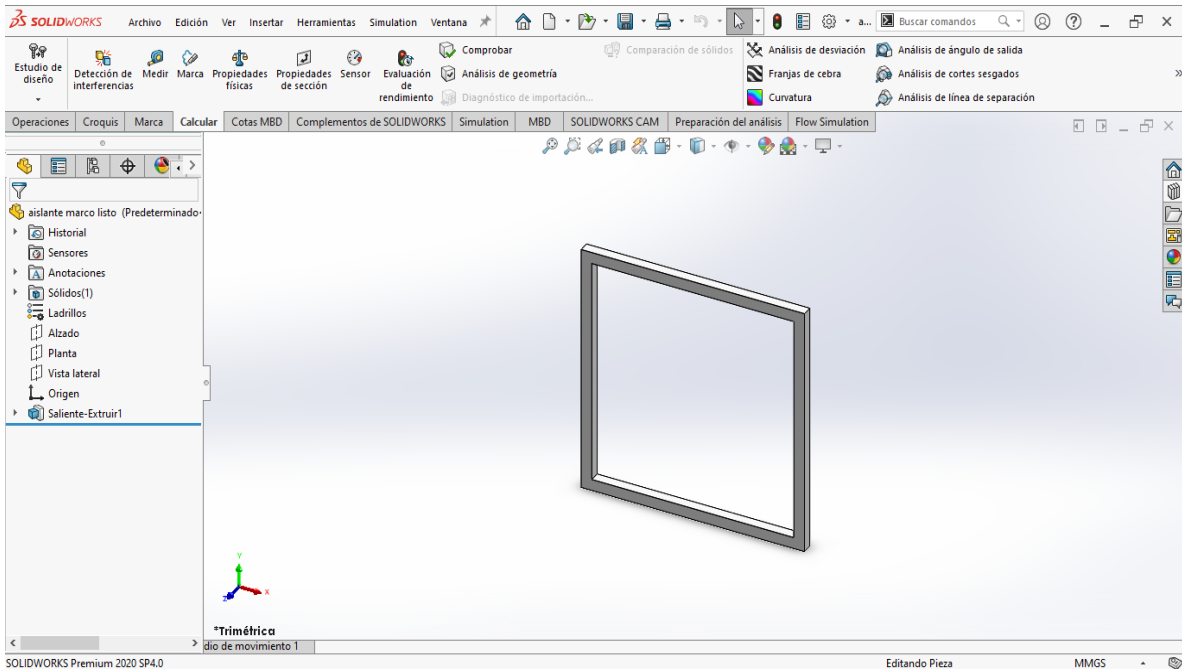


Figura 45. Aislante de marco, ubicado en la puerta.
Fuente: Briceño y Silva (2022).

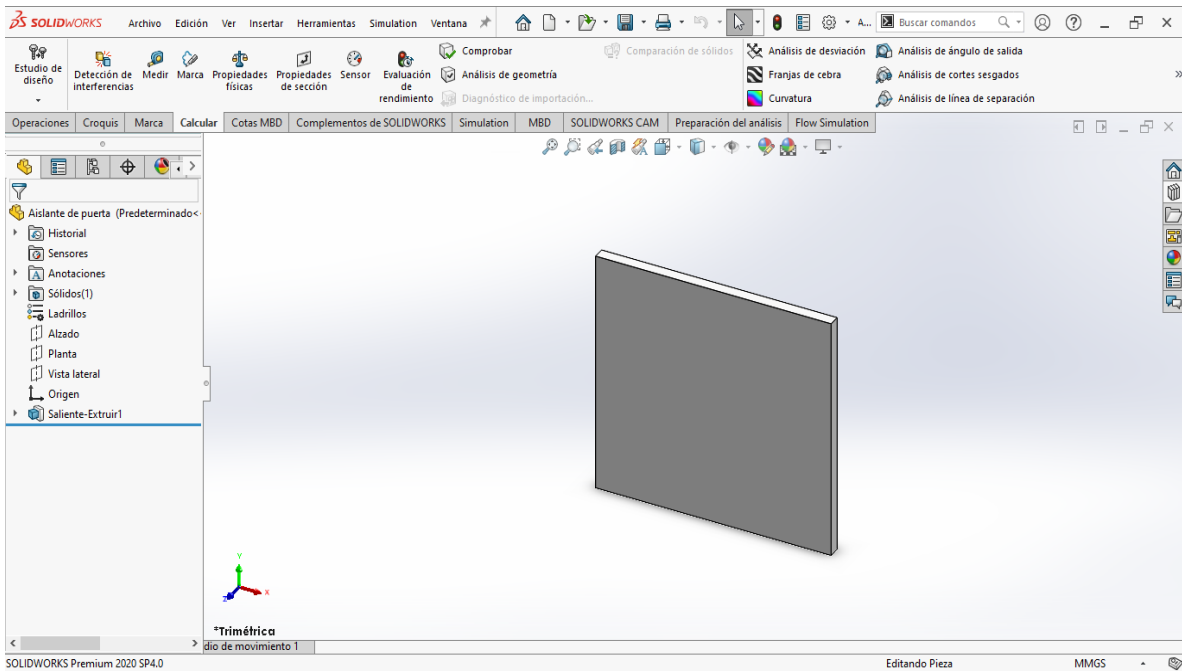


Figura 46. Aislante central de puerta.
Fuente: Briceño y Silva (2022).

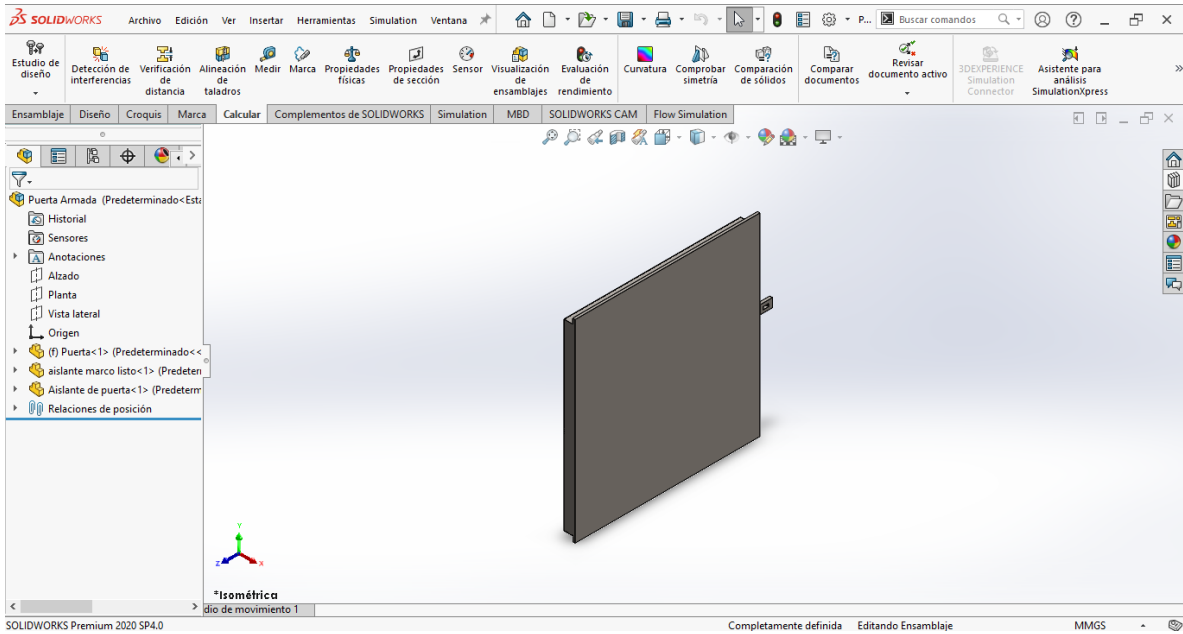


Figura 47. Ensamblaje de puerta.
Fuente: Briceño y Silva (2022).

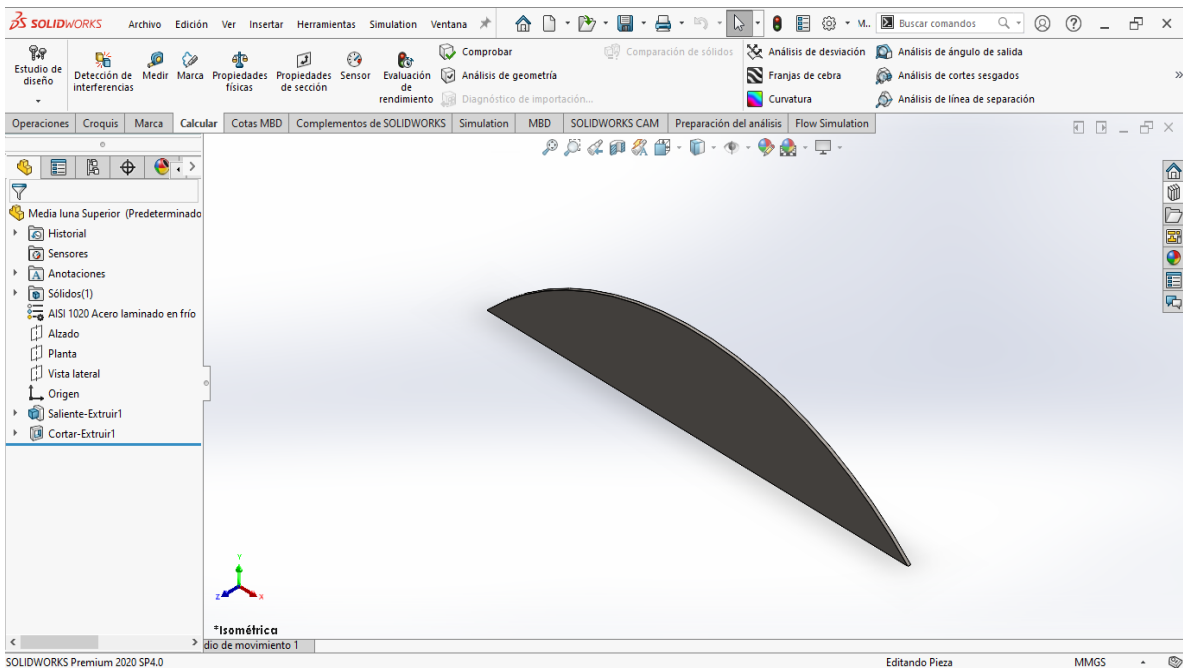


Figura 48. Tapa frontal superior.
Fuente: Briceño y Silva (2022).

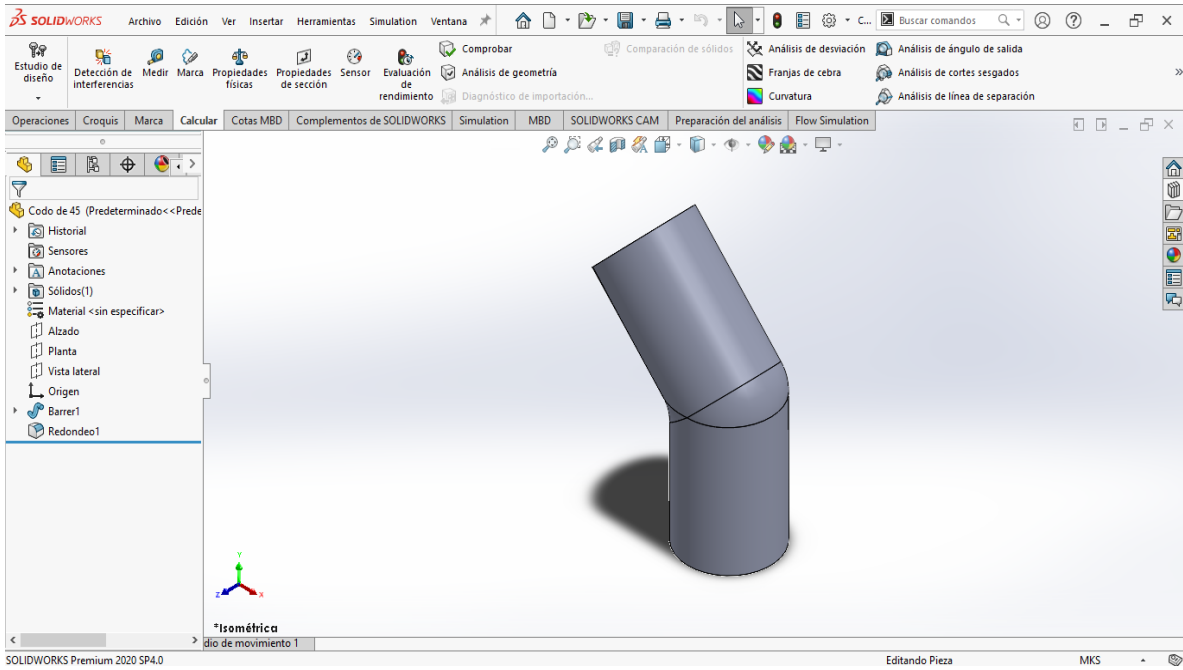


Figura 49. Codo de 45 grados de la chimenea.
Fuente: Briceño y Silva (2022).

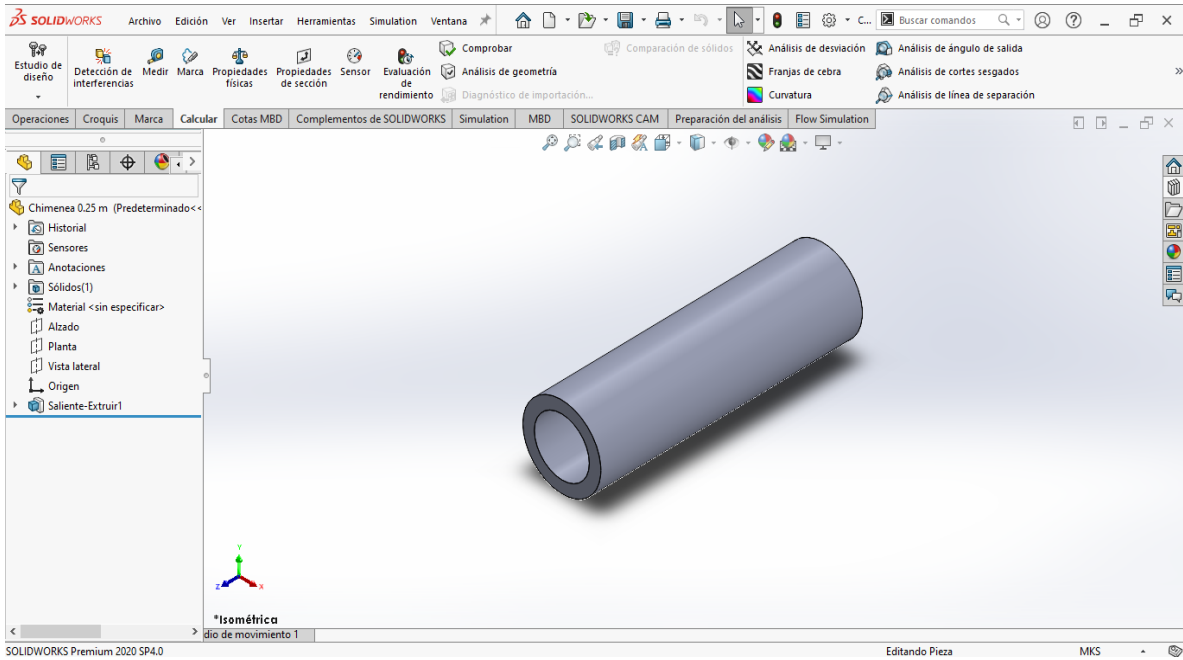


Figura 50. Ducto chimenea horizontal.
Fuente: Briceño y Silva (2022).

