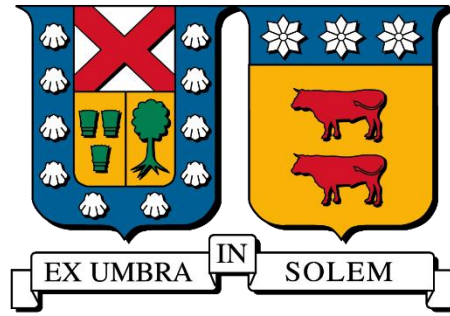


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA



**INVESTIGACIÓN Y DISEÑO DE UN CALEFACTOR DE
CONVECCIÓN A LEÑA DIRIGIDO A HABITANTES DE LA ZONA
AUSTRAL DE CHILE**

Trabajo de Titulación para optar al Título
de Ingeniero de Ejecución en MECÁNICA DE
PROCESOS Y MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL

Alumnos:

Mauricio Esteban Burgos Jerez

Daniel Ignacio Fernández Rubilar

Profesor Guía:

Eduardo Andrés Aracena Cuellar

I

Dedicatoria

Dedico este trabajo de titulación a mis padres, hermanos y hermana, pues sin su incondicional apoyo, jamás podría haber atravesado este difícil camino. Con todas las virtudes y defectos que tenemos como familia siempre hemos logrado salir adelante.

A mis tíos, primos y abuelos, incluyendo a quienes ya no están pues siempre formarán parte de mi historia.

A los amigos de siempre y a los nuevos, ya que en todas las adversidades han sabido brindar palabras de aliento en los momentos requeridos.

Mauricio

En este momento tan especial, quiero dedicar este trabajo de titulación a mis padres Daniel y Mabel, quienes son mis pilares y que con su cariño, esfuerzo y apoyo incondicional me han dado las fuerzas para alcanzar mis metas y forjar mi camino.

A mi hermana Carolina, por siempre tener una palabra de aliento y por el amor brindado cada día.

A mi sobrino Agustín, quien llena mi vida de alegría y quien desde su llegada a sido mi mayor motivación para nunca rendirme y seguir adelante.

Daniel

II

Agradecimientos

Agradezco especialmente a Dios por su infinito amor y por la perfección de sus planes, y por todas las oportunidades que me ha brindado a lo largo de mi vida.

A toda mi familia por el apoyo, bondad y la paciencia interminable que han demostrado en estos años de estudio.

A los profesores de la Universidad Santa María con quienes pude compartir aula y clases virtuales, por los conocimientos adquiridos, y principalmente por los valores y lecciones de vida que de aquí en adelante serán pilares importantes en los proyectos futuros.

Mauricio

Agradezco a mi familia quienes han sido mi apoyo durante todo este proceso y siempre han creído en mí.

A la universidad técnica federico santa maría y sus docentes, por la entrega de conocimientos, orientación y formarme profesionalmente.

Finalmente, expresar mi gratitud a todos quienes me acompañaron y compartieron durante esta etapa universitaria.

Daniel

III

RESUMEN

En el presente trabajo se aborda desde una perspectiva técnica el estudio, diseño y confección de un prototipo que pueda calefaccionar utilizando leña como combustible, inspirado en una estufa tipo Bullerjan de origen canadiense, la cual funciona principalmente en base a tubulares de convección. Como una alternativa innovadora a los artefactos de calefacción que predominan actualmente en la zona austral de Chile.

Debido a las particulares condiciones climáticas y características geográficas de esta zona, la utilización de leña como combustible, prevalece por sobre otros métodos similares aun en estos días, debido a que existe mayor facilidad para su obtención.

Dicha facilidad se debe a la cercanía de los bosques que circundan a las comunidades principalmente rurales, donde la recolección para el uso o venta de leña representa un pilar fundamental en la economía y forma de vida de sus habitantes.

Considerando estos antecedentes se busca una forma de aprovechar de mejor manera la energía que puede ofrecer la biomasa como combustible para la generación de calor en los hogares y gracias a las ventajas que brindan los software de modelado, es posible presentar un prototipo viable que incluye resultados de pruebas simuladas y una guía de fabricación.

IV

ABSTRACT

In the present work, the study, design and preparation of a prototype that can heat using firewood as fuel, inspired by a Bullerjan-type stove of Canadian origin, which works mainly based on convection tubes, is approached from a technical perspective. As an innovative alternative to the heating devices that currently predominate in the southern zone of Chile.

Due to the particular climatic conditions and geographical characteristics of this area, the use of firewood as fuel prevails over other similar methods even today, because it is easier to obtain.

This ease is due to the proximity of the forests that surround the mainly rural communities, where the collection for the use or sale of firewood represents a fundamental pillar in the economy and way of life of its inhabitants.

Considering these antecedents, a way to better take advantage of the energy that biomass can offer as fuel for the generation of heat in homes is sought, and thanks to the advantages offered by modeling software, it is possible to present a viable prototype that includes results simulated tests and a manufacturing guide.

INDICE

1	MARCO INTRODUCTORIO.....	1
1.1	ANTECEDENTES.....	1
1.2	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3	OBJETIVOS.....	3
1.3.1	Objetivo general	3
1.3.2	Objetivos específicos	3
1.4	ALCANCE DEL PROYECTO	4
1.5	METODOLOGÍA	5
2	MARCO TEORICO.....	6
2.1	ANTECEDENTES GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	6
2.1.1	Ubicación geográfica	6
2.1.2	Características climáticas	7
2.1.3	Vegetación.....	7
2.1.4	Calidad del aire	8
2.1.5	Caracterización de la calefacción.....	8
2.1.6	Tipos de calefacción utilizada en la región de Aysén.....	9
2.1.7	Distribución de los artefactos de calefacción a leña	9
2.1.8	Motivos del uso de la leña.....	10
2.1.9	Gasto en calefacción	10
2.1.10	Proporción de ingresos que se gasta en calefaccionar el hogar	11
2.2	GENERALIDADES SOBRE CALEFACTORES A LEÑA	11
2.2.1	Calefactores a leña	11
2.2.2	Utilidades de los calefactores a leña	12
2.2.3	Artefactos a leña más utilizados.....	12
2.2.4	Cocinas a leña	12
2.2.5	Braseros.....	13
2.2.6	Estufas tipo salamandras	14
2.2.7	Estufas de combustión lenta.....	15
2.3	BIOMASA.....	17

VI

2.3.1	Definiciones y generalidades	17
2.3.2	Transformación de biomasa en energía.....	17
2.3.3	Ventajas y desventajas de la biomasa como método energético.....	20
2.4	COMBUSTIÓN.....	22
2.4.1	Definiciones y generalidades	22
2.4.2	Proceso de Combustión de la madera	22
2.4.3	Química de la combustión.....	23
2.4.4	El poder calorífico.....	23
2.4.5	Tipos de combustión	24
2.5	MÉTODOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	25
2.5.1	Conducción	26
2.5.2	Convección.....	26
2.5.3	Radiación.....	26
2.6	NORMATIVAS VIGENTES Y MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE....	27
2.6.1	Norma de emisión de material particulado	27
2.6.2	Emisiones, eficiencia y seguridad.....	28
2.6.3	Restricciones en zonas urbanas y rurales	29
2.6.4	Sistema de información nacional de calidad del aire	30
2.6.5	Material particulado respirable	30
3	DESARROLLO DE CÁLCULOS PARA EL DISEÑO.....	38
3.1	COMBUSTIÓN DE LA MADERA	38
3.1.1	Poder calorífico superior de un combustible.....	39
3.1.2	Poder calorífico inferior	40
3.1.3	Relación entre los poderes caloríficos.....	40
3.1.4	Determinación del poder calorífico mediante el método analítico	41
3.1.5	Formula de Dulong para el poder calorífico superior en un combustible seco 43	
3.2	TERMOQUÍMICA DE LA BIOMASA	44
3.2.1	Cálculo de poder calorífico superior de la leña (PCS).....	45
3.2.2	Cálculo de poder calorífico inferior de la leña (PCI).....	45
3.2.3	Cálculo de potencia útil por kg de leña.....	46
3.3	ELECCIÓN DE DIMENSIONES PARA EL DISEÑO.....	57

VII

3.3.1	Tubulares de convección.....	58
3.3.2	Sección de ingreso de combustible a la cámara de combustión.....	58
3.3.3	Sección de ingreso de aire a la cámara de combustión.....	59
4	SIMULACION UTILIZANDO SOFTWARE DE MODELADO.....	62
4.1	PARÁMETROS DE SIMULACIÓN.....	63
4.2	PROCEDIMIENTO.....	64
4.3	RESULTADOS.....	66
5	FABRICACIÓN Y COSTOS.....	67
5.1	INSUMOS Y MATERIAS PRIMAS.....	67
5.2	MÁQUINAS, HERRAMIENTAS, INSTRUMENTOS Y EQUIPO DE SEGURIDAD.....	68
5.3	PROCESO DE FABRICACIÓN.....	68
5.4	COSTOS.....	70
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
7	BIBLIOGRAFÍA.....	72
8	ANEXOS.....	74
8.1	ANEXO A: SIMULACIONES DE FLUJO MEDIANTE SOFTWARE 3D SOLIDWORKS 2021.....	74
8.2	ANEXO B: RECURSOS Y RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE EL MODELADO.....	85
8.2.1	Analysis Environment.....	85
8.2.2	Model Information.....	85
8.2.3	Analysis Time.....	86
8.2.4	Engineering database.....	87
8.3	ANEXO C: ESTUDIO DE ANALISIS DE TENSION.....	93
8.3.1	Propiedades físicas.....	93
8.3.2	Configuración de malla.....	93
8.3.3	Propiedades de los materiales.....	93
8.3.4	Resumen de resultados.....	94
8.4	ANEXO D: PLANOS DE FABRICACION Y ENSAMBLE.....	109

VIII

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Metodología representada en pasos progresivos.....	5
Figura 2-1 Mapa municipalidades Aysén	6
Figura 2-2 Cocina a leña convencional.....	13
Figura 2-3 Bracero típico	14
Figura 2-4 Salamandra clásica	15
Figura 2-5 Estufa a combustión lenta de doble cámara	16
Figura 2-6 Métodos de transferencia de calor.....	25
Figura 2-7 Norma de emisiones para calefactores	29
Figura 3-1 Diagrama de Ostwald	53
Figura 3-2 Volumen de humos según diagrama de Ostwald	54
Figura 3-3 Relación entre aire inyectado y el necesario	56
Figura 3-4 Screenshot durante el desarrollo del diseño en Inventor 2020.....	57
Figura 3-5 Sección tubular de convección.....	58
Figura 3-6 Sección Puerta entrada de cámara	59
Figura 3-7 Sección entrada de aire primario	60
Figura 3-8 Sección inyector de aire secundario	60
Figura 4-1 Modelo de estufa de convección llevado al estudio mediante software.....	62
Figura 4-2 Modelado de un tubo de convección con una fuente de calor.....	63
Figura 4-3 Screenshot durante simulación de trayectoria de aire, SolidWorks2021	65
Figura 4-4 Screenshot durante proceso de simulación para sólidos, SolidWorks 2021 ..	65
Figura 5-1 Diagrama de proceso de fabricación	69

IX

Figura 8-1 Temperaturas de superficies sólidas.....	74
Figura 8-2 Movimiento y temperatura del aire	75
Figura 8-3 Velocidad interior del aire.....	75
Figura 8-4 Temperatura global.....	76
Figura 8-5 Temperatura interior durante proceso	76
Figura 8-6 Temperatura de superficies solidas mediante corte longitudinal	77
Figura 8-7 Presión de aire interior durante proceso.....	77
Figura 8-8 Densidad interior del aire durante proceso.....	78
Figura 8-9 Representación de la temperatura del aire mediante un corte inferior de cámara de combustión y tubulares de convección.....	78
Figura 8-10 Representación de la temperatura del aire mediante un corte en cámara de combustión mostrando el ingreso de aire primario.....	79
Figura 8-11 Representación de la temperatura del aire mediante un corte central de la cámara de combustión y tubulares de convección.....	79
Figura 8-12 Representación de la temperatura del aire mediante un corte de la cámara de combustión mostrando el ingreso de aire desde el inyector.....	80
Figura 8-13 Representación de la temperatura del aire mediante un corte superior mostrando la salida de aire desde los tubulares y el cañón de humos.....	80
Figura 8-14 Velocidad interior en tubular de convección.....	81
Figura 8-15 Presión de aire al interior de tubular de convección	81
Figura 8-16 Densidad del aire al interior de tubular de convección	82
Figura 8-17 Temperatura del aire al interior de tubular de convección	82
Figura 8-18 Densidad de aire interior de tubo mediante simulación de trayectoria	83
Figura 8-19 Velocidad de aire interior de tubo mediante simulación de trayectoria	83
Figura 8-20 Presión de aire interior de tubo mediante simulación de trayectoria	84

Figura 8-21 Temperatura de aire interior de tubo mediante simulación de trayectoria ...	84
Figura 8-22 Tensión de Von Mises	95
Figura 8-23 Primera tensión principal.....	95
Figura 8-24 Tercera tensión principal	96
Figura 8-25 Desplazamiento	96
Figura 8-26 Coeficiente de seguridad	97
Figura 8-27 Tensión XX	97
Figura 8-28 Tensión XY	98
Figura 8-29 Tensión XZ.....	98
Figura 8-30 Tensión YY	99
Figura 8-31 Tensión YZ.....	99
Figura 8-32 Tensión ZZ	100
Figura 8-33 Desplazamiento X	100
Figura 8-34 Desplazamiento Y	101
Figura 8-35 Desplazamiento Z.....	101
Figura 8-36 Deformación equivalente	102
Figura 8-37 Deformación principal.....	102
Figura 8-38 Tercera deformación principal	103
Figura 8-39 Deformación XX	103
Figura 8-40 Deformación XY	104
Figura 8-41 Deformación XZ.....	104
Figura 8-42 Deformación YY	105
Figura 8-43 Deformación YZ.....	105
Figura 8-44 Deformación ZZ	106

XI

Figura 8-45 Presión de contacto.....	106
Figura 8-46 Presión de contacto X.....	107
Figura 8-47 Presión de contacto Y.....	107
Figura 8-48 Presión de contacto Z.....	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Artefactos a leña más utilizados	9
Tabla 2-2 Propiedades de los combustibles	24
Tabla 2-3 Estación Vialidad.....	32
Tabla 2-4 Parámetros contaminantes	33
Tabla 2-5 Parámetros meteorológicos.....	34
Tabla 3-1 Poder inferior calorífico de algunas especies según su nivel de humedad	44
Tabla 3-2 Composición másica de la madera utilizada en el estudio	52
Tabla 3-3 Resultados obtenidos para la necesidad de aire durante la combustión	55
Tabla 3-4 Resultados de gases de salida	55
Tabla 4-1 Resumen de resultados en análisis SolidWorks 2021.....	66
Tabla 5-1 Elementos que forman parte de la estructura del diseño	67
Tabla 5-2 Precios de materiales actualizados al mercado actual	70
Tabla 8-1 Resultados de la simulación.....	87

ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico 2-1 Estufas más utilizadas en la región.....	9
Gráfico 2-2 Gastos en calefacción por cantidad de personas.....	11
Gráfico 2-3 MP 2.5 Registro diario.....	33
Gráfico 2-4 Humedad relativa.....	34
Gráfico 2-5 Temperatura ambiente	35
Gráfico 2-6 Dirección del viento.....	36
Gráfico 2-7 Velocidad del viento.....	37
Gráfico 8-2 Viscosidad dinámica del aire durante el proceso.....	88
Gráfico 8-3 Calor específico durante el proceso.....	88
Gráfico 8-4 Conductividad térmica del acero durante el proceso.....	89
Gráfico 8-5 Calor específico del acero.....	89
Gráfico 8-6 Conductividad térmica tipo isotrópica.....	90
Gráfico 8-7 Conductividad eléctrica	90
Gráfico 8-8 Coeficiente de absorción	91

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 8-1 Vista isométrica diseño final	110
Plano 8-2 Representación alámbrica diseño final	111
Plano 8-3 Vista explosionada de despiece	112
Plano 8-4 Vistas principales diseño final	113
Plano 8-5 Perfil superior cámara de combustión	114
Plano 8-6 Perfil lateral cámara de combustión	115
Plano 8-7 Tubular plano convección.....	116
Plano 8-8 Perfil interior tubular de convección	117
Plano 8-9 Perfil exterior tubular de convección.....	118
Plano 8-10 Perfil lateral tubular de convección	119
Plano 8-11 Perfil posterior cámara de combustión	120
Plano 8-12 Soporte templador lado derecho	121
Plano 8-13 Soporte templador lado izquierdo.....	122
Plano 8-14 Inyector aire secundario.....	123
Plano 8-15 Base cenicero	124
Plano 8-16 Base parrilla	125
Plano 8-17 Perfil frontal cámara de combustión.....	126
Plano 8-18 Soporte bisagra	127
Plano 8-19 Soporte cerradura puerta.....	128
Plano 8-20 Pasador bisagra	129
Plano 8-21 Vaina pasador bisagra.....	130
Plano 8-22 Soporte central templador.....	131
Plano 8-23 Ladrillo refractario.....	132

Plano 8-24 Puerta cámara de combustión	133
Plano 8-25 Regulador de aire primario	134
Plano 8-26 Picaporte puerta	135
Plano 8-27 Vidrio puerta de cristal vitrocerámico	136
Plano 8-28 Cañón base.....	137
Plano 8-29 Regulador tiro	138
Plano 8-30 Pasador tiro de cañón.....	139
Plano 8-31 mango tiro de cañón	140
Plano 8-32 Base patas frontales	141
Plano 8-33 Base patas posteriores.....	142
Plano 8-34 Escotilla aire primario.....	143
Plano 8-35 Aprovechamiento de plancha 1500x3000	144

XVI

SIGLAS

CDT: La Corporación de Desarrollo Tecnológico

CFD: Mecánica de fluidos computacional

CORFO: Corporación de Fomento de la Producción

DS N°39: Norma de emisión de material particulado

INE: Instituto Nacional de Normalización de Chile

MMA: Ministerio del medio ambiente

MP10: Material particulado con diámetro aerodinámico menor o igual que 10 micrones

MP2.5: Material particulado con diámetro aerodinámico menor o igual que 2.5 micrones

MP5: Material particulado con diámetro aerodinámico menor o igual que 5 micrones

Ø: Diámetro

ONG: Organización no gubernamental

P: Potencia

PCI: Poder calorífico inferior

PCS: Poder calorífico superior

S.L.U: Supervisora Independiente de Proyectos Energéticos

SINCA: Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire

G : Porcentaje en peso del agua formada por la combustión del H_2 más la humedad propia

XVII

V_{aire} : Volumen de aire mínimo por kg de combustible

V_{ht} : volumen de humos totales

V_{hs} : Volumen de los humos secos

V_{O_2} : Volumen de oxígeno necesario para quemar 1 kg de combustible

$\$$: Peso chileno

$\%$: Porcentaje

$US\$$: dólar estadounidense

η : Eficiencia

XVIII

SIMBOLOGIA

cm: Centímetro

G: Gramo

h: Hora

J: Joule

Kcal: Kilocaloría

kg: Kilogramo

km: Kilómetro

kWh: kilovatio hora

m: Metro

m²: Metro cuadrado.

m³: Metro cubico.

msnm: Metros sobre el nivel del mar

N: Newton

Pa: Pascal

W: Watt

XIX

SIMBOLOS QUIMICOS

C: Carbono

CO: Monóxido de carbono

CO₂: Dióxido de carbono

H: Hidrógeno

H₂O: Molécula de agua

N₂: Dinitrógeno

SO₂: Dióxido de azufre

O: Oxígeno

S: Azufre

1 MARCO INTRODUCTORIO

1.1 Antecedentes

La utilización de la leña como combustible es una práctica común y muy importante de la forma de vida de las habitantes de la zona austral de Chile. Está en sus cocinas, en las salas, habitaciones y hasta en el baño, por lo tanto, es la fuente predominante de calefacción en sus hogares.

La utilización de la Leña y sus derivados como método calefacción, es una política gubernamental dedicada al tema pionera en Chile, y aborda las distintas dimensiones de este recurso con un enfoque multisectorial y una perspectiva de Estado. (Ministerio de Energía, 2016)

Desde las regiones de O'Higgins hacia toda la zona austral, el 74% de los hogares utilizan la leña como combustible para calefacción y cocina. Estos hábitos, lastimosamente arraigados, son los factores responsables de los preocupantes registros de mala calidad de aire en la mayoría de las comunas de nuestro país debido al excesivo uso de leña húmeda, que la mayoría de las veces tienen su origen en bosques que carecen de planes de manejo, lo que ha traído como consecuencia: una incesante deforestación de los bosques nativos.

Mucho tiene que ver en esta problemática, la ineficiencia de los aparatos utilizados para calefacción y la deficiente aislación térmica de los las casas. Con estos antecedentes ha surgido la necesidad de generar políticas públicas con el propósito de cambiar el panorama actual, e instaurar lo antes posible la nueva Política de Leña.

Aunque surgieron muchas dificultades en el proceso. La puesta en marcha se inició en julio de 2014 donde se implementaron encuentros y mesas de participación, desde las regiones de O'Higgins hasta la región de Aysén.

Durante ese tiempo y hasta mayo del 2015 se contabilizaron 43 talleres, en los cuales participaron un poco más de 1000 personas, realizados gracias a la ayuda de universidades locales, empresarios, ONG's, autoridades y grupos sociales, y así profundizar en todas las visiones que puedan estar afectando y jugando un papel importante.

Los principales participantes fueron los Ministerios de: Energía, Vivienda, Medio Ambiente, Agricultura, Educación, Obras Públicas y CORFO.

Esta política tiene como fin buscar y definir las líneas de trabajo en un determinado plazo, mejorando así la manera en que se produce, se consume o comercializa la leña.

1.2 Definición del problema

Una particularidad de la zona austral de Chile es el aislamiento con el que deben lidiar sus habitantes debido a las condiciones meteorológicas y la accidentada geografía, en consecuencia, existen muchas dificultades para acceder a distintos tipos de recursos destinados principalmente a la calefacción domiciliaria, la cual es requerida en muchos casos, durante todo el año.

La energía eléctrica proveniente del sistema nacional o de métodos alternativos y los hidrocarburos son muy limitados en estas zonas, especialmente las rurales, ya que el traslado, distribución, instalación, y los costos asociados imposibilitan su utilización a diferencia de otras zonas del país.

Por estas razones la biomasa es el principal recurso utilizado como combustible en las localidades australes debido a la facilidad de obtención, no obstante, el uso indiscriminado y con escasas medidas de control ha convertido a las ciudades del sur de Chile en focos permanentes de contaminación ambiental activando constantemente protocolos de emergencia por mala calidad del aire.

El origen de estas emergencias no solo está relacionado con el uso de biomasa como combustible. En muchos casos los tipos de artefactos utilizados para calefacción o cocción

son igual de relevantes, ya que una baja eficiencia y un mal sistema de reducción de emisiones les dan a las estufas o a cualquier fuente de calor mediante leña la injusta fama de ser el principal foco de contaminación a nivel nacional.

Además, las políticas gubernamentales que pretenden instaurar un plan de reemplazo de leña por pellets no consideran los escasos de este producto actualmente, sobre todo en estas zonas, la baja conectividad vial y por, sobre todo, la fabricación de pellets que puede generar contaminación de igual forma durante sus procesos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la prefactibilidad para el diseño y elaboración de un calefactor de convección ecoeficiente a leña que pueda contribuir a mejorar la calidad de vida de los habitantes de la región de Aysén.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar un estudio sociográfico y caracterizar los factores que influyen en el alto consumo de leña destinada a calefacción.
- Determinar la factibilidad técnica para la elaboración de un prototipo calefactor de convección ecoeficiente mediante software de modelado.
- Confeccionar una guía de fabricación y costos asociados a materias primas para un calefactor de convección.

1.4 Alcance del proyecto

Mediante un estudio focalizado en las zonas australes, principalmente de la región de Aysén, determinar la mejor alternativa para diseñar un calefactor inspirado en los de tipo bullerjan de origen canadiense, pero con características propias mediante pruebas de modelado en software y en base a las necesidades que se han considerado respetando las normas vigentes.

1.5 Metodología

Se consideran etapas lógicas para llevar a cabo este proyecto. Iniciando con la búsqueda de distintos problemas y seleccionando uno acorde los intereses de los autores. Culminando con la solución planteada, representada en un diseño final y viable.

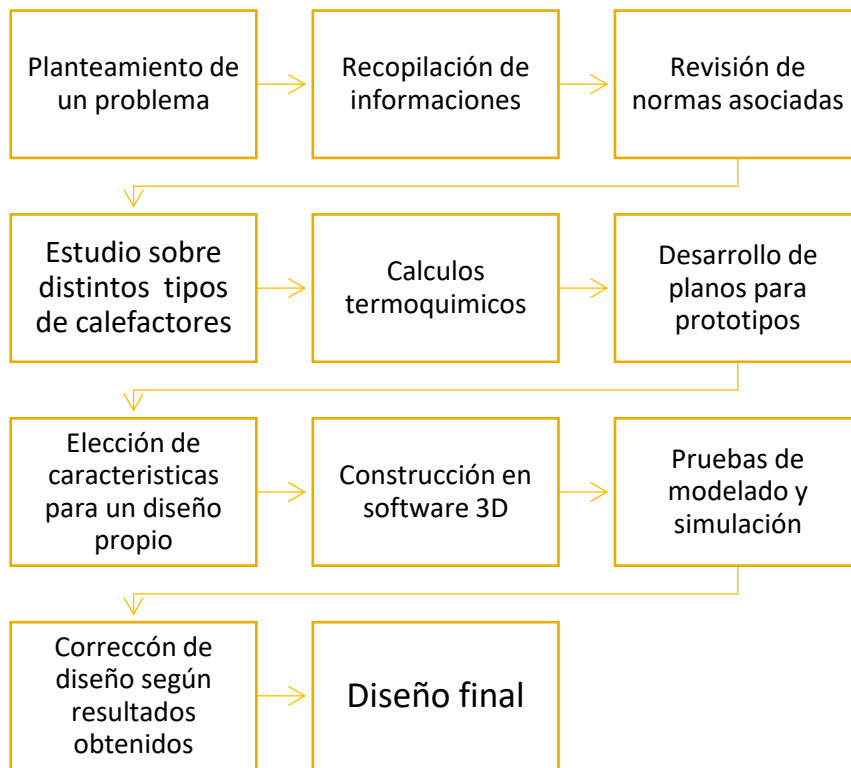


Figura 1-1 Metodología representada en pasos progresivos.

Fuente: (Elaboración propia en base a la progresión de un proyecto de diseño)

2 MARCO TEORICO

2.1 ANTECEDENTES GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1.1 Ubicación geográfica

La Región de Aysén (XI) está ubicada entre los 43°38' por el norte y 49°16' por el sur, y desde los 71°06' oeste desde la frontera con Argentina hasta las aguas territoriales del Océano Pacífico. Posee una superficie de 109.024,9 km², equivalentes al 14,3% de Chile continental e insular. Según datos obtenidos en información del censo 2017 muestran que la población era de 103.158 habitantes con una densidad de 0,95.

Está compuesta por un desgarrado relieve, producto de los factores tectónicos y de la actividad glaciaria a los cuales ha estado sometida a lo largo de la historia. Se caracteriza por la ausencia del valle longitudinal y en cambio posee gran cantidad de canales marítimos y fiordos.



Figura 2-1 Mapa municipalidades Aysén

Fuente: (Municipalidad de Aysén, 2022)

2.1.2 Características climáticas

La Región de Aysén se caracteriza por tener un clima oceánico frío de bajas temperaturas, con abundantes precipitaciones, elevada humedad y fuertes vientos. Producto de su particular relieve se presentan diferentes climas entre el sector occidental formado por archipiélagos e islas y el sector oriental de los andes Patagónicos.

El clima de los archipiélagos e islas se destaca por sus elevadas precipitaciones, fuertes vientos del Oeste y elevada humedad, debido a la inexistencia de una barrera orográfica que obstruya el paso directo de los vientos del Oeste y detenga su actuar. El promedio de agua caída anual fluctúa entre los 3.000 y 4.000mm. Las temperaturas son muy bajas promediando una media anual de entre 8 y 9°C.

El clima de los andes patagónicos se diferencia del anterior, debido a que está protegida por el cordón montañoso de la cordillera, formando un clima más frío y seco, lo que trae consigo una disminución relevante de las precipitaciones anuales, disminuyendo hasta los 621 mm en Balmaceda y 1.385 mm en Coyhaique.

2.1.3 Vegetación

La vegetación en la región de Aysén presenta una amplia variedad de especies, predominando los bosques de lenga, tepa, coihue y ñirre en las zonas húmedas frías, y bosque higrófilo en los archipiélagos.

La masa boscosa tiene abundante densidad, impidiendo el acceso a su interior; sin embargo, presenta baja altura debido a los fuertes vientos, bajas temperaturas y nieves cercanas a los 1.000 msnm.

2.1.4 Calidad del aire

Coyhaique en la región de Aysén, es la ciudad con los niveles más altos de contaminación atmosférica en Chile, debido al material particulado MP10 y MP2.5, el principal foco de contaminación es el uso masivo de leña para cocinar y calefaccionar las viviendas, el 99% de las emisiones totales emanan de la combustión de la leña utilizada en su mayoría en artefactos de baja eficiencia energética, siendo el combustible más utilizado, por ser de fácil acceso y de bajo costo. Sin embargo, esto ha provocado graves efectos en la salud, asociados a enfermedades respiratorias y cardiovasculares sobre todo en la población vulnerable como niños menores de 1 año y adultos mayores.

Por lo que es de urgencia educar a la ciudadanía sobre el uso responsable de la leña, los niveles de humedad de esta y los efectos en salud de la contaminación. Así como reemplazar los artefactos de baja eficiencia energética y de construcción artesanal llamados comúnmente hechizos.

2.1.5 Caracterización de la calefacción

En la Región de Aysén un 81,5% de sus habitantes utiliza como fuente de calefacción la leña mediante el uso de estufas y cocinas, un 8,8% usa el gas, un 7,8 parafina, un 1,2% energía eléctrica y tanto el pellet como el petróleo un 0,35%.

A medida que aumenta el nivel socioeconómico del hogar disminuye el uso de leña como combustible para la calefacción y cocina.

Mientras el 90% de los hogares geolocalizados en sectores socioeconómicos bajos usan leña, en los hogares geolocalizados en sectores socioeconómicos altos es sólo el 60%.

2.1.6 Tipos de calefacción utilizada en la región de Aysén

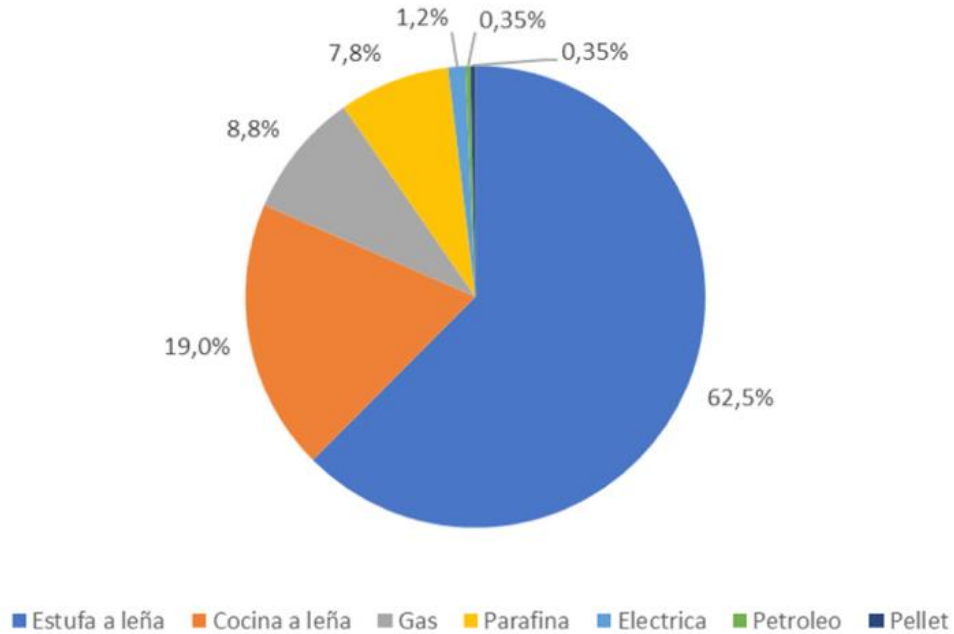


Gráfico 2-1 Estufas más utilizadas en la región

Fuente: (Universidad de Chile, 2022)

2.1.7 Distribución de los artefactos de calefacción a leña

Región	Cámara Doble	Cocina a Leña	Salamandra	Cámara Simple	Equipo Hechizo	Chimenea	Caldera a Leña	Total [N° Equipos]
Aysén	35,8%	38,3%	1,3%	23,7%	0,0%	0,6%	0,3%	38.505

Tabla 2-1 Artefactos a leña más utilizados

Fuente: (Universidad de Chile, 2022)

2.1.8 Motivos del uso de la leña

La leña es valorada por la población como combustible para calefacción, con una larga tradición en la cultura urbana y rural de Aysén. Su gran consumo se debe a que puede ser recolectada por sus habitantes en las inmediaciones de sus hogares y que puede llegar a ser entre cuatro y siete veces más barata que otras fuentes de energía, como la parafina el gas licuado y la electricidad, por esta razón sustituir el uso de leña como calefacción es una tarea compleja y difícil.

2.1.9 Gasto en calefacción

Los habitantes de Aysén se calefaccionan utilizando leña como combustible, cuyo mercado se caracteriza por ser en su mayoría informal. Su precio varía entre los 23.000-40.000 \$/m³, dependiendo si la compra es formal o informal.

Lo que lleva a que un 62% de los habitantes de la región gaste al menos el 20% de su ingreso en calefacción.

Debido al gran consumo de sus estufas y cocinas las cuales en su mayoría son de una baja eficiencia energética.

2.1.10 Proporción de ingresos que se gasta en calefaccionar el hogar

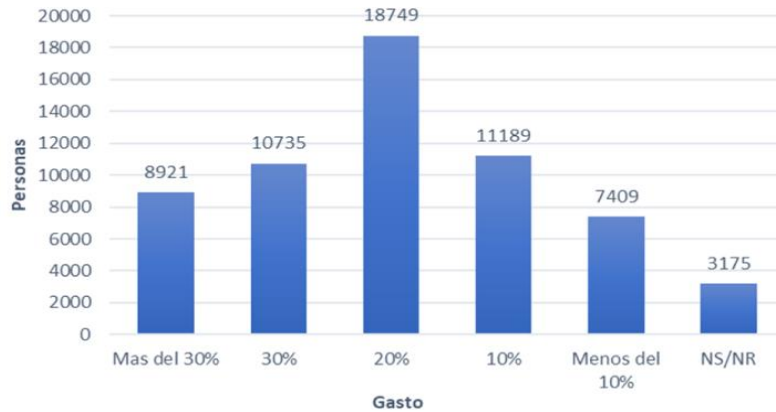


Gráfico 2-2 Gastos en calefacción por cantidad de personas

Fuente: (MORI market opinion, 2015)

2.2 GENERALIDADES SOBRE CALEFACTORES A LEÑA

2.2.1 Calefactores a leña

Un calefactor a leña es un aparato de calefacción, a partir de la incineración de madera. Generalmente, el aparato consta de una primera cámara de combustión cerrada de metal sólido, en su mayoría revestidas por ladrillos refractarios, y una segunda cámara donde los gases que se han generado en la primera cámara se queman gracias a la inyección de aire precalentado, consiguiendo más calor y la eliminación de residuos contaminantes que son evacuados por la chimenea.

La difusión del calor se realiza a través de la radiación que atraviesa el cristal, los laterales y parte posterior. Así como por convección natural alrededor del hogar. La regulación de la combustión se efectúa a través del mando o tiraje de aire primario situado generalmente en la parte inferior de la puerta o en el cenicero.

2.2.2 Utilidades de los calefactores a leña

La principal característica de un calefactor consiste en regular las condiciones de temperatura dentro de una vivienda haciéndola agradable.

Un calefactor que cumpla mínimamente con su objetivo es capaz de elevar la temperatura dentro de un espacio y marcar diferencias en cuanto a la sensación humana respecto al ambiente exterior, logrando instaurar una condición cómoda en el hogar. Cumpliendo este objetivo primordial, el combate del frío se puede sobrellevar con normalidad en situaciones cotidianas.

2.2.3 Artefactos a leña más utilizados

Muchas veces la ubicación de las poblaciones y los recursos existentes son las que determinan el método de calefacción al que pueden optar. En las zonas que están aisladas geográficamente no es extraño ver incluso el uso de braseros para enfrentar las frías jornadas australes asumiendo muchas veces un alto riesgo para la salud.

Además del uso de braseros que son casos más extremos, lo más habitual es la utilización de las llamadas salamandras en mayor proporción.

A continuación, se describen los artefactos para calefacción a leña más utilizados en la zona.

2.2.4 Cocinas a leña

Las cocinas son artefactos con la principal característica de tener platos o lugares dentro de su estructura donde se pueden posar utensilios de cocción como ollas, sartenes y teteras, y a su vez, calefaccionar el ambiente que las rodea. Pueden estar hechas al igual que las

salamandras clásicas, de hierro fundido, fabricadas con métodos modernos, o también hay muchas que son fabricadas de manera artesanal.

Generalmente no cuentan con una alta eficiencia ni tampoco con bajas emisiones de material particulado y son los artefactos predominantes en la zona con 55%.



Figura 2-2 Cocina a leña convencional

Fuente: (Elconstructorchile.cl)

2.2.5 Braseros

Los braseros son básicamente recipientes de metal con una adecuada geometría para contener brasas producidas por madera. Son utilizadas generalmente en ambientes abiertos, pero en algunos lugares son necesarios para temperar el interior de las casas con todo el riesgo que esto conlleva.

Al no ser un artefacto diseñado mediante algún estudio, no cuentan con ninguna certificación y son un riesgo directo para la salud de las personas por emanación de óxidos de carbono o por incendio.

A pesar de ser uno de los métodos en menor proporción usados para la calefacción, no deja de ser relevante su utilización incluso en estos días y se esto se debe principalmente a las condiciones económicas de los habitantes de algunas zonas generalmente rurales.