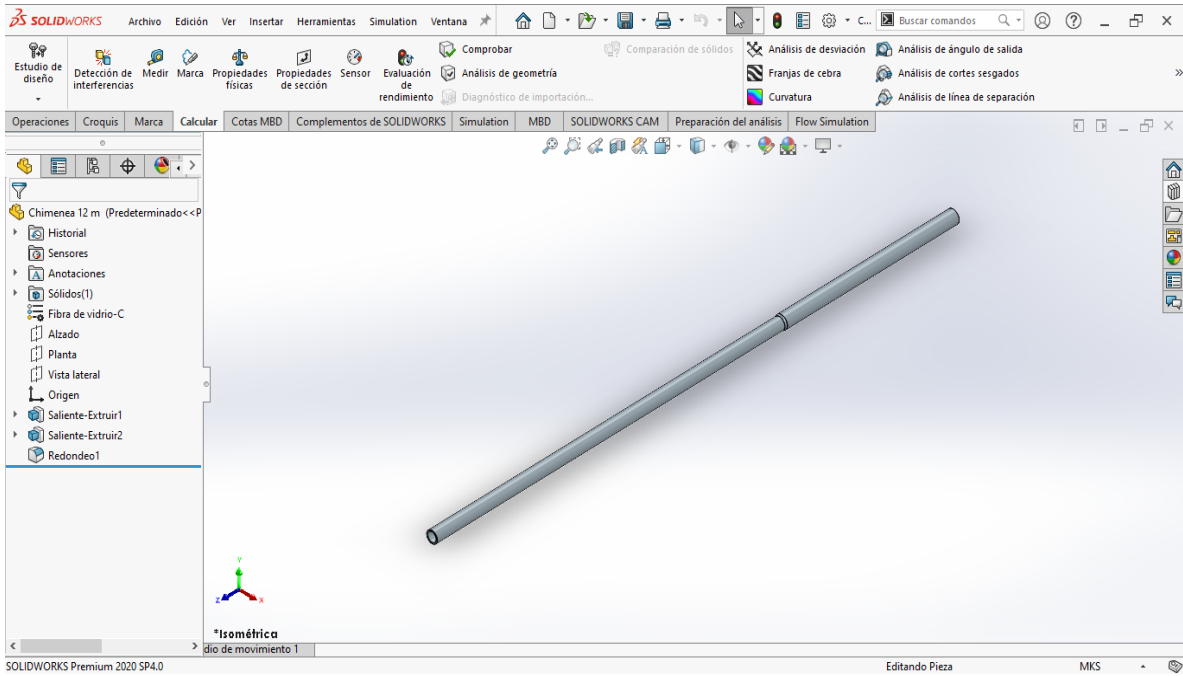


Figura 51. Ducto chimenea vertical.

Fuente: Briceño y Silva (2022).

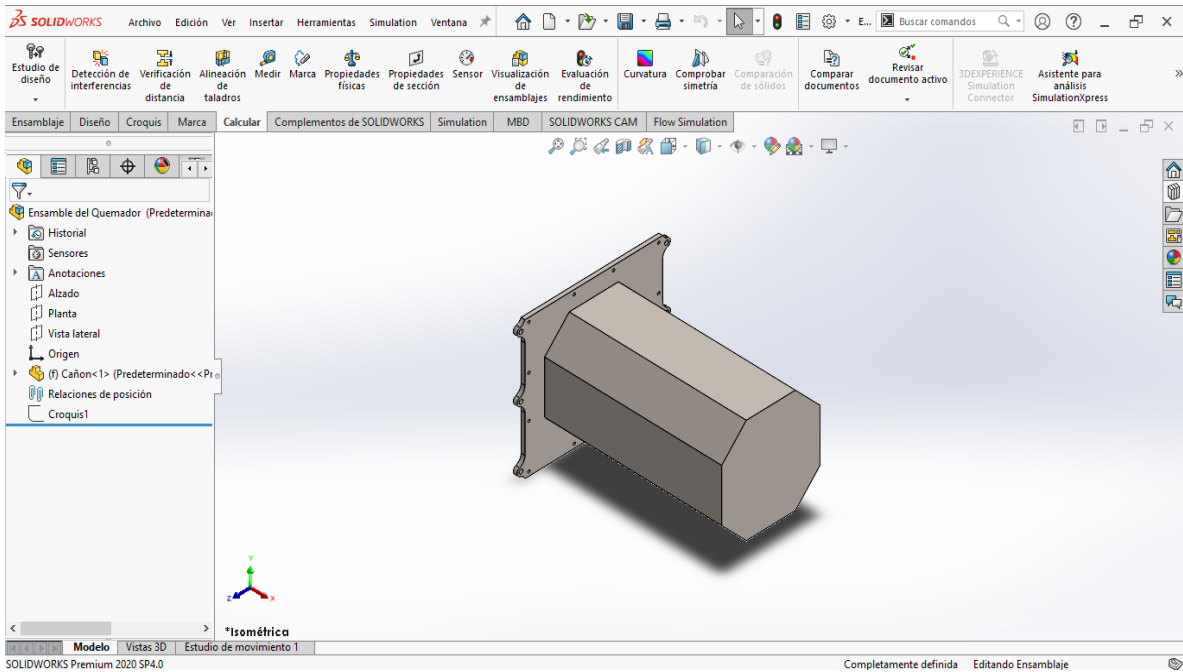


Figura 52. Cañón de quemador.

Fuente: Briceño y Silva (2022).

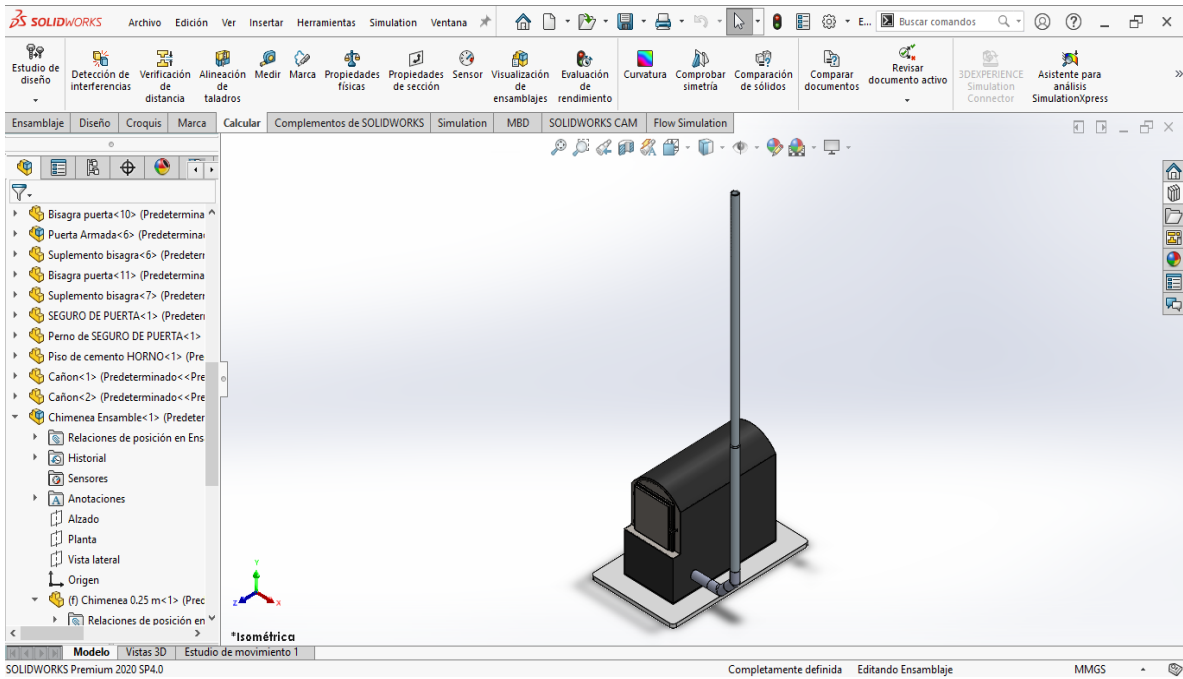


Figura 53. Ensamblaje del horno crematorio, vista isométrica.

Fuente: Briceño y Silva (2022).

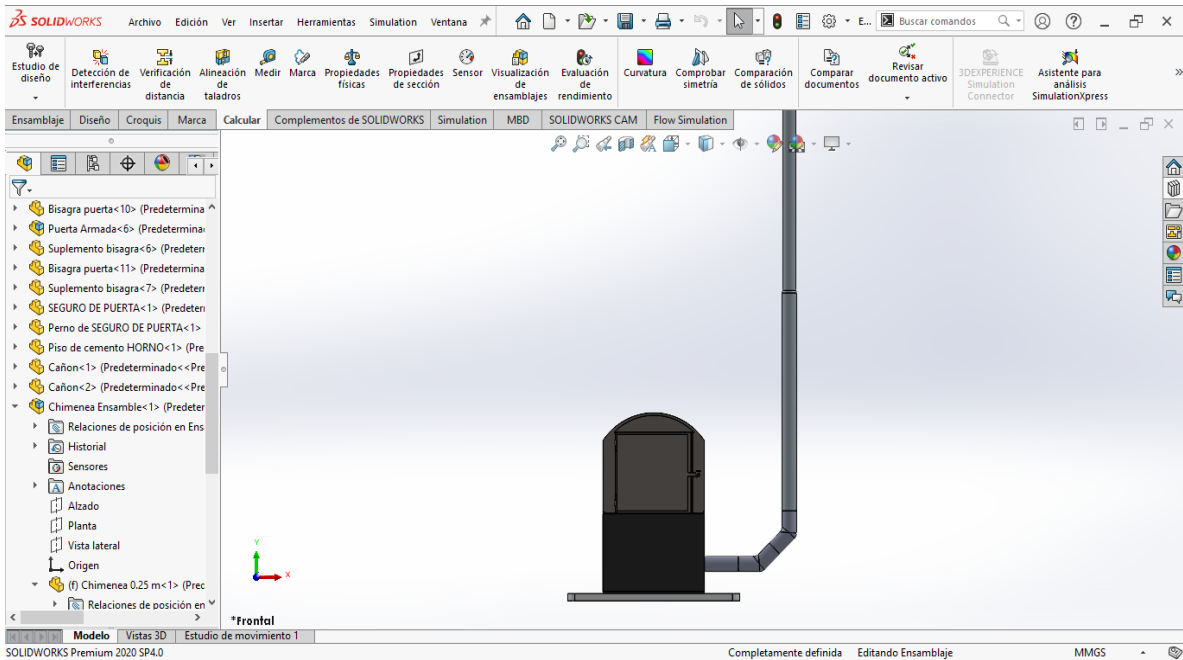


Figura 54. Ensamblaje del horno crematorio, vista frontal.

Fuente: Briceño y Silva (2022).

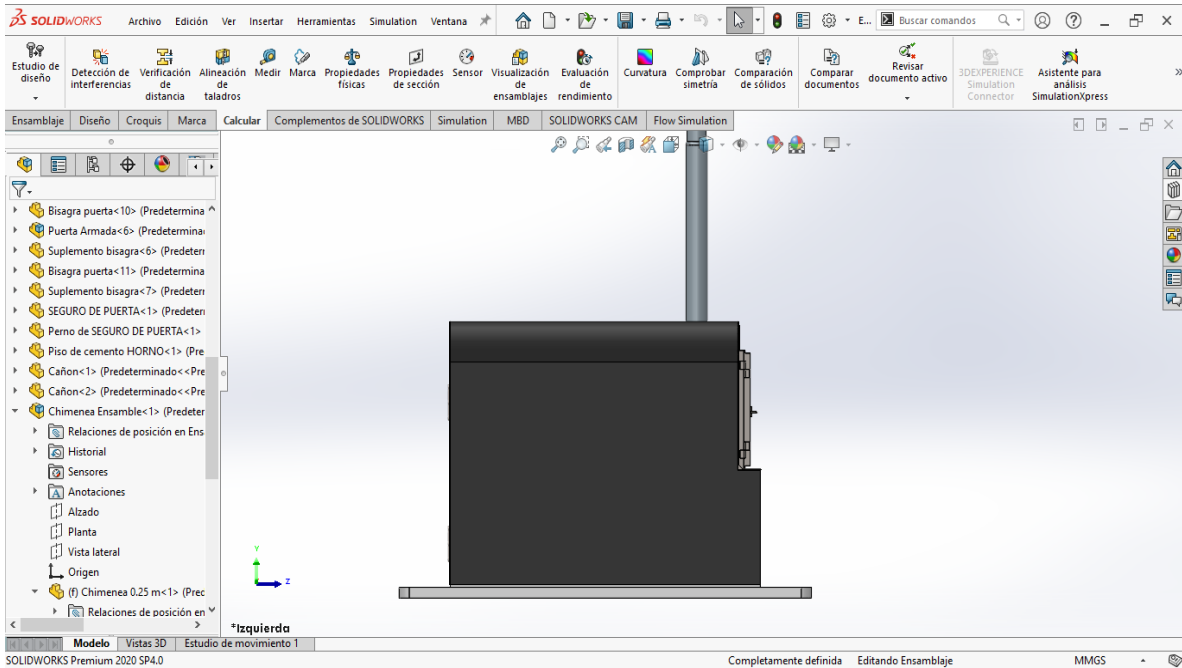


Figura 55. Ensamblaje del horno crematorio, vista lateral.
Fuente: Briceño y Silva (2022).

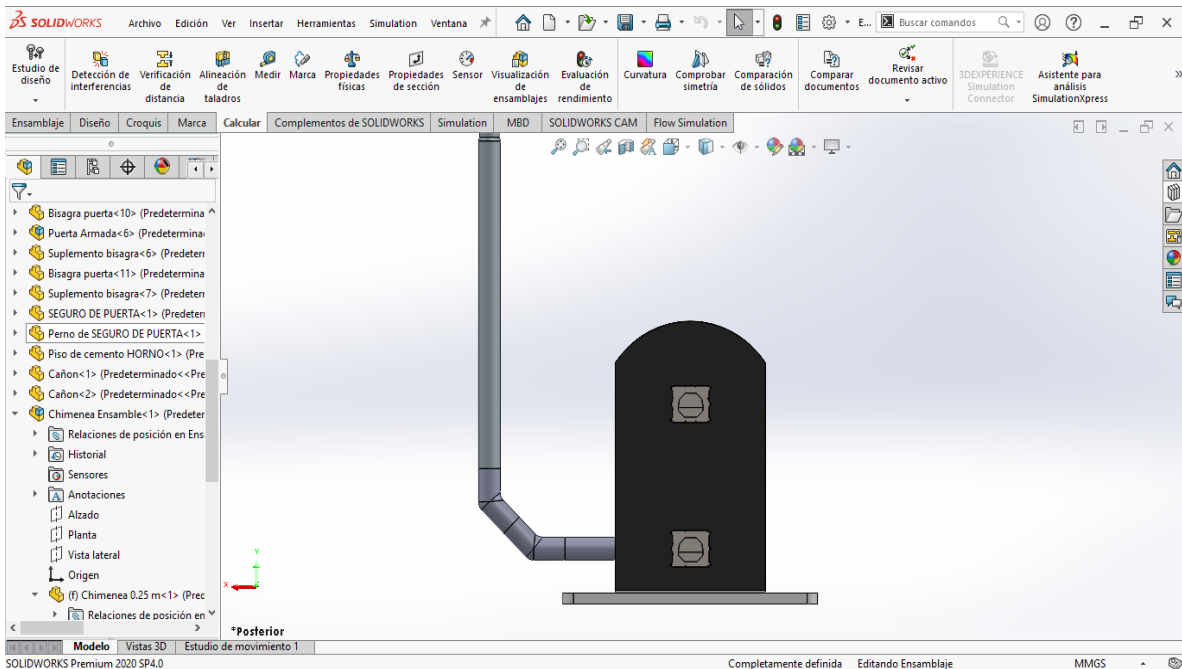


Figura 56. Ensamblaje del horno crematorio, vista posterior.
Fuente: Briceño y Silva (2022).

Luego de realizada cada una de las piezas para el ensamblaje del horno crematorio en el software SolidWorks, se ejecutó un análisis térmico y un análisis de flujo para evidenciar el comportamiento del horno crematorio. Se aplicó los valores obtenidos en la fase tres para las cargas

térmicas.