Figura 2-3 Bracero típico

Fuente: (Braserosyfogatas.com)

2.2.6 Estufas tipo salamandras

Se le llama salamandra a un tipo de estufa de combustión a leña y carbón utilizado desde épocas pasadas, su nombre se originó de las leyendas que mencionan a la especie anfibia llamada también así, como un ser de fuego.

Estaban en un principio fabricadas en fundición de hierro y su característica principal, al día de hoy además de calefaccionar, es la estética, lo que ha llevado a las personas en la búsqueda de adquirir una de estas, no solo por su función irradiadora de calor, sino por fines ornamentales.

Actualmente se le llama salamandra a cualquier estufa fabricada de forma artesanal y que cumpla con la función de calefaccionar utilizando como combustible leña o carbón.

Las que se utilizan en la zona son de una calidad bastante cuestionable y con una eficiencia que bordea el 20%, además de las altas emisiones que generan. Aun así, las salamandras cuentan con una gran presencia en los hogares de la región de Aysén.



Figura 2-4 Salamandra clásica

Fuente: (Tiendarustica.es)

2.2.7 Estufas de combustión lenta

Las estufas a combustión lenta son los artefactos domiciliarios que tienen una mayor eficiencia energética si se considera solo la leña como combustible. Su sistema de doble y a veces triple combustión garantizan una quema de leña y gases que favorecen mucho más que las anteriores el gasto de leña y las emisiones hacia la atmósfera.

La estructura de estos calefactores es principalmente de aceros resistentes a altas temperaturas, cristales vitrocerámicos y aislación con ladrillos refractarios para contener el calor y maximizar el uso de la leña.

Estas estufas generalmente cumplen con la norma chilena de emisiones, aunque últimamente debido a las emergencias ambientales en la zona, hay estufas que, aunque en un comienzo tenían las características para funcionar en cualquier estado de calidad del aire, hoy en día muchas de ellas debido a las restricciones no podrían ser utilizadas.



Figura 2-5 Estufa a combustión lenta de doble cámara

Fuente: (Bosca.cl)

2.3 BIOMASA

2.3.1 Definiciones y generalidades

La biomasa utilizada como fuente de energía es un componente orgánico considerado aun renovable, proveniente de formas de vida basadas en carbono como lo son los animales y las plantas. Los materiales de biomasa más comunes utilizados para la generación de energía son residuos de vegetales, la madera y los desechos.

La biomasa contiene energía derivada del sol ya que las plantas absorben la energía a través de la fotosíntesis y convierten el dióxido de carbono y el agua en nutrientes.

La energía de estos organismos puede ser transformada en energía utilizable a través de medios directos e indirectos. Es posible quemar la biomasa generando calor (directo), convirtiéndose en electricidad (directo) o procesarse en biocombustible (indirecto).

2.3.2 Transformación de biomasa en energía

La biomasa puede convertirse en energía a través de cuatro procesos, estos son: físicos, termoquímicos, biológicos y químicos.

2.3.2.1 Mediante procesos físicos

La densificación o compactación

Consiste en producir un combustible sólido homogéneo de alta densidad energética, mediante la reducción de volumen de biomasa de baja densidad a altas presiones para su uso directo como combustible como pellets y briquetas.

2.3.2.2 *Mediante procesos termoquímicos*

Combustión

La combustión es el proceso de obtención de energías mediante la reacción química que ocurre entre un combustible y un agente oxidante, generalmente en forma de luz y calor. La combustión se considera una reacción química exergónica. También se conoce como quemar. La combustión es considerada una de las primeras reacciones químicas controladas intencionalmente por humanos.

Gasificación

Es posible transformar la biomasa en energía de manera directa mediante la gasificación. Donde es llevada a una temperatura que supera los 700 °C con una cantidad de oxígeno controlada. Las moléculas pasan a descomponerse, produciendo gas de síntesis y desechos en forma de escoria.

El gas de síntesis resulta ser una combinación de hidrógeno con monóxido de carbono. Durante la gasificación, el gas de síntesis se purifica de la presencia de azufre, partículas mercurio y otros. El resultante gas de síntesis puede ser utilizado para quemarse y así, obtener calor o electricidad, biocombustibles o productos químicos.

Pirólisis

La pirólisis es un método que consiste en elevar paulatinamente la temperatura para calentar biomasa. Durante la pirólisis, la biomasa se calienta de 200° a 300° C sin la presencia de oxígeno. Así de esta forma evitar que se queme y alterar químicamente la biomasa.

Tiene como productos un líquido oscuro llamado aceite de pirólisis, un gas sintético llamado gas de síntesis y un residuo sólido llamado biocarbón. Los cuales se pueden utilizar para obtener energía.

El aceite de pirólisis, es un tipo de alquitrán. Puede ser quemado para la generación de electricidad y también suele ser utilizado como componente en otros combustibles y plásticos.

El gas de síntesis se puede convertir en combustible como el gas natural sintético. También puede convertirse en metano y usarse como reemplazo del gas natural.

El biocarbón es un tipo de carbón vegetal. Es un sólido rico en carbono que es usado en la agricultura para enriquecer el suelo, es también un excelente sumidero de carbono. Los sumideros de carbono son depósitos de productos químicos que contienen carbono, incluidos los gases de efecto invernadero.

2.3.2.3 Mediante procesos biológicos

La fermentación alcohólica

La fermentación alcohólica también conocida como fermentación de etanol o fermentación etílica, es un proceso anaeróbico a los microorganismos unicelulares para obtener etanol a partir de azúcares o de almidón de plantas amiláceas, las cuales se deben transformar en azúcares mediante hidrólisis.

La fermentación metánica

La metanización es un tratamiento biológico de degeneración de biomasa, y sus desechos para la obtención de biogás, Aplicada esta metanización en la biomasa se produce un gas combustible, sin secado previo de los productos tratados evitando este proceso y ahorrando el consumo de energía para el secado.

2.3.2.4 *Mediante procesos químicos*

Transesterificación

La transesterificación también llamada alcoholólisis es una reacción química utilizada para la conversión de los triglicéridos contenidos en los aceites en biodiésel utilizable. Mediante procedimientos como el prensado de semillas, filtración y secado, el biodiésel producido por el proceso de transesterificación tiene una baja viscosidad, lo que lo hace capaz de reemplazar al petróleo en motores diésel.

2.3.3 *Ventajas y desventajas de la biomasa como método energético*

2.3.3.1 *Aspectos positivos de la biomasa - energía*

- La biomasa es un combustible renovable.
- La biomasa es un combustible que puede ser almacenado siempre que este seco con una humedad inferior al 15% de esta manera es accesible en cualquier momento y lugar.
- La biomasa es un combustible poco peligroso en el que toman pocas medidas de precaución.
- Fuente de energía versátil ya que de la biomasa se puede producir varias formas de energía como: calor, electricidad, biocombustibles, etc.
- Fuente de combustible versátil ya que de la biomasa se puede producir combustibles sólidos, líquidos o gaseosos como biogás, biodiésel, carbón, etc.
- Reducción de la generación de gases de efecto invernadero.
- Reciclaje energético con el aprovechamiento de residuos.
- Mejoramiento de la situación de agricultores creando fuentes de trabajo.
- Aprovechamiento de campos abandonados para la producción de biomasa evitando la erosión y degradación de la tierra.
- Beneficio y ahorro económico para las personas o industrias que adquiere este tipo de sistemas a base de biomasa.

- Reduce la dependencia notablemente de combustibles fósiles.
- Produce energía limpia, moderna y segura.

2.3.3.2 Aspectos negativos de la biomasa - energía

- Prácticas agrícolas o forestales intensivas al querer obtener grandes cantidades de biomasa se utilizan fertilizantes y pesticidas contaminando los campos y afectando a los seres vivos que se encuentran a su alrededor.
- Reducción de cultivos alimenticios.
- Se necesita mayor cantidad de biomasa para obtener la misma cantidad de energía que se obtiene de combustibles fósiles.
- Se necesita a nivel industrial mayor inversión en equipos que utilizan biomasa como combustible.
- Produce deforestación que puede provocar en algunos casos erosión.
- Se necesita lugares amplios para el almacenamiento.

2.4 COMBUSTIÓN

2.4.1 Definiciones y generalidades

La combustión es una reacción química de oxidación completa entre un combustible y el oxígeno. En el instante en que reacciona el oxígeno con el combustible, se libera energía en forma de calor y luz. El calor y la energía de la luz dan como resultado la llama. Entonces, la fórmula para la reacción de combustión es Hidrocarburo + Oxígeno = Energía térmica.

2.4.2 Proceso de Combustión de la madera

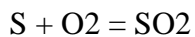
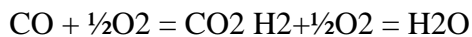
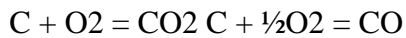
La combustión de la madera consta de dos etapas, primero es eliminada por evaporación la humedad de la biomasa, donde se liberan gases no combustibles y vapor de agua, luego las cadenas macromoleculares orgánicas se rompen en moléculas más pequeñas, en forma de gases inertes o combustibles que se liberan del producto en descomposición.

Estos gases (CO, H₂, CH₄, SO₂) al entrar en contacto con el aire son oxidados formando llamas, éstas permiten seguir calentando los residuos y productos intermedios formados y así formar nuevas moléculas más pequeñas.

La combustión de la madera comienza con la pirólisis en la que, la holocelulosa da origen a compuestos volátiles, en cambio la lignina genera cenizas y volátiles. Las cadenas orgánicas de la masa incandescente se reducen progresivamente hasta llegar al carbón que finalmente se oxida, al final quedan compuestos orgánicos degradados y no eliminados debido a la combustión incompleta por falta de aire obteniendo contaminantes llamados inquemados.

2.4.3 Química de la combustión

En el proceso de combustión de cualquier tipo de biomasa se genera una reacción química exotérmica, debido a que se libera energía en forma de luz o calor. Las principales reacciones químicas que se emplean en el estudio de la combustión son:



2.4.4 El poder calorífico

Es la cantidad de energía por unidad de masa o volumen de materia que se puede desprender al producirse una reacción química de oxidación completa. Se distinguen dos tipos, el poder calorífico inferior y superior.

2.4.4.1 *El poder calorífico superior*

Es la totalidad de calor producido durante la combustión completa de 1 Kg de combustible, cuando el vapor de agua producido en la combustión se condensa y se le considera como calor desprendido en este cambio de fase.

2.4.4.2 *Poder calorífico inferior*

Es la cantidad total de calor producido en un proceso combustión completa de 1 kg de combustible, despreciando en este caso, el calor latente de la condensación de agua en la combustión, debido a que no se lleva a cabo un cambio de fase, y se expulsa como vapor.

COMBUSTIBLES SÓLIDOS							
Producto	Densidad kg/m ³	PCI kWh/m ³	PCI			MJ/kg	PCS MJ/kg
			kcal/kg	kWh/kg	te/kg		
Antracita	875 ⁽¹⁾	8.338,75	8.194	9,53	8,19	34,30	34,70
Madera seca	s.d.	s.d.	4.539	5,28	4,54	19,00	s.d.
Madera húmeda	s.d.	s.d.	3.440	4,00	3,44	14,40	s.d.
COMBUSTIBLES LÍQUIDOS							
Producto	Densidad kg/m ³	PCI kWh/m ³	PCI			MJ/kg	PCS MJ/kg
			kcal/kg	kWh/kg	te/kg		
GLP Propano	506 ⁽¹⁾	6.517,28	11.073	12,88	11,07	46,35	50,45
GLP Butano	580 ⁽¹⁾	7.377,60	10.939	12,72	10,94	45,79	49,68
Queroseno	780	9.406,80	10.368	12,06	10,37	43,40	46,50
Gasóleo C	850	9.979,00	10.099	11,74	10,10	42,28	43,12
Fuelóleo nº 1	944	10.648,32	9.699	11,28	9,70	40,60	42,70
COMBUSTIBLES GASEOSOS							
Producto	Densidad RELATIVA ⁽¹⁾	PCI kWh/m ³	PCI			MJ/kg	PCS MJ/kg
			kcal/kg	kWh/kg	te/kg		
Gas natural	0,63 ⁽²⁾	8,04	9.228	10,73	9,23	38,63	42,92
Gas ciudad	0,65	3,63	4.037	4,69	4,04	16,90	18,20
Propano	1,85 ⁽³⁾	52,40	20.484	23,80	20,50	85,70	93,30
Butano	2,41 ⁽³⁾	87,47	26.253	30,50	26,30	109,90	119,20

Tabla 2-2 Propiedades de los combustibles

Fuente: (Ministerio de industria, 2013)

2.4.5 Tipos de combustión

2.4.5.1 Combustión completa

Es originada cuando el combustible se oxida por completo. En los gases de combustión no existen sustancias combustibles.

2.4.5.2 Combustión incompleta

Es originada cuando el combustible no se oxida por completo, debido a la deficiencia de aire. En los gases de combustión existen sustancias combustibles.

2.4.5.3 Combustión estequiométrica o teórica

Es la combustión donde se necesita la mínima cantidad de aire para que no existan sustancias combustibles en los gases de combustión.

2.4.5.4 Combustión con exceso de aire

Es originada cuando se utiliza una cantidad de aire superior a la estequiométrica necesaria. El objetivo de utilizar más aire que el requerido es garantizar la combustión completa sin presencia de inquemados.

2.4.5.5 Combustión con defecto de aire o rica

Ocurre cuando hay una menor presencia de aire que el mínimo necesario. En este tipo de reacción es común la presencia de sustancias oxidables en los gases o humos de reacción.

2.5 MÉTODOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

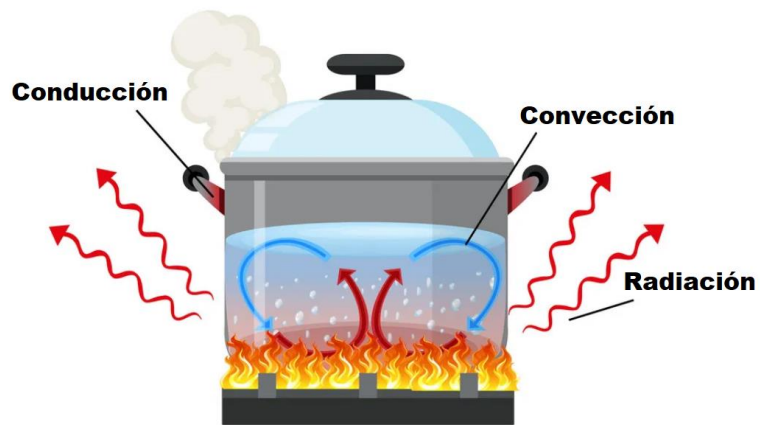


Figura 2-6 Métodos de transferencia de calor

Fuente: (es.vecteezy.com)

2.5.1 Conducción

La conducción es el método de transferencia de calor en el cual las sustancias están en contacto directo entre sí. Cuanto mejor es el conductor, más rápidamente será la transferencia de calor. El metal es un buen conductor del calor. La conducción ocurre cuando una sustancia se calienta, las partículas ganan más energía y se agitarán más rápido. Las moléculas impactan con otras partículas cercanas y en ese instante les comparten una porción de su energía. Posteriormente continúa y transfiere energía desde el extremo más caliente hacia el más frío de la sustancia.

2.5.2 Convección

La energía en forma de calor se transfiere de superficies calientes hacia lugares fríos por convección. Esta forma de transferencia ocurre cuando las áreas más cálidas de un fluido ascienden a áreas más frías. El fluido más frío ocupa el espacio de las áreas más cálidas que se han elevado anteriormente. Como resultado se genera un patrón de circulación continua.

2.5.3 Radiación

La radiación es otra forma de transferir calor y no depende de algún contacto entre la fuente de calor y el receptor, como si ocurre durante la conducción y la convección. El calor se transmite a través del vacío en forma de onda electromagnética conocida comúnmente como radiación térmica, no es necesario el intercambio de masa y no es necesaria la participación de un medio

2.6 NORMATIVAS VIGENTES Y MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE

2.6.1 Norma de emisión de material particulado

Para artefactos que combustionan o puedan combustionar leña y derivados de la madera” (DS N°39)

Norma promulgada en noviembre de 2011 y publicada en el Diario Oficial en julio de 2012. Aunque su entrada en vigencia estaba programada para octubre de 2013, esta se postergó un año para permitir la necesaria certificación de las estufas.

Su objetivo principal es proteger la salud de las personas, considerando que gran parte de las ciudades de la zona centro sur del país sobrepasan las normas diarias y anuales de material particulado, y gran parte de este proviene de la quema de leña para calefacción.

De acuerdo a los inventarios de emisiones desarrollados en distintas regiones, la combustión residencial de leña corresponde al 45% de las emisiones del valle central de O'Higgins, a un 89% en Talca, 55% en el Gran Concepción, un 97% en Temuco y Padre las Casas, y un 94% en Coyhaique, por citar algunos ejemplos.

Esto tiene un impacto directo en la población expuesta, ya que el material particulado que resulta de la combustión de madera es altamente dañino para la salud. Un 96% corresponde a MP10, del cual un 93% son partículas finas (PM2,5) formadas, entre otros, por compuestos orgánicos.

Estos últimos incluyen sustancias conocidas por su toxicidad cancerígena, como benceno, tolueno e hidrocarburos aromáticos policíclicos, lo que produce efectos de corto y largo plazo, y afectan los sistemas respiratorios y cardiovasculares de la población. Hoy hay cerca de 10 millones de chilenos expuestos a altas concentraciones de material particulado, la gran parte de este proveniente de la combustión de leña para calefacción. A esto se suman más de 4 mil muertes prematuras al año por contaminación. (Biblioteca del congreso nacional de Chile, 2014)

2.6.2 Emisiones, eficiencia y seguridad.

El Ministerio del Medio Ambiente al no contar con antecedentes técnicos que justifiquen una nueva prórroga de la entrada en vigencia de la norma. En el año 2014 por primera vez, se aplicó de manera masiva un plan de alertas sanitarias entre las regiones de O'Higgins y Aysén, que implicó medidas como la restricción al uso de calefactores, medida que demostró ser eficiente en la disminución sustantiva de episodios críticos y de concentración de contaminantes.

Pero para una disminución sostenida del material particulado en el aire que respira la población se requieren medidas estructurales. Una de ellas son los planes de descontaminación, en los que el Ministerio del Medio Ambiente se encuentra trabajando de manera decidida para contar al fin de este período con 14 planes nuevos, la gran mayoría por material particulado fino y concentrados en Santiago y las ciudades del centro sur del país.

Otra es la norma de emisión de calefactores, atendiendo al crecimiento del parque de estufas. Solo en Santiago pasaron de unas 80 mil a casi 120 mil en cinco años. Por su tamaño y dispersión, la fiscalización de calefactores es una tarea compleja, por lo que la tendencia en la regulación de emisiones es fijar una norma de ingreso al mercado que permita su certificación previa a la venta. Para ello se cuenta hoy con tres organismos capacitados para entregar esta certificación, los que cuentan con sus respectivos laboratorios de ensayo.

La nueva norma fija no sólo estándares de emisiones, sino también de seguridad (para evitar accidentes como incendios) y eficiencia energética. Esto último implica además un ahorro para el usuario por la menor necesidad de leña para calefacción, y al mismo tiempo una menor presión sobre el bosque nativo para la obtención de madera para combustión. Mientras un calefactor normal tiene una eficiencia de 15 a 25%, un calefactor certificado está sobre el 70%. Eso significa que entregan más calor y menos contaminación.

Esto además tiene beneficios concretos, de acuerdo a estudios realizados por el MMA. Considerando beneficios en salud por la reducción de enfermedades y muertes

ocasionadas por la contaminación del aire, los días de productividad perdida o restringida, y el ahorro en el consumo de leña de un hogar por la mejor eficiencia energética, se estima que a nivel nacional se podrían obtener US\$129 millones anuales de beneficio neto por la aplicación de esta norma.

Por cada peso de costo, se podrían obtener hasta \$27 pesos de beneficio considerando la mortalidad asociada a la contaminación, y hasta \$9 pesos sin considerar esta última. (Ministerio de Medio Ambiente, <https://mma.gob.cl/>, 2014)

2.6.3 Restricciones en zonas urbanas y rurales

La norma se aplica a los artefactos nuevos que operan con leña y que tengan una potencia menor o igual a 25 kilowatts (kW). La escala determina que los calefactores de menos de ocho kW deberán emitir 2,5 gr/h de material particulado; los de ocho a 14 kW hasta 3,5 gr/h, y los de mayor potencia, hasta 4,5 gr/h. (Ministerio de Medio Ambiente, <https://mma.gob.cl/>, 2014)



Figura 2-7 Norma de emisiones para calefactores

Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente, <https://mma.gob.cl/>, 2014)

Cuando se decreta alerta ambiental por mala calidad del aire, hay un llamado a no utilizar leña como combustible sin importar el destino final de esa energía generada, no obstante fiscalizar realmente que se cumplan las ordenanzas es demasiado difícil en zonas urbanas y mucho más para las localidades rurales.

2.6.4 Sistema de información nacional de calidad del aire

El Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA) del Ministerio del Medio Ambiente, tiene como objetivo entregar información oportuna y confiable respecto a la calidad de aire de todo el país, buscando mejorar gradualmente el conocimiento, la vigilancia y la gestión de la calidad del aire que respiramos para contribuir a la protección de la salud de la población. (Ministerio de Medio Ambiente, <https://sinca.mma.gob.cl/>, 2022)

2.6.5 Material particulado respirable

El monitoreo en línea de las concentraciones ambientales de MP10 y MP2,5 se presenta como promedios móviles de 24 horas, basado en el monitoreo continuo de este contaminante. (Ministerio de Medio Ambiente, <https://sinca.mma.gob.cl/>, 2022)

La información mostrada permite identificar los eventos asociados a situaciones de emergencia ambiental para las últimas 24 horas a partir del momento de consulta.

La información es actualizada cada 1 hora y los registros pueden variar una vez validados operacionalmente por el operador de la estación, los que serán dispuestos en SINCA una vez que éstos sean enviados al Ministerio del Medio Ambiente. (Ministerio de Medio Ambiente, <https://sinca.mma.gob.cl/>, 2022)

El cálculo del promedio móvil de 24 horas está limitado a un mínimo de datos disponible del 75% (es decir un mínimo de 18 promedios horarios), por lo tanto, de haber menos del

75% de datos, no se calculará el promedio móvil. (Ministerio de Medio Ambiente, <https://sinca.mma.gob.cl/>, 2022)

2.6.5.1 Ozono

El monitoreo en línea de las concentraciones ambientales de O₃ se presenta como promedios aritméticos de 1 hora, basado en el monitoreo continuo de este contaminante.

La información es actualizada cada 1 hora y los registros pueden variar una vez validados operacionalmente por el operador de la estación, los que serán dispuestos en SINCA una vez que éstos sean enviados al Ministerio del Medio Ambiente. (Ministerio de Medio Ambiente, <https://sinca.mma.gob.cl/>, 2022)

2.6.5.2 Dióxido de azufre

El monitoreo en línea de las concentraciones ambientales de SO₂ se presenta como promedios aritméticos de 1 hora, basado en el monitoreo continuo de este contaminante.

La información mostrada permite identificar los eventos asociados a situaciones de emergencia ambiental para la última hora a partir de la hora de consulta, según los valores establecidos en la normativa vigente en Chile.

La información es actualizada cada 1 hora y los registros pueden variar una vez validados operacionalmente por el operador de la estación, los que serán dispuestos en SINCA una vez que éstos sean enviados al Ministerio del Medio Ambiente. (Ministerio de Medio Ambiente, <https://sinca.mma.gob.cl/>, 2022)

2.6.5.3 Dióxido de nitrógeno

El monitoreo en línea de las concentraciones ambientales de NO₂ se presenta como promedios aritméticos de 1 hora, basado en el monitoreo continuo de este contaminante.

La información es actualizada cada 1 hora y los registros pueden variar una vez validados operacionalmente por el operador de la estación, los que serán dispuestos en SINCA una

vez que éstos sean enviados al Ministerio del Medio Ambiente. (Ministerio de Medio Ambiente, <https://sinca.mma.gob.cl/>, 2022)

2.6.5.4 Monóxido de carbono

El monitoreo en línea de las concentraciones ambientales de CO se presenta como promedios móviles de 8 horas, basados en el monitoreo continuo de este contaminante.

La información es actualizada cada 1 hora y los registros están pueden variar una vez validados operacionalmente por el operador de la estación, los que serán dispuestos en SINCA una vez que éstos sean enviados al Ministerio del Medio Ambiente.

El cálculo del promedio móvil de 8 horas está limitado a un mínimo de datos disponible del 75% (es decir un mínimo de 6 promedios horarios), por lo tanto, de haber menos del 75% de datos, este promedio móvil no será calculado. (Ministerio de Medio Ambiente, <https://sinca.mma.gob.cl/>, 2022)

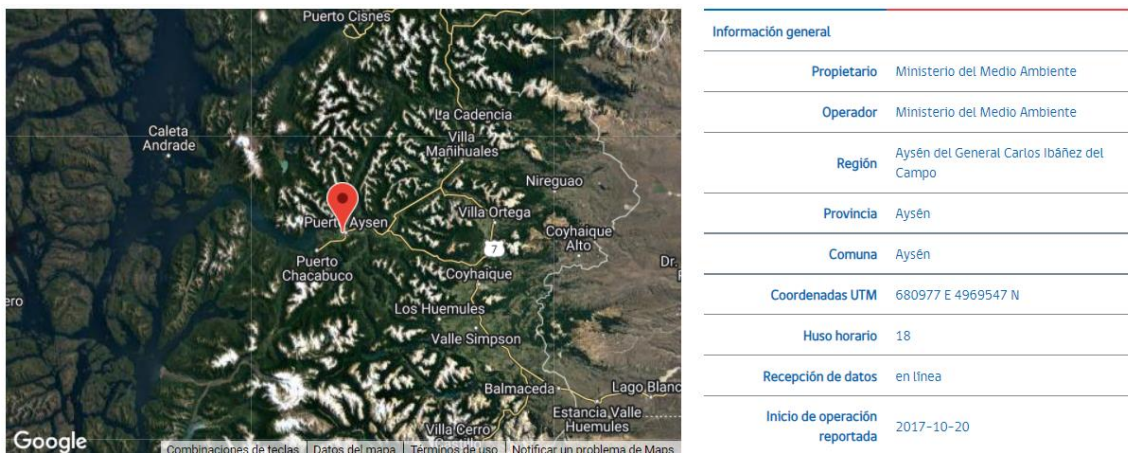


Tabla 2-3 Estación Vialidad

Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente, <https://sinca.mma.gob.cl/>, 2022)

Parámetro	Fecha primer registro	Fecha último registro	Técnica de medición	Gráficos
Material particulado MP 2,5 (MP 2,5 - $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24-10-2017	2022-03-10	ATENUACION BETA - MET ONE 1020	Gráfico

[Gráfico](#) registros horarios disponibles desde 26-12-2004 hasta 10-03-2022

Tabla 2-4 Parámetros contaminantes

Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente, <https://sinca.mma.gob.cl/>, 2022)

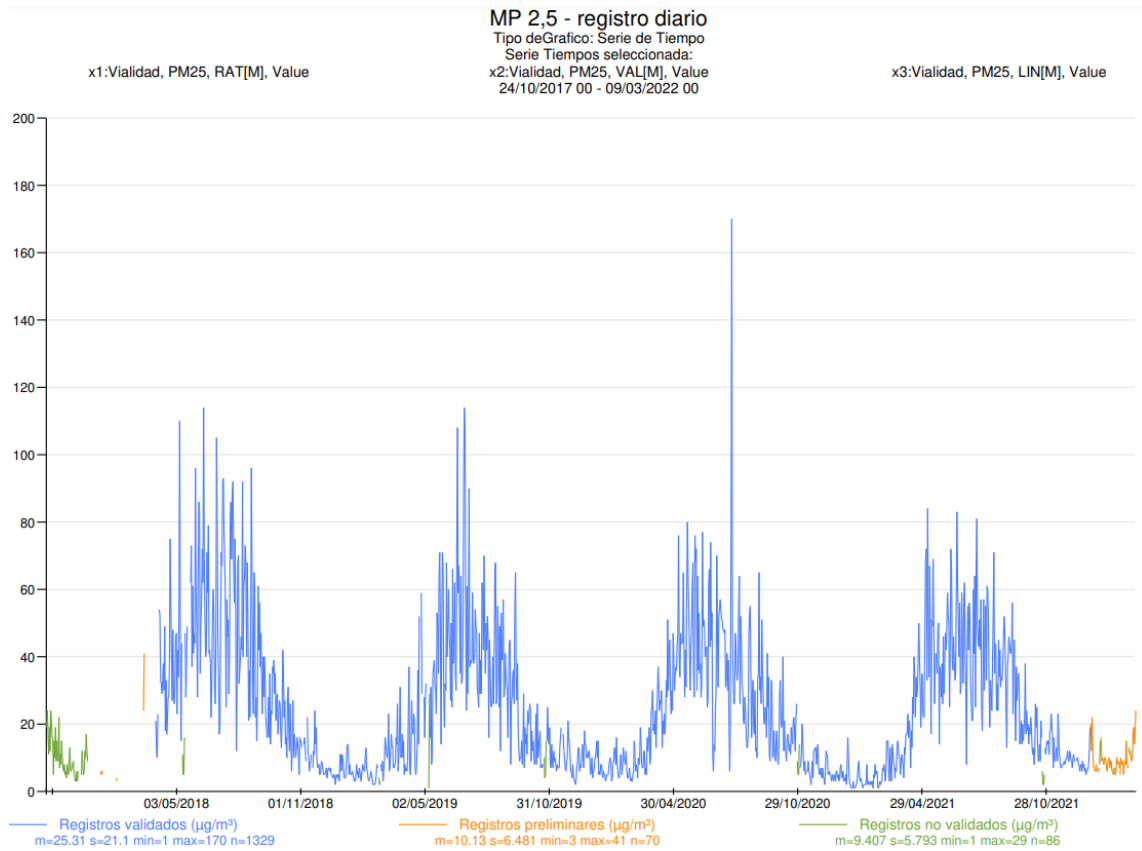


Gráfico 2-3 MP 2.5 Registro diario

Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente, <https://sinca.mma.gob.cl/>, 2022)

Parámetro	Frecuencia	Altura de medición	Fecha primer registro	Fecha último registro	Técnica de medición	Gráficos
Humedad relativa del aire (Humedad relativa - %)	horario	3 m	23-10-2017	10-03-2022	SENSOR - VAISALA HMP155	W
Temperatura ambiente (Temperatura - °C)	horario	3 m	25-10-2017	10-03-2022	SENSOR - VAISALA HMP155	W
Dirección del viento (Dir. viento - °)	horario	10 m	23-10-2017	10-03-2022	Veleta y potenciómetro.	W
Velocidad del viento (Vel. viento - m/s)	horario	10 m	23-10-2017	10-03-2022	Anemómetro	W
Total			4 parámetros meteorológicos			

Tabla 2-5 Parámetros meteorológicos

Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente, <https://sinca.mma.gob.cl/>, 2022)

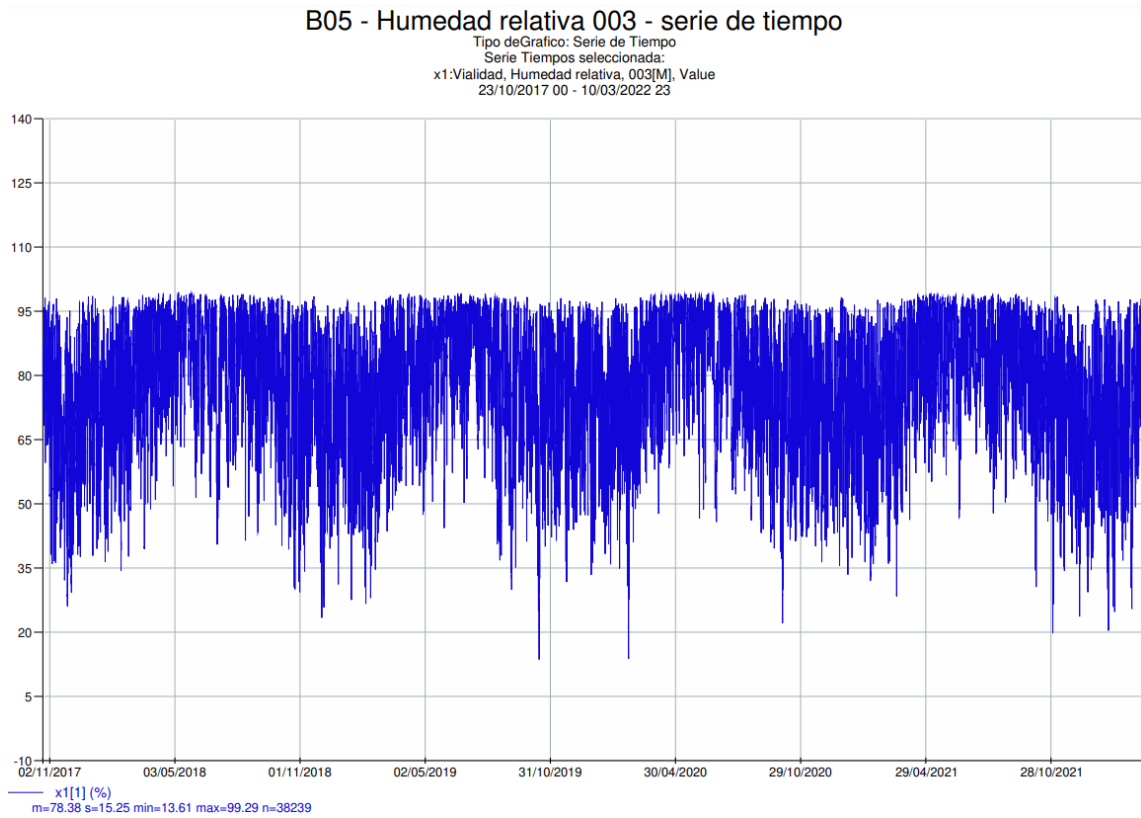


Gráfico 2-4 Humedad relativa

Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente, <https://sinca.mma.gob.cl/>, 2022)

B05 - Temperatura 003 - serie de tiempo

Tipo deGráfico: Serie de Tiempo
Serie Tiempos seleccionada:
x1:Vialidad, Temperatura, 003[M], Value
25/10/2017 00 - 10/03/2022 23

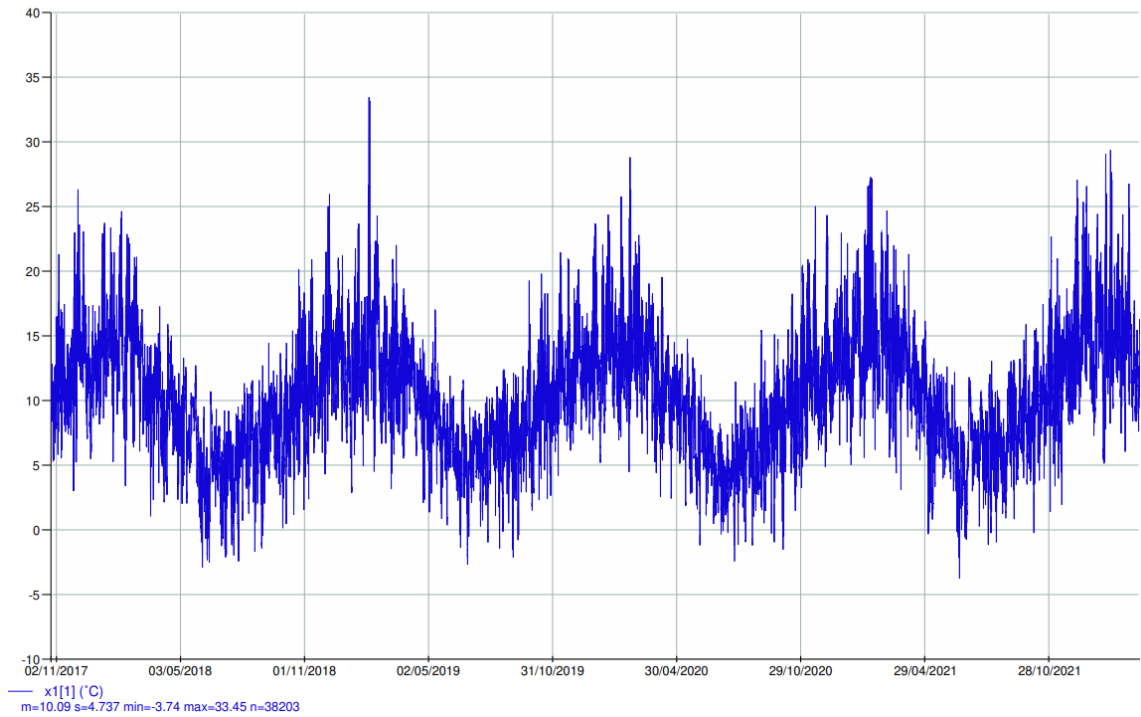
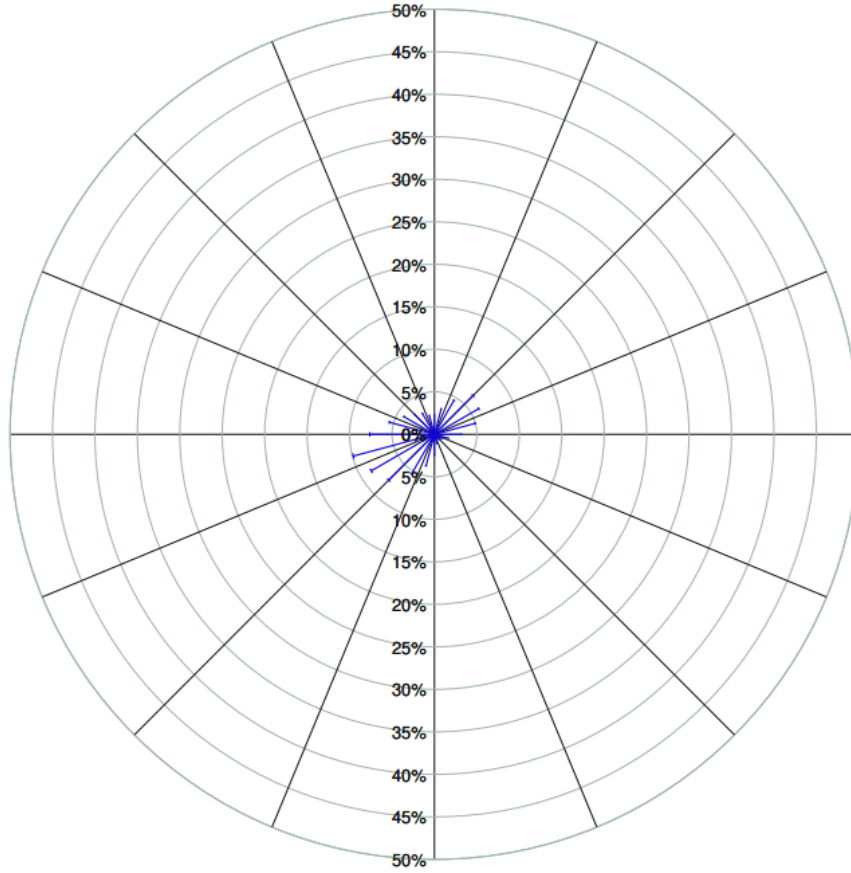


Gráfico 2-5 Temperatura ambiente

Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente, <https://sinca.mma.gob.cl/>, 2022)

B05 - Dir. viento 010 - rosa de los vientos

Tipo deGrafico: Freq/Sector (Rosa Vientos)
Serie Tiempos seleccionada:
x1:Vialidad, Dir. viento, 010[M], Value
23/10/2017 00 - 10/03/2022 23
Tamaño Sector=15

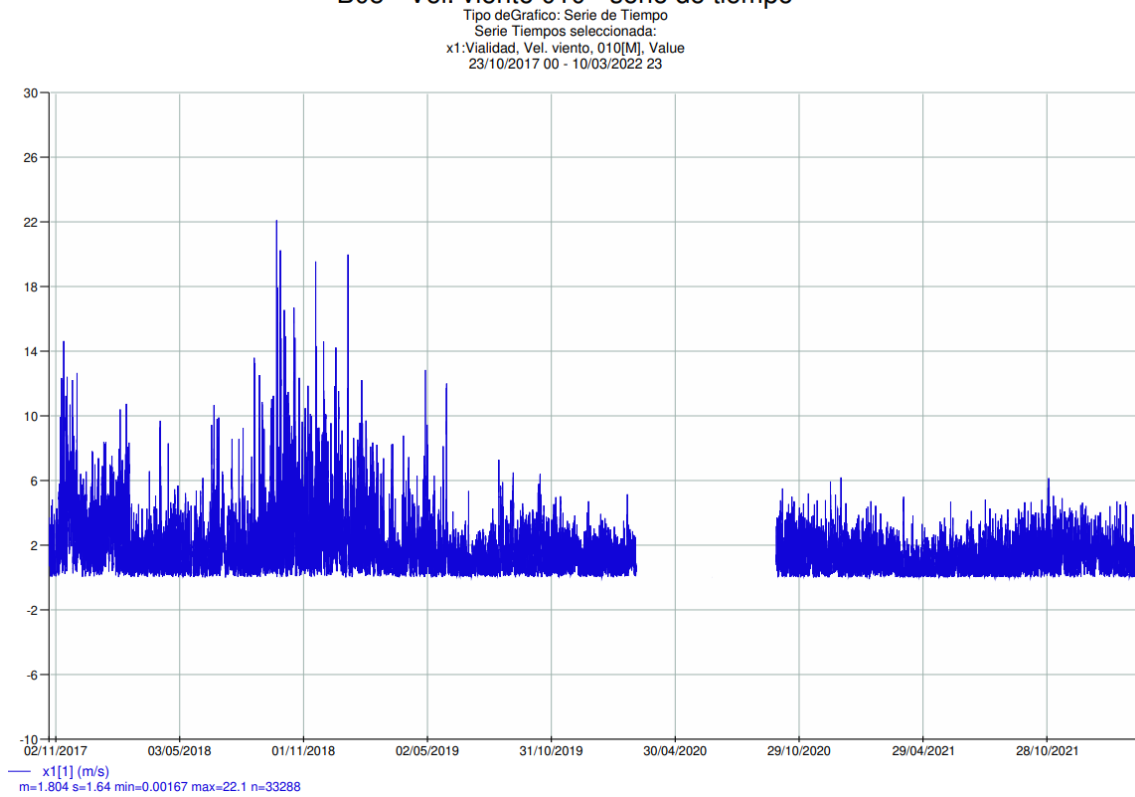


Di: x1[1]
n=33288 (38399)

Gráfico 2-6 Dirección del viento

Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente, <https://sinca.mma.gob.cl/>, 2022)

B05 - Vel. viento 010 - serie de tiempo

*Gráfico 2-7 Velocidad del viento*

Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente, <https://sinca.mma.gob.cl/>, 2022)

3 DESARROLLO DE CÁLCULOS PARA EL DISEÑO

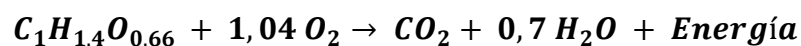
3.1 COMBUSTIÓN DE LA MADERA

La finalidad de una transformación termoquímica de un combustible de origen biológico es la de preparar energía térmica mediante una transformación química, que ocurre con la oxidación, generando productos gaseosos y restos minerales.,

La biomasa se transforma en energía al ingresar a la cámara de combustión en diferentes etapas. Primero, la combustión comienza con el secado a los 100 y 150°C donde se libera la humedad. Luego comienza a aumentar la temperatura, por lo que, al evaporarse el agua ubicada en las paredes celulares de la biomasa. La pirólisis comienza entre los 160 y 180°C, comenzando en primer lugar la destrucción de la lignina, el principal componente de la madera junto a la celulosa y hemicelulosa. A mayor temperatura incrementan las reacciones de descomposición generando moléculas menores. A partir de los 250°C se cambia de un proceso endotérmico a uno exotérmico, debido a la gran descomposición, la cual genera más energía de la necesaria. Luego de esta etapa hasta los 600°C, las reacciones de la pirólisis no son controlables. En esta etapa la madera ya está seca y ha perdido en forma de vapor de agua, dióxido de carbono el 85% de su masa quedando un carbón con alto contenido calórico.

Durante la pirólisis se libera el 70% del poder calorífico de la madera y los gases producidos están conformados por monóxido de carbono, uniones orgánicas e hidrógeno que reaccionan con el aire, generando dióxido de carbono y agua, liberando gran cantidad de energía.

En la llama ocurren reacciones entre moléculas y átomos que poseen electrones sin aparear, nombrados radicales. En esta etapa se necesita un gran aporte de oxígeno para la mezcla con los gases combustibles. Esta cantidad de oxígeno necesario para una combustión se puede determinar en forma estequiométrica.



Mediante la ecuación anterior se obtiene que son necesarios 1,39 kilogramos de oxígeno para la quema de un kilogramo de madera con un 0% de humedad y equivalentes a 0,97

metros cúbicos de oxígeno a presión normal y temperatura de 0°C. Si el aire contiene un 21% de oxígeno para quemar un kilogramo de madera se necesita 4,62 metros cúbicos de aire.

Como producto final de la gasificación de la biomasa se obtiene el carbón, que es quemado a temperaturas superiores a 600°C y no se producen llamas. Produciendo la oxidación el 30% del poder calorífico de la madera. Luego de esta etapa quedan cenizas correspondientes al 0,5 y 1% de la madera. (Marutzky & Seeger, 1999)

3.1.1 Poder calorífico superior de un combustible

Si se tiene que todos los elementos participantes en la combustión (combustible y comburente) se introducen a 0°C y los resultantes (gases de combustión) también a 0°C luego de la combustión, el vapor de agua se considera totalmente condensado.

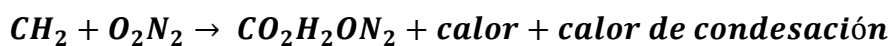
El vapor de agua presente en la combustión tiene su origen en: Humedad propia del combustible y agua formada por la reacción del hidrógeno presente en el combustible.

De esta manera al condensar todo el vapor de agua contenido en los gases resultantes de la combustión se obtiene energía en forma de calor de:

$$597 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg}_{\text{vapor de agua condensado}}} \right]$$

3.1.1.1 Obtención del Poder Calorífico Superior de un Combustible

Para lograr la obtención del poder calorífico superior de un combustible, es necesario que todo el carbono presente se oxide completamente convirtiéndose en anhídrido carbónico y sumando la cantidad de calor generado durante la condensación.



3.1.2 Poder calorífico inferior

El PCI considera al vapor de agua que forma parte de los gases de combustión no condensable.

Por lo tanto, no existe este aporte adicional de calor proveniente del vapor de agua.

Se considera solamente al calor de oxidación del combustible, y se denomina:

- *Poder calorífico inferior del combustible*

3.1.2.1 Obtención del Poder Calorífico Inferior de un Combustible

Para lograr la obtención poder calorífico inferior de un combustible es necesario que todo el carbono se oxide completamente convirtiéndose en anhídrido carbónico excluyendo la cantidad de calor que podría producirse en la condensación.



3.1.3 Relación entre los poderes caloríficos

$$Pci = Pcs - 597 * G$$

Donde:

$$Pci : \text{Poder calorífico inferior} \left[\frac{kcal}{kg_{combustible}} \right]$$

$$Pcs : \text{Poder calorífico superior} \left[\frac{kcal}{kg_{combustible}} \right]$$

$$597 : \text{Calor de condensación del agua a } 0^\circ C \left[\frac{kcal}{kg_{agua}} \right]$$

G : Porcentaje en peso del agua formada por la combustión del H_2 mas la humedad propia

$$\text{del combustible} \left[\frac{kg_{agua}}{kg_{combustible}} \right] G = 9H + H_2O$$

Siendo:

9: Kilogramos de agua formados al oxidar un kilogramo de hidrógeno.

H: Porcentaje de hidrógeno que forma parte del combustible.

H₂O=Porcentaje de humedad formando parte del combustible.

Por lo tanto:

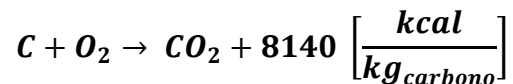
$$P_{ci} = P_{cs} - 597 * (9H + H_2O)$$

3.1.4 Determinación del poder calorífico mediante el método analítico

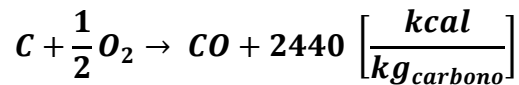
3.1.4.1 Poder calorífico del carbono

Si el carbono logra combinarse con suficiente oxígeno, se quema totalmente formando anhídrido carbónico con desprendimiento de energía.

La reacción sería:



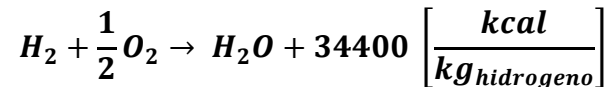
Si el oxígeno presente en la combustión no es suficiente, el carbono se oxida de forma incompleta generando monóxido de carbono con liberación de energía en baja cantidad, según lo siguiente:



3.1.4.2 Poder calorífico del hidrogeno

Poder calorífico superior (hidrogeno)

El hidrogeno combinado con el oxígeno totalmente, dando como resultado agua con desprendimiento de energía en forma de calor.



Este valor incluye el calor cedido por la condensación del vapor de agua formado en la combustión, por lo que, de acuerdo a lo anterior, corresponde al poder calorífico superior del hidrogeno:

$$Pcs = 34400 \left[\frac{kcal}{kg_{hidrogeno}} \right]$$

Poder calorífico inferior (hidrogeno)

Cuando no es posible aprovechar calor de condensación, al calor liberado en la oxidación del hidrogeno se le descontara el calor que pierde al no condensar el vapor de agua, así se obtiene el poder calorífico inferior.

$$Pci = Pcs - 600 * (9H + H_2O)$$

Considerando:

$H_2O = 0$ Ya que se asume que no existe humedad en el combustible.

$H = 1kg$ de hidrogeno

Resulta:

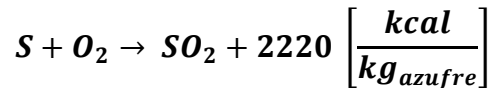
$$Pci = 34400 - 600 * 9$$

$$Pci = 34400 - 5400$$

$$Pci = 29000 \left[\frac{kcal}{kg_{hidrogeno}} \right]$$

3.1.4.3 Poder calorífico del azufre

El azufre es un elemento considerado contaminante del combustible y su presencia en la combustión es indeseable, aun así, cuando este elemento está presente y se oxida libera energía en forma de calor, como se muestra a continuación:



3.1.5 Formula de Dulong para el poder calorífico superior en un combustible seco

El físico Pierre Louis Dulong expresa que, por el principio de conservación de la energía, el poder calorífico superior de un combustible, sea este: seco, sólido o líquido, que contenga carbono, hidrógeno y azufre en su composición, con la siguiente expresión:

$$P_{cs} = 8100 * C + 34000 * \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2500 * S$$

Donde:

C: cantidad de carbono en peso por kilogramo combustible.

H: cantidad de hidrógeno total en peso por kilogramo de combustible.

O: cantidad de oxígeno en peso por kilogramo combustible.

S: cantidad de azufre en peso por kilogramo combustible.

O / 8: cantidad de hidrógeno en peso que se encuentra combinado con el oxígeno del mismo combustible dando " agua de combinación".

(H - O/8): cantidad de "hidrógeno disponible", en peso disponible para que reaccione con el oxígeno del aire, dando como resultado "agua de formación".

3.2 TERMOQUÍMICA DE LA BIOMASA

La madera y la biomasa en general, expuesta a alta temperatura, gracias a que está compuesta principalmente de C (50%) O (45%) e H (6%), reacciona en las siguientes etapas:

La primera etapa se encuentra entre 30 y 170°C corresponde principalmente a la deshidratación de la madera y destilación de algunos aceites esenciales.

La segunda etapa se encuentra entre 130 y 270°C, degradando la lignina y sufriendo procesos de deshidratación y/o despolimerización, formándose brea primaria que es una masa oscura y de apariencia vidriosa formada por hidrocarburos pesados, además aparecen gases no condensables como CO₂ y CO.

En la tercera etapa, entre 275 y 300°C empiezan a degradarse las hemicelulosas desprendiendo compuestos tales como: ácido acético, furano, metanol, butanodiona, propanona y gases: CO₂ y CO, a su vez la celulosa empieza a despolimerizarse.

En la cuarta etapa que va desde los 300 a los 600°C, se degradan por deshidratación las celulosas, formando en este proceso, gases no condensables de CO₂; H₂O y CO. Y la reacción que ocurre en ese entonces comienza a ser exotérmica.

	PCI		Humedad
	(kJ/kg)	(kWh/kg)	b.h. (%)
Pélets	17.000 – 19.000	4,7 – 5,3	< 15
Astillas	10.000 – 16.000	2,8 – 4,4	< 40
Hueso de aceituna	18.000 – 19.000	5,0 – 5,3	7 - 12
Cáscara de frutos secos	16.000 – 19.000	4,4 – 5,3	8 - 15
Leña	14.400 – 16.200	4,0 – 4,5	< 20
Briquetas	17.000 – 19.000	4,7 – 5,3	< 20

b.h.: base húmeda.

Tabla 3-1 Poder inferior calorífico de algunas especies según su nivel de humedad

Fuente: (Marcos García Glez, 2015)

3.2.1 Cálculo de poder calorífico superior de la leña (PCS)

La madera esta fundamentalmente compuesta de carbono, oxígeno e hidrógeno, lo que le da su característica de material combustible y cuyo poder calorífico superior teórico aproximado es:

$$PCS = 8100 * C + 34000 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2500 * S$$

$$PCS = 8100 * 0.51 + 34000 \left(0.06 - \frac{0.43}{8} \right) + 2500 * 0.0005$$

$$PCS = 4131 + 34000 (0.06 - 0.054) + 1.25 = 4344 \left[\frac{kcal}{kg} \right]$$

C el porcentaje de carbono alrededor de 51% (0,51)

H el porcentaje de hidrógeno alrededor de 6% (0,06)

O el porcentaje de oxígeno alrededor de 43% (0,43)

S el porcentaje de azufre alrededor de 0.05% (0.0005)

3.2.2 Cálculo de poder calorífico inferior de la leña (PCI)

Cuando la madera contiene agua su poder calorífico se ve reducido, primero su propio contenido del agua en su composición y también porque gran parte de la energía calorífica de la madera se utiliza para evaporar agua. El poder calorífico inferior de la madera que contiene un porcentaje unitario h de humedad es el siguiente:

$$Pci = Pcs - 597 * (9H + H_2O)$$

$$Pci(leña) = 4344 - 597 * (9 * 0.06 + 0.2) = 3902 \left[\frac{kcal}{kg_{leña}} \right]$$

$$Sí, 859.85 \left[\frac{kcal}{kg} \right] = 1kW \rightarrow 3902 \left[\frac{kcal}{kg} \right] = 4.54 \left[\frac{kW}{kg} \right]$$

Así, si la leña se encuentra con una humedad del 20%, el poder calorífico resulta de

$$3902 \left[\frac{kcal}{kg} \right] \text{equivalentes a } 4.54 \left[\frac{kW}{kg} \right]$$

3.2.3 Cálculo de potencia útil por kg de leña

Se estima que, entre un 20 al 40% del poder calorífico generado en el hogar de la estufa se pierde por la chimenea junto a los gases de combustión.

$$\text{Potencia útil (20\% de pérdida)} = P_{ci} - (P_{ci} * 0.2)$$

$$\text{Potencia útil} = \frac{4.54kW}{kg} - \left(\frac{4.54kW}{kg} * 0.2 \right) = 3.632 \left[\frac{kW}{kg} \right]$$

$$\eta = \frac{\text{Potencia útil}}{\text{Potencia teórica}(P_{ci})} * 100 \rightarrow \frac{3.632}{4.54} * 100 = 80\%$$

Combustible requerido

La capacidad de leña de la cámara de combustión necesaria para calefaccionar 70 m² en una casa con **aislación normal** es:

$$\frac{7 [kW]}{3.632 \left[\frac{kW}{kg} \right]} = 1.93 \text{ kg leña}$$

Considerando los cálculos anteriores, para una vivienda con una superficie de $70m^2$ será necesario como mínimo, una estufa con una cámara de combustión con un volumen necesario para alojar 2 kg de leña.

1 kg leña

51% carbono 510g pm 8

6% hidrogeno 60g pm 1

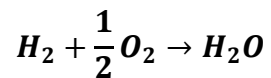
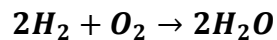
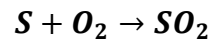
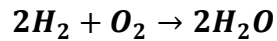
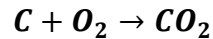
43% oxigeno 430g pm 16

Azufre 0.05 g pm 32

Poder comburívoro

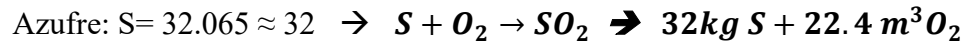
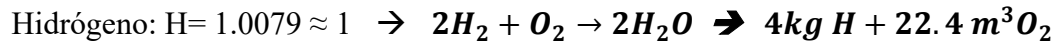
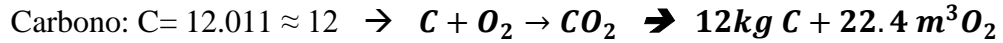
El volumen que ocupa un mol de un gas ideal cualquiera y en condiciones normales de presión y temperatura (1 atm, 0° C) es de 22,4 litros.

Cualquier combustible que posea C kg de carbono, H kg de hidrógeno y S kg de azufre, debería reaccionar:



Masa atómica relativa

Si consideramos que $1 \text{ mol de } O_2 = 22.4 \text{ m}^3 O_2$



Volumen de oxígeno necesario para quemar 1 kg de combustible

$$V_{O_2} = 22.4 \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{S}{32} - \frac{O}{32} \right) \left[\frac{m^3}{kg} \right] \rightarrow 22.4 \left\{ \frac{C}{12} + \frac{S}{32} + \frac{1}{4} \left(H - \frac{O}{8} \right) \right\} \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

En la que $\frac{O}{32}$ es el oxígeno contenido en el combustible.

La expresión $\left(H - \frac{O}{32} \right)$ es denominada hidrógeno disponible.

El hidrógeno disponible representa la cantidad de hidrógeno que queda en el combustible aun después de quemar el propio hidrógeno del combustible con el oxígeno existente, pues son necesarios 8 gramos de oxígeno para reaccionar con 1 gramo de hidrógeno.

$$V_{O_2} = 22.4 \left\{ \frac{0.51}{12} + \frac{0.0005}{32} + \frac{1}{4} \left(0.06 - \frac{0.43}{8} \right) \right\} \left[\frac{m^3}{kg} \right] = 0.99 \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

Volumen de aire mínimo por kg de combustible

Ya que solamente el 21% del aire es oxígeno, entonces el volumen de aire mínimo necesario para oxidar 1 kg de combustible es:

$$V_{aire} = \frac{22.4}{0.21} \left\{ \frac{C}{12} + \frac{S}{32} + \frac{1}{4} \left(H - \frac{O}{8} \right) \right\} \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

$$V_{aire} = \frac{22.4}{0.21} \left\{ \frac{0.51}{12} + \frac{0.0005}{32} + \frac{1}{4} \left(0.06 - \frac{0.43}{8} \right) \right\} \left[\frac{m^3}{kg} \right] = 4.7 \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

Volumen de aire mínimo por kg de combustible

Existen fórmulas empíricas que permiten calcular el volumen de aire necesario por kg. de combustible, en función a la potencia calorífica inferior P_{inf} del mismo:

Para combustibles sólidos

$$V_{aire\ minimo} = \left(\frac{1.01 * P_{inf}}{1000} + 0.5 \right) \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

$$V_{aire\ minimo} = \left(\frac{1.01 * 3903 \left[\frac{kcal}{kg} \right]}{1000} + 0.5 \right) \left[\frac{m^3}{kg} \right] = 4.4 \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

Cálculos para obtener el poder fumígeno

El poder fumígeno representa la cantidad de humos producidos durante la combustión de algún combustible. Si se considera que la combustión se realiza utilizando como comburente el aire y no solo oxígeno puro, los gases resultantes de la combustión serán,

para una combustión considerada perfecta: anhídrido carbónico, vapor de agua y nitrógeno, y, además, cuando la combustión es incompleta: óxido de carbono.

También puede estar presente oxígeno procedente del aire como consecuencia del exceso, y si el combustible contiene azufre, habrá también óxidos de azufre.

La cantidad de gases de combustión, que por 1 kg de combustible tiene C kg de carbono, H kg de hidrógeno, S kg de azufre y Z kg de cenizas, se obtienen:

Volumen de los humos secos:

$$V_{hs} = V_{H_2} + V_{CO_2} + V_{SO_2} = \frac{79}{21} \left\{ \frac{C}{12} + \frac{S}{32} + \frac{1}{4} \left(H - \frac{O}{8} \right) \right\} + 22.4 \left(\frac{C}{12} + \frac{S}{32} \right) \left[\frac{m^3_{hum}}{kg_{com}} \right]$$

$$V_{hs} = 22.4 \left\{ \frac{100}{21} \left(\frac{C}{12} + \frac{S}{32} \right) + \frac{79}{21} \left(\frac{8H - O}{32} \right) \right\} \left[\frac{m^3_{hum}}{kg_{com}} \right]$$

$$V_{hs} = 22.4 \left\{ \frac{100}{21} \left(\frac{0.51}{12} + \frac{0.0005}{32} \right) + \frac{79}{21} \left(\frac{8 * 0.06 - 0.43}{32} \right) \right\} = 4.67 \left[\frac{m^3_{hum}}{kg_{com}} \right]$$

Formula empírica para calcular el volumen de humos totales producidos por un combustible en función de su poder calorífico inferior.

Para combustibles sólidos:

$$V_{ht} = \left(\frac{0.89 * P_{inf}}{1000} + 1.65 \right) \left[\frac{m^3_{hum}}{kg_{com}} \right]$$

$$V_{ht} = \left(\frac{0.89 * 3903 \left[\frac{kcal}{kg} \right]}{1000} + 1.65 \right) = 5.12 \left[\frac{m^3_{hum}}{kg_{com}} \right]$$

Diagrama de Ostwald

Con el diagrama de Ostwald es posible representar de forma gráfica, sobre un plano de ejes ortogonales, el porcentaje de oxígeno en los horizontales y el dióxido de carbono en los verticales, los valores de la combustión y la composición de los humos resultantes.

Contiene parámetros fundamentales en la combustión:

- Aire estequiométrico
- Aire en exceso

Con esta representación se muestra un único cuadrante, que es el primero, ya que por lógica es imposible considerar valores de porcentaje negativo en el cálculo de gases.

Para representar una combustión en el diagrama de Ostwald es necesario verificar que se cumplan las siguientes condiciones:

La totalidad del carbono C presente en el combustible debe transformarse en CO_2 (dióxido de carbono) o CO (monóxido de carbono) de tal manera que no exista carbono C libre.

Todo el hidrógeno H presente en el combustible debe formar agua (H_2O) para que no exista hidrógeno libre H_2 durante la combustión.

El azufre S presente en el combustible debe oxidarse en su totalidad en SO_2 .

Composición másica de la madera

C [kg _C /kg _{comb}]	H [kg _H /kg _{comb}]	O [kg _O /kg _{comb}]	S [kg _S /kg _{comb}]	N [kg _N /kg _{comb}]	H ₂ O [kg _{H₂O} /kg _{comb}]
0.51	0.06	0.43	0.0005	0	0.2

Resultados

Hd [kg _{Hd} /kg _{comb}]	Volumen de O ₂ mínimo [Nm ³ /kg _{comb}]	Volumen de aire mínimo [Nm ³ /kg _{comb}]	Volumen de humos secos [Nm ³ /kg _{comb}]	Volumen de humos húmedos [Nm ³ /kg _{comb}]	Alfa[%]	CO_max[%]	%O ₂ _max
0.01	0.99	4.70	4.67	5.59	20.41	33.12	21.00

Tabla 3-2 Composición másica de la madera utilizada en el estudio

Fuente: (Universidad Politécnica de Valencia, 2020)

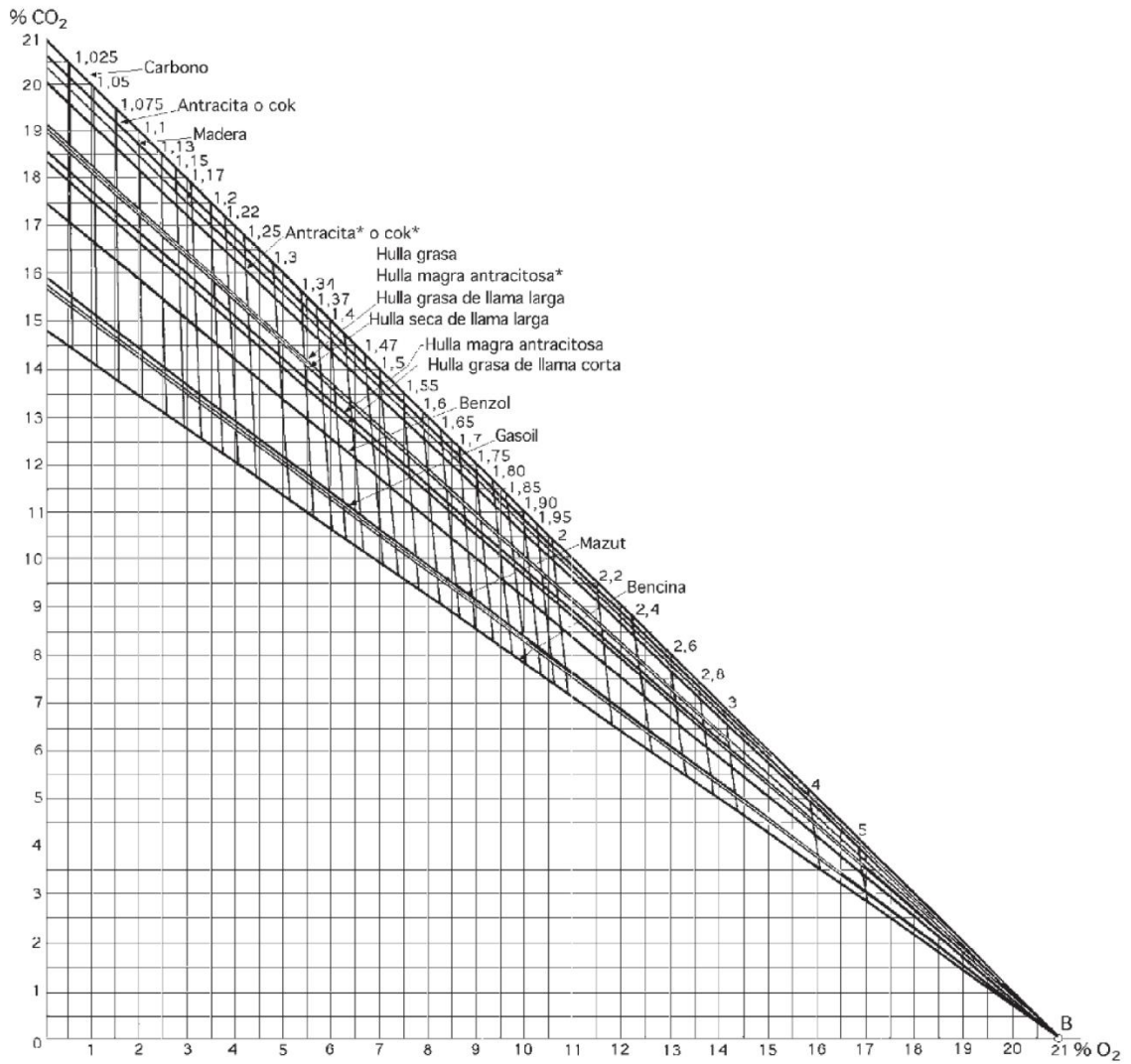


Figura 3-1 Diagrama de Ostwald

Fuente: (Fernandez Diez, 1992)

%O2	%CO2	Volumen de aire de exceso[Nm3/kgcomb]	Volumen de aire real[Nm3/kgcomb]	Exceso de aire[%]	%CO
21	18.7	-14.08	-9.38	-199.51	-30.35

Diagrama de Ostwald

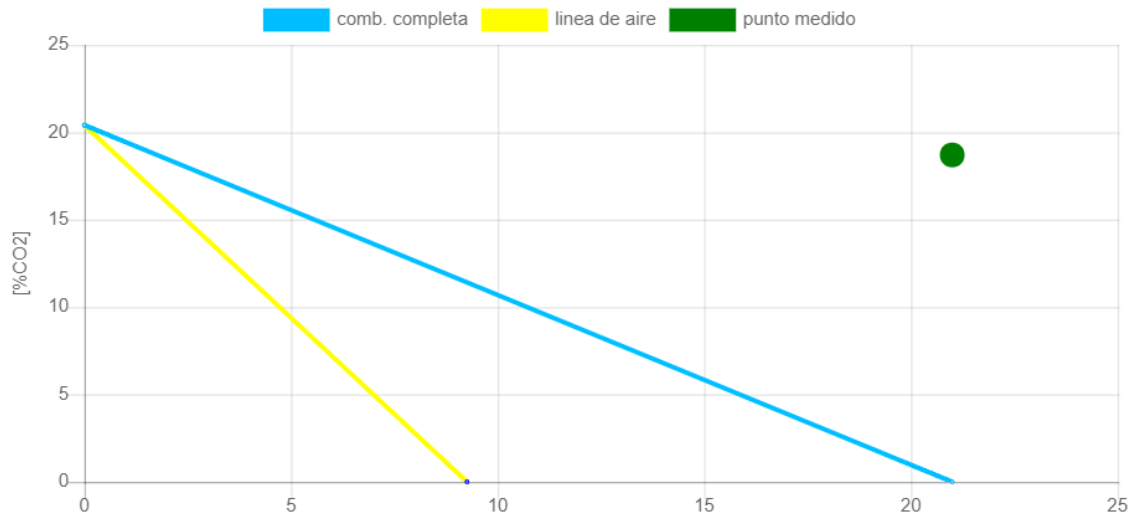


Figura 3-2 Volumen de humos según diagrama de Ostwald

Fuente: (Universidad Politécnica de Valencia, 2020)

$$e(\%) = \frac{\text{aire real} - \text{aire estequimetrico}}{\text{aire estequimetrico}} * 100 =$$

$$e(\%) = \frac{14.1 \left[\frac{m^3}{kg} \right] - 4.7 \left[\frac{m^3}{kg} \right]}{4.7 \left[\frac{m^3}{kg} \right]} * 100 = 200\%$$

Resumen de resultados

Ítem	Valor	Unidad
Volumen teórico de oxígeno	0.99	m^3/kg
Volumen de aire teórico	4.71	m^3/kg
Volumen de CO_2 teórico	0.89	m^3/kg
Volumen de H_2O teórico	0.65	m^3/kg
Volumen de SO_2 teórico	0.05	m^3/kg
Volumen de N_2 teórico	3.4	m^3/kg
Volumen total de gases teórico	5.3	m^3/kg

Tabla 3-3 Resultados obtenidos para la necesidad de aire durante la combustión

Fuente: (Elaboración propia en base a los resultados obtenidos)

Gases de salida	%
CO_2 teórico	0.171
H_2O	0.126
SO_2	0.094
N_2	0.65
Total	1.0

Tabla 3-4 Resultados de gases de salida

Fuente: (Elaboración propia en base a los resultados obtenidos)

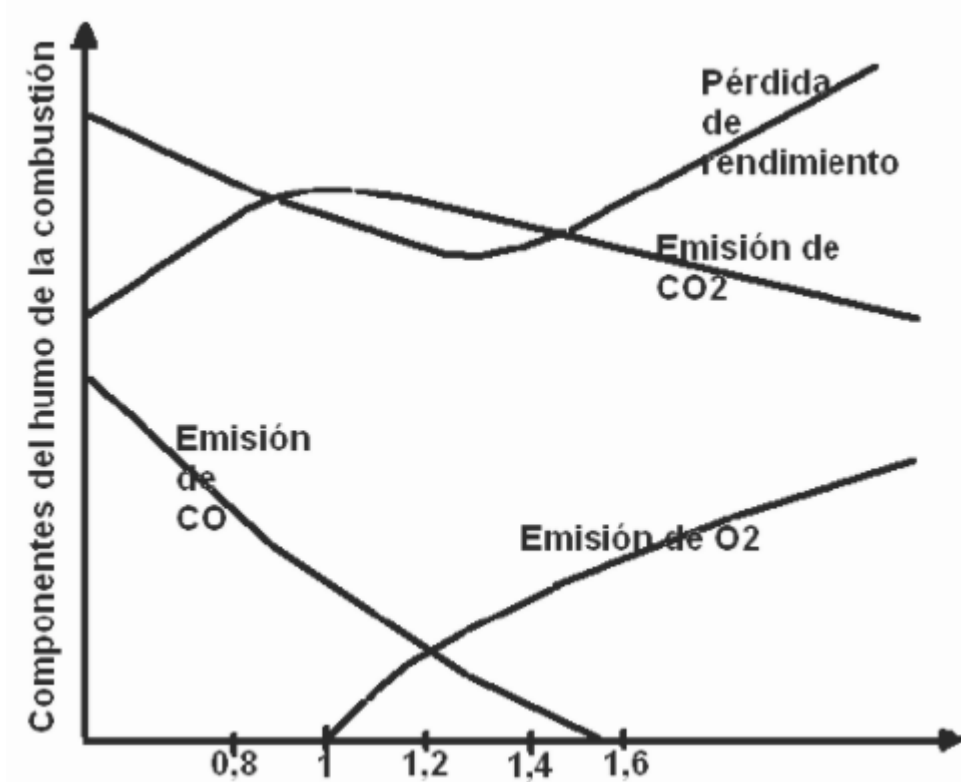


Figura 3-3 Relación entre aire inyectado y el necesario

Fuente: (Fernandez Diez, 1992)

3.3 ELECCIÓN DE DIMENSIONES PARA EL DISEÑO

Se utiliza Inventor 2020 para desarrollar la totalidad del diseño correspondiente al prototipo y, además, a través de este, se analizan las propiedades de los materiales utilizando análisis de elementos finitos.

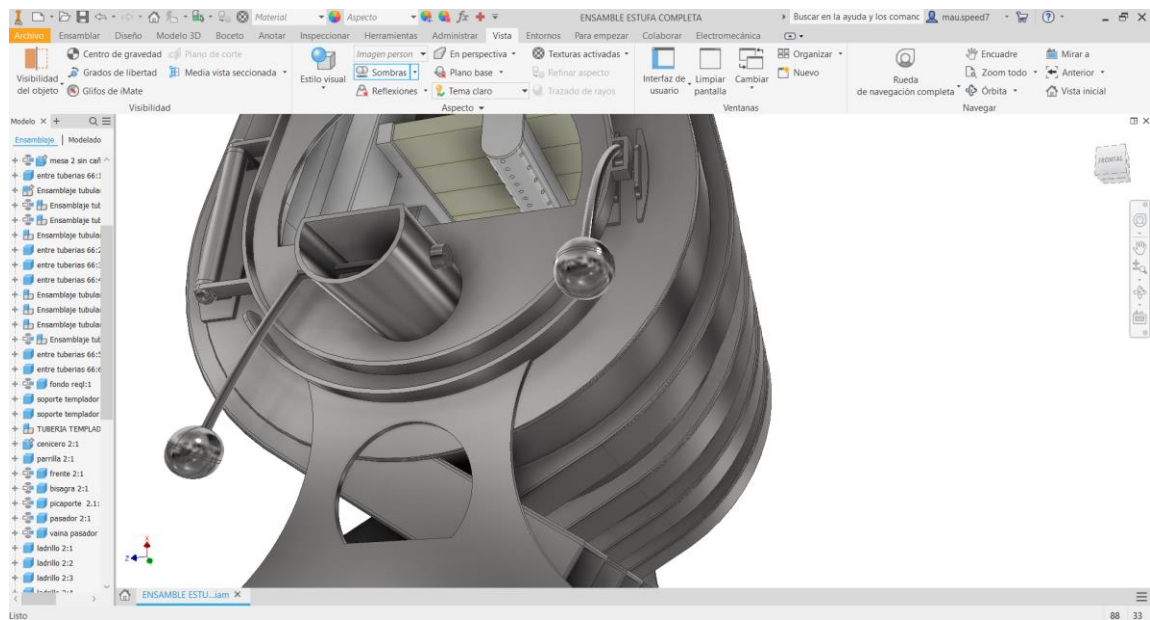


Figura 3-4 Screenshot durante el desarrollo del diseño en Inventor 2020

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

3.3.1 Tubulares de convección

Los tubulares de convección encargados de mover el aire caliente en el espacio habitación están diseñados para mover un caudal de 0.001 m^3 de fluido.