❖ Valores para el Exterior del horno crematorio

$$h_{\text{rad,ext}} = 5,723 \frac{W}{m^2K}$$

$$h_{\text{con,ext}} = 7,5 \frac{W}{m^2K}$$

$$T_{\text{Se}}: 60^\circ\text{C} = 333,15 \text{ K.}$$

$$T_{\text{ext}} = 25^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

$$\epsilon: 0,75 - 0,85 \therefore 0,8 \text{ "Acero A36"}$$

❖ Valores para el Interior del horno crematorio

$$h_{\text{rad,int}} = 70,76 \frac{W}{m^2K}$$

$$h_{\text{conv,int}} = 2 \frac{W}{m^2K}$$

$$\epsilon_g = 0,17$$

$$T = 1000^\circ\text{C} = 1273,15\text{K} \text{ (Temperatura del quemador)}$$

$$T_{\text{Si}} = 900^\circ\text{C} = 1173,15 \text{ K}$$

$$\frac{Q}{A} = 7142,85 \frac{W}{m^2}$$

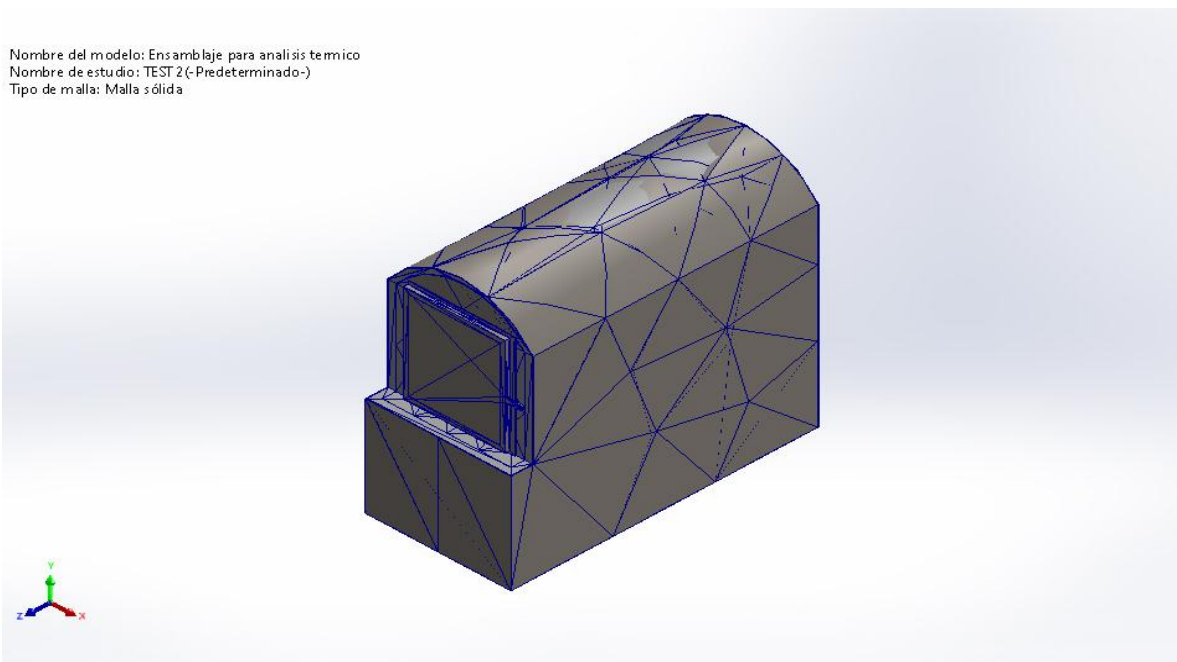


Figura 57. Mallado de ensamblaje del horno crematorio.

Fuente: Briceño y Silva (2022).

Nombre del modelo: Ensamblaje para analisis termico
Nombre de estudio: TEST 2(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida

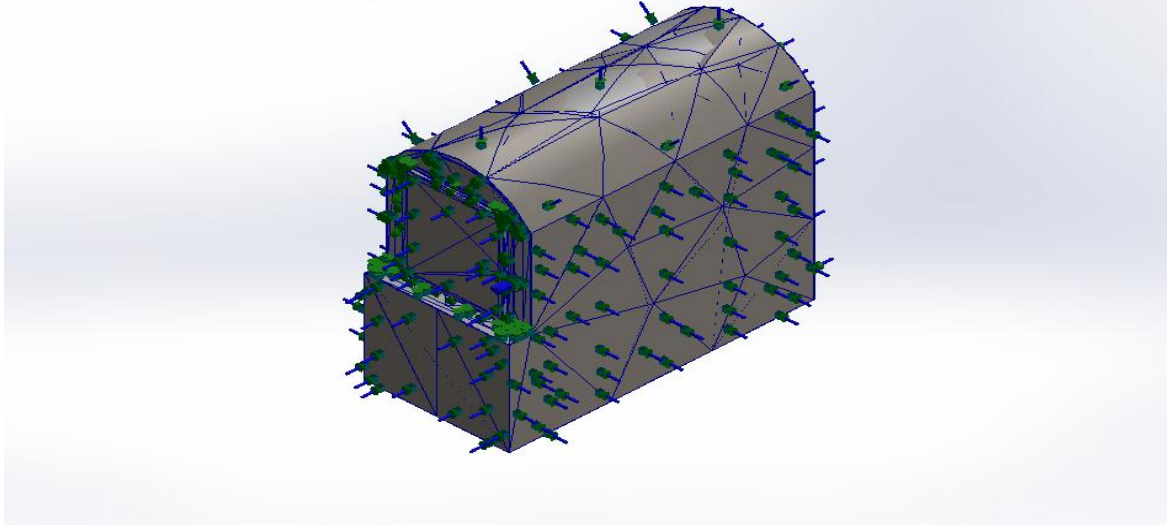


Figura 58. Aplicación de cargas térmicas al ensamblaje del horno crematorio.
Fuente: Briceño y Silva (2022).

Nombre del modelo: Ensamblaje para analisis termico
Nombre de estudio: TEST 2(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Térmico Térmico1
Paso de tiempo: 1

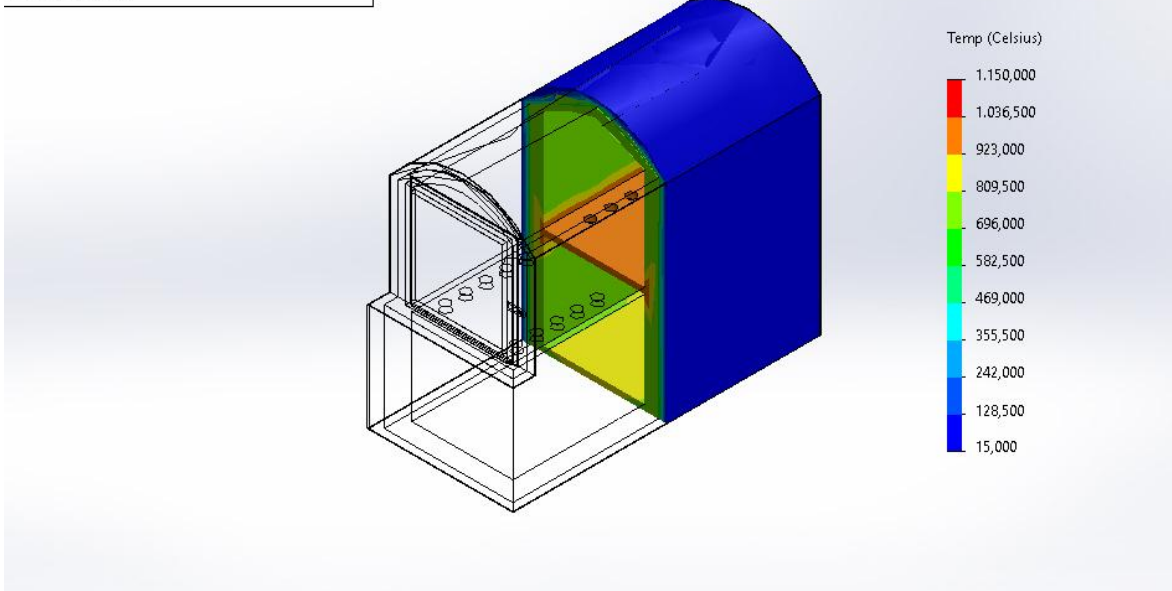


Figura 59. Resultado de cargas térmicas al ensamblaje del horno crematorio, corte alzado.
Fuente: Briceño y Silva (2022).

El análisis térmico arrojó los valores de la temperatura en los diferentes puntos del horno crematorio, siendo el color rojo el punto con mayor temperatura y el azul el punto de menor

temperatura, se reflejó la imagen de cada capa del horno crematorio con su temperatura. Seguido del análisis térmico se ejecutó un análisis de flujo con una velocidad de salida del aire en los quemadores de 1.26 m/s para observar cómo se fluye el aire dentro del horno crematorio antes de salir por la chimenea.

Nombre del modelo: Ensamblaje para analisis termico
 Nombre de estudio: TEST 2 (-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Térmico Térmico1
 Paso de tiempo: 1

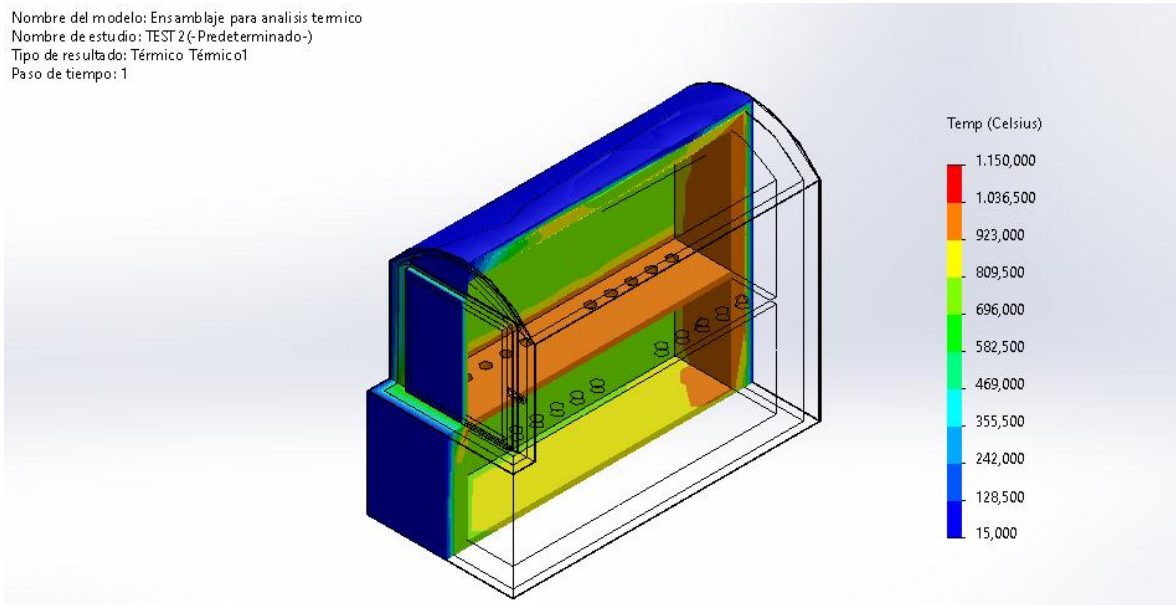


Figura 60. Resultado de cargas térmicas al ensamblaje del horno crematorio, corte lateral.
Fuente: Briceño y Silva (2022).

Nombre del modelo: Ensamblaje para analisis termico
 Nombre de estudio: TEST 2 (-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Térmico Térmico1
 Paso de tiempo: 1

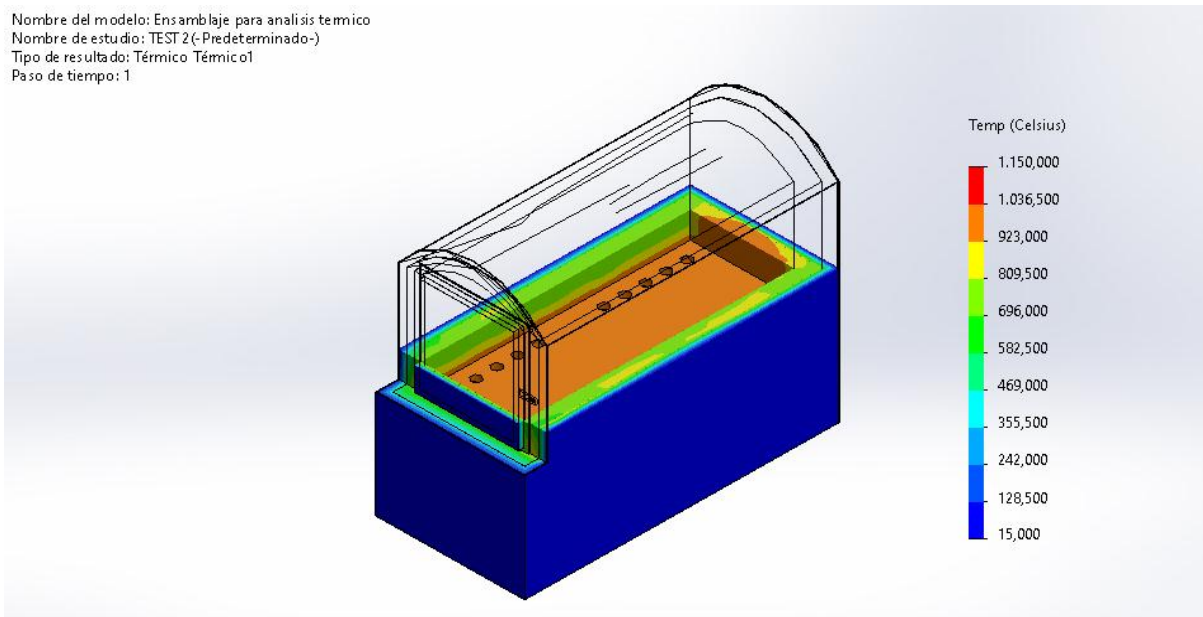


Figura 61. Resultado de cargas térmicas al ensamblaje del horno crematorio, corte de planta.
Fuente: Briceño y Silva (2022).

Nombre del modelo: Ensamblaje para analisis termico
Nombre de estudio: TEST 2 (-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Térmico Térmico1
Paso de tiempo: 1

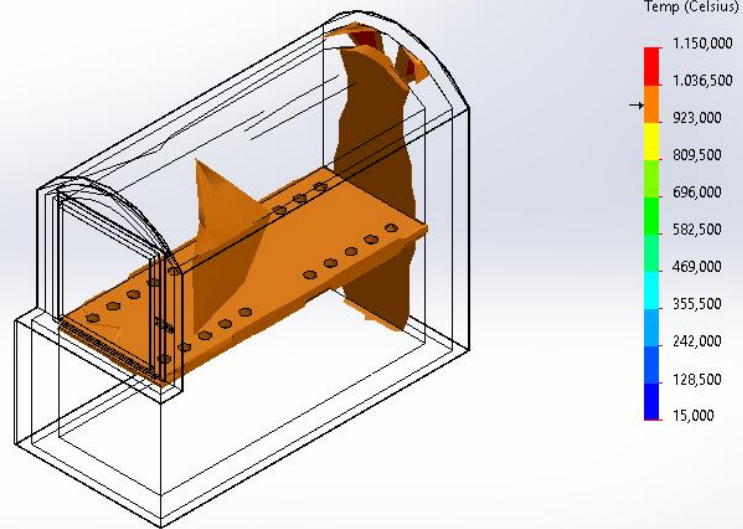


Figura 62. Resultado de cargas térmicas al ensamblaje del horno crematorio.
Fuente: Briceño y Silva (2022).

Nombre del modelo: Ensamblaje para analisis termico
Nombre de estudio: TEST 2 (-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Térmico Térmico1
Paso de tiempo: 1

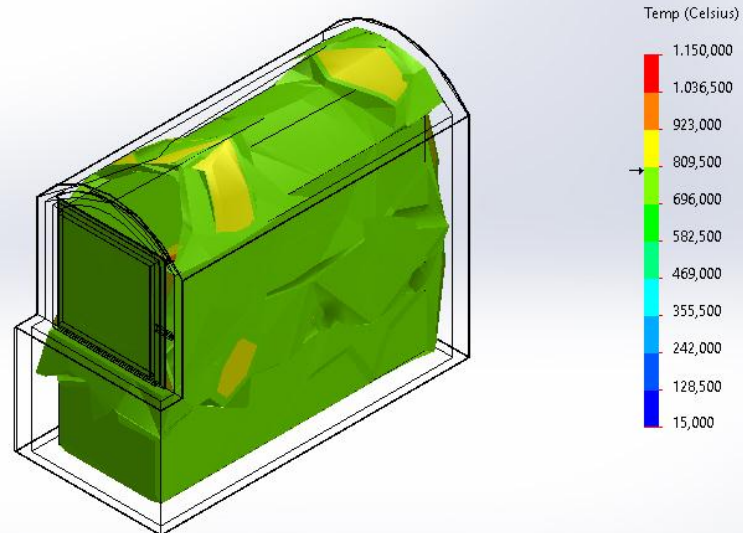


Figura 63. Resultado de cargas térmicas al ensamblaje del horno crematorio.
Fuente: Briceño y Silva (2022).

Nombre del modelo: Ensamblaje para analisis termico
Nombre de estudio: TEST 2 (-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Térmico Térmico1
Paso de tiempo: 1

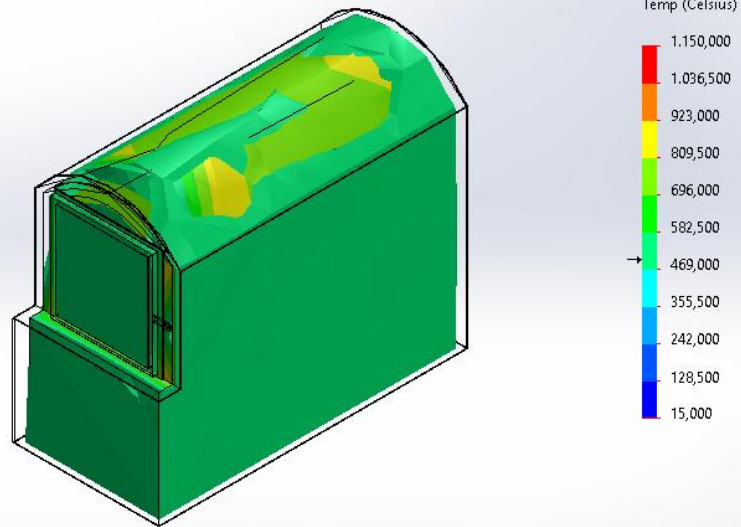


Figura 64. Resultado de cargas térmicas al ensamblaje del horno crematorio.
Fuente: Briceño y Silva (2022).