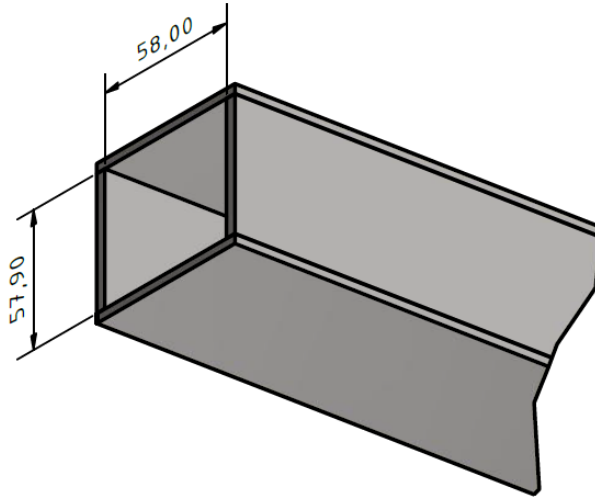


Figura 3-5 Sección tubular de convección

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

$$A_{tub\ convección} = 0.0034 \text{ [m}^2\text{]}$$

3.3.2 Sección de ingreso de combustible a la cámara de combustión

La entrada para la leña está diseñada en base a las dimensiones típicas de las astillas de leña utilizadas por usuarios de distintos tipos de aparatos calefactores.

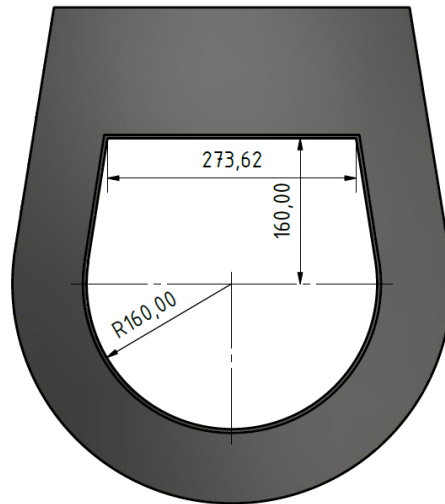


Figura 3-6 Sección Puerta entrada de cámara

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

$$A_{\text{entrada de leña}} = 0.088[m^2]$$

3.3.3 Sección de ingreso de aire a la cámara de combustión

El ingreso de aire a la cámara de combustión esta dado por la relación de las secciones de ingreso en una proporción de Aire primario y Aire secundario 35% y 65% respectivamente.

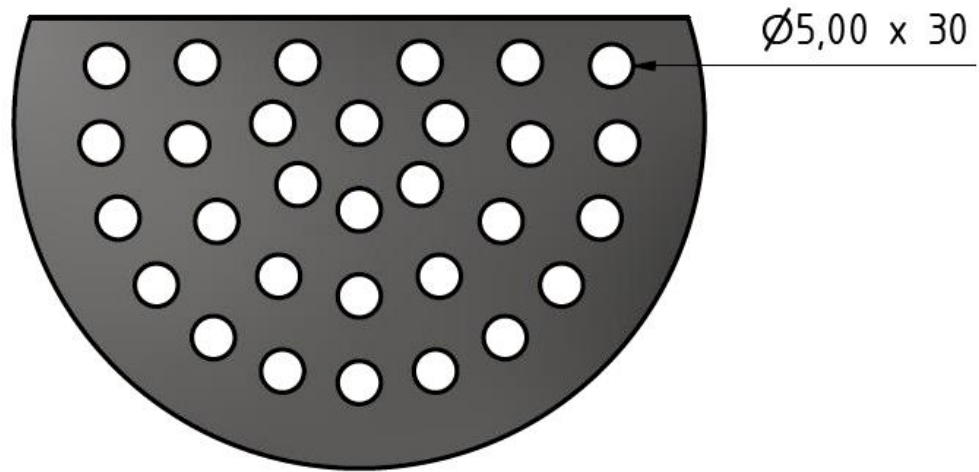


Figura 3-7 Sección entrada de aire primario

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

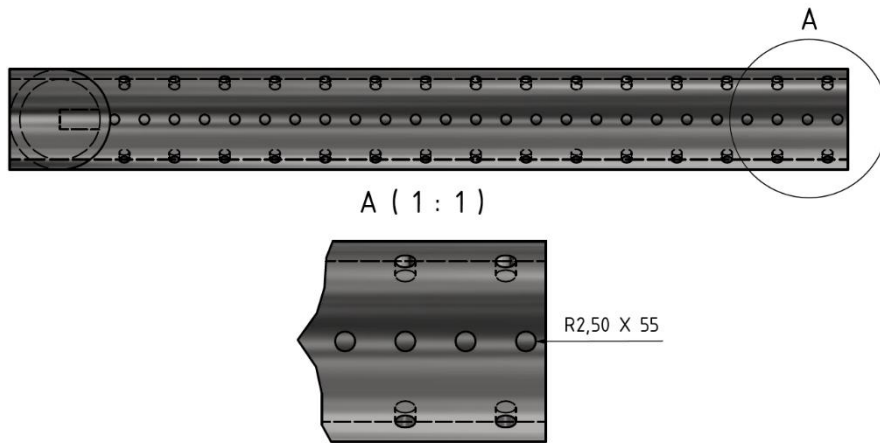


Figura 3-8 Sección inyector de aire secundario

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

$$Area_{aire\ primario} = 0.00002 [m^2] * 30 = 0.0006[m^2]$$

$$\mathbf{Area_{aire\ secundario} = 0.00002 [m^2] * 55 = 0.0011 [m^2]}$$

$$\mathbf{A_{total} = \sum A_{aire\ primario} + \sum A_{aire\ secundario}}$$

$$\mathbf{A_{total} = 0.0006[m^2] + 0.0011[m^2] = 0.0017[m^2]}$$

$$\mathbf{A_{Aire\ primario} = 35.2\%}$$

$$\mathbf{A_{Aire\ secundario} = 64.8\%}$$

4 SIMULACION UTILIZANDO SOFTWARE DE MODELADO

Este apartado está dedicado al cálculo de la potencia térmica del calefactor según el modelo preconstruido, realizado mediante el entorno de simulación 3D de SolidWorks 2021. Se han estudiado en detalle las características termofísicas de los procesos que pasan por los tubos de convección del calefactor.

En el transcurso de la simulación se obtuvieron los valores de la velocidad del flujo de aire y la distribución de la temperatura, la distribución de la temperatura de un sólido, la superficie del tubo de calor, que al final permite obtener los valores de la salida de calor del calefactor. Los datos obtenidos permitieron determinar el valor de la potencia térmica del calefactor y su módulo de simulación de flujo para modelar el flujo de líquidos y gases.

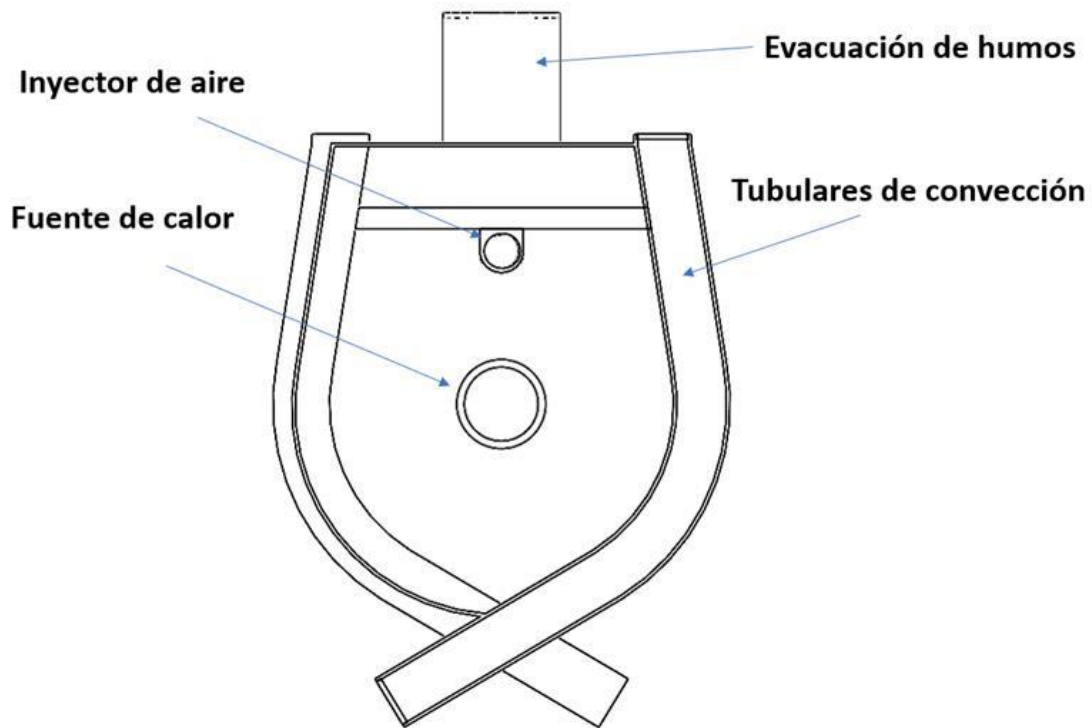


Figura 4-1 Modelo de estufa de convección llevado al estudio mediante software

Fuente: (Elaboración propia utilizando software SolidWorks 2021)

4.1 PARÁMETROS DE SIMULACIÓN

La simulación de flujo es una opción del software integrado en SolidWorks para el cálculo de flujos de líquidos y gases dentro y fuera del modelo de SolidWorks, y calcula la transferencia de calor desde, hacia y entre estos modelos por convección, radiación y conductividad térmica utilizando la tecnología de la hidrodinámica computacional (CFD).

El modelo paramétrico del calefactor que se muestra en la *Fig. 4-1* Consiste en una estructura compuesta de 8 tubulares planos construidos cada uno de ellos con 4 pletinas y conforman el sistema de convección de la estufa.

En la parte superior se encuentra el inyector, el cual expulsa aire precalentado hacia la cámara de combustión, específicamente justo encima de la llama, permitiendo la oxidación de la totalidad de los gases, en tanto en la parte inferior se encuentra la parrilla del cenicero donde se ubica la leña.

Por la parte externa encuentran la puerta del calefactor donde se ubica el regulador de entrada de aire primario, por la parte superior la salida de humos y por el posterior la entrada de aire secundario.

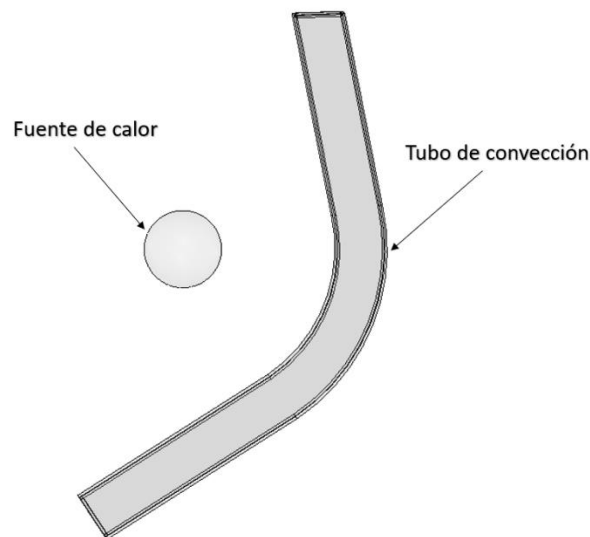


Figura 4-2 Modelado de un tubo de convección con una fuente de calor

Fuente: (Elaboración propia utilizando software SolidWorks 2021)

4.2 PROCEDIMIENTO

El material de combustión (madera) se representa como una fuente de calor volumétrica de forma esférica compuesta de berilio para asegurar la permanencia de su forma sin arrojar un error de derretimiento; El volumen de madera es el 35% del volumen total del calefactor; Para el ahorro de recursos informáticos, el cálculo se realiza inicialmente con solo un tubo de calor; La fuente de calor volumétrica se segmenta en términos porcentuales en relación con el área del tubo de calor que participa en el proceso de intercambio de calor.

En los parámetros de cálculo del modelo físico se han incluido tanto la conductividad térmica en los sólidos como el intercambio de calor radiante. Permitiendo resolver los problemas del intercambio de calor conjugado, es decir, considerar la convección junto con la conductividad térmica en los sólidos y el intercambio de calor por radiación.

Para la simulación el valor del coeficiente de emisión de calor para la esfera de berilio, se fija en $15 \text{ [W/m}^2\text{/K]}$, la presión atmosférica igual a 101325 [Pa] , en la entrada del tubo de calor, la velocidad de entrada del aire igual a 0 m/s a $20 \text{ [}^\circ\text{C]}$ y la capacidad de disipación de calor de la fuente de calor volumétrica se fija en 12147 W .

La temperatura y la velocidad del medio fluido, la temperatura del sólido, así como la densidad del flujo de calor se establecen como objetivo global.

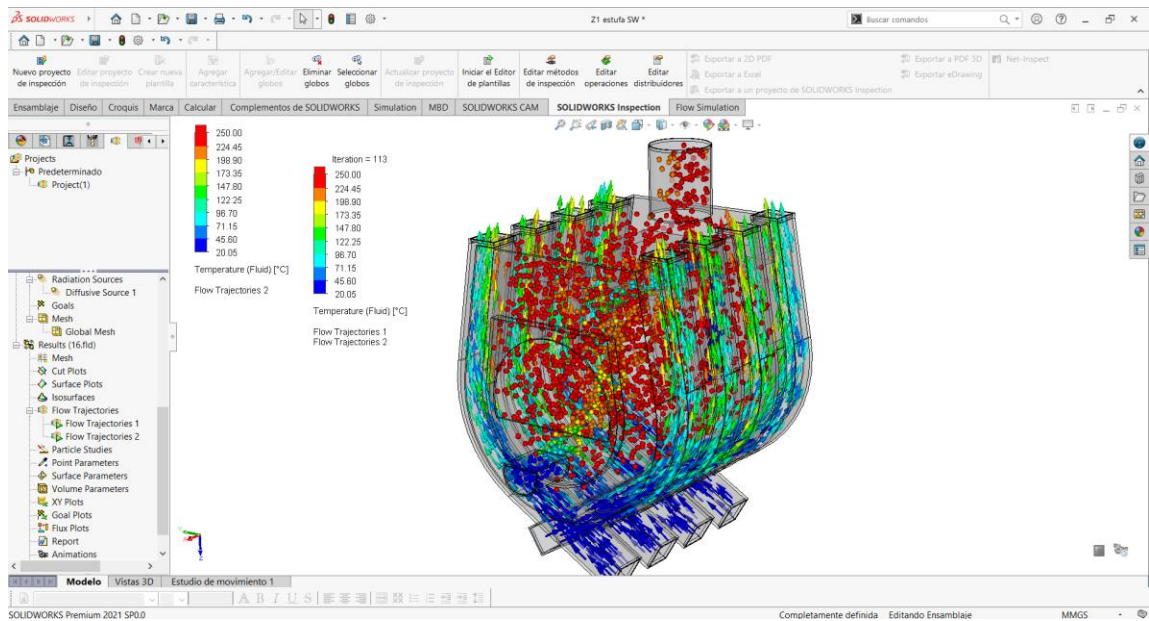


Figura 4-3 Screenshot durante simulación de trayectoria de aire, SolidWorks2021

Fuente: (Elaboración propia utilizando software SolidWorks 2021)

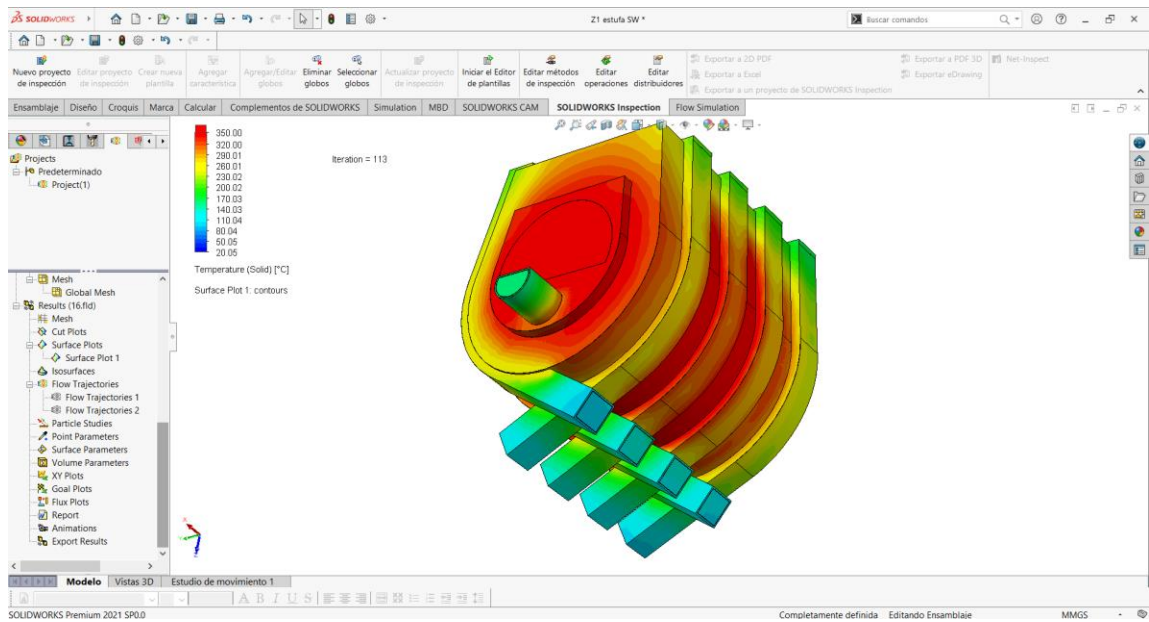


Figura 4-4 Screenshot durante proceso de simulación para sólidos, SolidWorks 2021

Fuente: (Elaboración propia utilizando software SolidWorks 2021)

4.3 Resultados

Parámetros	Mínimo	Máximo	Promedio
Presión [Pa]	101323,71	101324,82	101324,30
Velocidad [m/s]	0	1,03	0,020
Coefficiente de emisión de calor [W/m ² /K]	3,78E-07	115,69	5,80
Densidad superficial del flujo de calor [W/m ²]	6303,17	23302,03	229,46
Temperatura (Portador de fluido) [°C]	20,05	248,93	187,17
Temperatura (Cuerpo solido) [°C]	135,75	440,21	226,49
Potencia calorífica [KW]	6	8	7
Eficiencia	84%		

Tabla 4-1 Resumen de resultados en análisis SolidWorks 2021

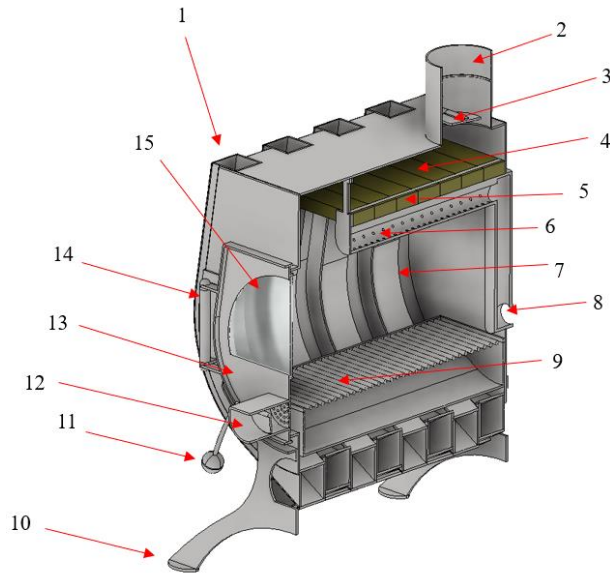
Fuente: (Elaboración propia con resultados obtenido de simulaciones en SolidWorks 2021)

Como resultado de los cálculos, se estudiaron en detalle las características termofísicas de los procesos que ocurren en los tubos de convección durante el proceso de combustión en el calefactor y permitieron determinar el valor de la potencia calorífica en un promedio de 7 kW/h

A través del modelado se ha podido evaluar la influencia de determinados factores ambientales en los resultados de las investigaciones experimentales de diversos fenómenos en flujos de baja velocidad. La utilización de las capacidades de la simulación de flujos permitió determinar de una forma cercana los valores reales de potencia calorífica.

Este método permite realizar cálculos con diferentes valores de la potencia de la fuente de calor, gracias a lo cual es posible variar la elección de los materiales de construcción para conseguir el coeficiente de rendimiento óptimo.

5 FABRICACIÓN Y COSTOS



Ítem	Parte
1	Tubo de convección
2	Evacuación de humos
3	Rregulador de tiro
4	Segunda cámara de combustión
5	Ladrillos refractarios
6	Templador
7	Primera cámara de combustión
8	Entrada de aire secundaria
9	Cenicero
10	Patas
11	Manilla entrada de aire
12	Entrada de aire principal
13	Puerta
14	Bisagra puerta
15	Vidrio vitrocerámico

Tabla 5-1 Elementos que forman parte de la estructura del diseño

Fuente: (Elaboración propia mediante herramientas de diseño en Inventor 2020)

5.1 INSUMOS Y MATERIAS PRIMAS

- Plancha de acero ASTM A-36 de 4 mm de espesor
- Plancha de acero ASTM A-36 de 5 mm de espesor
- Vidrio termo cerámico de 5mm de espesor de resistencia mínima a 1000 °C
- Barra redonda de acero ASTM A-36 de 8mm de diámetro
- Tubular redondo acero ASTM A-36 2" y 4 mm de espesor
- Material de aporte A-36 (6010, 6011, 6013, 7018, 7024, 308, 309, 312, 316, ER70S-6, ER70S-3, E71T-1).

5.2 MÁQUINAS, HERRAMIENTAS Y EQUIPO DE SEGURIDAD

- Equipo de oxicorte, plasma o esmeril angular
- Cilindradora, plegadora o cilindradora casera
- Amoladora de banco o esmeril angular
- Equipo para soldar
- Herramientas de trazado
- Tornillo mecánico de banco
- Compas
- Flexometro
- Extintor
- Careta de soldador
- Zapatos de seguridad
- Traje de cuero
- Guantes de cuero
- Lentes de seguridad
- Mascarilla

5.3 PROCESO DE FABRICACIÓN

Una vez que se tengan las herramientas y los materiales necesarios es posible avanzar en el proceso de obtención de esta estufa de convección.

- En primer lugar, se debe seguir el plano de sugerencia para el aprovechamiento de material y trazar los componentes.

Una fabricación con las características optimas incluyen 2 medidas de espesor para las planchas de acero destinados a distintos componentes, no obstante, es posible fabricar la totalidad de las piezas de origen plano desde las planchas de acero con un único espesor recomendado de 4mm.

- En segundo lugar, y tomando las medidas básicas de seguridad para mecanizado de acero, se procede a realizar los cortes con las herramientas que hayan seleccionado y el plegado y cilindrado de piezas cuando corresponda.
- En tercer lugar, se ensamblan mediante soldadura, las piezas primarias como las tuberías de convección y luego se realiza un ensamble general y armado para diseño final incluyendo soportes y puerta.
- Como cuarta etapa se limpian las superficies y se dejan libres de cualquier residuo de soldadura como preparación para el pintado.
- Por último, se pintan las superficies externas y también los interiores de los tubulares con una pintura de alta resistencia a la temperatura.

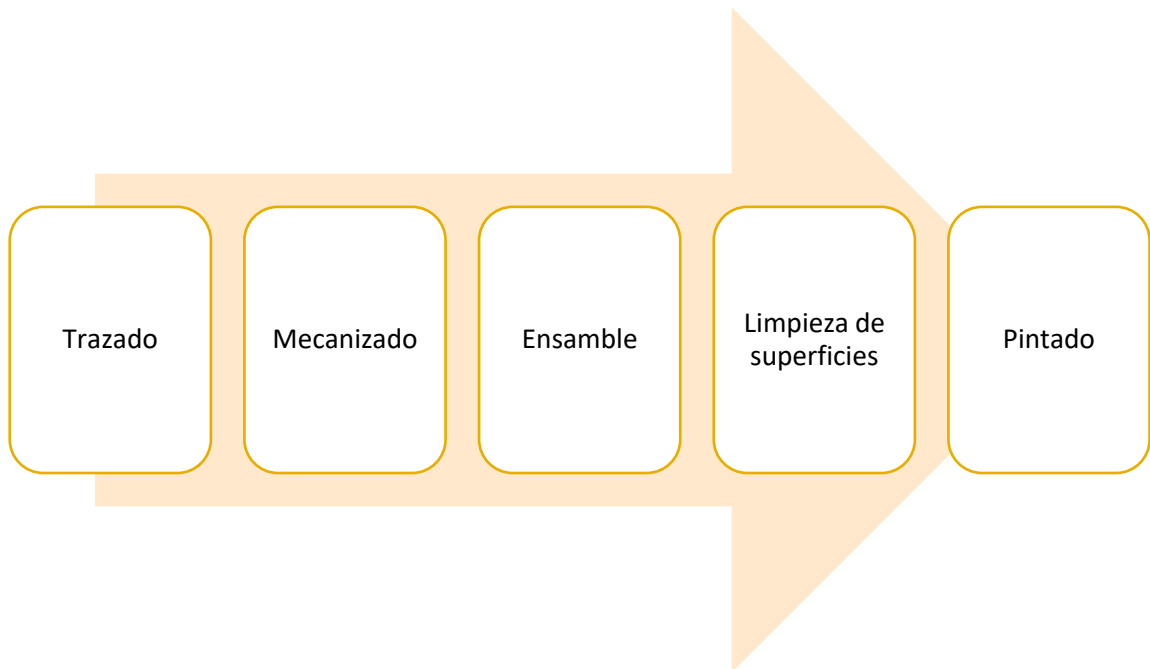


Figura 5-1 Diagrama de proceso de fabricación

Fuente: (Elaboración propia de acuerdo a los pasos lógicos de elaboración)

5.4 COSTOS

Ítem	Unidades	Precio
Soldadura	45 m, 4 kg	\$13.200
Plancha acero ASTM A36	4mmx1500mmx3000mm	\$210.290
Pintura alta temperatura (Kent 600°C)	6.5 m2	\$8.045
Vidrio Termo cerámico	300mmx300mm	\$34.000
Tubo acero ASTM A36	D 50mm x L 1000mm	\$7.465
Barra Acero ASTM A36	L 12m	\$10.800
Oxígeno	9.5 m3	\$38.000
Propano	5 kg	\$9.000
Ladrillo refractario	0.12 m2	\$4.400
Junta de sello para puerta de calefactor	1mx9.5mm	\$8.654
		\$343.854

Tabla 5-2 Precios de materiales actualizados al mercado actual

Fuente: (Elaboración propia en base a cotizaciones en el mercado nacional actual)

En la tabla 5-2 se muestran los precios correspondientes a las materias primas necesarias para la construcción de esta estufa, pero no se consideran los gastos que podrían significar la adición de la energía eléctrica ni herramientas adicionales.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Utilizando cálculos termoquímicos y herramientas informáticas se ha logrado evaluar la factibilidad tanto de diseño como de elaboración de un prototipo de estufa de convección inspirado en los diseños bullerjan, con resultados positivos.

- A través de estudios relacionados con la utilización de la leña como combustible a nivel nacional y datos obtenidos desde la biblioteca del congreso nacional y estudios independientes, se ha podido verificar que el uso de leña como principal medio de calefacción se debe principalmente a las características climáticas y geográficas de las zonas australes y también a los hábitos de las personas que ahí habitan. Hábitos que en el corto plazo podrían dificultar cualquier iniciativa de cambios en la materia, pues estudios recientes indican que, en los próximos años en vez de disminuir el uso de la leña, éste podría aumentar.
- Mediante cálculos de combustión, el uso de diagramas y software de ingeniería se llevó a cabo un estudio detallado estableciendo las características requeridas de eficiencia y dimensiones para un prototipo de estufa a leña. Considerando la normativa vigente y las capacidades que estas evalúan, se pudo determinar la factibilidad del diseño luego de exhaustivas simulaciones en SolidWorks 2021.
- Gracias a las herramientas que ofrecen los software de modelado y de diseño, se ha generado un apartado en este proyecto que incluye una guía completa de fabricación incluyendo planos de cada componente para que cualquier persona con las herramientas necesarias y el espacio adecuado, puedan llevar a cabo la construcción del diseño final, pues los materiales involucrados son de fácil acceso en el mercado.
- Cabe destacar que la utilización de herramientas informáticas en conjunto con las técnicas de cálculos termodinámicos y de combustión clásicas, aunque facilitan en cierta medida la obtención de resultados para proyectos de ingeniería de este tipo, podrían complementarse satisfactoriamente con las pruebas correspondientes de los diseños fabricados de forma física.

7 BIBLIOGRAFÍA

Biblioteca del congreso nacional de Chile. (04 de Marzo de 2014). <https://www.bcn.cl/leychile/>. Obtenido de <https://www.bcn.cl/leychile/:https://ppda.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/07/Norma-de-emision-de-material-particulado-para-los-artefactos-que-combustionen-o-puedan-combustionar-lena-y-pellet-de-madera-DS-39-2012.pdf>

Fernandez Diez, P. (1992). *Ingenieria termica de fluidos*. Santander(España): Servicio de Publicaciones de la Escuela T. Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación.

Marcos García Glez. (2015). *Conocimiento de los combustibles*. Galicia: Instituto enerxético de Galicia.

Marutzky, R., & Seeger, K. (1999). *Energie aus Holz und anderer Biomasse: Grundlagen, Technik, Emissionen, Wirtschaftlichkeit, Entsorgung, Recht*.

Ministerio de Energía. (24 de Octubre de 2016). <https://energia.gob.cl/>. Obtenido de <https://energia.gob.cl/:https://energia.gob.cl/noticias/nacional/conoce-mas-de-la-politica-de-uso-de-la-lena-y-sus-derivados>

Ministerio de industria, e. y. (2013). *La energia en España*. Madrid: Subdirección general de desarrollo normativo, informes y publicaciones.

Ministerio de Medio Ambiente. (1 de Octubre de 2014). <https://mma.gob.cl/>. Obtenido de <https://mma.gob.cl/:https://mma.gob.cl/comienza-a-regir-nueva-norma-de-calefactores-en-chile/>

Ministerio de Medio Ambiente. (10 de Marzo de 2022). <https://sinca.mma.gob.cl/>. Obtenido de <https://sinca.mma.gob.cl/index.php/estacion/index/key/B05>

MORI market opinion. (10 de Diciembre de 2015). <https://mma.gob.cl/>. Obtenido de [https://mma.gob.cl/: https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2016/03/INFORME-RESULTADOS-ESTUDIO-CALEFACCION-COYHAIQUE-2016.pdf](https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2016/03/INFORME-RESULTADOS-ESTUDIO-CALEFACCION-COYHAIQUE-2016.pdf)

Municipalidad de Aysén. (10 de Marzo de 2022). <https://aysen.com/>. Obtenido de [https://aysen.com/: https://aysen.com/informacion-util/municipalidades-region-de-aysen/](https://aysen.com/informacion-util/municipalidades-region-de-aysen/)

Universidad de Chile. (10 de Marzo de 2022). <http://redesvid.uchile.cl/>. Obtenido de [http://redesvid.uchile.cl/: http://redesvid.uchile.cl/pobreza-energetica/wp-content/uploads/2020/12/VF.07-dic.Mercado-de-la-len%CC%83a.pdf](http://redesvid.uchile.cl/pobreza-energetica/wp-content/uploads/2020/12/VF.07-dic.Mercado-de-la-len%CC%83a.pdf)

Universidad Politécnica de Valencia. (20 de Marzo de 2020). <https://labvirtual.webs.upv.es/>. Obtenido de [https://labvirtual.webs.upv.es/: https://labvirtual.webs.upv.es/diagrama_combustion.html#aplicacion](https://labvirtual.webs.upv.es/diagrama_combustion.html#aplicacion)

8 ANEXOS

8.1 ANEXO A: SIMULACIONES DE FLUJO MEDIANTE SOFTWARE 3D SOLIDWORKS 2021

En este apartado se adjuntan la representaciones visuales de forma gráfica de los parámetros obtenidos durante las pruebas realizadas en SolidWorks 2021.

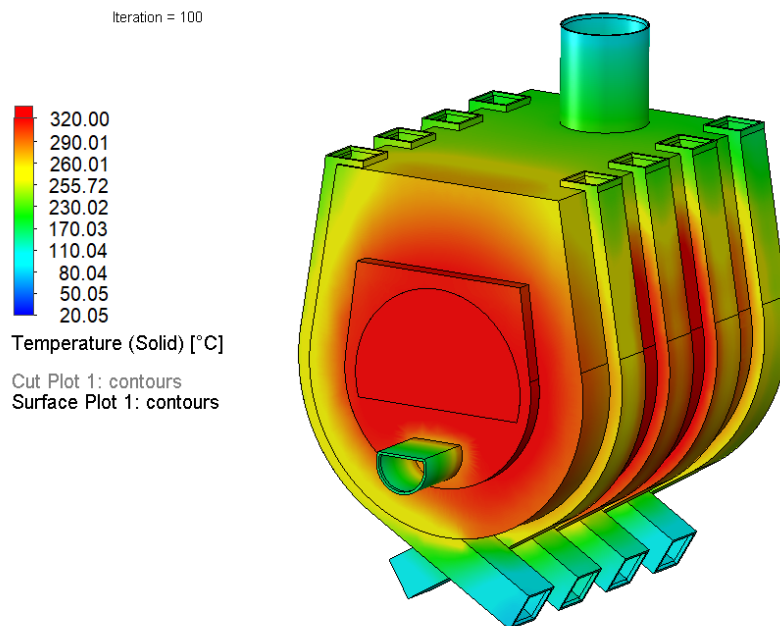


Figura 8-1 Temperaturas de superficies sólidas

Fuente: (Elaboración propia utilizando software SolidWorks 2021)

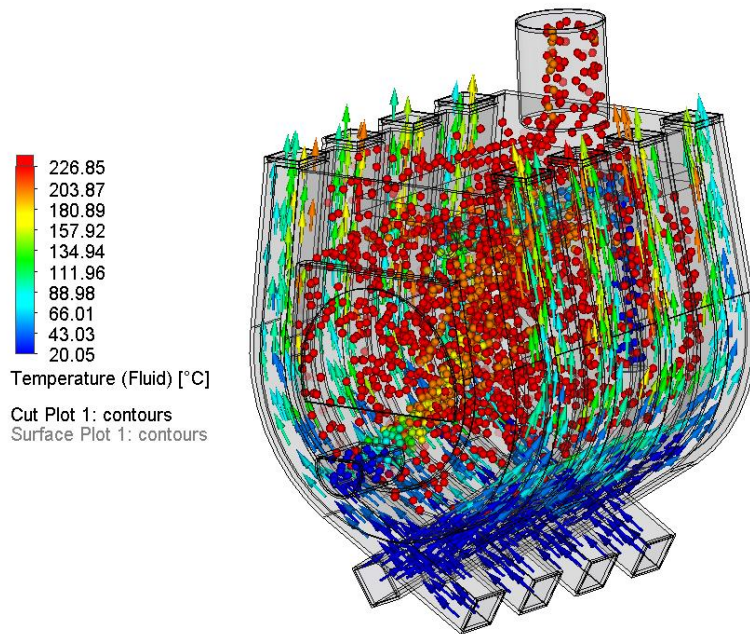


Figura 8-2 Movimiento y temperatura del aire

Fuente: (Elaboración propia utilizando software SolidWorks 2021)

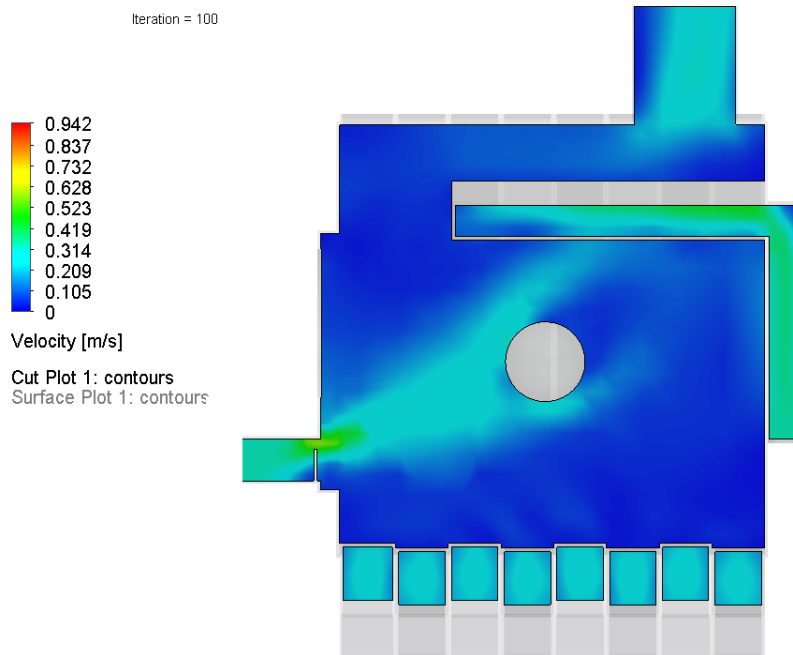


Figura 8-3 Velocidad interior del aire

Fuente: (Elaboración propia utilizando software SolidWorks 2021)

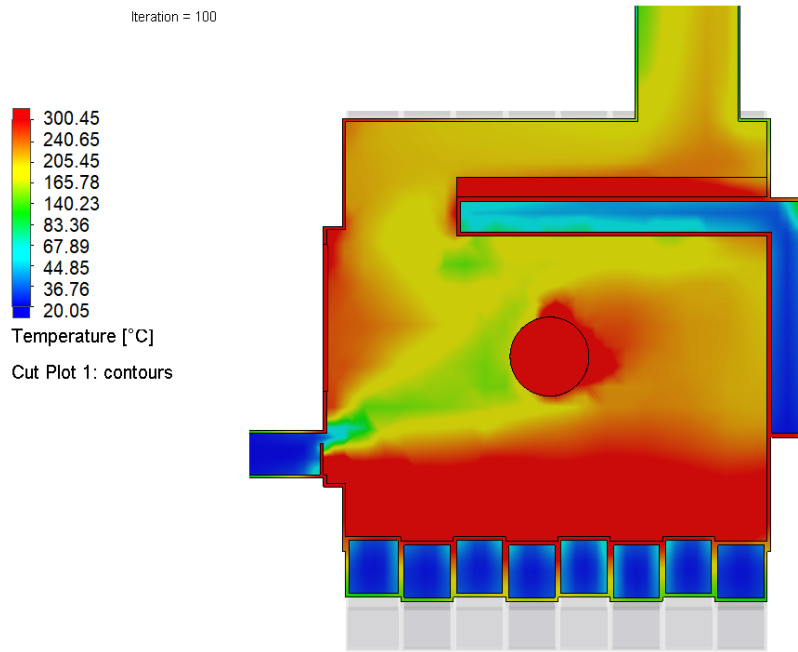


Figura 8-4 Temperatura global

Fuente: (Elaboración propia utilizando software SolidWorks 2021)

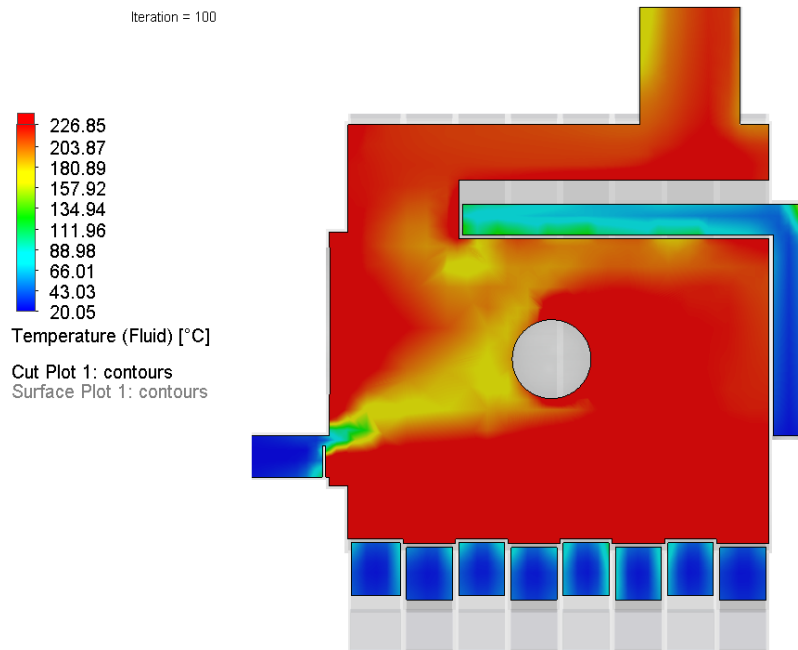


Figura 8-5 Temperatura interior durante proceso

Fuente: (Elaboración propia utilizando software SolidWorks 2021)

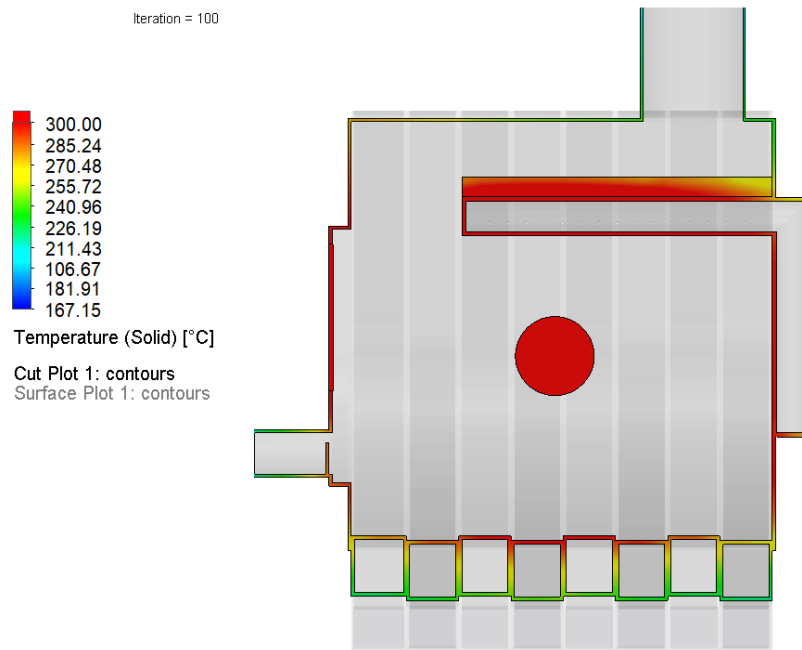


Figura 8-6 Temperatura de superficies solidas mediante corte longitudinal

Fuente: (Elaboración propia utilizando software SolidWorks 2021)

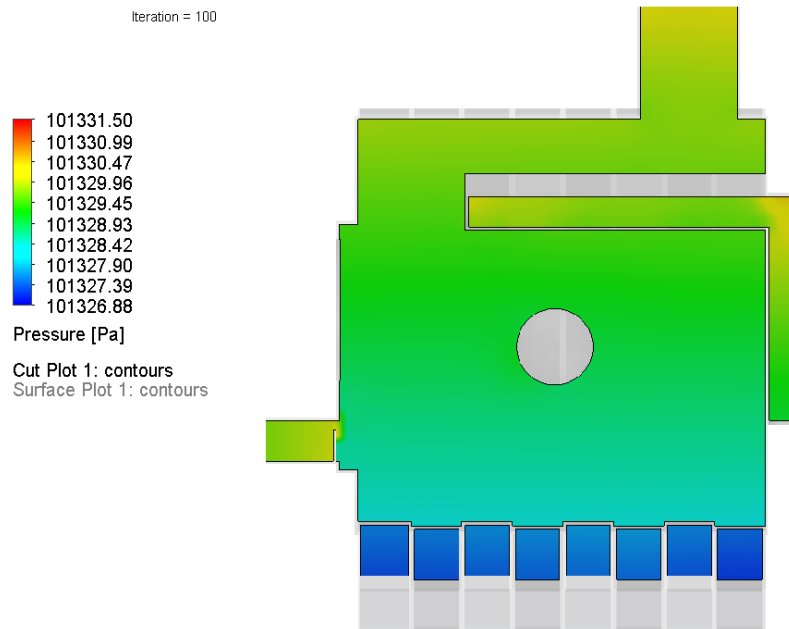


Figura 8-7 Presión de aire interior durante proceso.

Fuente: (Elaboración propia utilizando software SolidWorks 2021)

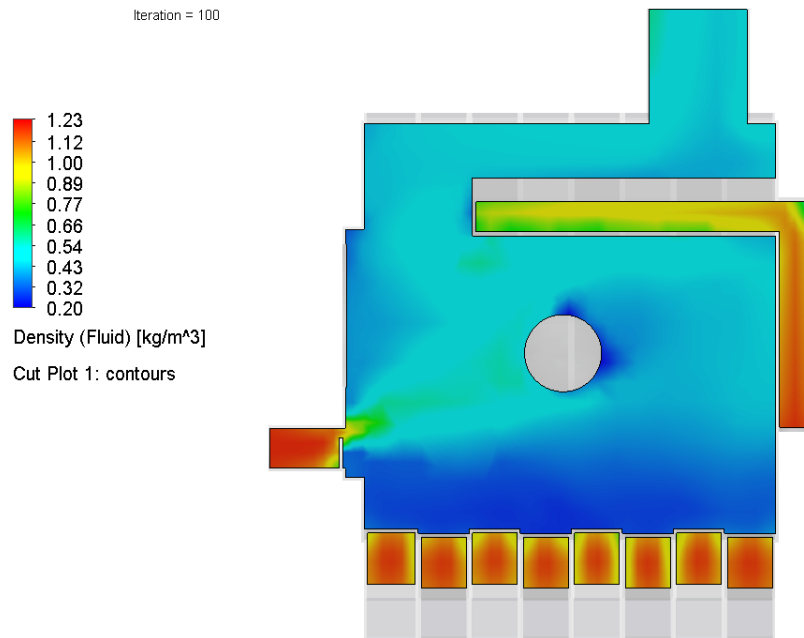


Figura 8-8 Densidad interior del aire durante proceso.

Fuente: (Elaboración propia utilizando software SolidWorks 2021)

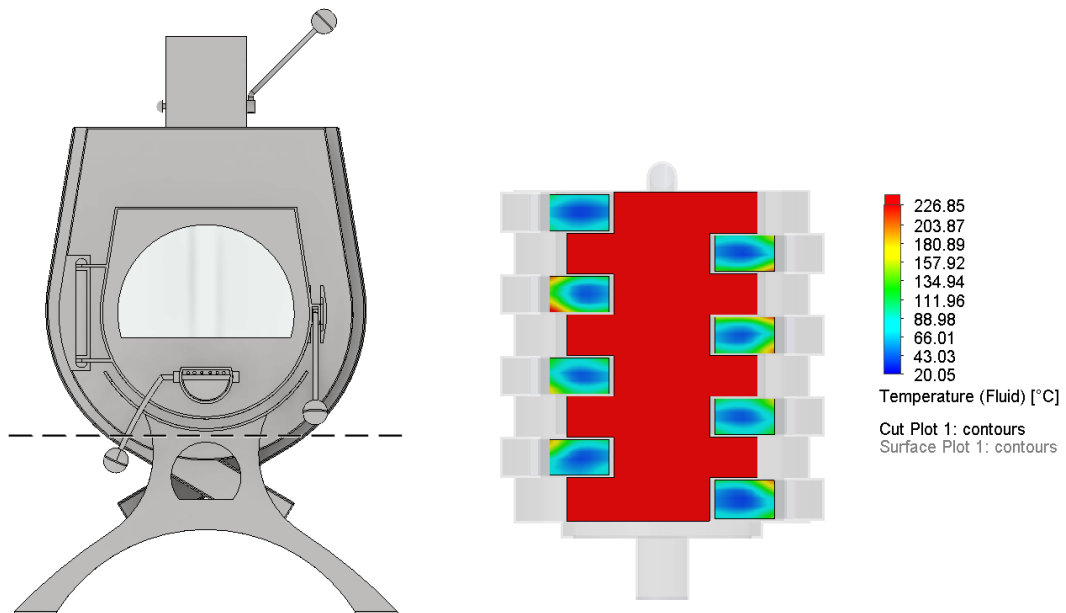


Figura 8-9 Representación de la temperatura del aire mediante un corte inferior de cámara de combustión y tubulares de convección.

Fuente: (Elaboración propia utilizando software SolidWorks 2021)

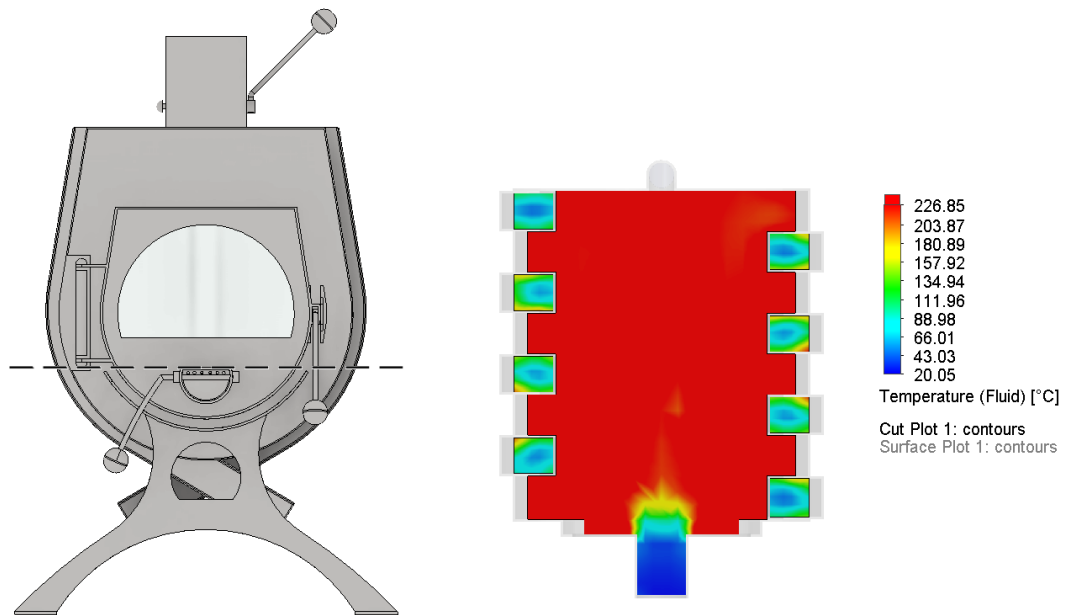


Figura 8-10 Representación de la temperatura del aire mediante un corte en cámara de combustión mostrando el ingreso de aire primario.

Fuente: (Elaboración propia utilizando software SolidWorks 2021)

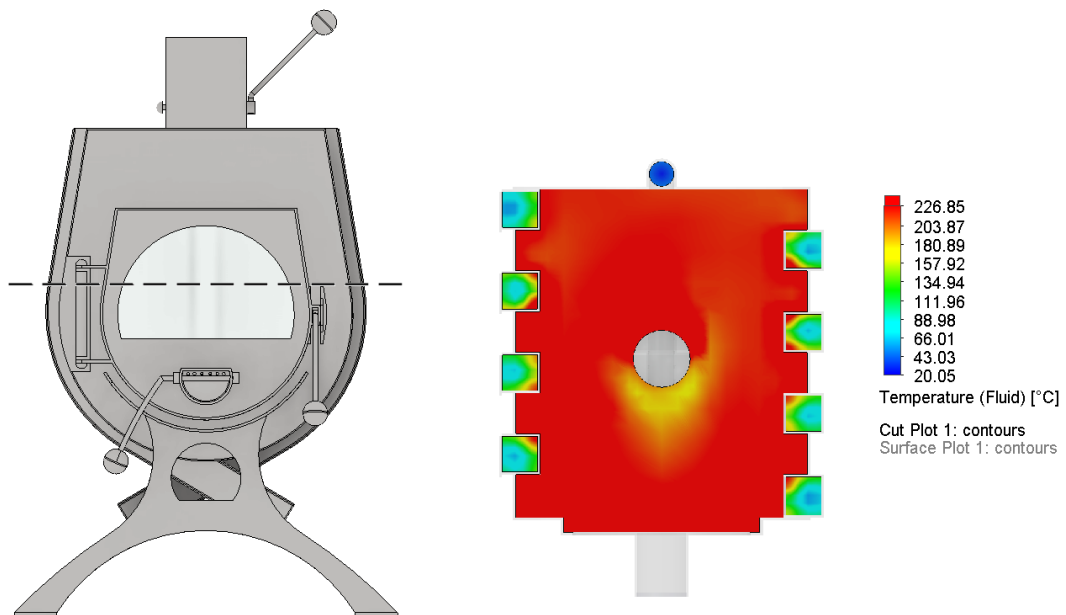


Figura 8-11 Representación de la temperatura del aire mediante un corte central de la cámara de combustión y tubulares de convección.

Fuente: (Elaboración propia utilizando software SolidWorks 2021)

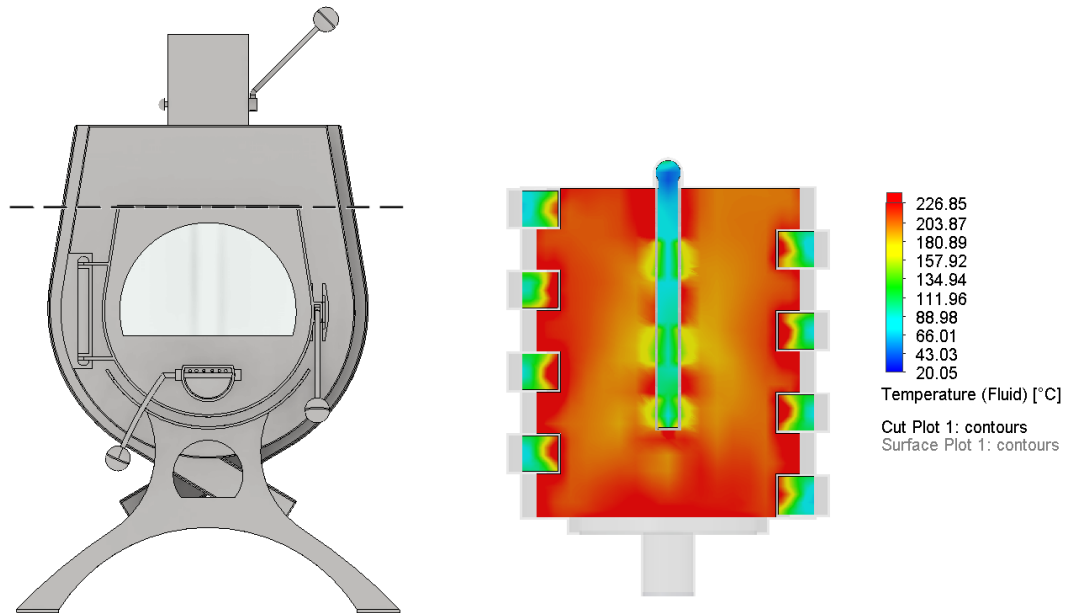


Figura 8-12 Representación de la temperatura del aire mediante un corte de la cámara de combustión mostrando el ingreso de aire desde el inyector.

Fuente: (Elaboración propia utilizando software SolidWorks 2021)

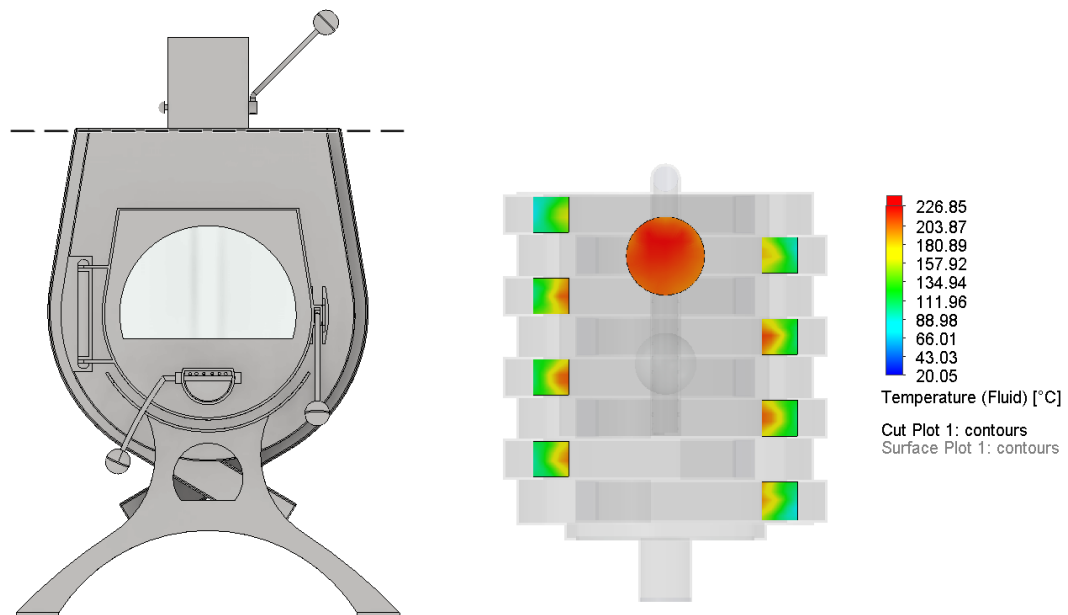


Figura 8-13 Representación de la temperatura del aire mediante un corte superior mostrando la salida de aire desde los tubulares y el cañón de humos.

Fuente: (Elaboración propia utilizando software SolidWorks 2021)

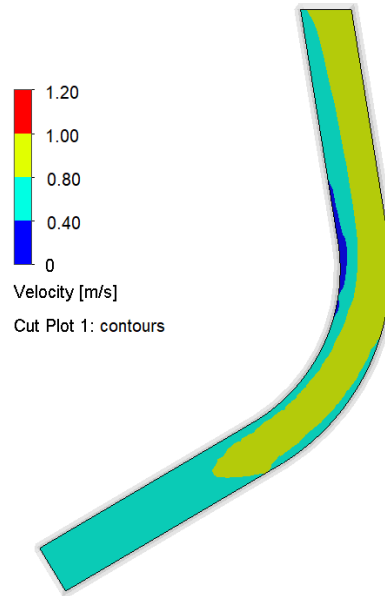


Figura 8-14 Velocidad interior en tubular de convección

Fuente: (Elaboración propia utilizando software SolidWorks 2021)

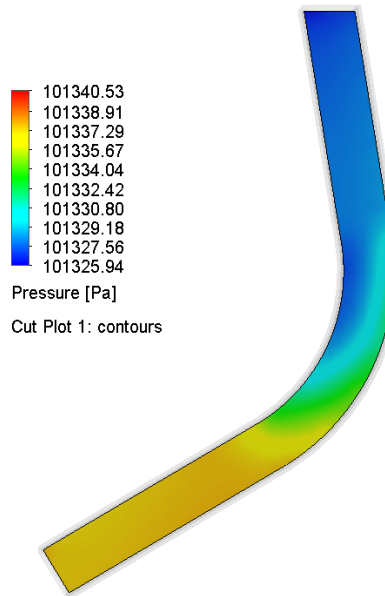


Figura 8-15 Presión de aire al interior de tubular de convección

Fuente: (Elaboración propia utilizando software SolidWorks 2021)

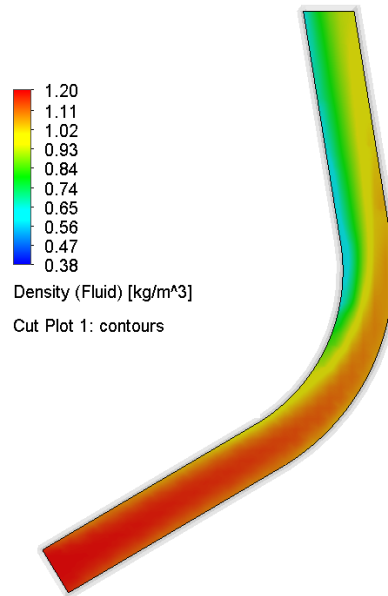


Figura 8-16 Densidad del aire al interior de tubular de convección

Fuente: (Elaboración propia utilizando software SolidWorks 2021)

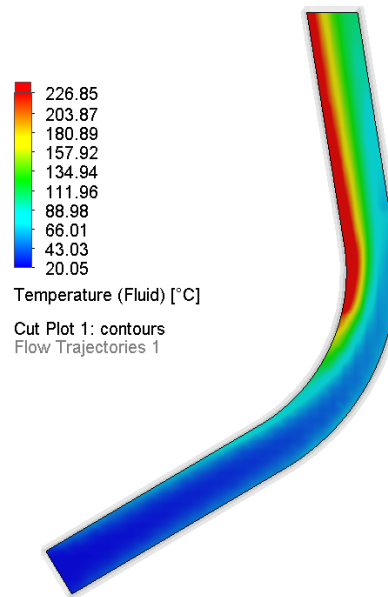


Figura 8-17 Temperatura del aire al interior de tubular de convección

Fuente: (Elaboración propia utilizando software SolidWorks 2021)

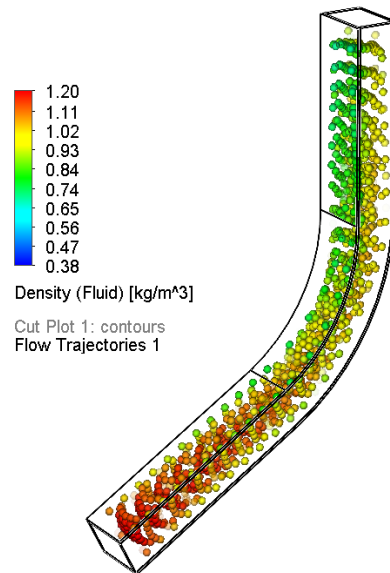


Figura 8-18 Densidad de aire interior de tubo mediante simulación de trayectoria

Fuente: (Elaboración propia utilizando software SolidWorks 2021)

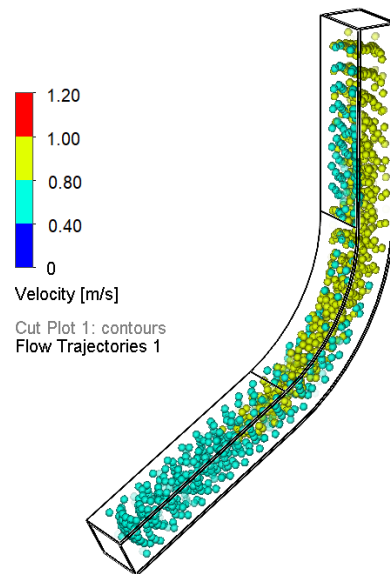


Figura 8-19 Velocidad de aire interior de tubo mediante simulación de trayectoria

Fuente: (Elaboración propia utilizando software SolidWorks 2021)

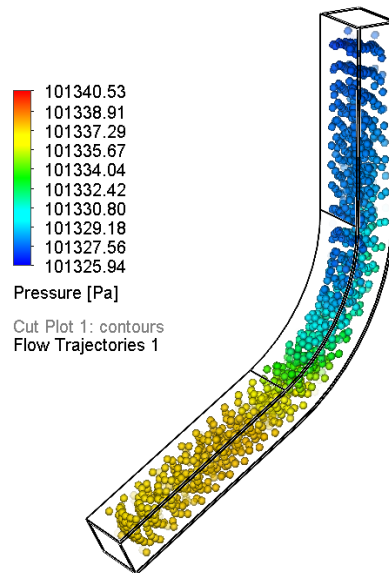


Figura 8-20 Presión de aire interior de tubo mediante simulación de trayectoria

Fuente: (Elaboración propia utilizando software SolidWorks 2021)

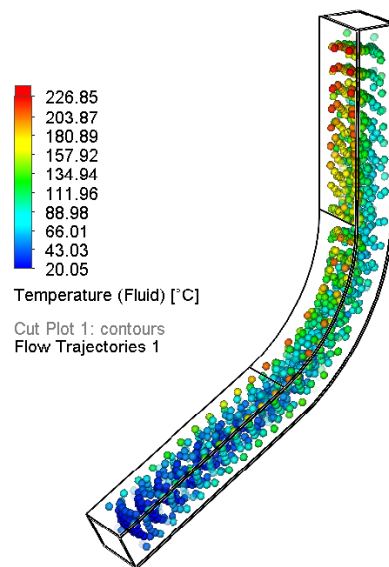


Figura 8-21 Temperatura de aire interior de tubo mediante simulación de trayectoria

Fuente: (Elaboración propia utilizando software SolidWorks 2021)

8.2 ANEXO B: RECURSOS Y RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE EL MODELADO

8.2.1 Analysis Environment

Software Product:	Flow Simulation 2021 SP0.0. Build: 5075
CPU Type:	Intel(R) Core(TM) i5-10300H CPU @ 2.50GHz
CPU Speed:	2496 MHz
RAM:	7963 MB / 2002 MB
Operating System:	Windows 10 (or higher) (Version 10.0.19042)

8.2.2 Model Information

Model Name:	estufa convección diseño t SW.SLDASM
Project Name:	Project(17)

8.2.2.1 Analysis Mesh

Total Cell count:	84453
Fluid Cells:	41982
Solid Cells:	42471
Partial Cells:	23549
Trimmed Cells:	0

8.2.2.2 Additional Physical Calculation Options

Heat Transfer Analysis:	Heat conduction in solids: On	Heat conduction in solids only: Off
Flow Type:	Laminar and turbulent	
Time-Dependent Analysis:	Off	
Gravity:	On	
Radiation:	On	
Humidity:	Off	
Default Wall Roughness:	0 micrometer	

8.2.2.3 Material Settings

Material Settings

Fluids

Air

Solids

ASTM A-36

Quartz glass

Vermiculite aggregate

Beryllium (Simulated heat source)

8.2.3 Analysis Time

Calculation Time: 130 s

Number of Iterations: 113

Min/Max Table

Name	Minimum	Maximum
Density (Fluid) [kg/m ³]	0.31	1.20
Density (Solid) [kg/m ³]	450.00	8100.00
Pressure [Pa]	101323.28	101336.36
Temperature [°C]	20.05	501.821
Temperature (Fluid) [°C]	20.05	331.345
Temperature (Solid) [°C]	118.54	369.456
Velocity [m/s]	0	1.0246
Velocity (X) [m/s]	-3.141	1.815
Velocity (Y) [m/s]	-1.170	1.194
Velocity (Z) [m/s]	-1.481	2.298
Mach Number []	0	8.91e-03
Velocity RRF [m/s]	0	3.202
Velocity RRF (X) [m/s]	-3.141	1.815
Velocity RRF (Y) [m/s]	-1.170	1.194
Velocity RRF (Z) [m/s]	-1.481	2.298
Vorticity [1/s]	0.19	1298.44
Dynamic Pressure [Pa]	0	5.62
Relative Pressure [Pa]	-1.72	11.36
Shear Stress [Pa]	0	0.17
Dynamic Viscosity [Pa*s]	1.8146e-05	4.9666e-05

Absolute Total Enthalpy [J/kg]	298013.495	1370974.831
Bottleneck Number []	0	1.0000000
Heat Transfer Coefficient [W/m ² /K]	1.503e-05	115.967
Overheat above Melting Temperature [K]	-1527.000	-197.241
ShortCut Number []	0	1.0000000
Surface Heat Flux [W/m ²]	-11283.547	21955.948
Surface Heat Flux (Conductive) [W/m ²]	-11283.547	11283.547
Surface Heat Flux (Convective) [W/m ²]	-1805.268	21955.948
Total Enthalpy Flux [W/m ²]	-388947.168	405108.912
Acoustic Power [W/m ³]	0	5.047e-16
Acoustic Power Level [dB]	0	0

Tabla 8-1 Resultados de la simulación

8.2.4 Engineering database

Gases

Air

Path: Gases Pre-Defined

Specific heat ratio (Cp/Cv): 1.399

Molecular mass: 0.0290 kg/mol

Dynamic viscosity

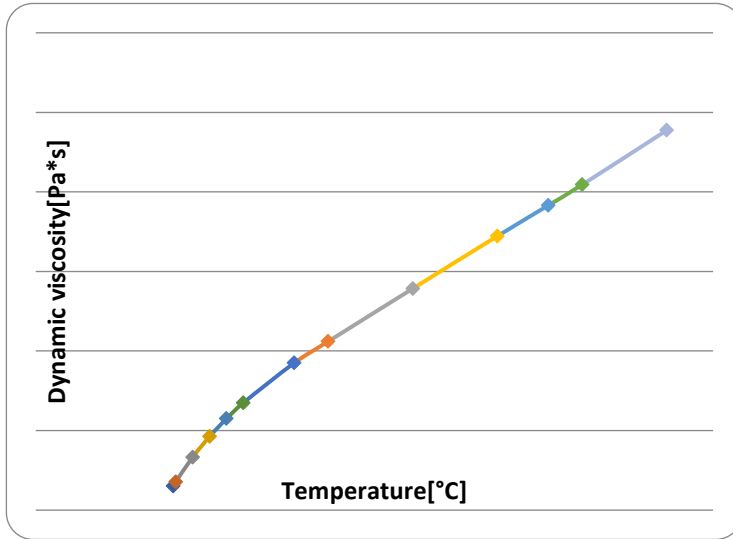


Gráfico 8-1 Viscosidad dinámica del aire durante el proceso

Specific heat (Cp)

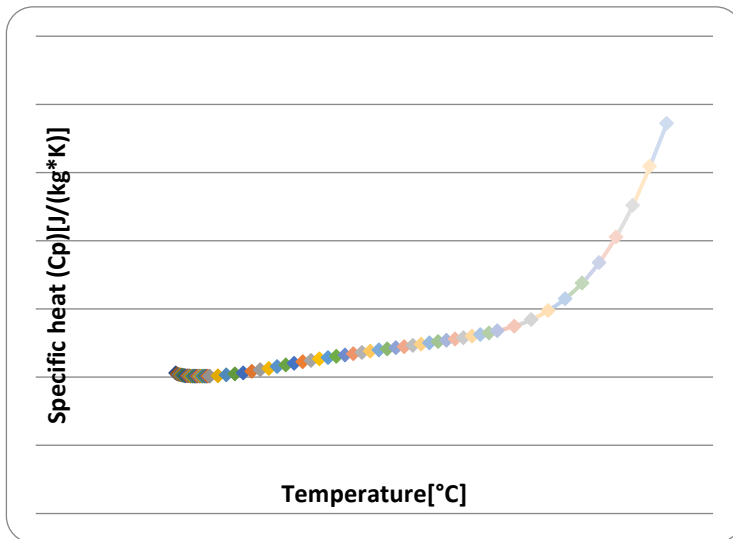


Gráfico 8-2 Calor específico durante el proceso

Thermal conductivity

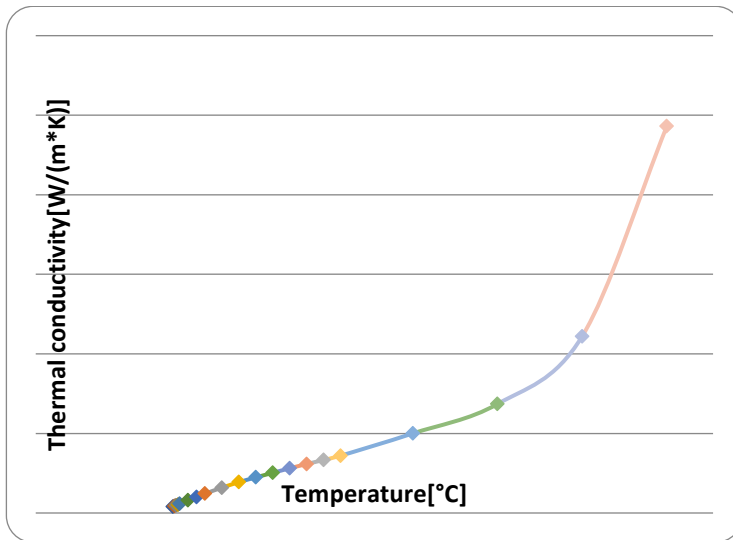


Gráfico 8-3 Conductividad térmica del acero durante el proceso

Solids

ASTM a-36

Path: Solids Pre-Defined\Alloys

Density: 7800.00 kg/m³

Specific heat

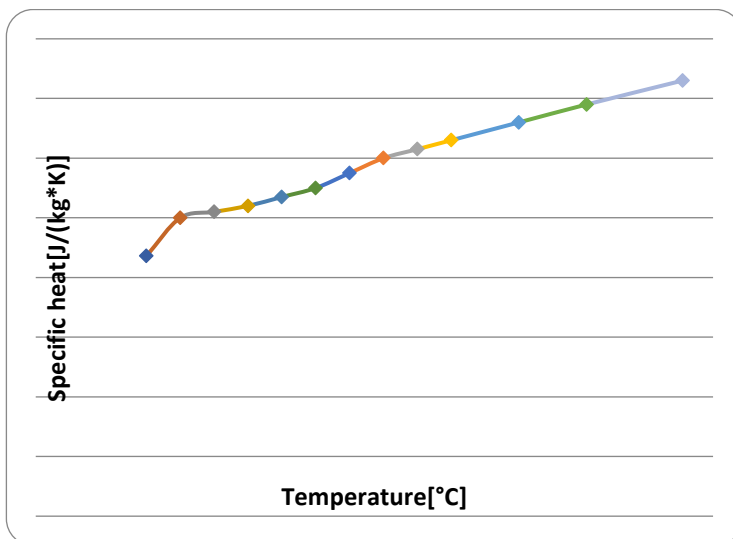


Gráfico 8-4 Calor específico del acero

Conductivity type: Isotropic

Thermal conductivity

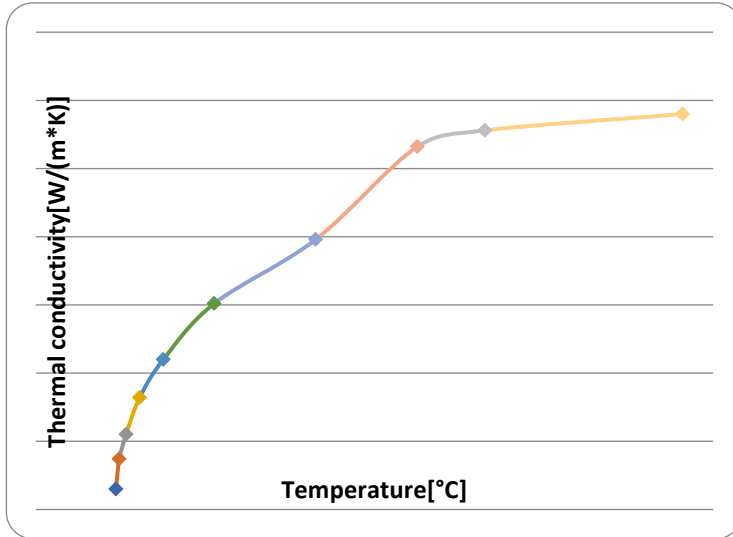


Gráfico 8-5 Conductividad térmica tipo isotrópica

Electrical conductivity: Conductor

Resistivity

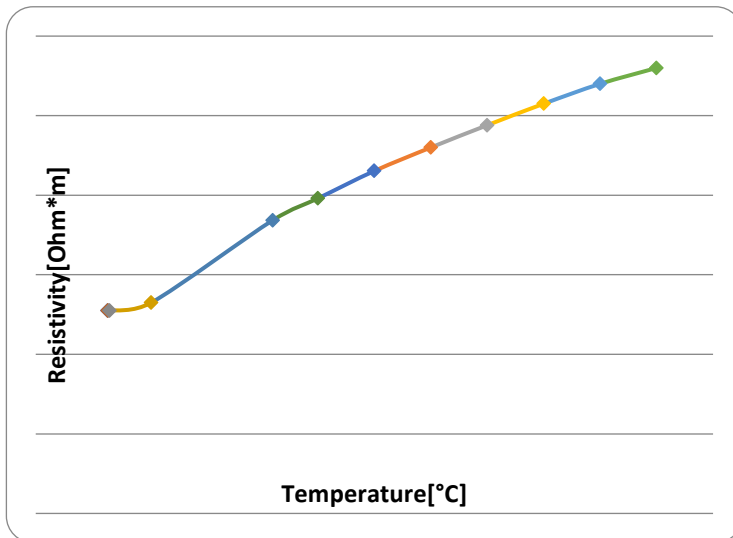


Gráfico 8-6 Conductividad eléctrica

Radiation properties: No

Melting temperature: Yes

Temperature: 1410.00 °C

Quartz glass

Path: Solids Pre-Defined\Glasses and Minerals

Density: 2200.00 kg/m³

Specific heat: 670.0 J/(kg*K)

Conductivity type: Isotropic

Thermal conductivity: 1.4000 W/(m*K)