Nombre del modelo: Ensamblaje para analisis termico
Nombre de estudio: TEST 2 (-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Térmico Térmico1
Paso de tiempo: 1

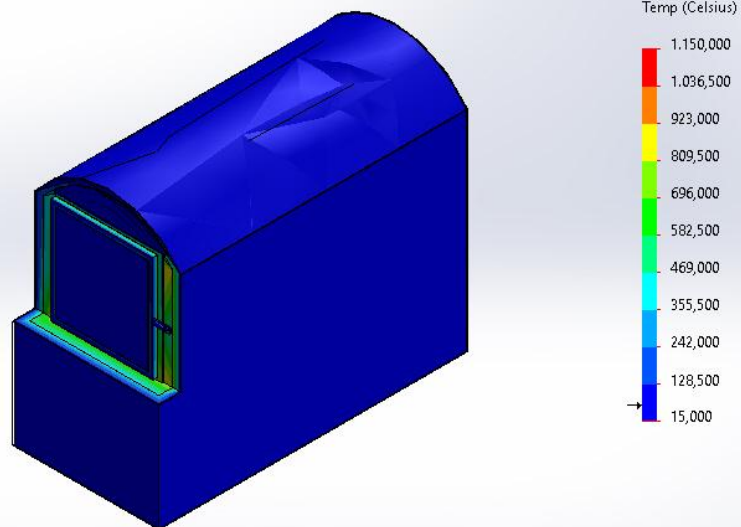


Figura 65. Resultado de cargas térmicas al ensamblaje del horno crematorio.
Fuente: Briceño y Silva (2022).

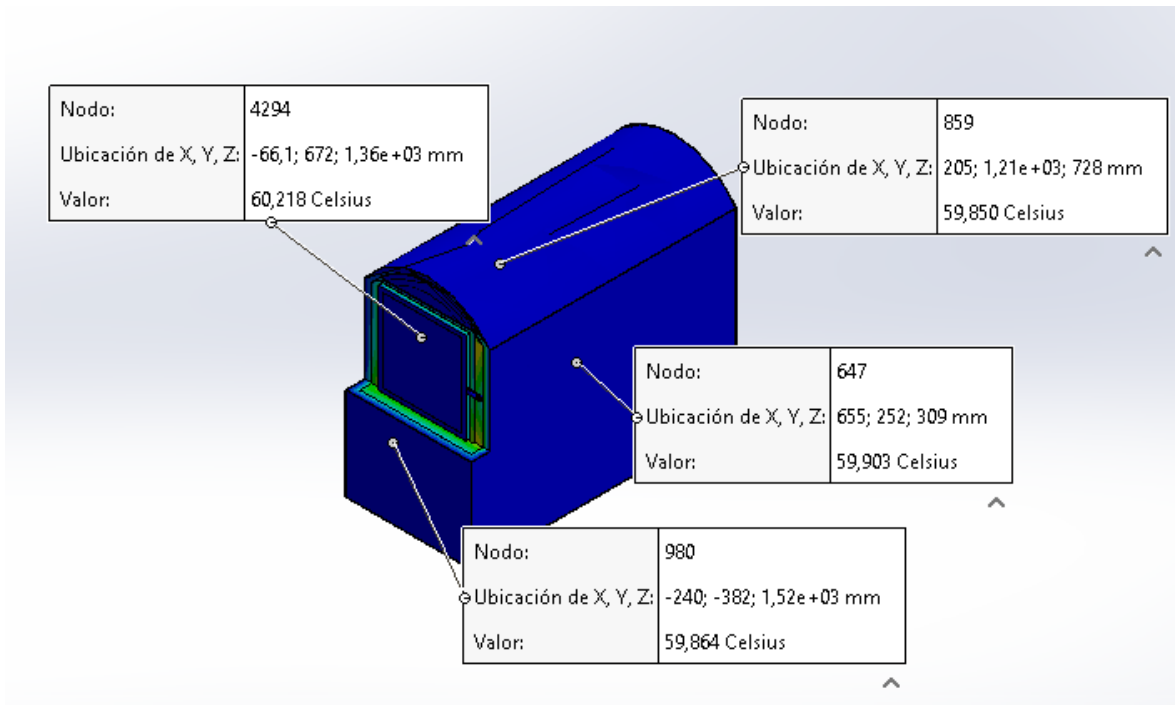


Figura 66. Resultado de la temperatura en la capa exterior del horno.

Fuente: Briceño y Silva (2022).

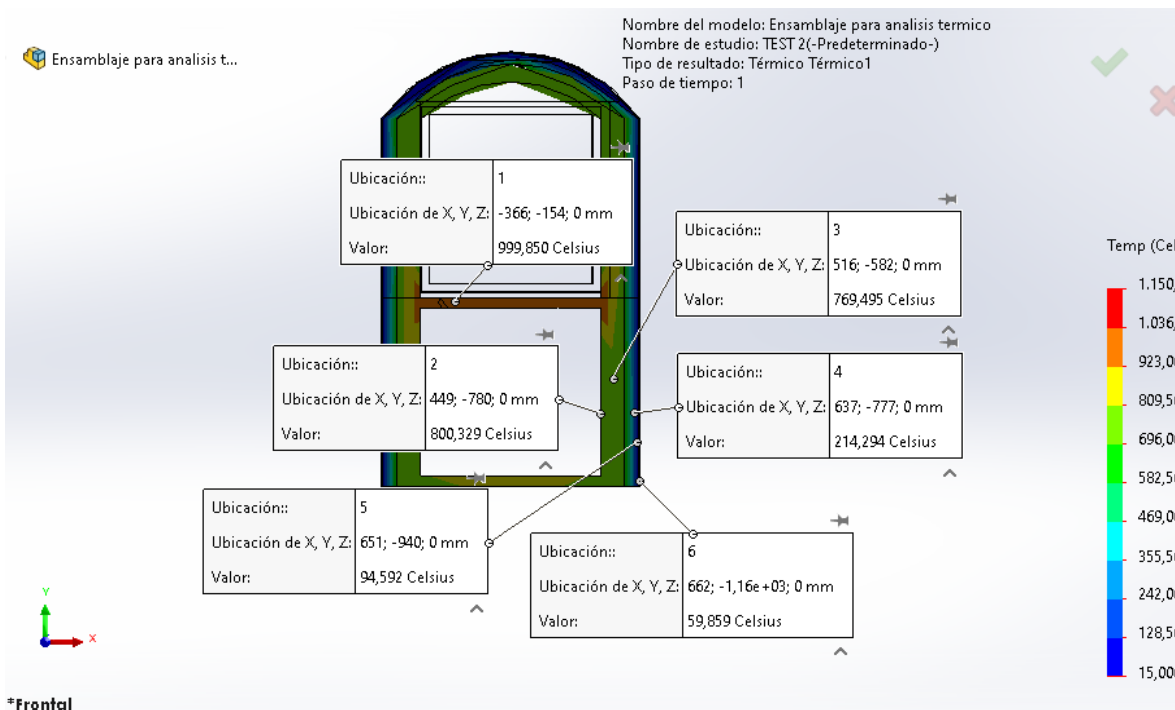
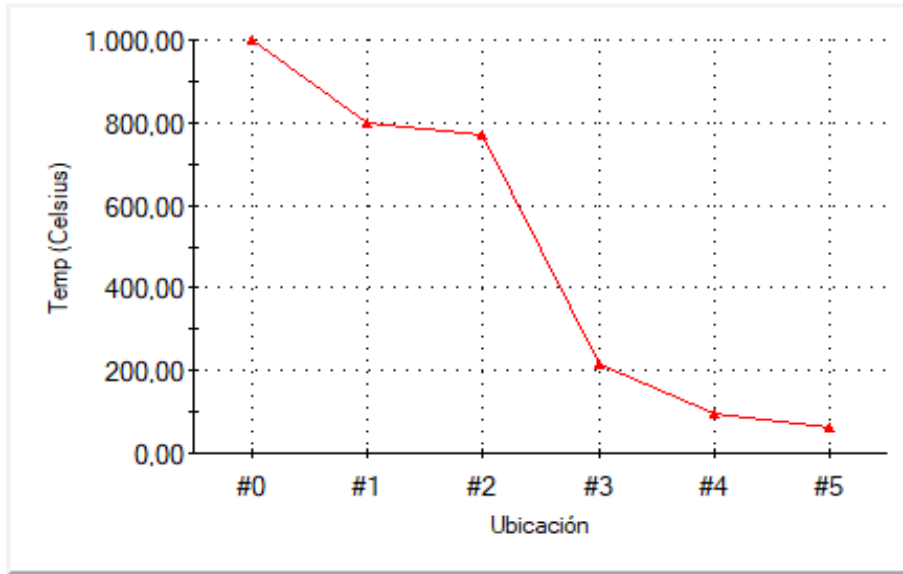


Figura 67. Resultado de la temperatura con un corte frontal.

Fuente: Briceño y Silva (2022).

Nombre de estudio: TEST 2-(Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Térmico Térmico1
 Paso de tiempo: 1



Temp (Celsius)

Gráfico 2. Valores de temperatura de la Figura 67.
 Fuente: Briceño y Silva (2022).

Para el análisis de flujo se tomó una velocidad de 1.26 m/s en cada quemador.

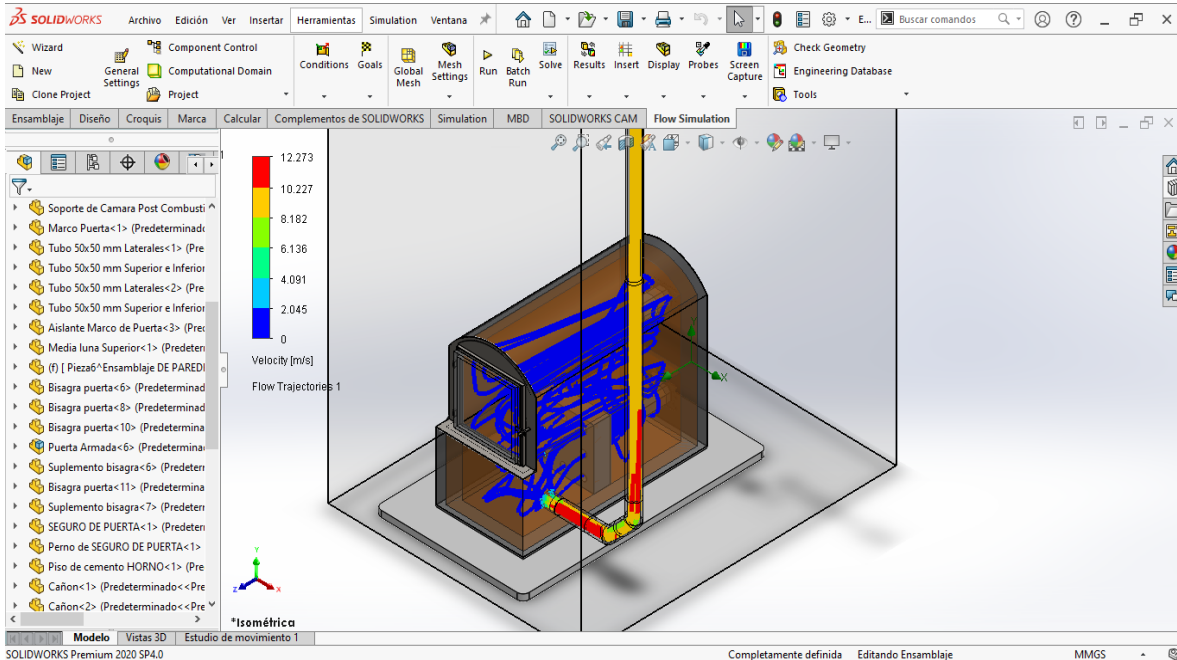


Figura 68. Resultado de análisis de flujo en el horno, vista isométrica.
 Fuente: Briceño y Silva (2022).

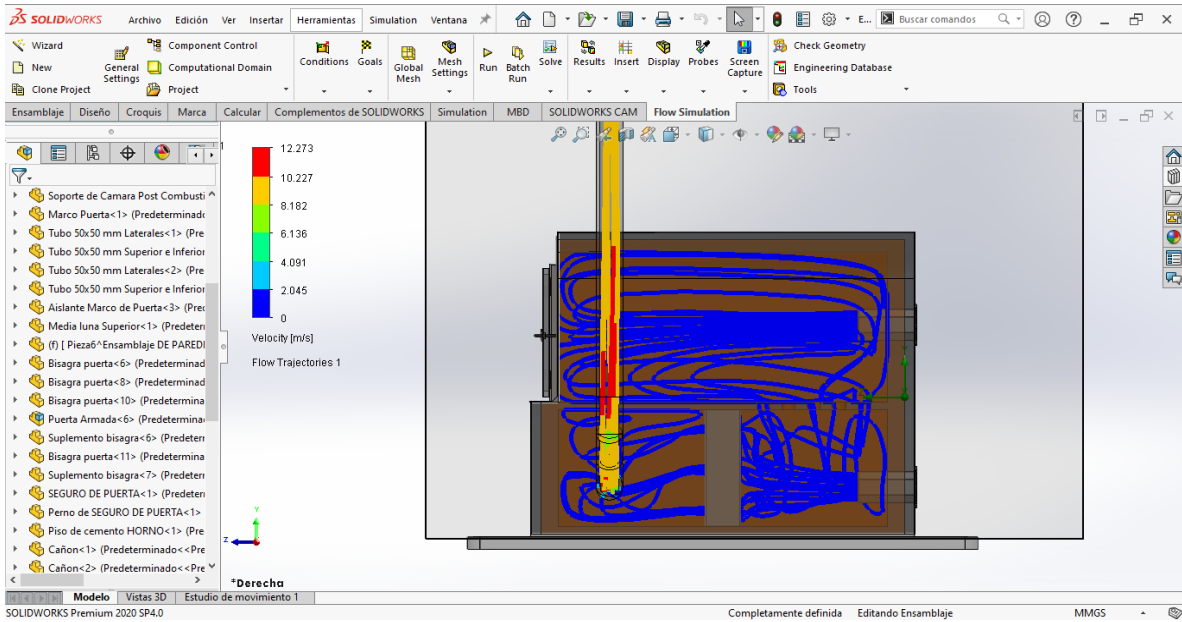


Figura 69. Resultado de análisis de flujo en el horno, vista lateral.
Fuente: Briceño y Silva (2022).

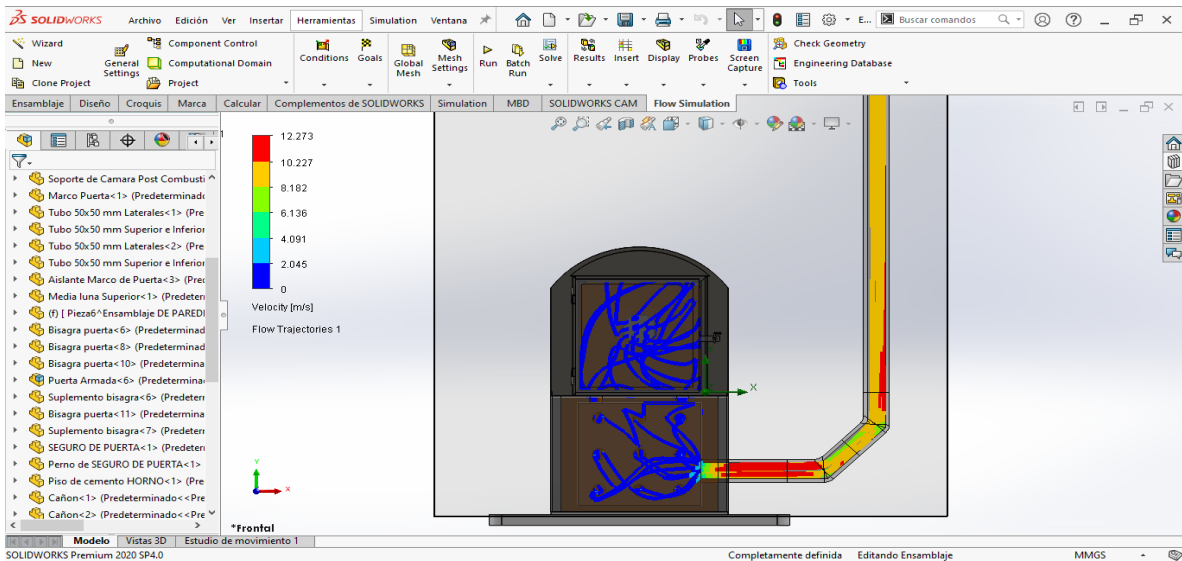


Figura 70. Resultado de análisis de flujo en el horno, vista frontal.
Fuente: Briceño y Silva (2022).