Electrical conductivity: Dielectric

Radiation properties: Yes

Set absorption properties as: Absorption coefficient

Absorption coefficient

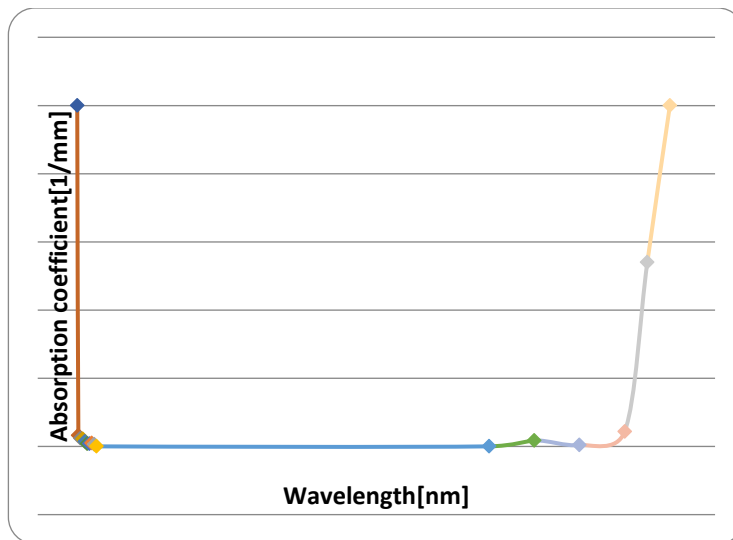


Gráfico 8-7 Coeficiente de absorción

Refractive index: 1.45

Melting temperature: Yes

Temperature: 1683.00 °C

Vermiculite aggregate

Path: Solids Pre-Defined\Building Materials\Concrete

Density: 450.00 kg/m³

Specific heat: 837.0 J/(kg*K)
Conductivity type: Isotropic
Thermal conductivity: 0.1700 W/(m*K)
Electrical conductivity: Dielectric
Radiation properties: No
Melting temperature: Yes
Temperature: 726.85 °C

Beryllium Oxide

Path: Solids Pre-Defined\Ceramics
Density: 2850.00 kg/m³
Specific heat: 1045.0 J/(kg*K)
Conductivity type: Isotropic
Thermal conductivity: 240.0000 W/(m*K)
Electrical conductivity: Dielectric
Radiation properties: No
Melting temperature: Yes
Temperature: 2527.00 °C

8.3 ANEXO C: ESTUDIO DE ANALISIS DE TENSION

8.3.1 Propiedades físicas

Masa	112,834 kg
Área	7230220 mm ²
Volumen	14552400 mm ³
Centro de gravedad	x=-383,724 mm y=-1352,62 mm z=-792,936 mm

8.3.2 Configuración de malla

Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0,1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0,2
Factor de modificación	1,5
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	No
Usar medida basada en pieza para la malla del ensamblaje	Sí

8.3.3 Propiedades de los materiales

Nombre	Acero, alta resistencia, aleación baja	
General	Densidad de masa	7,85 g/cm ³
	Límite de elasticidad	275,8 MPa
	Resistencia máxima a tracción	448 MPa
Tensión	Módulo de Young	200 GPa
	Coeficiente de Poisson	0,287 su
	Módulo cortante	77,7001 GPa

8.3.4 Resumen de resultados

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	14552400 mm ³	
Masa	112,833 kg	
Tensión de Von Mises	0,00000555746 MPa	3,77559 MPa
Primera tensión principal	-0,180694 MPa	1,65455 MPa
Tercera tensión principal	-3,83095 MPa	0,213702 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,00616171 mm
Coefficiente de seguridad	15 su	15 su
Tensión XX	-0,533369 MPa	0,831827 MPa
Tensión XY	-0,409973 MPa	0,910571 MPa
Tensión XZ	-0,530969 MPa	0,618715 MPa
Tensión YY	-2,27888 MPa	1,52806 MPa
Tensión YZ	-1,85527 MPa	1,86625 MPa
Tensión ZZ	-2,28945 MPa	1,01186 MPa
Desplazamiento X	-0,00393627 mm	0,000477126 mm
Desplazamiento Y	-0,0000111889 mm	0,00612021 mm
Desplazamiento Z	-0,00100529 mm	0,0010518 mm
Deformación equivalente	0,000000000282337 su	0,0000166606 su
Primera deformación principal	-0,000000468088 su	0,00000826394 su
Tercera deformación principal	-0,0000189809 su	0,000000414508 su
Deformación XX	-0,00000238372 su	0,00000552366 su
Deformación XY	-0,00000263818 su	0,00000585952 su
Deformación XZ	-0,00000341679 su	0,00000398143 su
Deformación YY	-0,0000108708 su	0,00000744998 su
Deformación YZ	-0,0000119386 su	0,0000120093 su
Deformación ZZ	-0,0000106952 su	0,00000473969 su
Presión de contacto	0 MPa	1,89806 MPa
Presión de contacto X	-0,716445 MPa	1,04262 MPa
Presión de contacto Y	-1,12356 MPa	1,24355 MPa
Presión de contacto Z	-1,07659 MPa	1,89279 MPa