4.5 Determinación de la viabilidad económica, operativa y ambiental del diseño.

La viabilidad permite tener una mejor visión para la toma de una decisión sobre la inversión, esta se puede dividir en viabilidad económica, operativa y ambiental enfocada al estudio realizado. En esta investigación se estimó la viabilidad económica, operativa y ambiental para el diseño y funcionamiento del horno crematorio con una fuente de energía alternativa, la cual se muestra a continuación:

4.5.1 Viabilidad Económica

La viabilidad económica se refiere a los recursos monetarios que se requieren para llevar a cabo a la actividad, con respecto a lo anterior Quiroa, Miriam (2020) establece que:

En la factibilidad económica, se debe realizar un análisis exhaustivo de la relación costo beneficio del negocio o del proyecto y sopesar ambos aspectos. Si en la evaluación se observa que los costos superan a los beneficios sería mejor no desarrollarlo. Mientras que, si el beneficio supera los costos, la decisión de la implementación del proyecto se vuelve menos arriesgada, aunque no implica que no existan riesgos. (p. 10).

De igual modo, la propuesta debe ser factible económicamente para que puede ser llevada a cabo. El monto de los materiales se tomó en dólares americanos para tener un precio fijo y evitar la devaluación de los costos estructuradas. (ver Tabla 13). Luego se comparó el costo total del horno con respecto a hornos comerciales como se muestra en la Tabla 15, siendo viable económicamente el diseño del horno crematorio.

Tabla 13. Factibilidad Económica

Cantidad	Tipo de medida	Descripción	Precio Unitario \$	Precio Total \$
2048	Unidad	Ladrillo Refractario	0,45	922
9	Rollo	Lana de roca	150	1350
2	Lámina	Lámina de Acero A36	2760	5520
2	Unidad	Bisagra de 3" para soldar	3	6
1	Unidad	Tubo de acero 50x50x2	45	45
2	Unidad	Quemador De Biomasa Y-200	6700	13400
2	Unidad	Termocupla	100	200
Total Materiales \$				21443
Mano de Obra 25% del costo				5361
Total Inversión \$				26803

Fuente: Briceño y Silva (2022)



Figura 71. Horno Crematorio Comercial 01.
Fuente: Alibaba.



Figura 72. Horno Crematorio Comercial 02.
Fuente: Alibaba.



Figura 73. Horno Crematorio Comercial 03.
Fuente: Alibaba.

Tabla 14. Costo de Hornos Comerciales

Cantidad	Descripción	Precio Total \$
1	Horno Crematorio Humanos 01	50000
1	Horno Crematorio Humanos 02	45000
1	Horno Crematorio Humanos 03	43000

Fuente: Briceño y Silva (2022)

Tabla 15. Comparación de costos con respecto a Hornos Comerciales

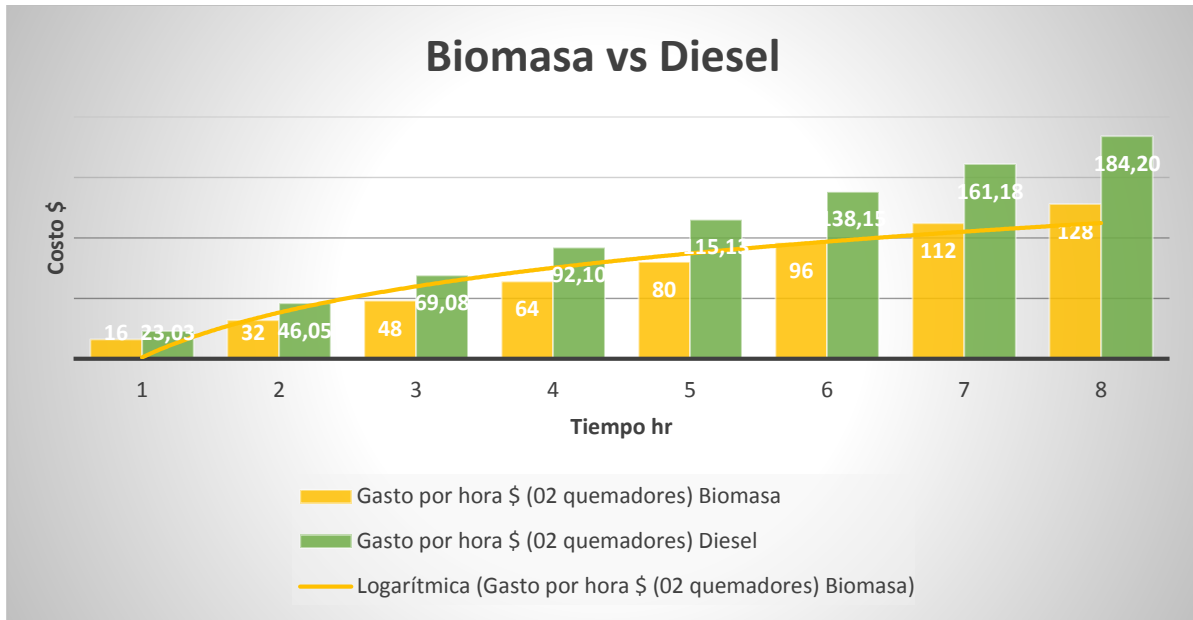
	Total Inversión	Horno Crematorio Humanos 01	Horno Crematorio Humanos 02	Horno Crematorio Humanos 03
Costo	26803	50000	45000	43000
Ahorro		23197	18197	16197

Fuente: Briceño y Silva (2022)

4.5.2 Viabilidad Operativa

La viabilidad operativa se centra en la operación del equipo, con respecto al cambio de fuente de energía del horno crematorio, de igual modo Urbina (2001) menciona que la factibilidad operativa “se refiere a identificar las actividades que facilitan alcanzar la meta propuesta determinando los recursos humanos y procesos necesarios para poder ejecutarlo” (p.14).

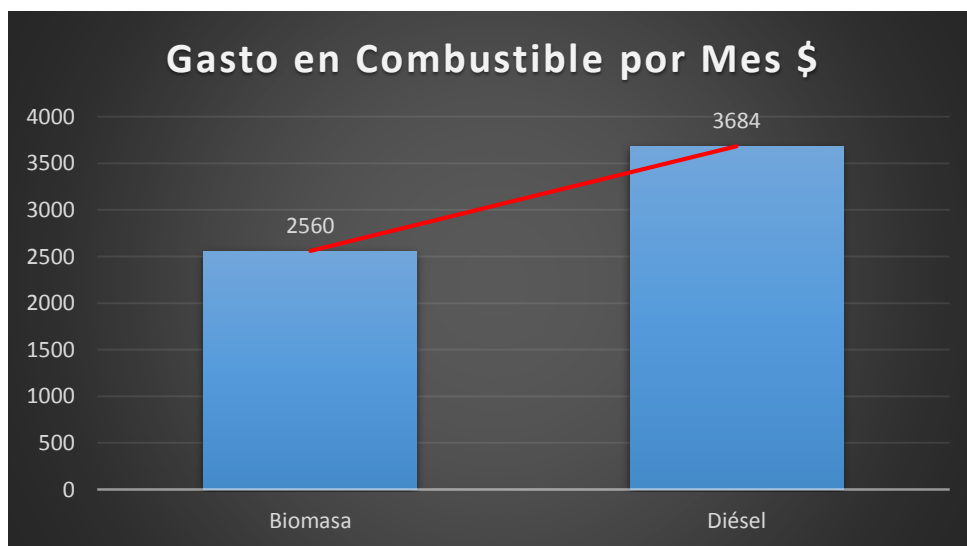
De igual modo, la comparación de un combustible fósil como lo es el diésel genera mayor consumo y costo con respecto a la biomasa de cascara de coco, como se muestra en él. Gráfico 3.



Gráfica 3. Biomasa vs Diésel.

Fuente: Briceño y Silva (2022)

Para tener una relación del costo de un combustible convencional versus la Biomasa de cáscara de coco, se tiene el costo en unidades de \$/kg, siendo la biomasa de 0.2 \$/kg con un consumo de 40 kg/hr por quemador, mientras que el Diésel es de 0.57 \$/kg con un consumo de 20.2 kg/hr por quemador, con estos datos se puede calcular el costo para una jornada de 8 horas en 1 mes y comparar, obteniendo que para la biomasa el costo mensual es de 2560\$ con respecto los 3684\$ del diésel, dando una diferencia de 1124\$ mensuales lo que equivale a 13840\$ anuales.

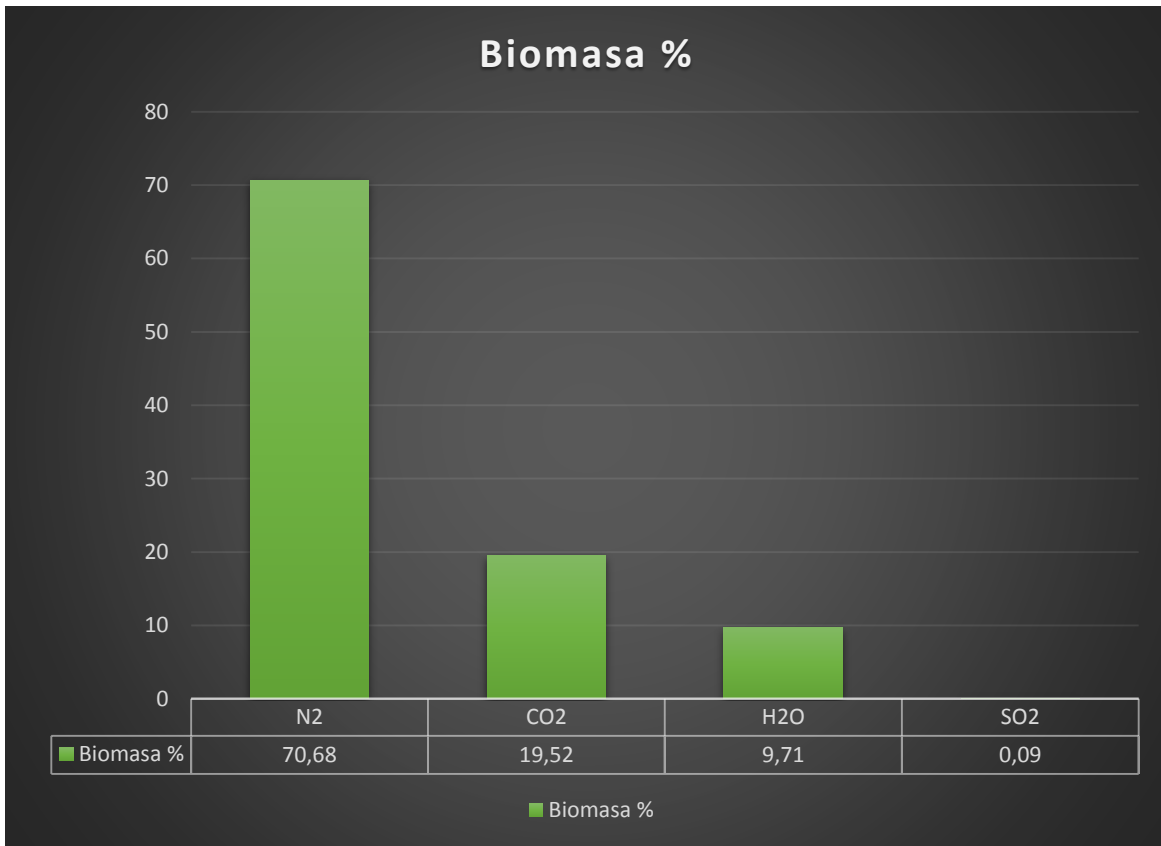


Gráfica 4. Gasto en Combustible Biomasa vs Diésel.

Fuente: Briceño y Silva (2022)

4.5.3 Viabilidad Ambiental

La viabilidad ambiental se refiere al daño que se pueda ocasionar el medio ambiente donde Rodríguez (2004), establece que “el Impacto Ambiental como efectos positivos o negativos que se producen en el medio ambiente como consecuencia de acciones antrópicas” (p.2). Comparar la composición del aire con una combustión con biomasa versus la combustión con diésel, permite verificar si se reduce el porcentaje de gases tóxicos que se desprenden al ambiente. (ver Gráfico 5)



Gráfica 5. Biomasa porcentaje de los gases.

Fuente: Briceño y Silva (2022)

CONCLUSIONES

La investigación titulada “Plantear un sistema alternativo como fuente de energía para el diseño y funcionamiento de un horno crematorio dentro de los estándares ambientales”, surge por la problemática observada por los autores con respecto a la poca oferta y alta demanda en el servicio de cremación en el estado Carabobo, sumado a los problemas con el suministro de combustible convencionales.

De igual modo, la investigación tiene como objetivo general proponer un sistema alternativo como fuente de energía para el funcionamiento y diseño de un horno crematorio. Luego de una investigación sobre el tema los investigadores plantearon como objetivos específicos identificar las diferentes fuentes de energía alternativa que se adaptan para el funcionamiento de un horno crematorio, seleccionar la fuente de energía alternativa que se adapta para el funcionamiento de un horno crematorio, analizar los criterios técnicos y variables para el diseño del horno crematorio, diseñar en el software SolidWorks las partes del horno crematorio para el funcionamiento con una fuente de energía alterna y determinar la viabilidad económica, operativa y ambiental del diseño, las cuales fueron desarrolladas por fases metodológicas.

Para el logro del primer objetivo específico “Identificar las diferentes fuentes de energía alternativa que se adaptan para el funcionamiento de un horno crematorio”, se utilizó la recolección de datos por revisión bibliográfica, documental y observación directa, que permitió a los investigadores tener un punto de vista claro sobre cada energía alternativa y así se logró conocer que fuente de energía alternativa se adapta para el funcionamiento de un horno crematorio.

De igual modo, el segundo objetivo se seleccionó la fuente de energía alternativa que se adapta para el funcionamiento de un horno crematorio, luego de conocer cada fuente de energía alternativa que se adapta para el funcionamiento del horno crematorio, el cual se logró mediante la aplicación del método de Vílchez, donde se seleccionó la biomasa.

En cuanto al tercer objetivo se analizó los criterios técnicos y variables para el diseño del horno crematorio, con información que se suministró mediante una entrevista no estructurada, se seleccionó el quemador de biomasa y se realizaron todos los cálculos térmicos y de dimensionamiento del horno crematorio. Con respecto al cuarto objetivo se diseñó en el software SolidWorks las partes del horno crematorio para el funcionamiento con una fuente de energía alterna, el cual permitió tener una imagen clara de cada componente, además se anexo una simulación térmica y de flujo del mismo. Por último, el quinto objetivo se determinó la viabilidad económica, operativa y

ambiental del diseño, siendo el mismo viable.

Tomando en cuanto lo antes dicho, los autores consideran que el uso de las energías alternativas, no son solo una solución momentánea, sino que es una solución al largo plazo debido a sus ventajas con respecto a las energías convencionales, como lo es la disponibilidad, además permite generar ahorros económicos debido a su consumo y bajo costo.