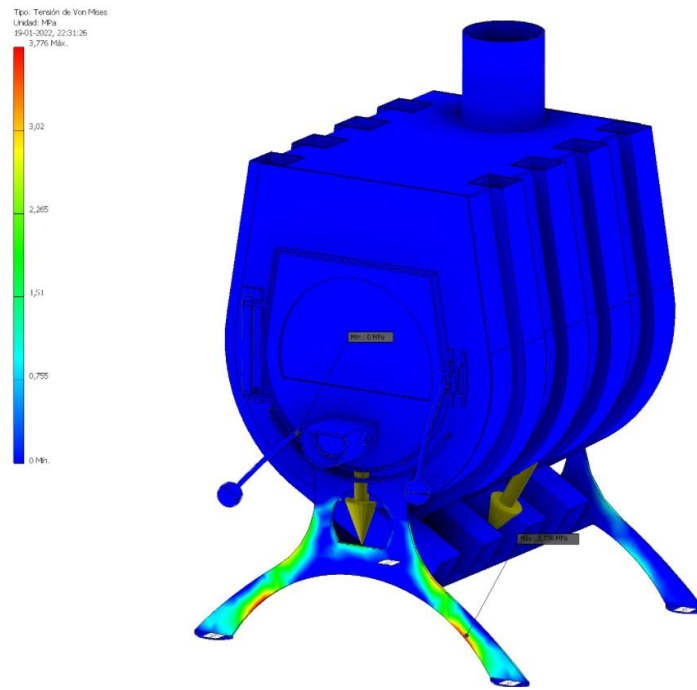


Figura 8-22 Tensión de Von Mises

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

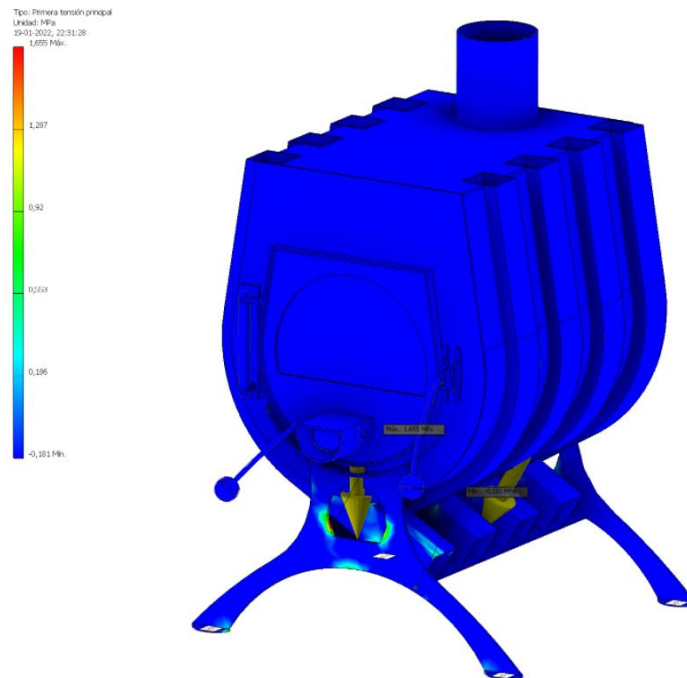


Figura 8-23 Primera tensión principal

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

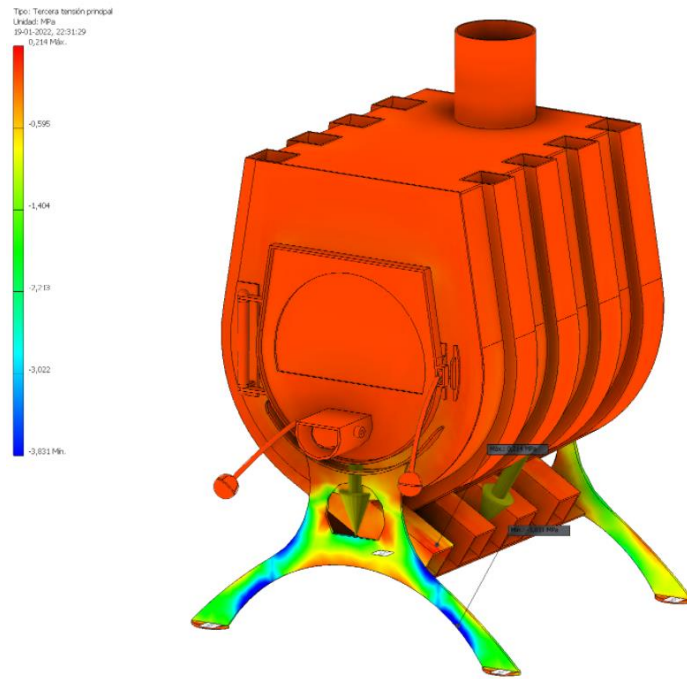


Figura 8-24 Tercera tensión principal

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

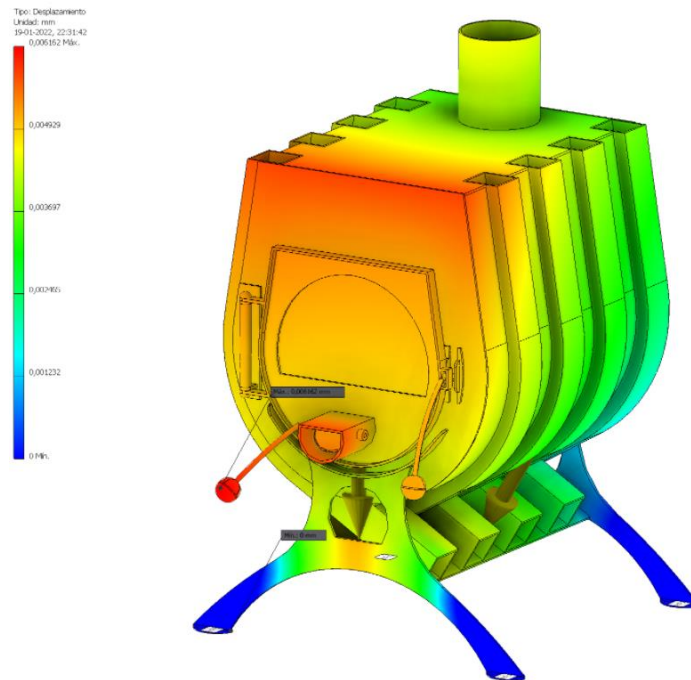


Figura 8-25 Desplazamiento

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

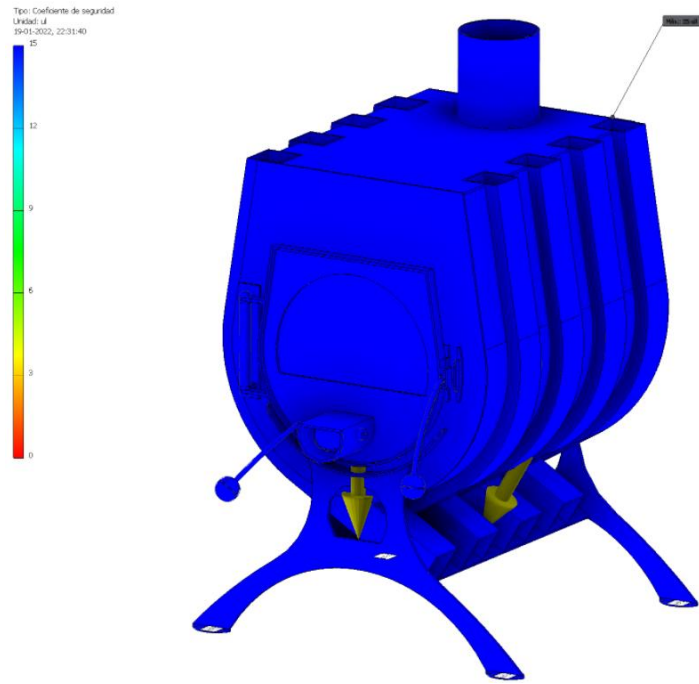


Figura 8-26 Coeficiente de seguridad

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

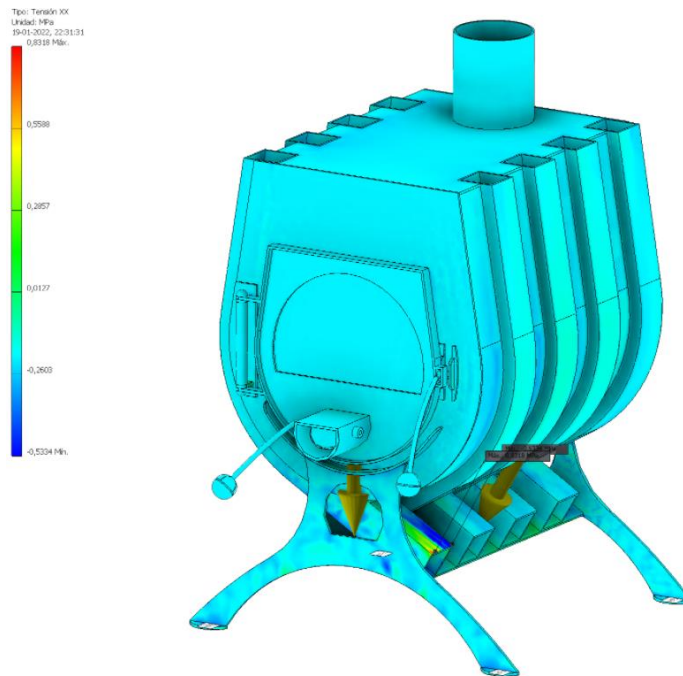


Figura 8-27 Tensión XX

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

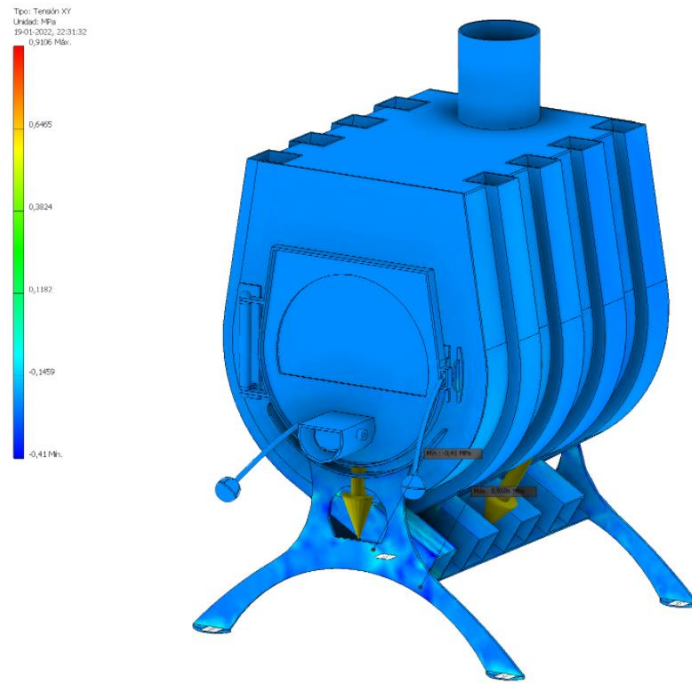


Figura 8-28 Tensión XY

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

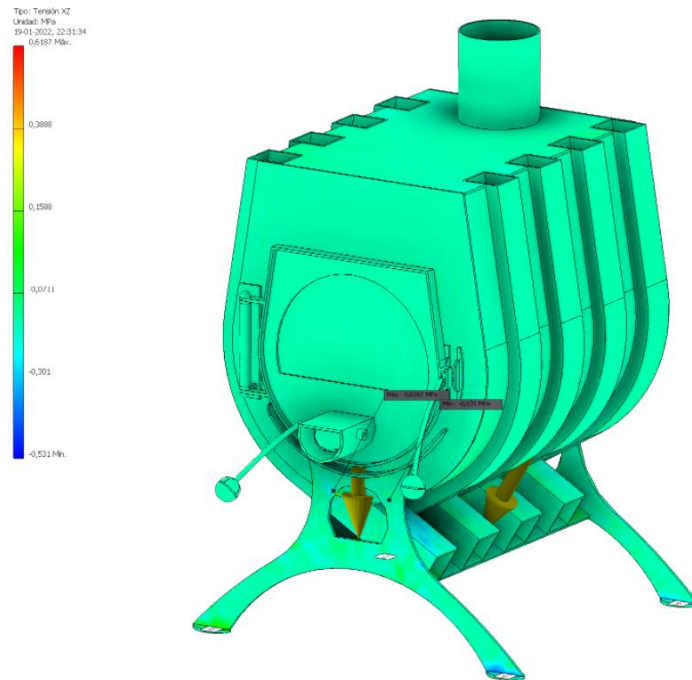


Figura 8-29 Tensión XZ

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

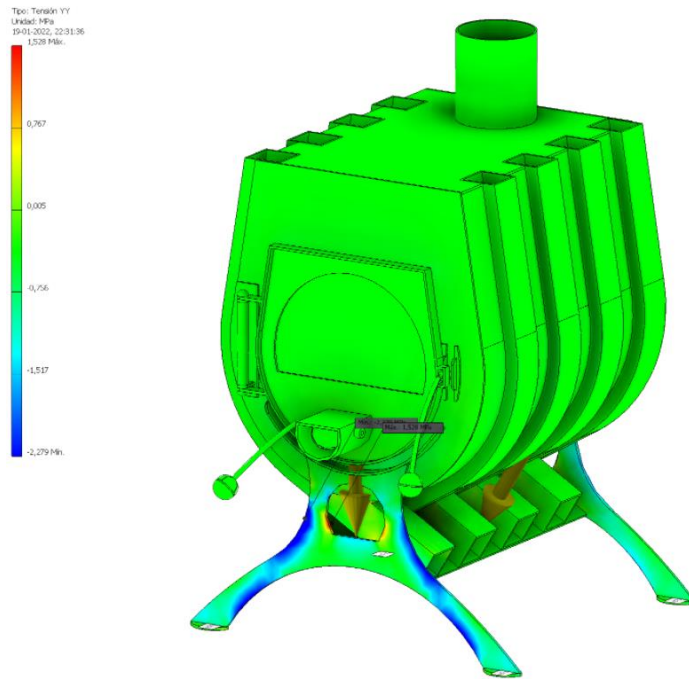


Figura 8-30 Tensión YZ

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

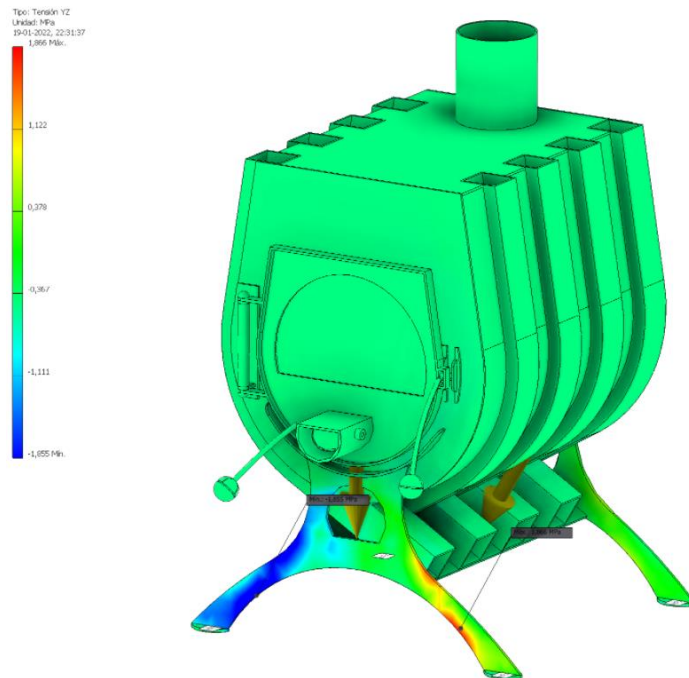


Figura 8-31 Tensión XY

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

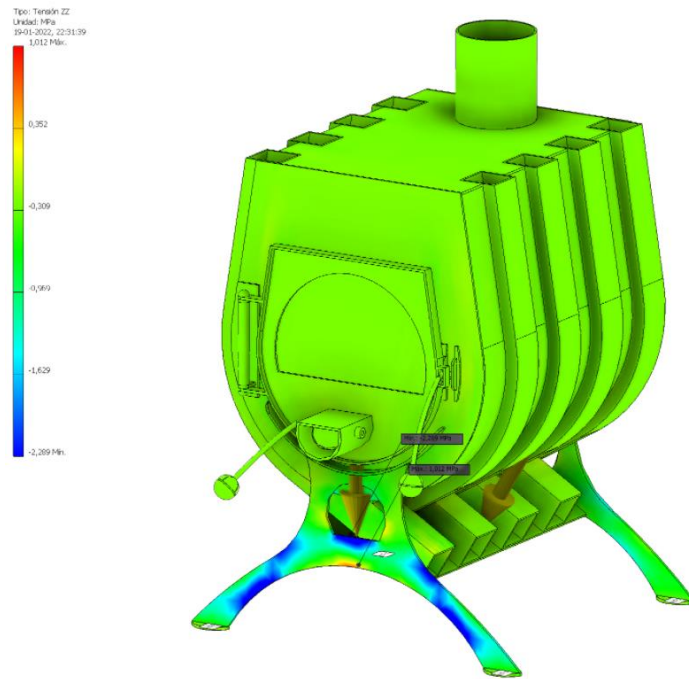


Figura 8-32 Tensión ZZ

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

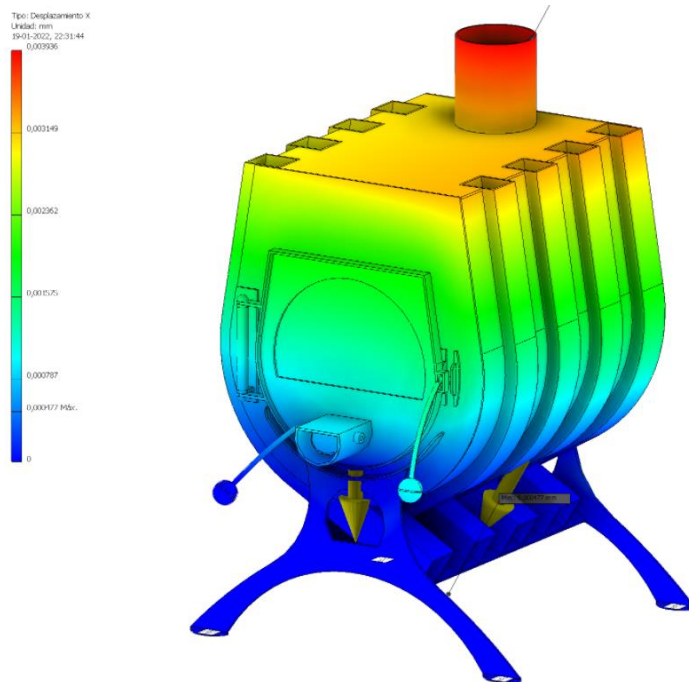


Figura 8-33 Desplazamiento X

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

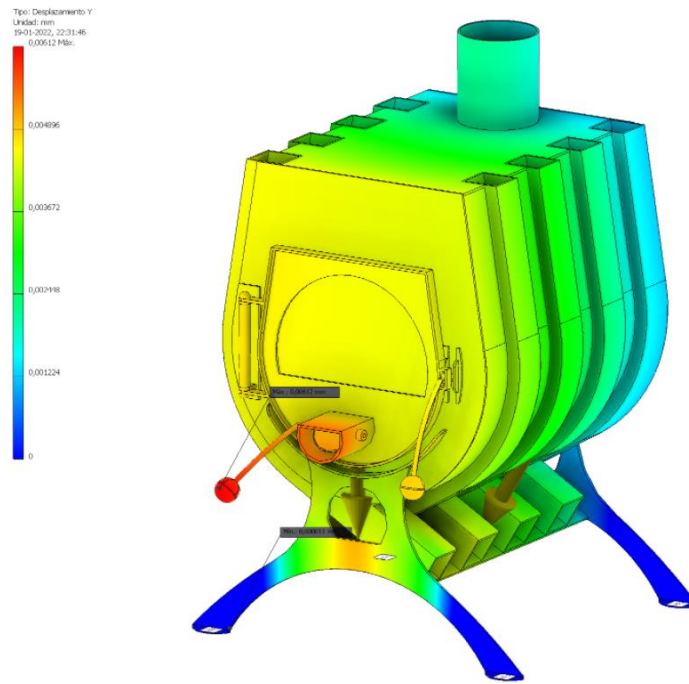


Figura 8-34 Desplazamiento Y

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

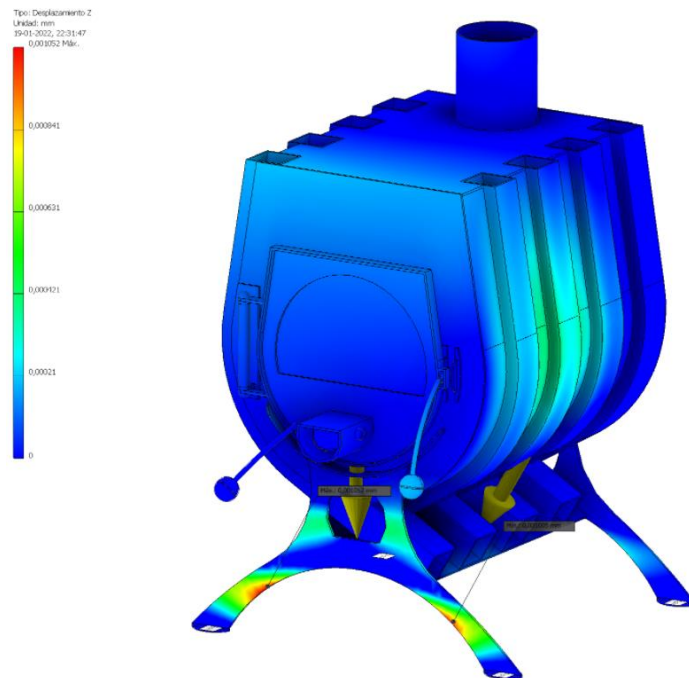


Figura 8-35 Desplazamiento Z

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

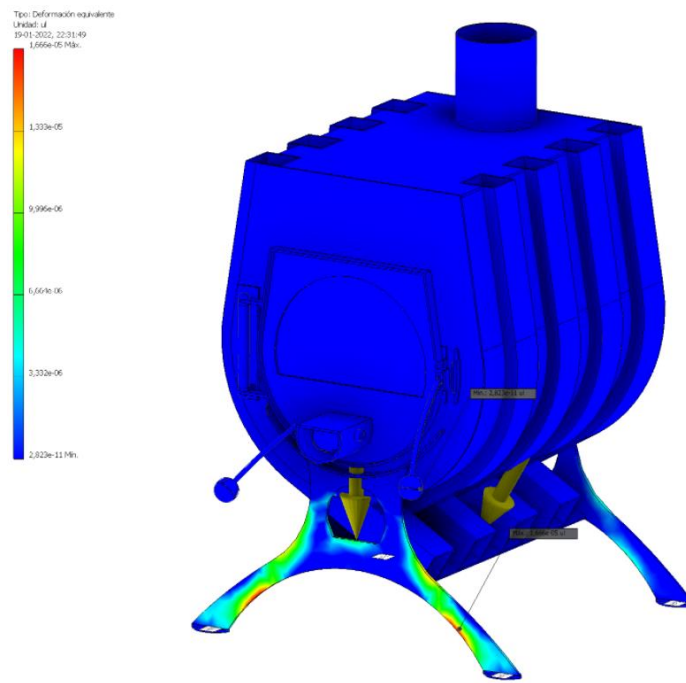


Figura 8-36 Deformación equivalente

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

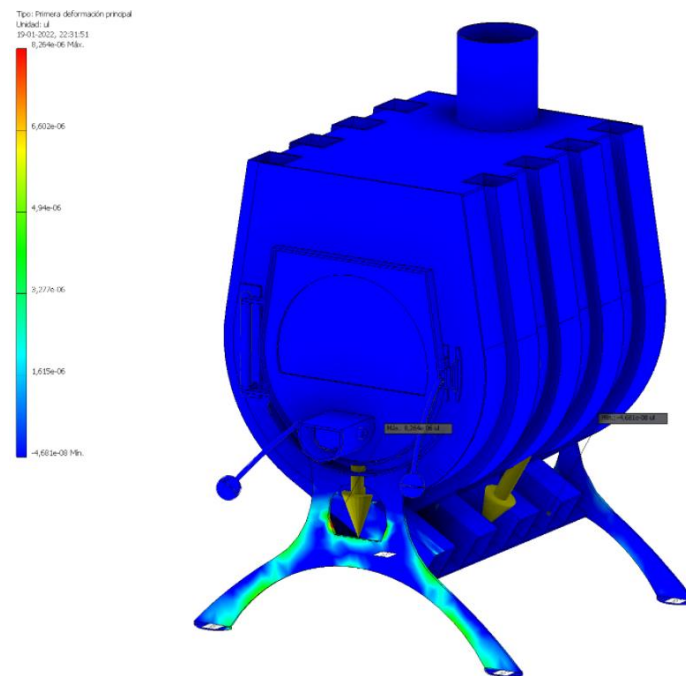


Figura 8-37 Deformación principal

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

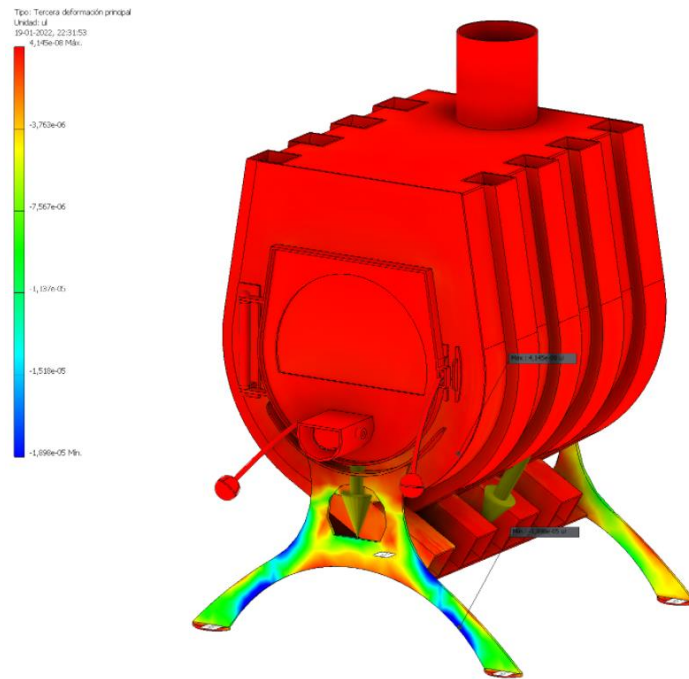


Figura 8-38 Tercera deformación principal

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

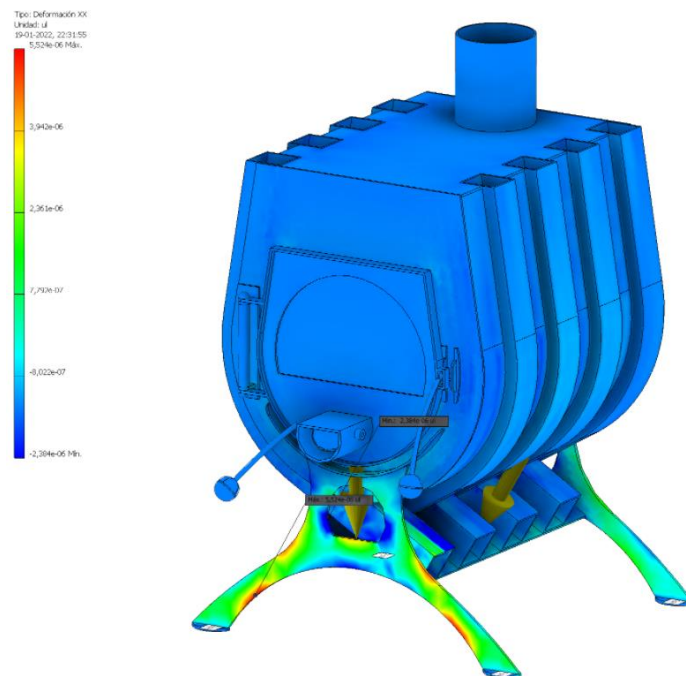


Figura 8-39 Deformación XX

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

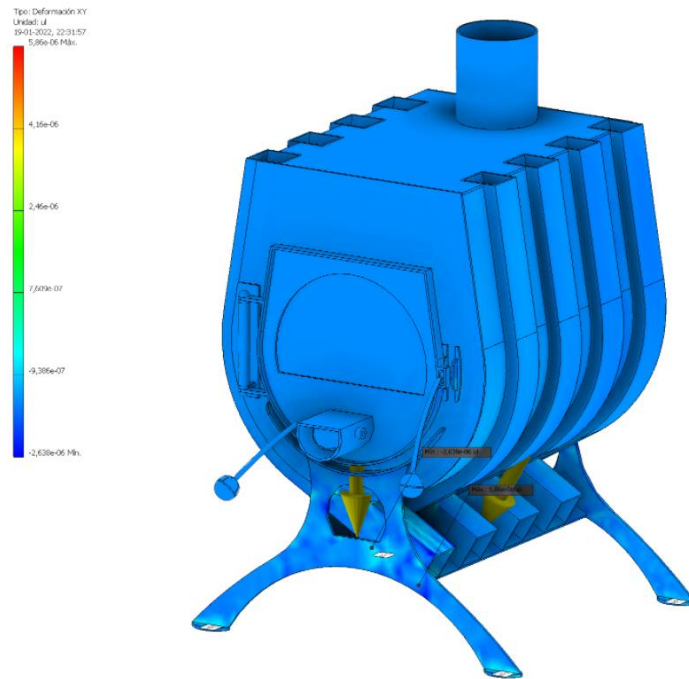


Figura 8-40 Deformación XY

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

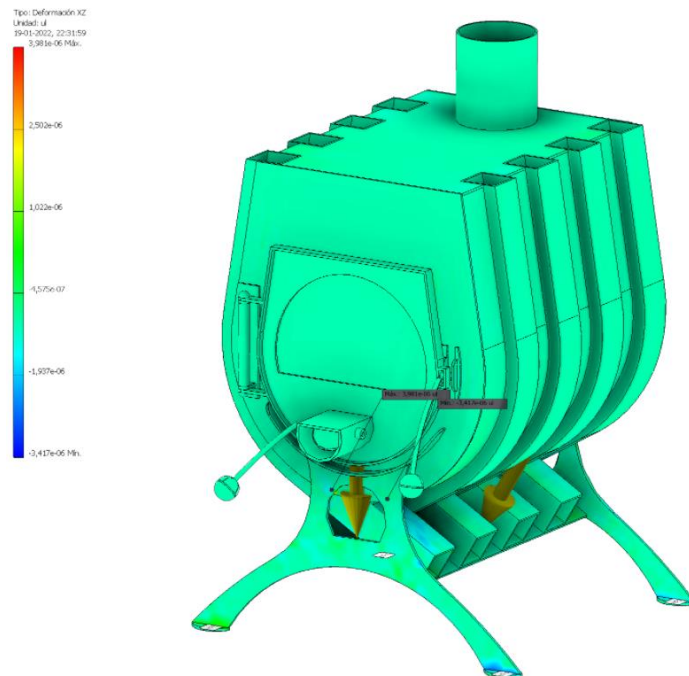


Figura 8-41 Deformación XZ

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

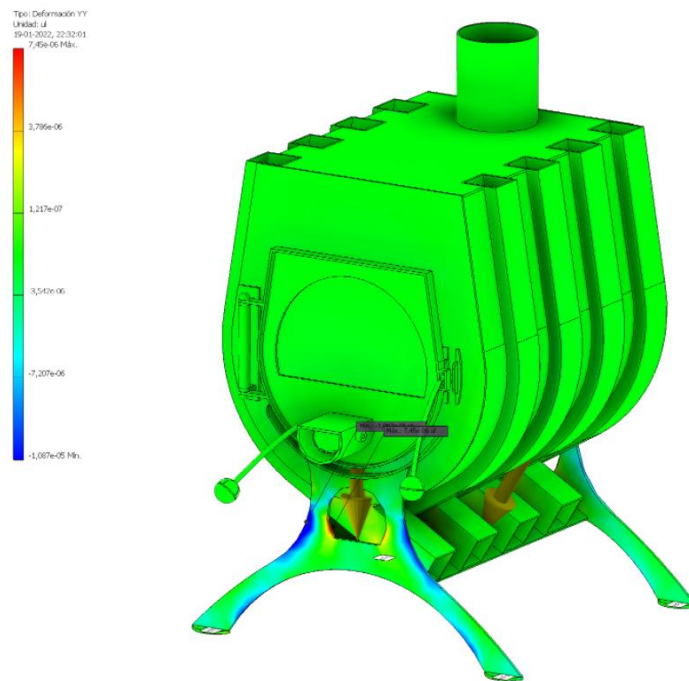


Figura 8-42 Deformación YZ

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

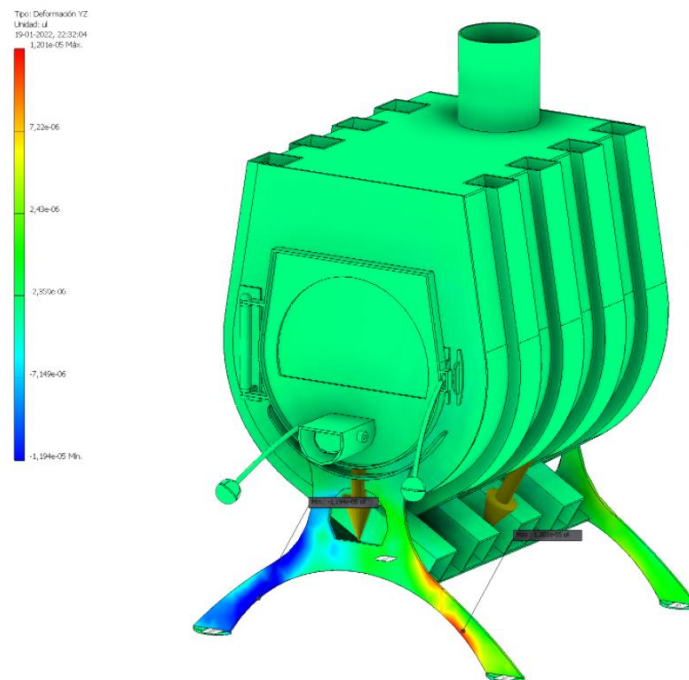


Figura 8-43 Deformación XY

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

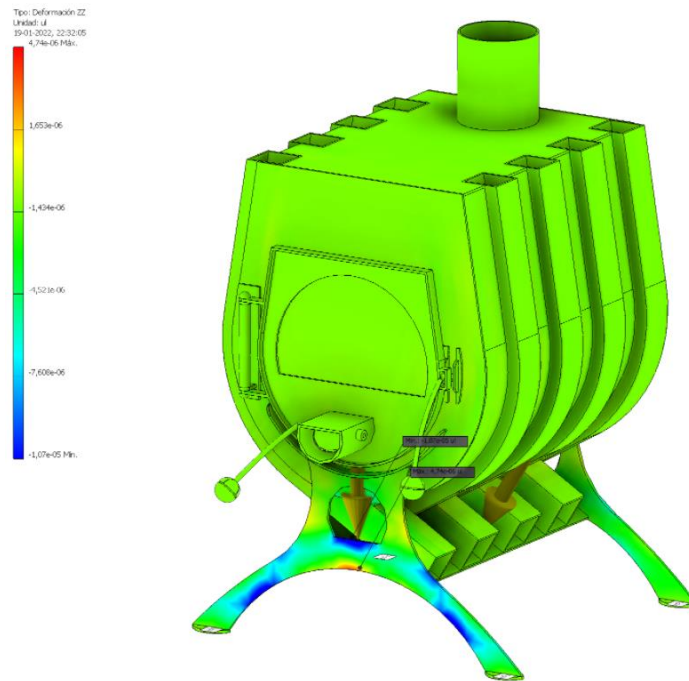


Figura 8-44 Deformación ZZ

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

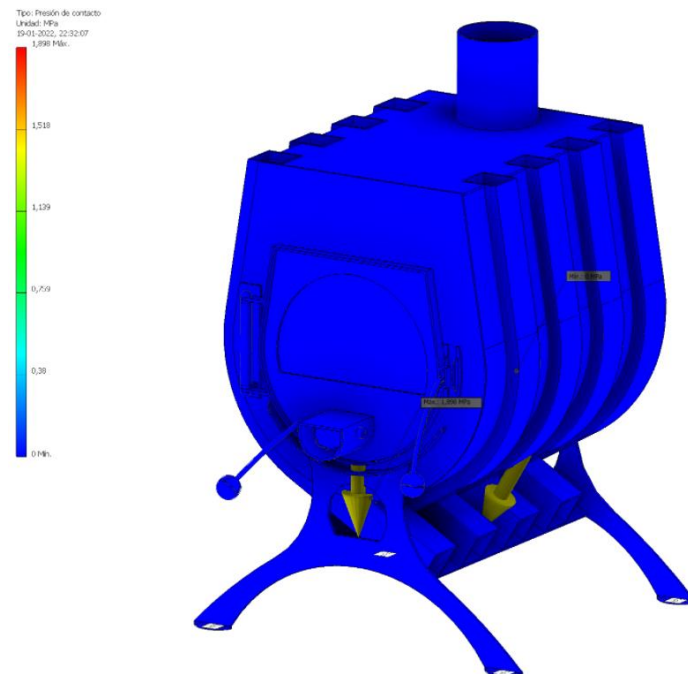


Figura 8-45 Presión de contacto

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

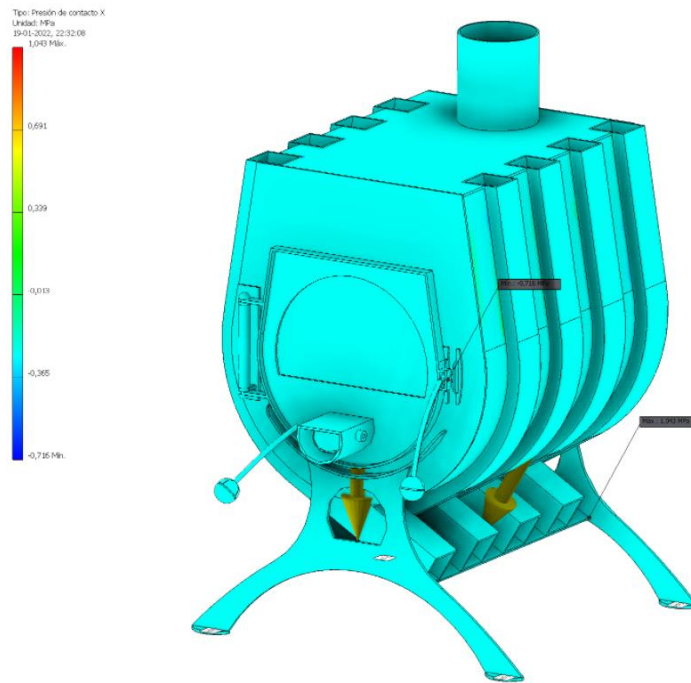


Figura 8-46 Presión de contacto X

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

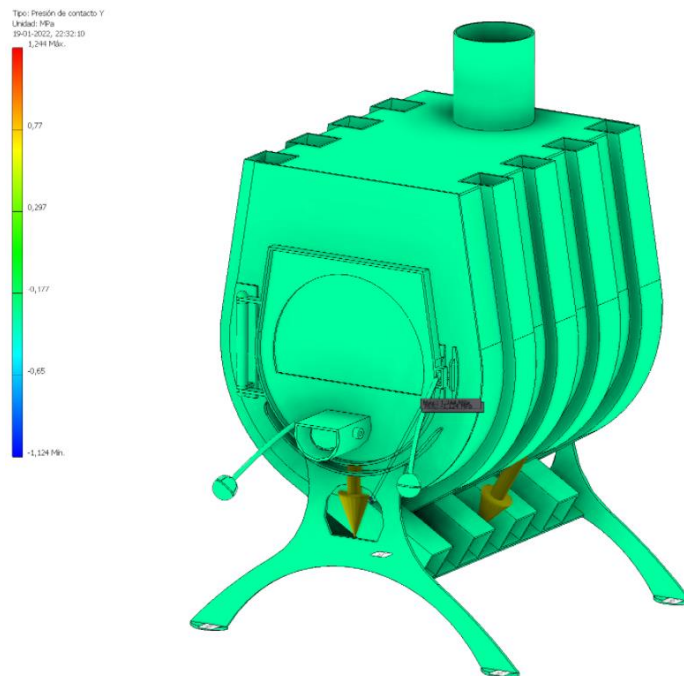


Figura 8-47 Presión de contacto Y

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

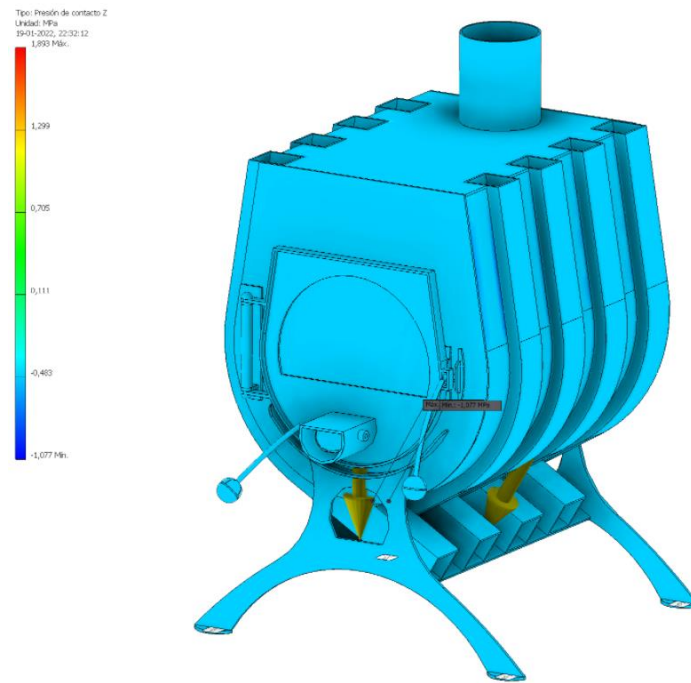
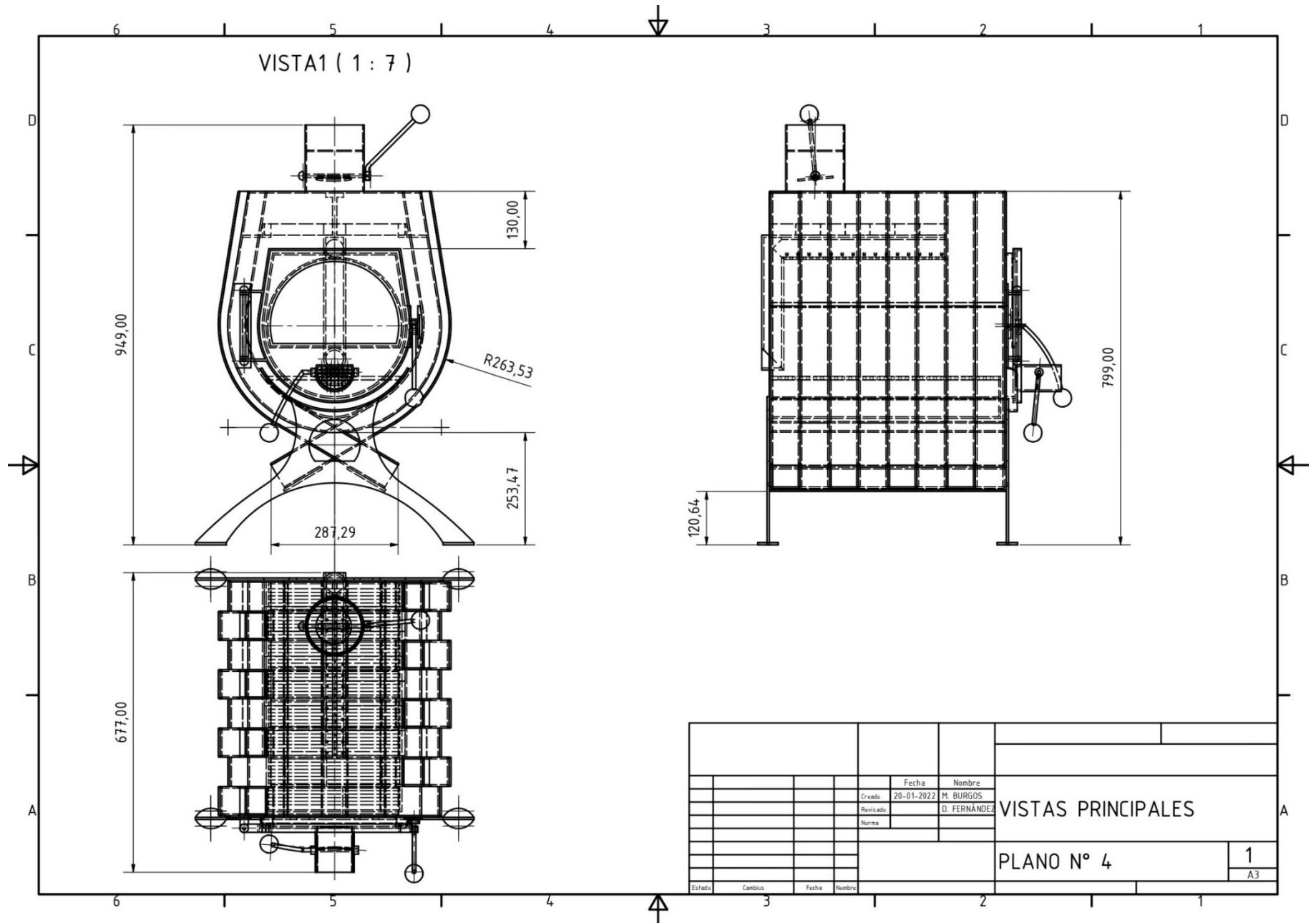


Figura 8-48 Presión de contacto Z

Fuente: (Elaboración propia utilizando software Inventor 2020)

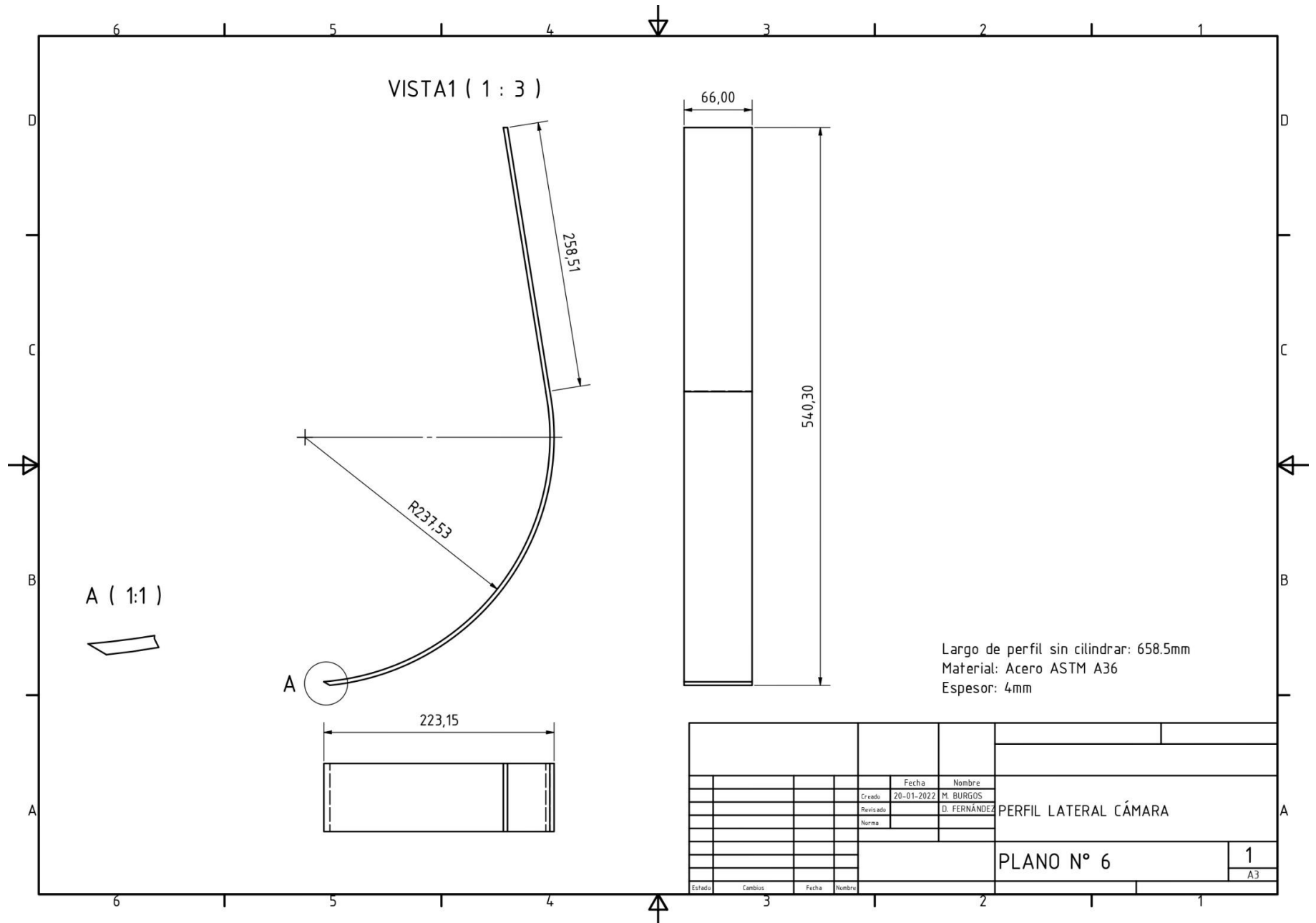
8.4 ANEXO D: PLANOS DE FABRICACION Y ENSAMBLE

A continuación, se presentan la totalidad de los planos de fabricación y ensamble de los componentes que componen la estufa. Además, se incluyen planos de vista explosionada, isométricos y un plano de sugerencia para aprovechamiento de material.

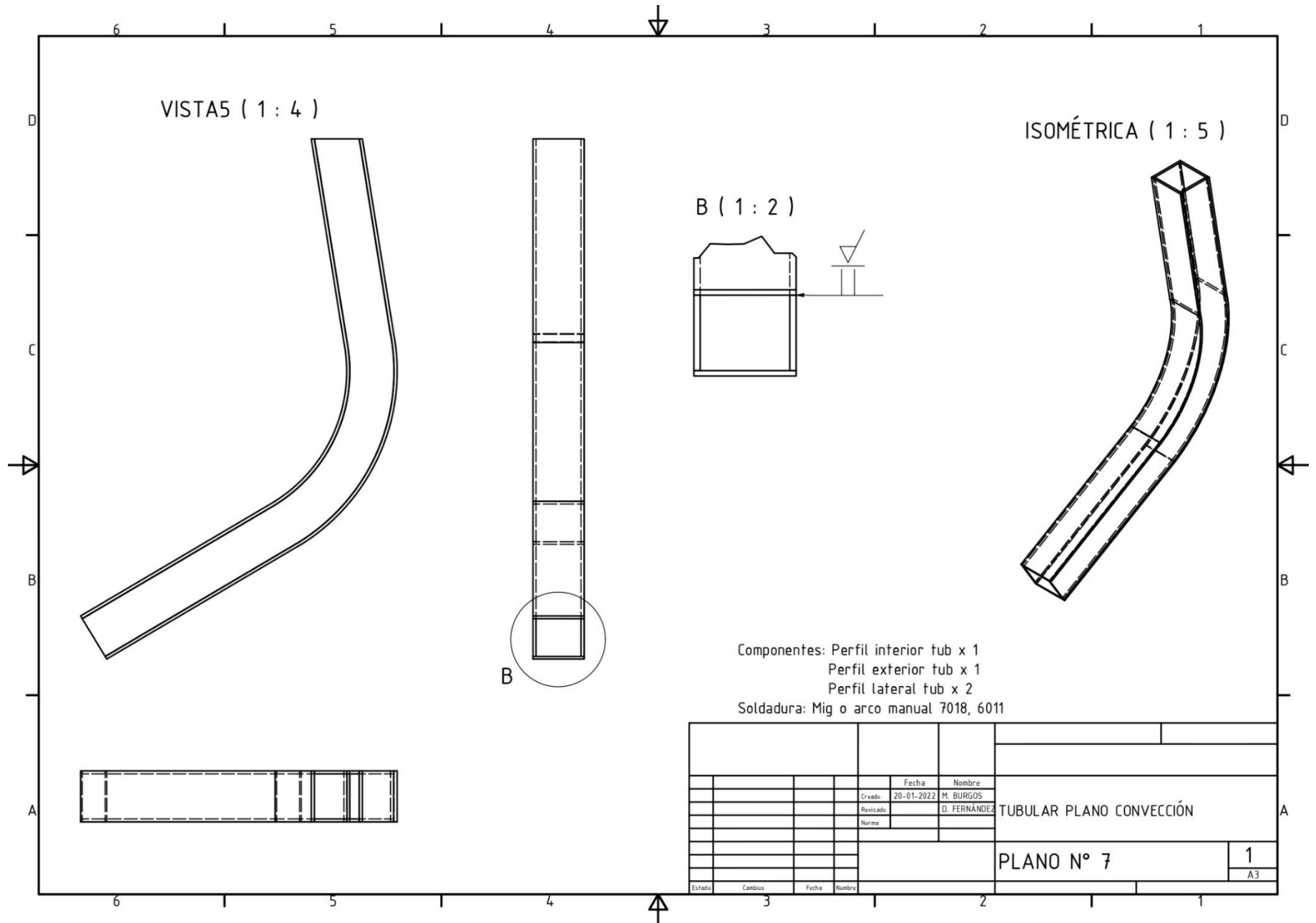


		Fecha	Nombre		
Creado	20-01-2022	M. BURGOS			
Revisado		D. FERNÁNDEZ	VISTAS PRINCIPALES		
Norma					
			PLANO N° 4		1
					A3
Estado	Cambios	Fecha	Numero		

Plano 8-4 Vistas principales diseño final



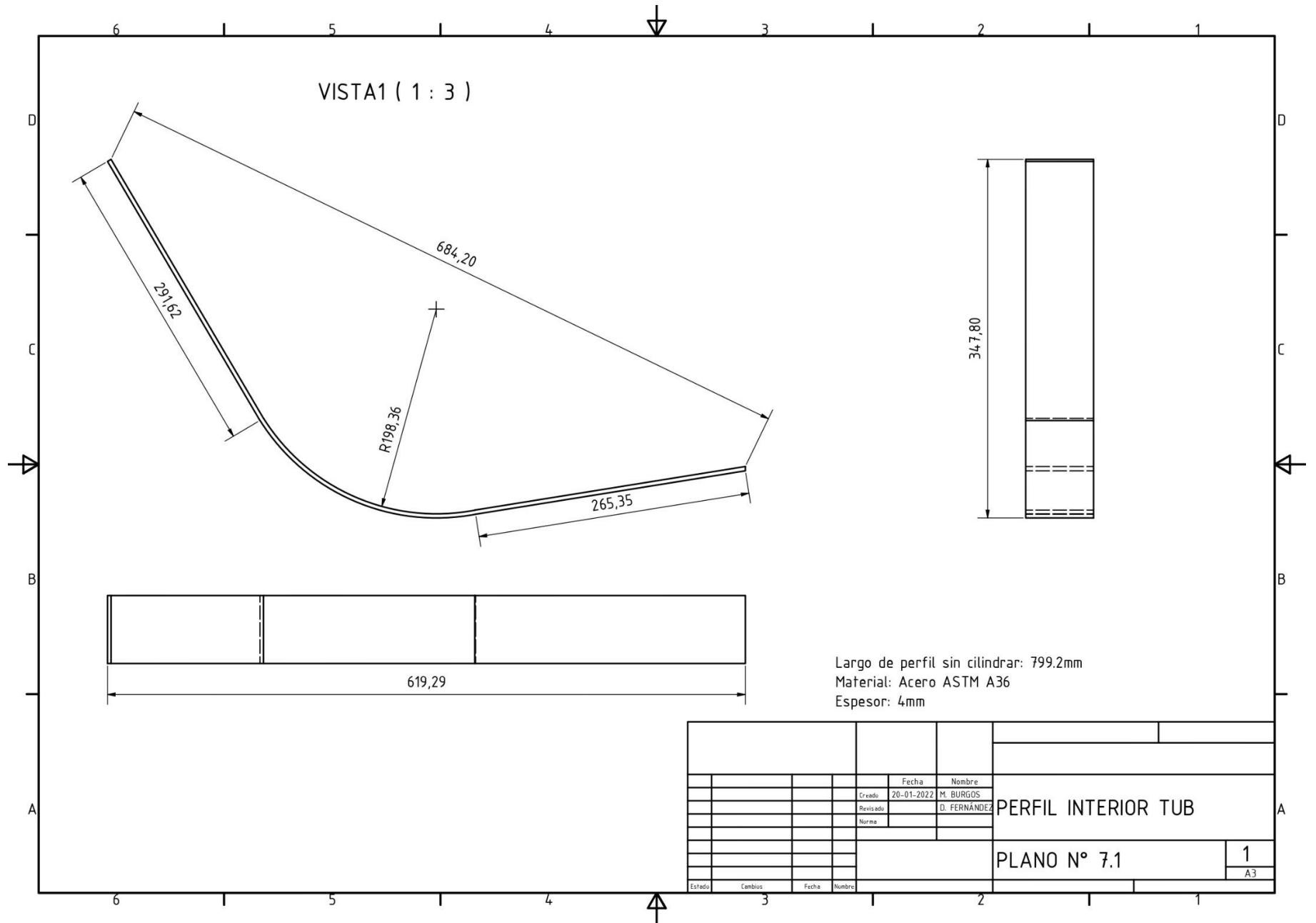
Plano 8-6 Perfil lateral cámara de combustión



Componentes: Perfil interior tub x 1
 Perfil exterior tub x 1
 Perfil lateral tub x 2
 Soldadura: Mig o arco manual 7018, 6011

				Fecha	Nombre		
				Creado	20-01-2022	M. BURGOS	
				Revisado		D. FERNÁNDEZ	
				Norma			
				TUBULAR PLANO CONVECCIÓN			
				PLANO N° 7			
				1			
				A3			
Estado	Cambios	Fecha	Numero				

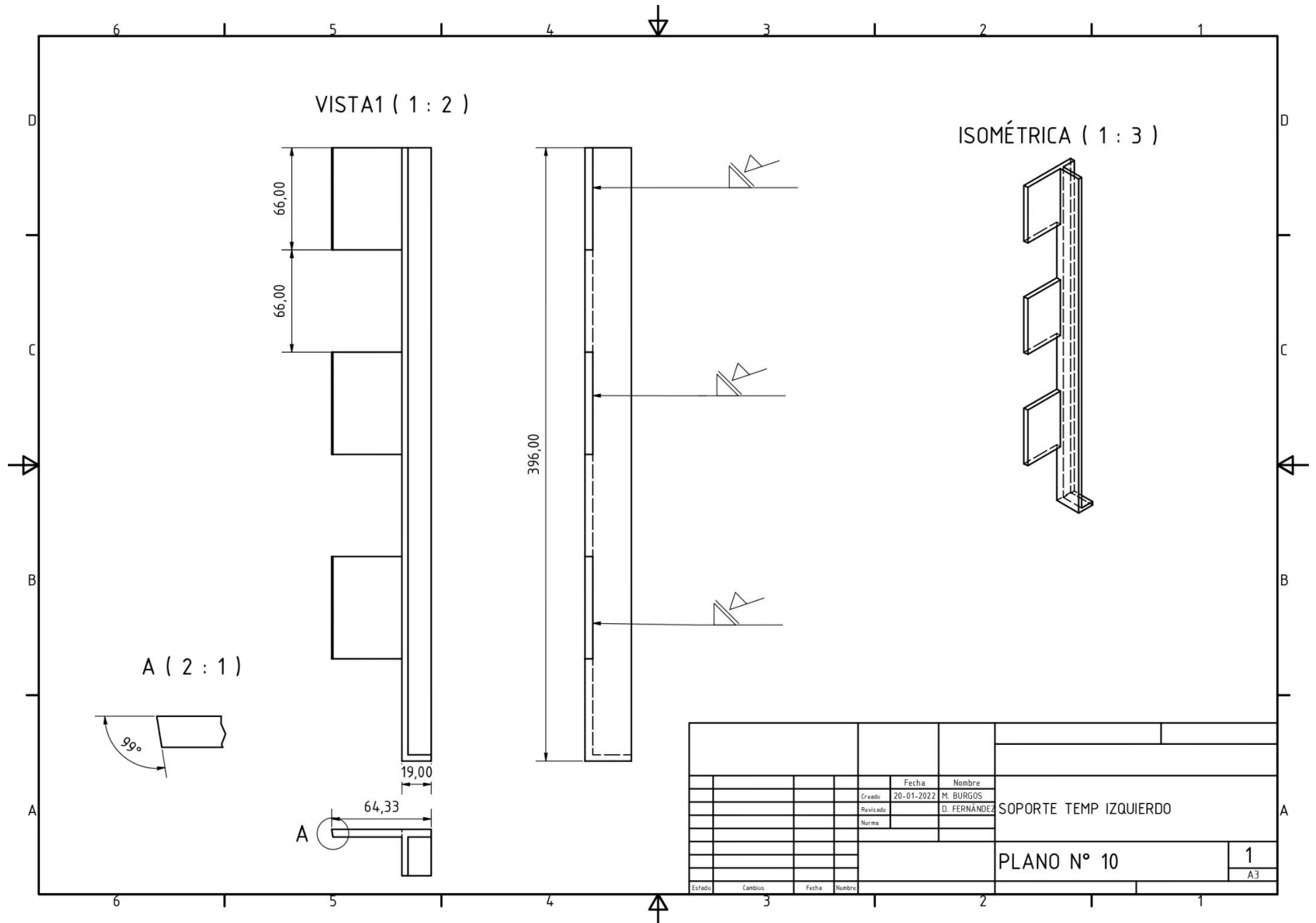
Plano 8-7 Tubular plano convección



Largo de perfil sin cilindrar: 799.2mm
 Material: Acero ASTM A36
 Espesor: 4mm

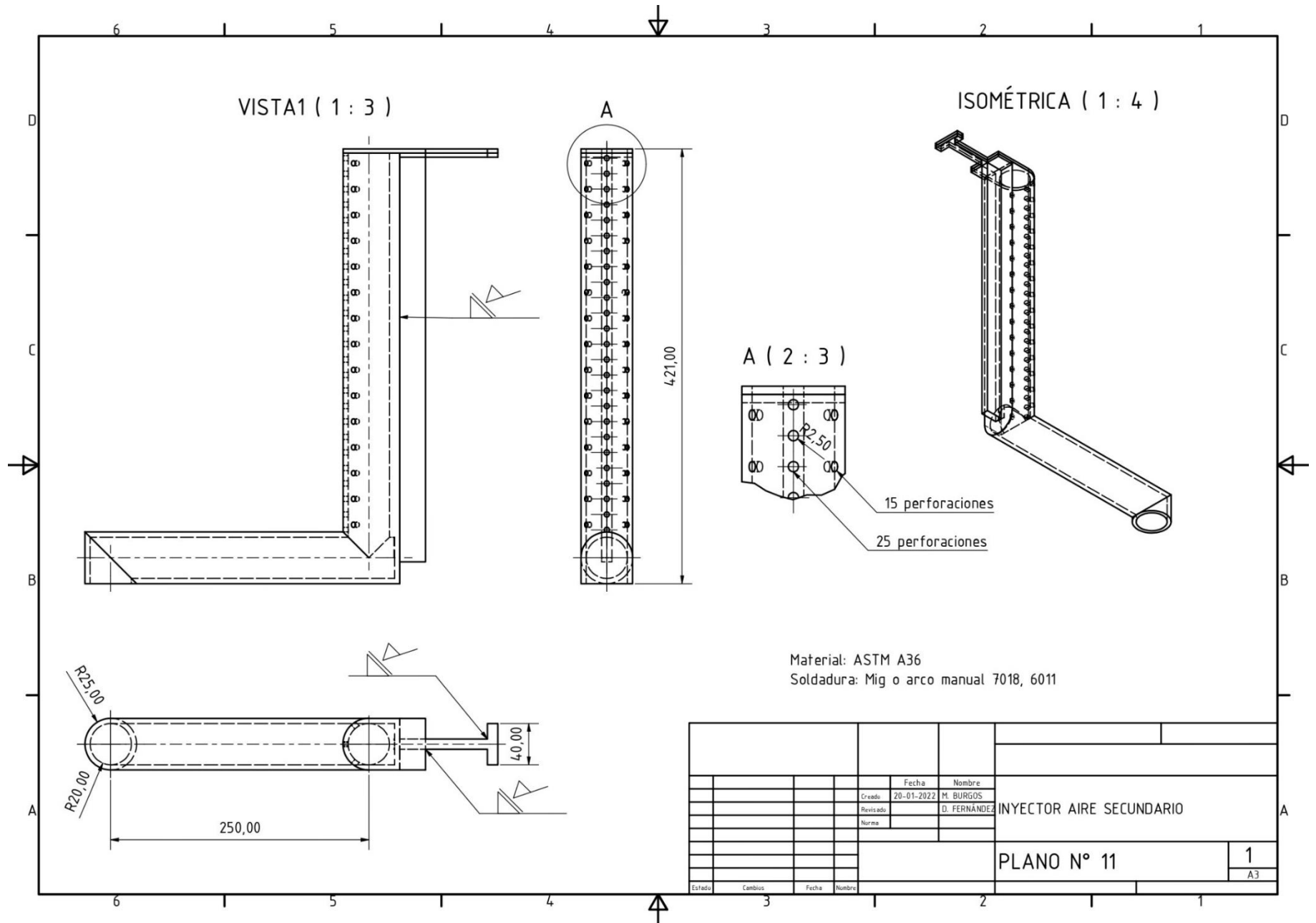
		Fecha	Nombre		
		Creado	20-01-2022	M. BURGOS	PERFIL INTERIOR TUB
		Revisado		D. FERNÁNDEZ	
		Norma			
				PLANO N° 7.1	
				1	
				A3	
Estado	Cambios	Fecha	Nombre		

Plano 8-8 Perfil interior tubular de convección



		Fecha	Nombre	
Creado	20-01-2022	M. BURGOS	SOPORTE TEMP IZQUIERDO	
Revisado		D. FERNÁNDEZ		
Norma				
		PLANO N° 10		1
				A3
Estado	Cambios	Fecha	Numero	

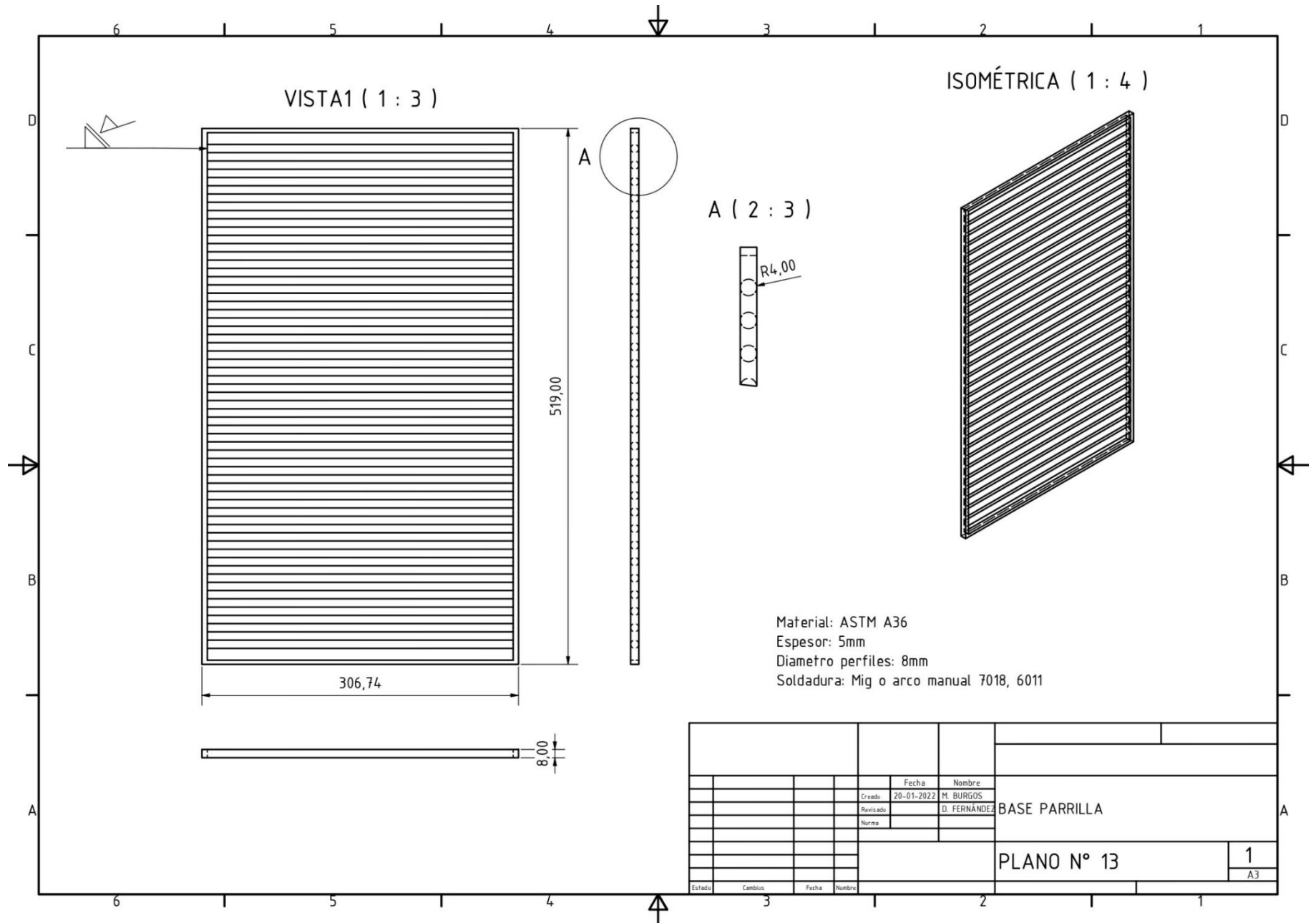
Plano 8-13 Soporte templador lado izquierdo