RECOMENDACIONES

Luego de trazar la problemática y darle una propuesta para solucionarla; trazar y desarrollar unos objetivos específicos, se obtienen las siguientes recomendaciones:

- ✚ Debido a que la fuente de combustible optima es la cascara del coco, para evitar daños al equipo y así prolongar su vida útil, es recomendable que la cascara sea previamente triturada así se evita el trabajo excesivo del tronillo sin fin del quemador.
- ✚ Para futuros casos similares de diseño de hornos crematorios, es recomendable apegarse a las normativas existentes para el diseño de estas, bien sea las normas ASME, ISO y COVENIN, que son unas de las más completas, las cuales hacen más sencillo realizar un diseño adecuado.
- ✚ Se recomienda realizar un manual de uso y manejo del horno y quemadores, para los futuros operadores; debido que se necesita de constate suministro de combustible, así como también, la limpieza de las cenizas producida por los quemadores

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altuve, S. y Rivas, A. (1998). **“Metodología de la Investigación”**. Módulo Instruccional III. Caracas: Universidad Experimental Simón Rodríguez.
- Álvarez, D. (2021). **“Co-combustión de corteza de coco y carbón bituminoso en una cámara de combustión dual: Modelado computacional y validación experimental.”** Para optar al título de maestría en ingeniería mecánica.
- Arcosa. (2021). **CEMENTO REFRACTARIO | SCHEMIN**. Disponible en: <https://arcosa.com.pe/product/cemento-refractario-schemin/>
- Arias, F. (1999). **“El proyecto de Investigación”**. Tercera Edición. Caracas, Venezuela.
- Arias, F. (2012) **“EL proyecto de investigación”**. Sexta edición. Editorial Espíteme
- Arias, F. (2016). **“El proyecto de investigación”**. Séptima edición. Caracas, Venezuela.
- Azuero, E. (2018). **Significatividad del marco metodológico en el desarrollo de proyectos de investigación**. Disponible en: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-SignificatividadDelMarcoMetodologicoEnElDesarrollo-7062667.pdf>
- Balestrini, M. (2002). **“Como se elabora un proyecto de Investigación”**. Editorial Consultores Asociados BL. Sexta Edición. Caracas, Venezuela.
- Camacho, C. (2010). **Metodología de la Investigación**. Disponible en: <https://metinvest.jimdofree.com/marco-te%C3%B3rico/>
- Carvajal, L. (2013). **Recursos Humanos en la Investigación científica**. Disponible en: <https://www.lizardo-carvajal.com/recursos-humanos-en-la-investigacion-cientifica/>
- Cengel, Y. y Afshin, G. (2011). **“Transferencia de calor y masa, fundamentos y aplicaciones”**. Editorial McGraw-Hill. Cuarta Edición.
- Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (2000)
- Douek, M. (2021). **LA APUESTA POR LA BIOMASA. Normas sólidas**. Disponible en: https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/news/News_archive/2021/06/Ref2680/Betting%20on%20biomass_sp.pdf
- Duarte, M. (2015). **Manejo de residuos peligrosos: manual de formación para países en vía de desarrollo**. Disponible en: <https://slideplayer.es/slide/4751482/>
- Efuneraria. (2019). **¿Qué es un crematorio? ¿Cómo funciona y cuál es su historia?** <https://efuneraria.com/blog/crematorio/>

- El profesorado de E.F. y las competencias básicas en TIC. (2007). **capítulo iii metodología de la investigación**. Disponible en: https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/8917/Capitulo_III_Marco_Metodol_gico.pdf
- Elías, X. (2005). **“Tratamiento y valorización energética de residuos”**. Ediciones Diaz de Santos S.A. Primera edición. Madrid, España.
- Enoch, C (2017). **Valores de la Densidad del Aire Ambiente para Alturas Varias**. Disponible en: <https://es.slideshare.net/CesarMinsaIngenieria/valores-de-la-densidad-del-aire-ambiente-para-alturas-varias>.
- Estraño M. y Serrano A. (2022). En el estudio titulado **“Diseño de una Caldera de Biomasa como Generador Eléctrico Auxiliar para el Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia”**. Para optar al título de Ingeniero Mecánico.
- Ferreya, E. (2019). **PIROMETALURGIA II INGENIERIA CIVIL EN METALURGIA**. Disponible en: <https://slideplayer.es/slide/13458140/>
- Figueredo et. al (2020). **Manual para la elaboración y presentación de los anteproyectos, proyectos de trabajos de grado, trabajos de grado, tesis doctoral e informe de pasantía y extramuros de la universidad José Antonio Páez**. Valencia, Venezuela: Universidad José Antonio Páez.
- Fundación Endasa. (2022). **¿Qué es la Biomasa?** Disponible en: <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/centrales-renovables/central-de-biomasa>
- Gálvez, A. (2001). **“Enfermería Basada en la Evidencia. Cómo incorporar la investigación a la práctica de los cuidados”**. Granada: Fundación Index.
- Global Suite. (2020). **¿Qué son las normas ISO?** <https://www.globalsuitesolutions.com/es/que-son-normas-iso/>
- Gómez, H. (2009). **Estructura del código ASME**. Disponible en: <http://soldando.blogspot.com/2009/05/estructura-del-codigo-asme.html>
- González L. y Urrego C. (2020). En su trabajo que lleva por título **“Análisis del Impacto Ambiental Generado por el Horno Crematorio Jardín de la Localidad de Fontibón”**. Para optar al título de Ingeniería Ambiental.
- Gould, R. (2021). **La apuesta por la biomasa**. Disponible en: https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/news/News_archive/2021/06/Ref2680/Betting%20on%20biomass_sp.pdf

- Grupo Ambiental GKL. S.A.S. (2019). **Hornos crematorios**. Disponible en: <https://grupoambiental-gkl.webnode.com.co/hornos-crematorios/>
- Guerrero, N. y Mariela, I. et. al. (2020). En su trabajo titulado “**Diseño y Construcción de un Equipo de Cremación para la Incineración de residuos Biológicos Generados en el Bioterio de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo**”. Para optar al título de Ingeniero Químico.
- Guevara, Verdesoto y Castro. (2020). **Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción)**. Disponible en: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-MetodologiasDeInvestigacionEducativaDescriptivasEx-7591592.pdf>
- Gurman, Prasanta y Jon. (2022). **Covid-19 tracker**. <https://graphics.reuters.com/world-coronavirus-tracker-and-maps/es/countries-and-territories/venezuela/>
- HelloInsuranceGroup, Compañía de Seguro, S.A. (2022). **¿Qué es un Biocombustible?**<https://helloauto.com/glosario/biocombustible#:~:text=Significado%20de%20biocombustible,en%20motores%20de%20combusti%C3%B3n%20interna.>
- Hernández J. (2019). En su estudio que lleva por título “**Caracterización Química y Determinación de Factores de Emisión de Contaminantes Emitidos por Hornos Crematorios**”. Presentado en la Universidad Autónoma Metropolitana.
- Horno Crematorio para humanos. (2022). **Alibaba.com** <https://spanish.alibaba.com/pdetail/High-1600120258936.html?spm=a2700.details.0.0.7e01348dA4mxBk>
- Horno Crematorio para humanos. (2022). **Alibaba.com**. <https://spanish.alibaba.com/p-detail/High-1600120258936.html?spm=a2700.details.0.0.6ea65be7Atebf9>
- Horno Crematorio para humanos. (2022). **Alibaba.com**. <https://spanish.alibaba.com/p-detail/Cremation-1600119764136.html?spm=a2700.details.0.0.3e4a6115M6vsgW>
- Hugo, C. (1999). “**Cómo se elabora un proyecto**”. Segunda Edición. Caracas, Venezuela.
- Hurtado, J. (2000). “**Metodología de la investigación Holística**”. Editado por Fundación Sypal. Tercera Edición. Caracas, Venezuela.
- Hurtado, J. (2012). “**Metodología de la investigación Holística**”. Editado por Fundación Sypal. Cuarta Edición. Caracas, Venezuela.

- La tienda del gas. (2022). **Quemadores de biomasa llama horizontal tubocas tbc 70 kw.** Disponible en: <https://latiendadelgas.com/tubocas/519-venta-quemador-de-biomasa-llama-horizontal-tubocas-tcb-25-kw.html>
- Ley Orgánica del Ambiente
- Lincoln, J. (2012). **Rendimiento en las calderas.** Disponible en: <https://www.slideserve.com/julie/rendimiento-en-las-calderas-capitulo-11>
- Meneses, C. (2021). **Escasez de diésel despierta al fantasma de la paralización económica total.** Disponible en: <https://talcualdigital.com/fallas-en-suministro-de-diesel-despiertan-al-fantasma-de-una-paralizacion-economica-total/>
- Molina, M (2021). **¡Precio internacional! Pdvsa aumentó el gasoil a 0,50 dólares.** Disponible en: <https://www.acn.com.ve/aumento-precio-del-gasoil/>
- Morales, A. (2003). **Fundamentos de la investigación documental y la monografía.** Disponible en: http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/16490/fundamentos_investigacion.pdf?sequence=1
- Natural Fire (2022). **Quemador de biomasa Y-200.** <https://naturalfire.es/wpcontent/uploads/2020/07/Y-200-V10-Espan%CC%83ol.pdf>
- Norma COVENIN 1649: 1996 de Chimeneas y Ductos.
- Norma COVENIN 2975-92 de materiales refractarios.
- Norma Española UNE 123001:2012
- Norma ISO 17225
- Norma ISO/TC 238
- Normas APA. Séptima edición. Recuperado de <https://normas-apa.org/wp-content/uploads/Guia-Normas-APA-7ma-edicion.pdf>
- Normas sobre calidad del aire y control de la contaminación atmosférica, Decreto N° 638, del 26 de abril de 1995.
- Okorder. (2014). **Lana de Vidrio para Horno.** Disponible en: https://es.okorder.com/p/arrayprodennname_413807.html
- Palella, S. y Martíns, F. (2012). **“Metodología de la Investigación Cuantitativa”.** Tercera Edición. Caracas, Venezuela: Fondo Editorial de la UPEL-FEDUPEL.
- Pérez, R. (2014). **Fundamentos de la Investigación Documental.** Disponible en: https://prezi.com/_hwlbjhyu2nn/fundamentos-de-la-investigacion-documental/

- POWDERTRONIC. (2020). **El horno: historia de un artefacto**. Disponible en: <https://powdertronic.com/el-horno-historia-de-un-artefacto/#:~:text=Se%20cree%20que%20el%20horno,el%20molesto%20humo%20que%20produc%C3%ADan>.
- Quiroa, M. (2020). **Recursos materiales**. Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/recursos-materiales.html>
- Quiroa, M (2020). **Estudio de factibilidad**. <https://economipedia.com/definiciones/estudio-de-factibilidad.html>
- Red Funeraria (2013). **Horno Crematorio**. Disponible en: <https://www.redfuneraria.com/horno-crematorio>
- Robles, A. (2010). **Metodología de la investigación: Una discusión necesaria en Universidades Zulianas**. Disponible en: http://www.revista.unam.mx/vol.11/num11/art_107/art107.pdf
- Rodríguez. (2004). **Breves anotaciones conceptuales sobre El Ambiente, su tipología y métodos de estudio**. Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos-pdf2/conceptos-ambiente-tipologia/conceptos-ambiente-tipologia>
- Santos, E. (2018). **Composición del aire**. Disponible en; <https://www.unprofes1055r.com/ciencias-naturales/cual-es-la-composicion-del-aire-que-respiramos-2585.html>
- Sinchire P. y Topa D. (2020). Trabajo de grado titulado **“Diseño y Simulación de un Horno Pirolítico de 200 Litros para la Generación de Biochar”**. Presentado en la Universidad Politécnica Sede Quito, Ecuador.
- Talleres Guillén (2021). **Incineración de fuel en horno rotativo: caso de éxito**. <https://hornosrotativos.com/incineracion-de-fuel-en-horno-rotativo-caso-de-exito/#:~:text=Los%20hornos%20rotativos%20incineradores%20modernos,las%20cenizas%20para%20su%20reciclaje>.
- Tamayo M. y Tamayo. (2012). **“El proceso de la investigación científica”**. Cuarta edición. Editorial Limusa S.A.
- Termosun Energías. (2022). **Biocombustibles Sólidos: Qué son y su uso en calderas de biomasa**. Disponible en: <https://www.termosun.com/noticias-biomasa/biocombustibles-solidos/#:~:text=Los%20biocombustibles%20s%C3%B3lidos%20m%C3%A1s%20populares,y%20tecnificados%20como%20la%20le%C3%B1a>
- Urbina, G. (2001). **“Evaluación de proyectos”**. Cuarta Edición. Editorial McGraw Hill, México.

Urribari, J. (2021). **Cobran hasta 500 dólares por cremación de fallecidos por COVID-19.**

Disponible en: <https://efectococuyo.com/la-humanidad/fallecidos-covid-19-entre-140-500-dolares-una-cremacion/>

Zurima, V. (2019). **Sepultura vs incineración. 60% de fallecidos en Venezuela son cremados.**

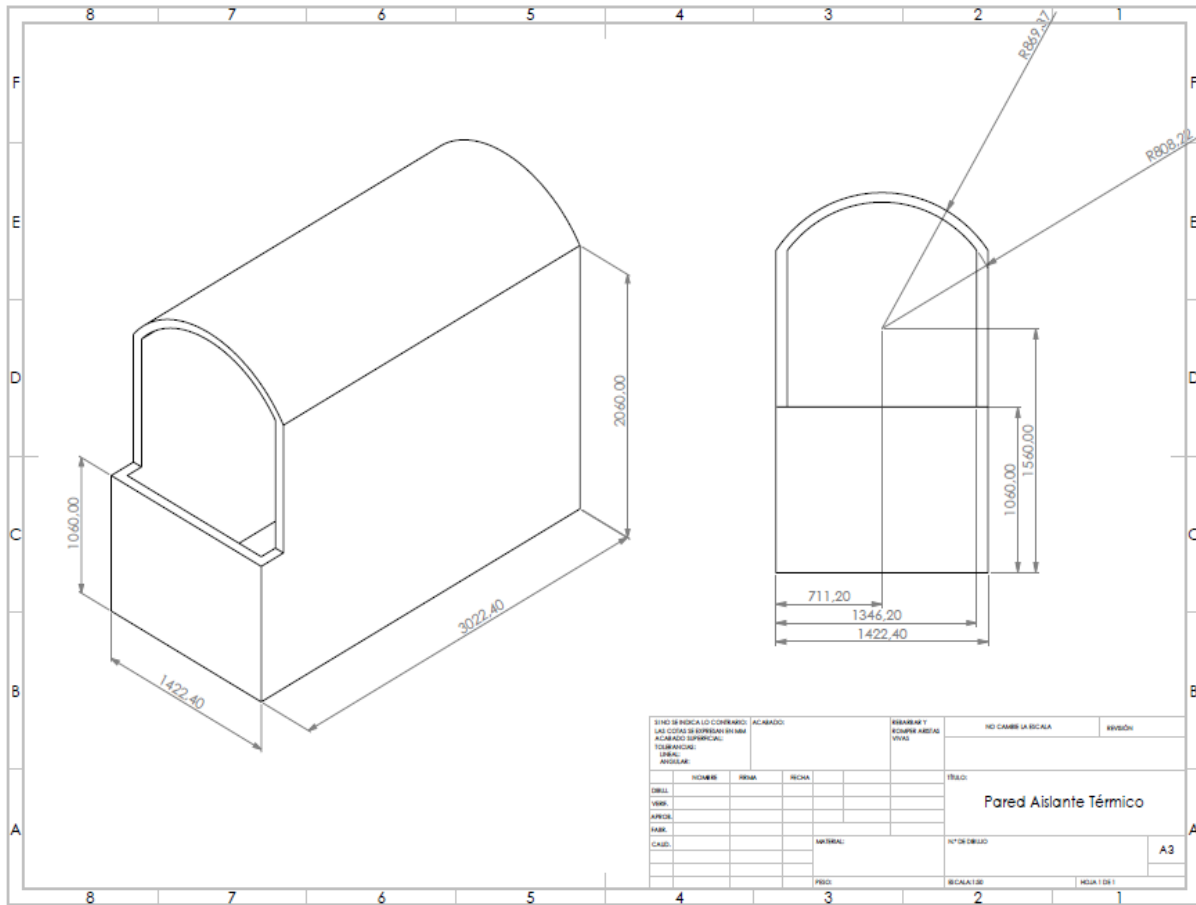
Disponible en: <https://contrapunto.com/nacional/sepultura-vs-incineracion-60-de-fallecidos-en-venezuela-son-cremados/>

ANEXOS

ANEXO A

PLANOS

PLANO PARED AISLANTE



ANEXO B

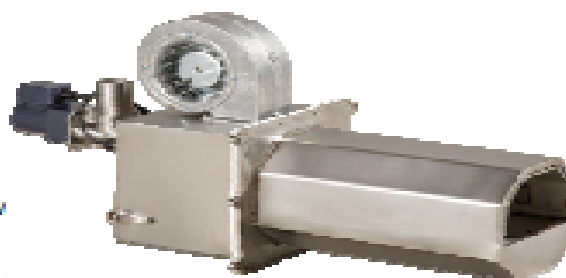
QUEMADOR



MODELO: Y-200

DATOS DEL QUEMADOR

- Modelo industrial equipado con automata**
- Conector rápido industrial de gama alta de 16 polos
- Encendido automático con bujía cerámica de 315 W
- Control electrónico por PLC con pantalla táctil
- Control de llama por fotocélula
- Cambio instantáneo de combustible (3 combustibles)
- Termistor de seguridad de 110 °C en admisión de combustible
- Sonda temperatura PT100 (hasta 250 °C) ó Tipo K (450 °C ó 1 100 °C)
- Doble sinfín de alimentación Ø84 mm con espiral en acero al carbono de núcleo fijo (50x40x36 mm)
- Motorreductores de inducción 90 W
- Ventilador de bajo consumo con tecnología espira-sombra y variador integrado
- Sistema de refrigeración por doble cámara
- Sistema de limpieza por extracción rápida de parrilla
- Material de caja en acero inoxidable AISI 304
- Material del cañón en acero inoxidable refractario AISI 310
- Material de parrilla de cenizas en acero inoxidable refractario AISI 310
- Se suministra con sinfín de 1, 1.5 ó 2m Ø84, 1m de tubo corrugado, cuadro de control



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

MODELO Y-200		
Potencia calórica	Max.	250* kW
	Min.	25* kW
Consumo eléctrico	Encendido	665 W
	Régimen normal	350 W
Consumo de combustible	Max.	50 kg/h
	Min.	5 kg/h
Mecanismo de control	PLC con pantalla táctil	
Regulación	Sonda integrada, Señales externas de Marcha/Para, potencia independiente y control analógico 4-20mA	
Tipo de regulación	Modulante con 3 potencias + señal externa	
Rango de regulación por temperatura	0 - 1 100 °C	
Temperatura máxima de seguridad	Configurable	
Alimentación eléctrica	230 VAC / 50-60Hz	
Peso bruto	73 kg	
Eficiencia	99%	

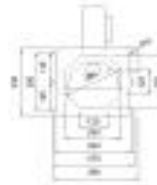
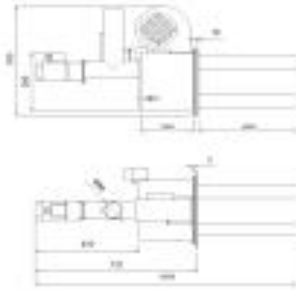
* Potencia estimada utilizando pellet de calidad EN Plus A1 y un rendimiento energético de 5 kW/kg

** Véase especificación completa del cuadro de control en su ficha correspondiente

100

OPCIONES DISPONIBLES

- Válvula estelar \varnothing 84 mm
- SAI (Ante un corte de tensión, el quemador sigue trabajando y efectúa una detención controlada)
- Acoples disponibles: Placa gasoil Y-200 / Cuello de 41cm
- Kit de limpieza neumática con tubería de 1/2" (No incluye compresor)
- Seguridad por válvula termostática de inundación



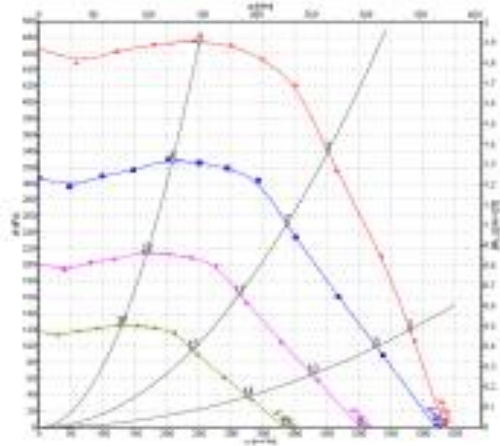
Dimensiones quemador:

Alto x Ancho x Largo: 535 x 390 x 1 181 mm

Cañón \varnothing : 280 \pm 2 mm

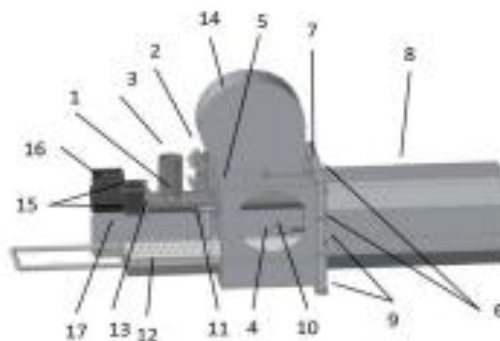
Longitud cañón: 450mm

Espacio necesario para extracción manual de parrilla: 965 mm
(desde punto de anclaje)



Measured values

	W	η	W _{net}	W _{in}	η	W _{net}	W _{in}
1	230	89	206	230	1.20	930	7
2	230	89	206	230	1.20	960	100
4	230	89	206	230	1.20	990	500
8	230	89	206	230	1.20	1000	1000
9	230	89	206	230	1.20	1000	1000
7	230	89	206	230	1.20	1000	1000
8	230	89	206	230	1.20	1000	1000
9	230	89	206	230	1.20	1000	1000
10	230	89	206	230	1.20	1000	1000
11	230	89	206	230	1.20	1000	1000
12	230	89	206	230	1.20	1000	1000
13	230	89	206	230	1.20	1000	1000
14	230	89	206	230	1.20	1000	1000
15	230	89	206	230	1.20	1000	1000
16	230	89	206	230	1.20	1000	1000



Nota: Las dimensiones de esta imagen pueden variar según el modelo de motor.

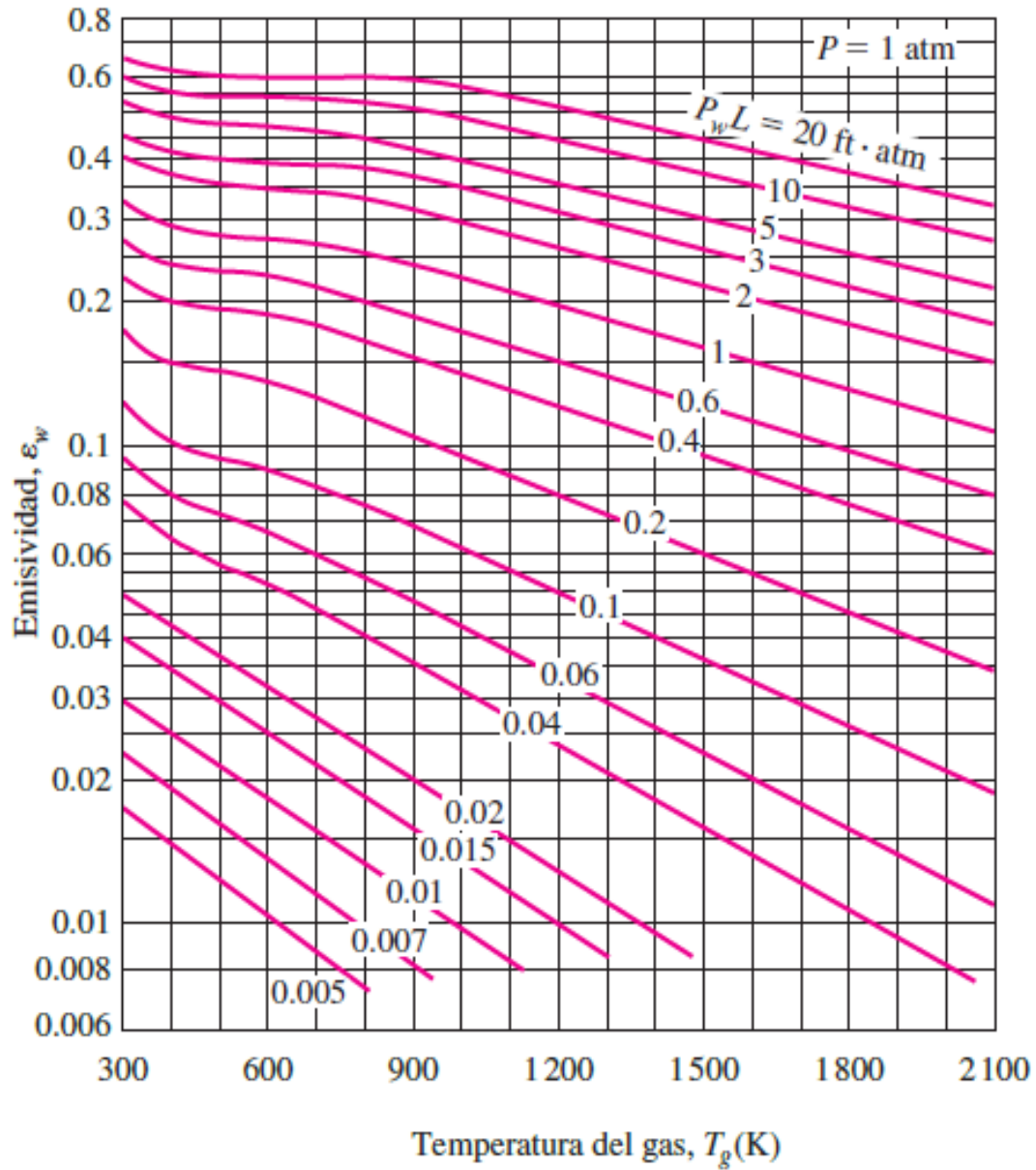
1. Termistor de seguridad
2. Conector industrial
3. Tubo de admisión (\varnothing 84)
4. Tornillo DIN 912 M4x10
5. Parte trasera quemador
6. Tornillo allen M6x16
7. Lana de silicato rígida
8. Cañón
9. Anclajes de fijación (\varnothing 10)
10. Bujía cerámica
11. Fococélula
12. Parrilla de combustión AISI 310
13. Brida goma común
14. Ventilador
15. Tornillo phillips M5x65
16. Motorreductor 90 W
17. Puerta extracción



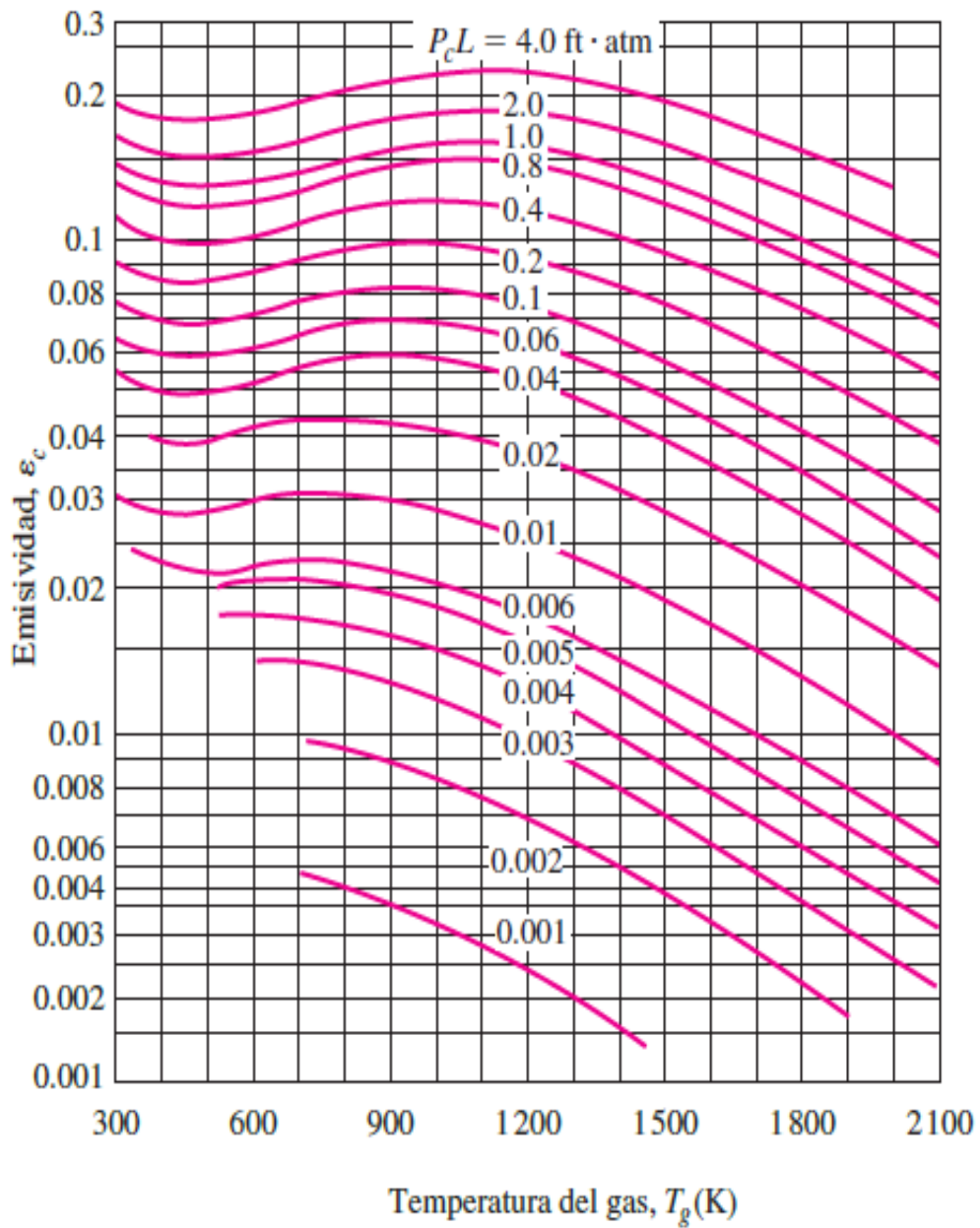
ANEXO C

EMISIVIDADES

EMISIVIDAD DEL H₂O

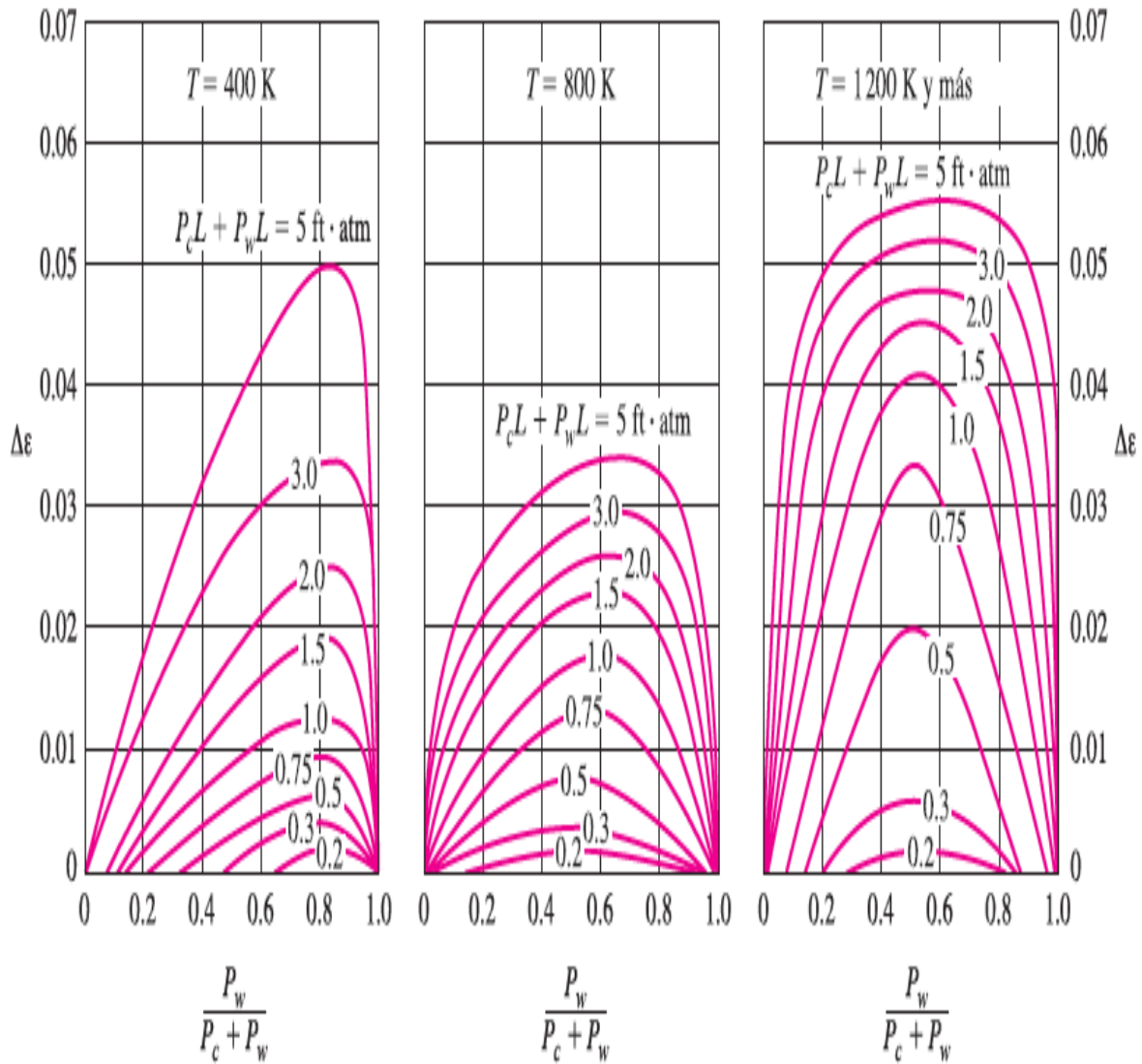


EMISIVIDAD DEL CO₂



FACTOR DE CORRECCIÓN ASOCIADO

$$\Delta\epsilon$$



ANEXO D

Longitud media del haz L para varias formas del volumen de gas

Configuración geométrica del volumen de gas	L
Hemisferio de radio R irradiando hacia el centro de su base	R
Esfera de diámetro D irradiando hacia su superficie	$0.65D$
Cilindro circular infinito de diámetro D irradiando hacia la superficie curva	$0.95D$
Cilindro circular semiinfinito de diámetro D irradiando hacia su base	$0.65D$
Cilindro circular semiinfinito de diámetro D irradiando hacia el centro de su base	$0.90D$
Cilindro semicircular infinito de radio R irradiando hacia el centro de su base	$1.26R$
Cilindro circular de altura igual al diámetro D irradiando hacia toda la superficie	$0.60D$
Cilindro circular de altura igual al diámetro D irradiando hacia el centro de su base	$0.71D$
Losa infinita de espesor D irradiando hacia cualquiera de los dos planos que la limitan	$1.80D$
Cubo de longitud L por lado irradiando hacia cualquiera de las caras	$0.66L$
Forma arbitraria de volumen V y área superficial A_s irradiando hacia la superficie	$3.6V/A_s$

ANEXO E

PROPIEDADES DEL AIRE

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., T, °C	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor específico, c_p , J/kg · K	Conductividad térmica, k , W/m · K	Difusividad térmica, α , m ² /s	Viscosidad dinámica, μ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, ν , m ² /s	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-4}	8.636×10^{-4}	3.013×10^{-4}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-4}	1.189×10^{-3}	5.837×10^{-4}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-3}	1.474×10^{-3}	9.319×10^{-4}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-3}	1.527×10^{-3}	1.008×10^{-3}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-3}	1.579×10^{-3}	1.087×10^{-3}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-3}	1.630×10^{-3}	1.169×10^{-3}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-3}	1.680×10^{-3}	1.252×10^{-3}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-3}	1.729×10^{-3}	1.338×10^{-3}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-3}	1.754×10^{-3}	1.382×10^{-3}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-3}	1.778×10^{-3}	1.426×10^{-3}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-3}	1.802×10^{-3}	1.470×10^{-3}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-3}	1.825×10^{-3}	1.516×10^{-3}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-3}	1.849×10^{-3}	1.562×10^{-3}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-3}	1.872×10^{-3}	1.608×10^{-3}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-3}	1.895×10^{-3}	1.655×10^{-3}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-3}	1.918×10^{-3}	1.702×10^{-3}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-3}	1.941×10^{-3}	1.750×10^{-3}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-3}	1.963×10^{-3}	1.798×10^{-3}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-3}	2.008×10^{-3}	1.896×10^{-3}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-3}	2.052×10^{-3}	1.995×10^{-3}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-3}	2.096×10^{-3}	2.097×10^{-3}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-3}	2.139×10^{-3}	2.201×10^{-3}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-3}	2.181×10^{-3}	2.306×10^{-3}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-3}	2.264×10^{-3}	2.522×10^{-3}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-3}	2.345×10^{-3}	2.745×10^{-3}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-3}	2.420×10^{-3}	2.975×10^{-3}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-3}	2.504×10^{-3}	3.212×10^{-3}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-3}	2.577×10^{-3}	3.455×10^{-3}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-3}	2.760×10^{-3}	4.091×10^{-3}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-3}	2.934×10^{-3}	4.765×10^{-3}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-3}	3.101×10^{-3}	5.475×10^{-3}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-3}	3.261×10^{-3}	6.219×10^{-3}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-2}	3.415×10^{-3}	6.997×10^{-3}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-2}	3.563×10^{-3}	7.806×10^{-3}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-2}	3.846×10^{-3}	9.515×10^{-3}	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598×10^{-2}	4.111×10^{-3}	1.133×10^{-2}	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855×10^{-2}	4.362×10^{-3}	1.326×10^{-2}	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122×10^{-2}	4.600×10^{-3}	1.529×10^{-2}	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	2.398×10^{-2}	4.826×10^{-3}	1.741×10^{-2}	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	3.908×10^{-2}	5.817×10^{-3}	2.922×10^{-2}	0.7478
2000	0.1553	1264	0.11113	5.664×10^{-2}	6.630×10^{-3}	4.270×10^{-2}	0.7539

ANEXO F

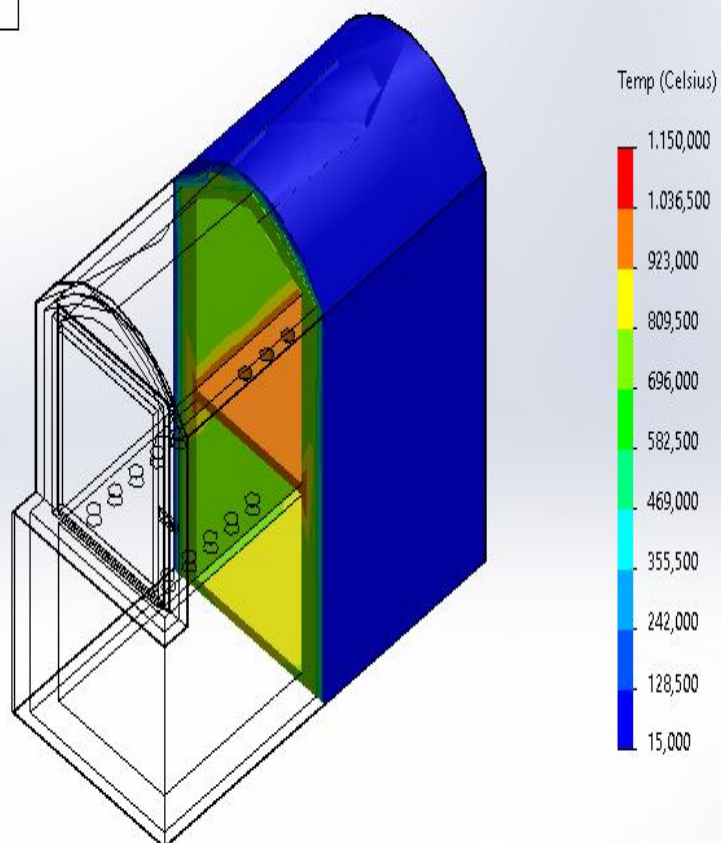
(A menos que se indique lo contrario, los valores se dan a 300 K)

Material	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, k W/m · K	Calor específico, c_p J/kg · K	Material	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, k W/m · K	Calor específico, c_p J/kg · K
Asfalto	2 115	0.062	920	Hielo			
Baquelita	1 300	1.4	1 465	273 K	920	1.88	2 040
Ladrillo refractario				253 K	922	2.03	1 945
Ladrillo de cromita				173 K	928	3.49	1 460
473 K	3 010	2.3	835	Cuero para suela	998	0.159	—
823 K	—	2.5	—	Linóleo	535	0.081	—
1173 K	—	2.0	—		1 180	0.186	—
Arcilla refractaria cocida				Mica	2 900	0.523	—
1600 K				Papel	930	0.180	1 340
773 K	2 050	1.0	960	Plásticos			
1073 K	—	1.1	—	Flexiglas	1 190	0.19	1 465
1373 K	—	1.1	—	Teflón			
Arcilla refractaria cocida				300 K	2 200	0.35	1 050
1725 K				400 K	—	0.45	—
773 K	2 325	1.3	960	Lexan	1 200	0.19	1 260
1073 K	—	1.4	—	Nylon	1 145	0.29	—
1373 K	—	1.4	—	Polipropileno	910	0.12	1 925
Ladrillo de arcilla refractaria				Poliéster	1 395	0.15	1 170
478 K	2 645	1.0	960	PVC, vinilo	1 470	0.1	840
922 K	—	1.5	—	Porcelana	2 300	1.5	—
1478 K	—	1.8	—	Caucho natural	1 150	0.28	—
Magnesita				Caucho vulcanizado			
478 K	—	3.8	1 130	Blando	1 100	0.13	2 010
922 K	—	2.8	—	Duro	1 190	0.16	—
1478 K	—	1.9	—	Arena	1 515	0.2-1.0	800
				Nieve reciente	100	0.60	—
				Nieve, 273 K	500	2.2	—
				Suelo seco	1 500	1.0	1 900

ANEXO G

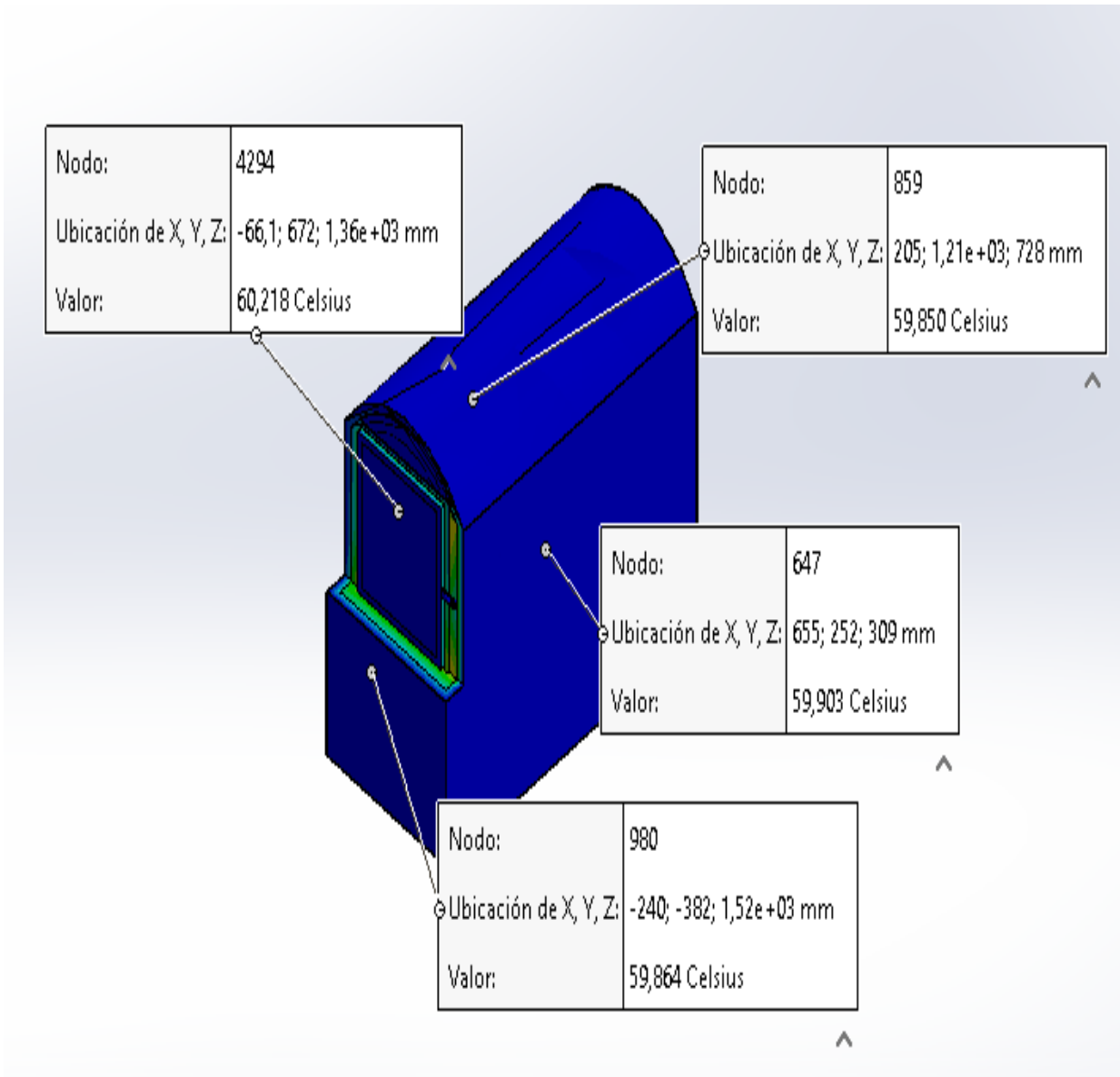
CARGAS TÉRMICAS AL ENSAMBLAJE DEL HORNO CREMATORIO, CORTE ALZADO

Nombre del modelo: Ensamblaje para analisis termico
Nombre de estudio: TEST 2(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Térmico Térmico1
Paso de tiempo: 1



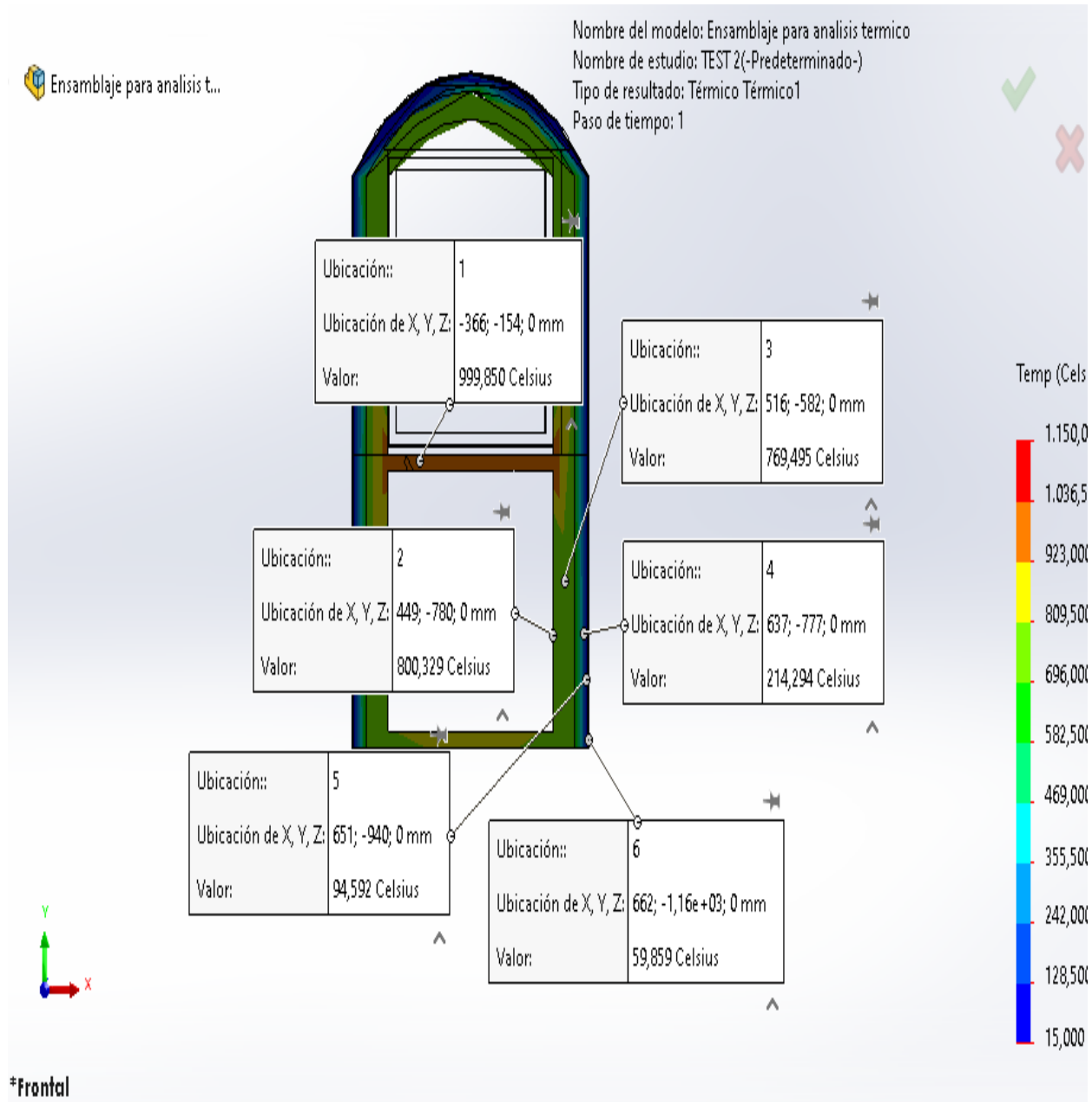
ANEXO H

TEMPERATURA EN LA CAPA EXTERIOR DEL HORNO



ANEXO I

TEMPERATURA CON UN CORTE FRONTAL



ANEXO J

ANÁLISIS DE FLUJO EN EL HORNO, VISTA ISOMÉTRICA