Material: ASTM A36
 Soldadura: Mig o arco manual 7018, 6011

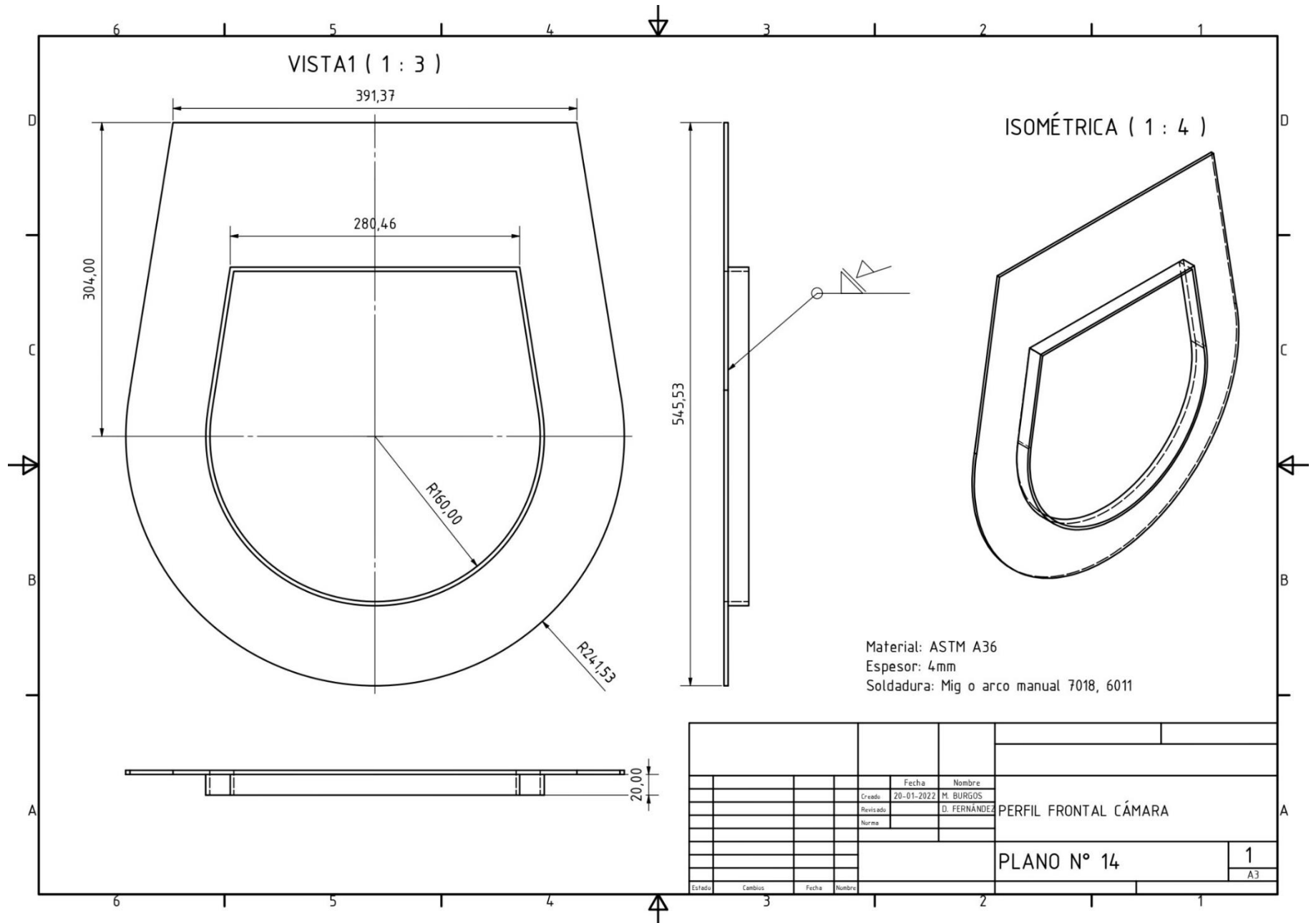
				Fecha	Nombre	INYECTOR AIRE SECUNDARIO	
				Creado	20-01-2022		M. BURGOS
				Revisado			D. FERNÁNDEZ
				Norma			
						PLANO N° 11	1
							A3
Estado	Cambios	Fecha	Numero				

Plano 8-14 Inyector aire secundario

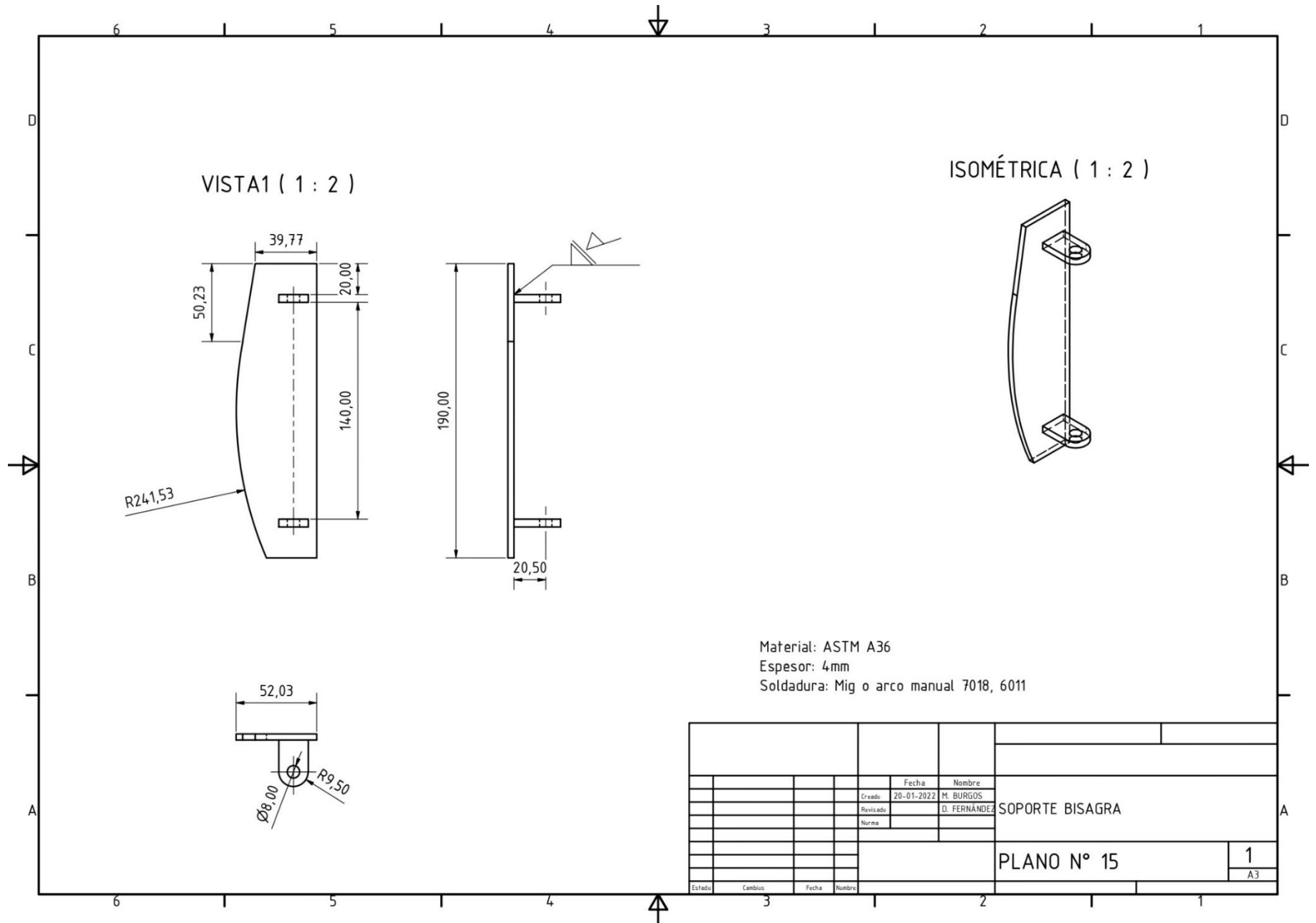


		Fecha	Nombre		
		Creado	20-01-2022	M. BURGOS	BASE PARRILLA
		Revisado		D. FERNÁNDEZ	
		Norma			
				PLANO N° 13	
				1	
				A3	
Estado	Cambios	Fecha	Numero		

Plano 8-16 Base parrilla



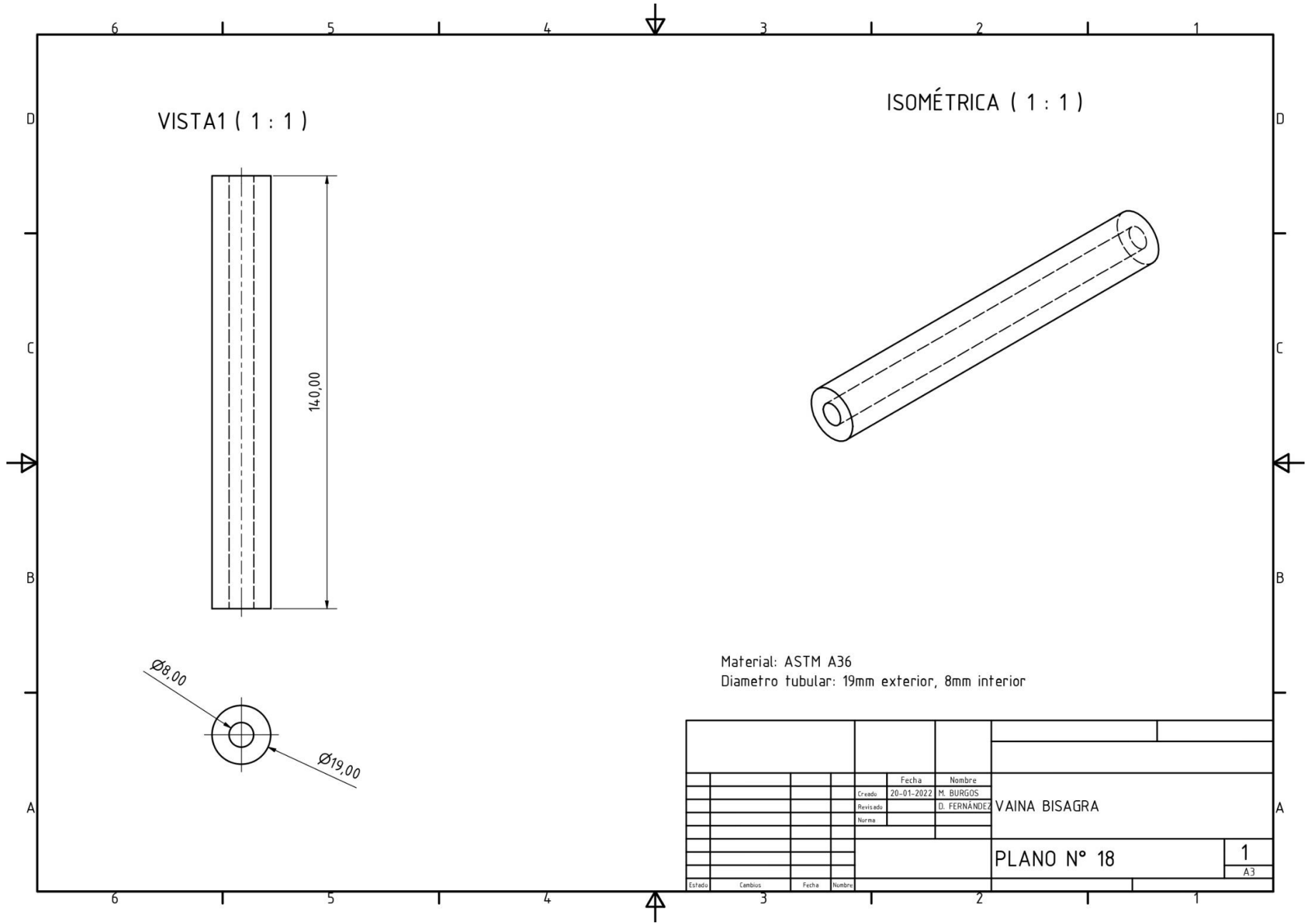
Plano 8-17 Perfil frontal cámara de combustión



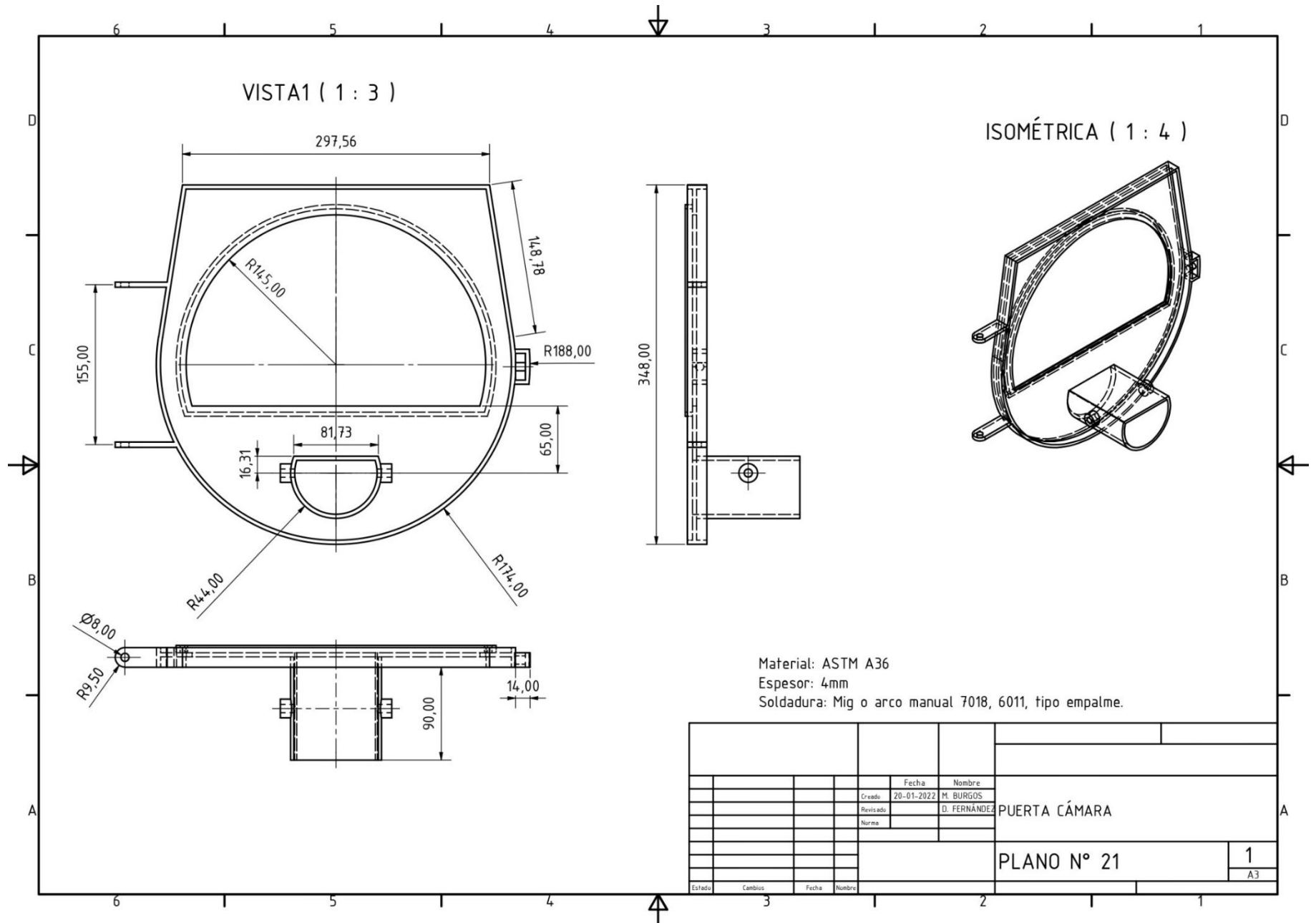
Material: ASTM A36
 Espesor: 4mm
 Soldadura: Mig o arco manual 7018, 6011

				Fecha	Nombre		
				Creado	20-01-2022	M. BURGOS	SOPORTE BISAGRA
				Revisado		D. FERNÁNDEZ	
				Norma			
				PLANO N° 15			1
							A3
Estado	Cambios	Fecha	Numero				

Plano 8-18 Soporte bisagra



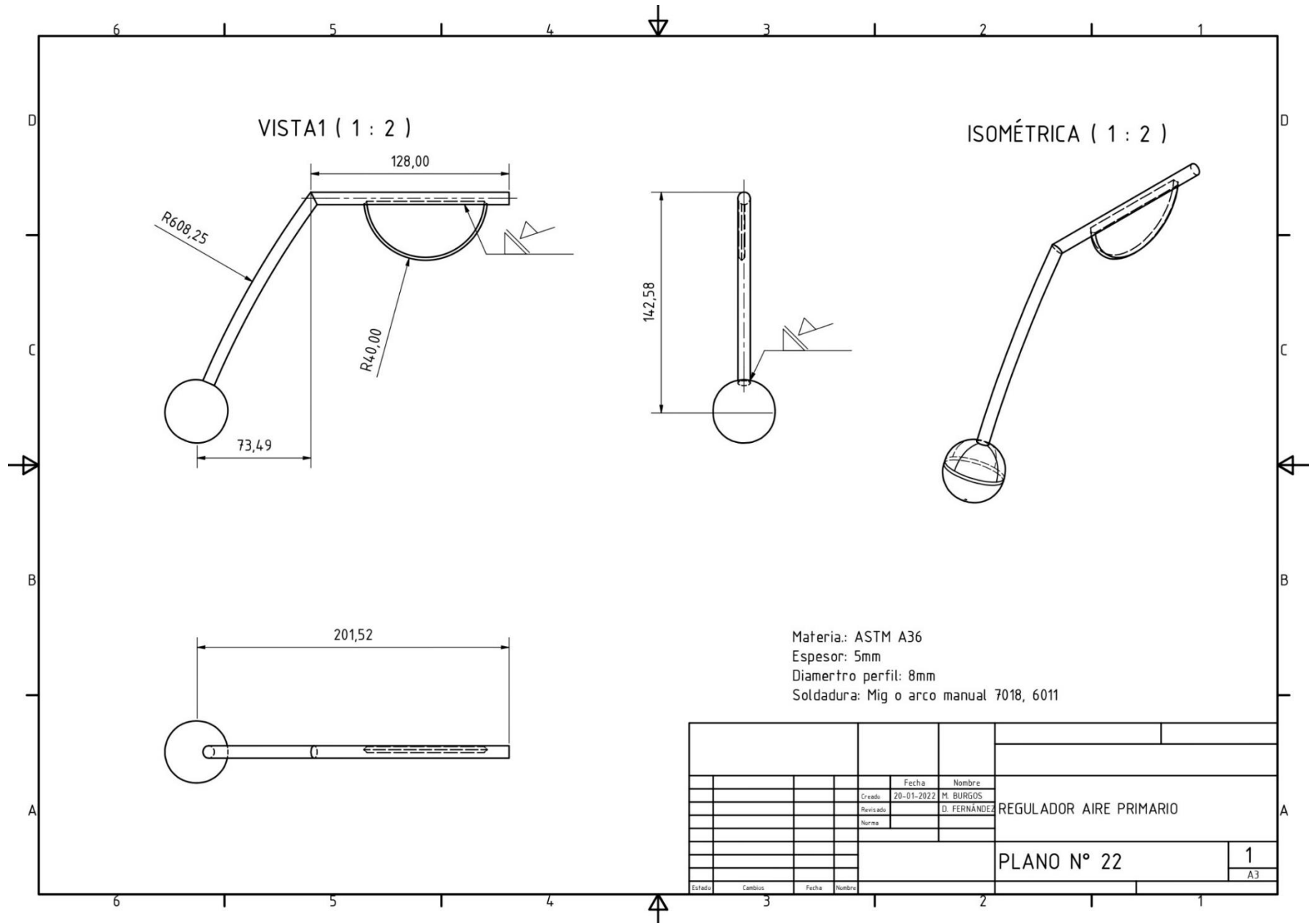
Plano 8-21 Vaina pasador bisagra



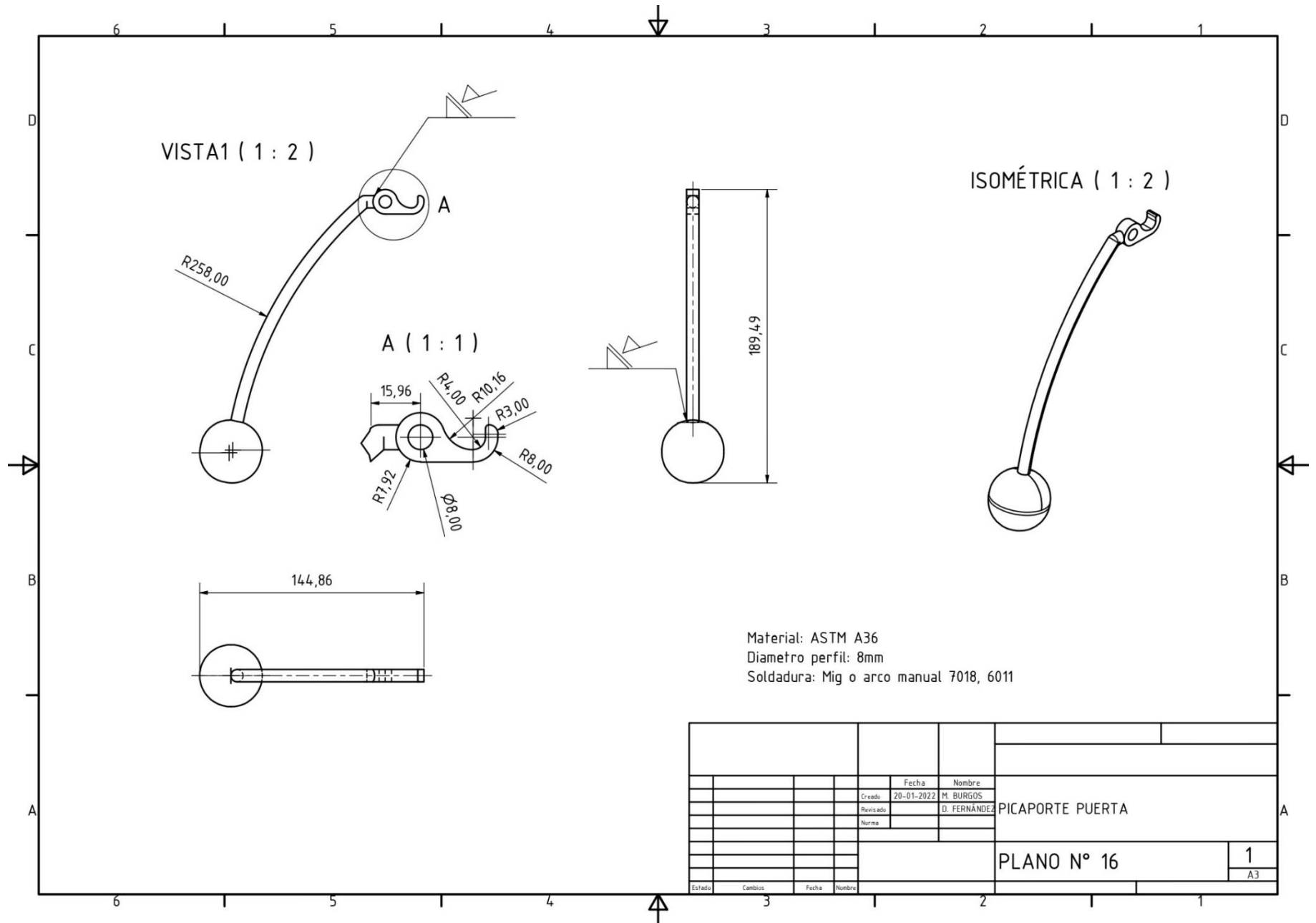
Material: ASTM A36
 Espesor: 4mm
 Soldadura: Mig o arco manual 7018, 6011, tipo empalme.

				Fecha	Nombre		
				Creado	20-01-2022	M. BURGOS	
				Revisado		D. FERNÁNDEZ	
				Norma			
				PUERTA CÁMARA			
				PLANO N° 21			
				1			
				A3			
Estado	Cambios	Fecha	Numero				

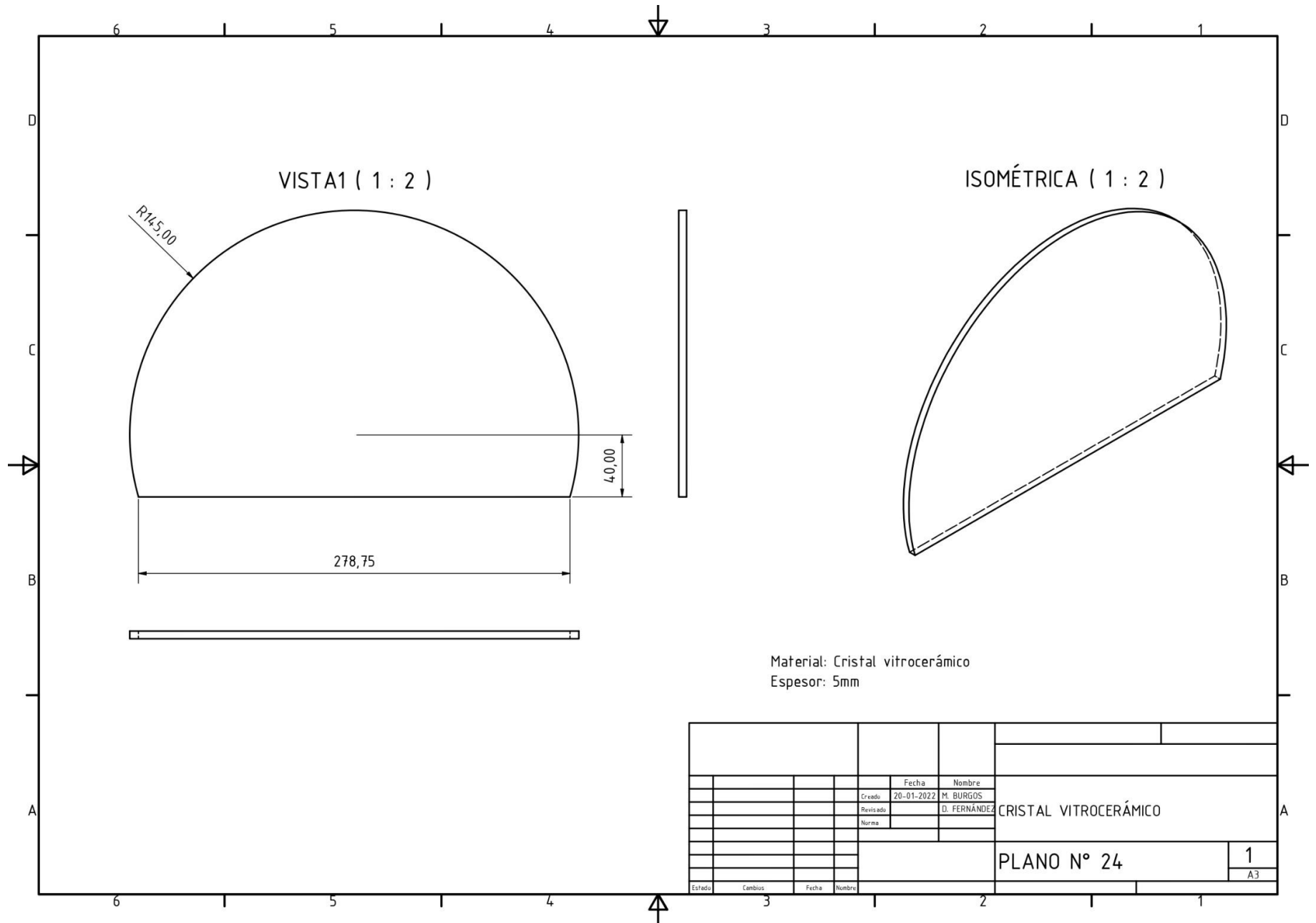
Plano 8-24 Puerta cámara de combustión



Plano 8-25 Regulador de aire primario



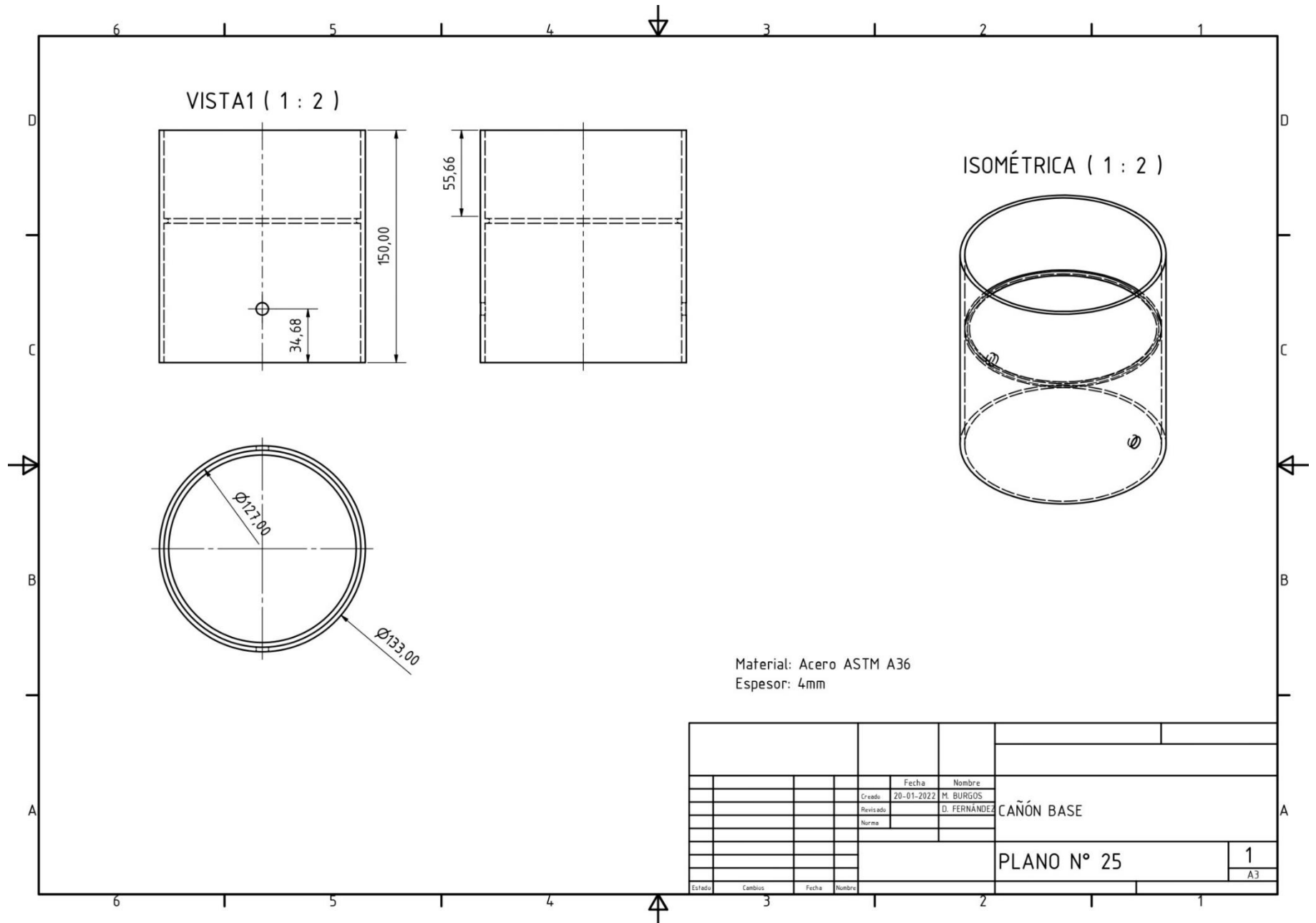
Plano 8-26 Picaporte puerta



Material: Cristal vitrocerámico
 Espesor: 5mm

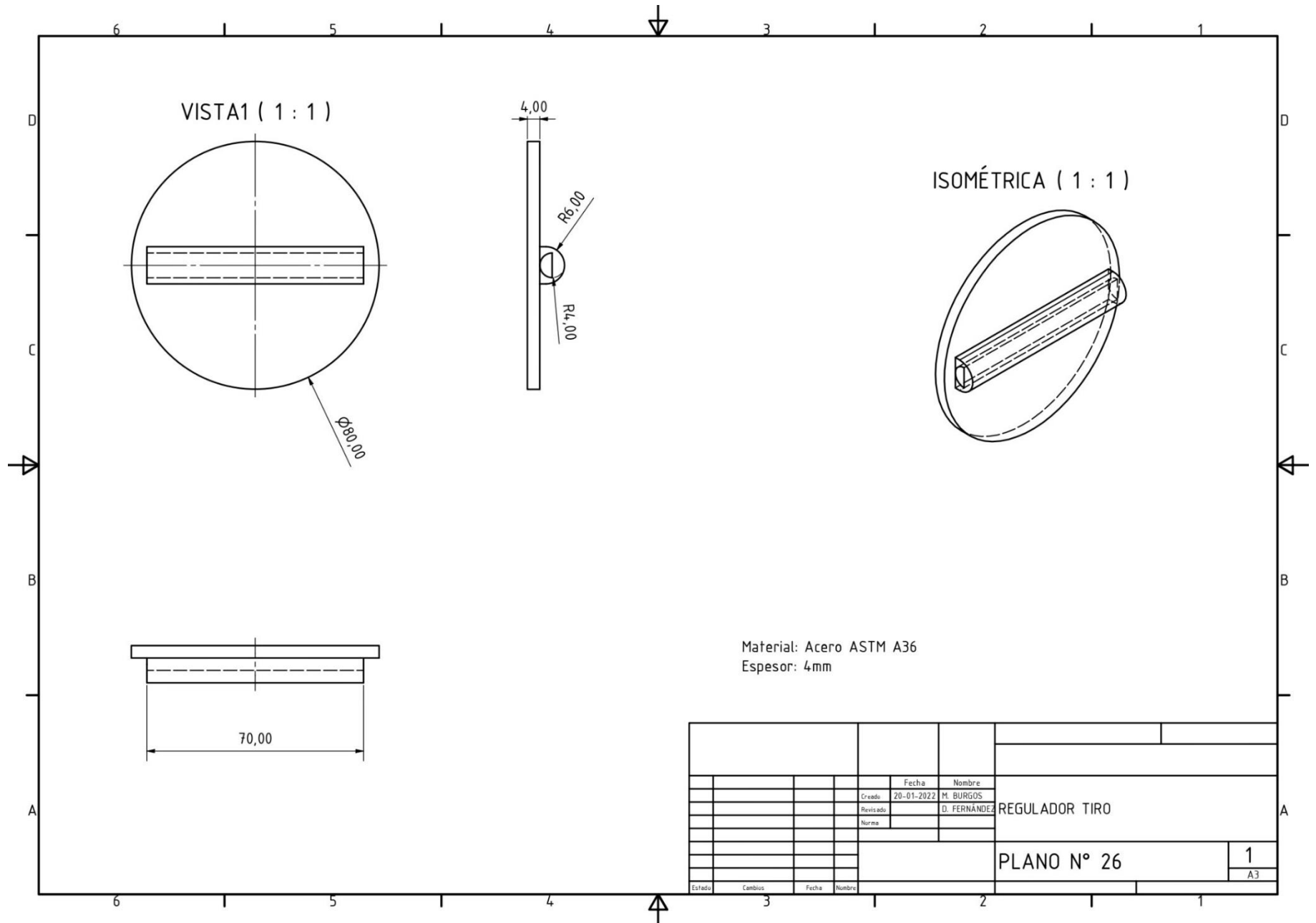
				Fecha	Nombre		
				Creado	20-01-2022	M. BURGOS	
				Revisado		D. FERNÁNDEZ	
				Norma			
				CRISTAL VITROCERÁMICO			
				PLANO N° 24			
				1			
				A3			
Estado	Cambios	Fecha	Numero				

Plano 8-27 Vidrio puerta de cristal vitrocerámico



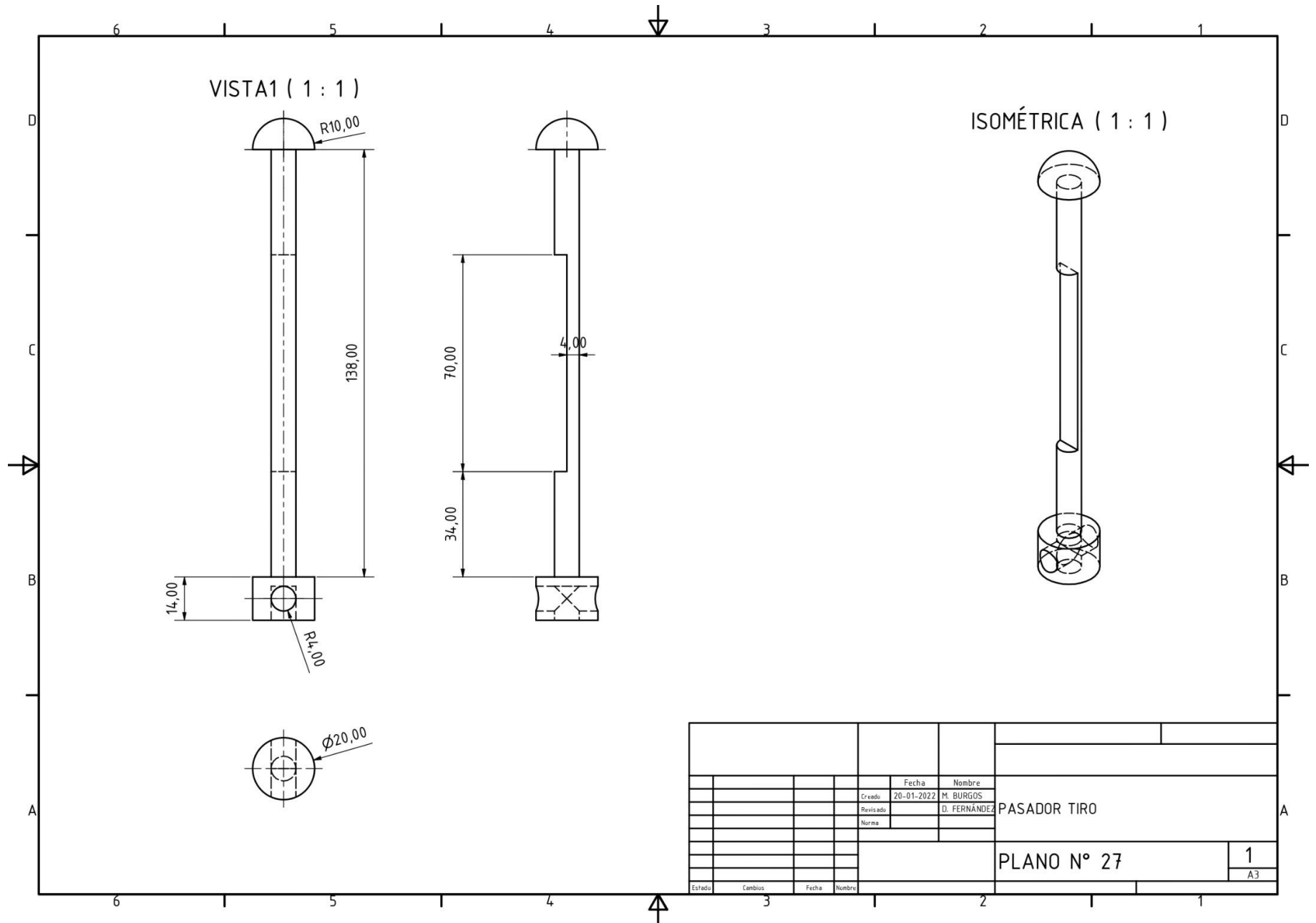
				Fecha	Nombre	CAÑÓN BASE	
				Creado	20-01-2022		M. BURGOS
				Revisado			D. FERNÁNDEZ
				Norma			
				PLANO N° 25			
				1			
				A3			
Estado	Cambios	Fecha	Numero				

Plano 8-28 Cañón base

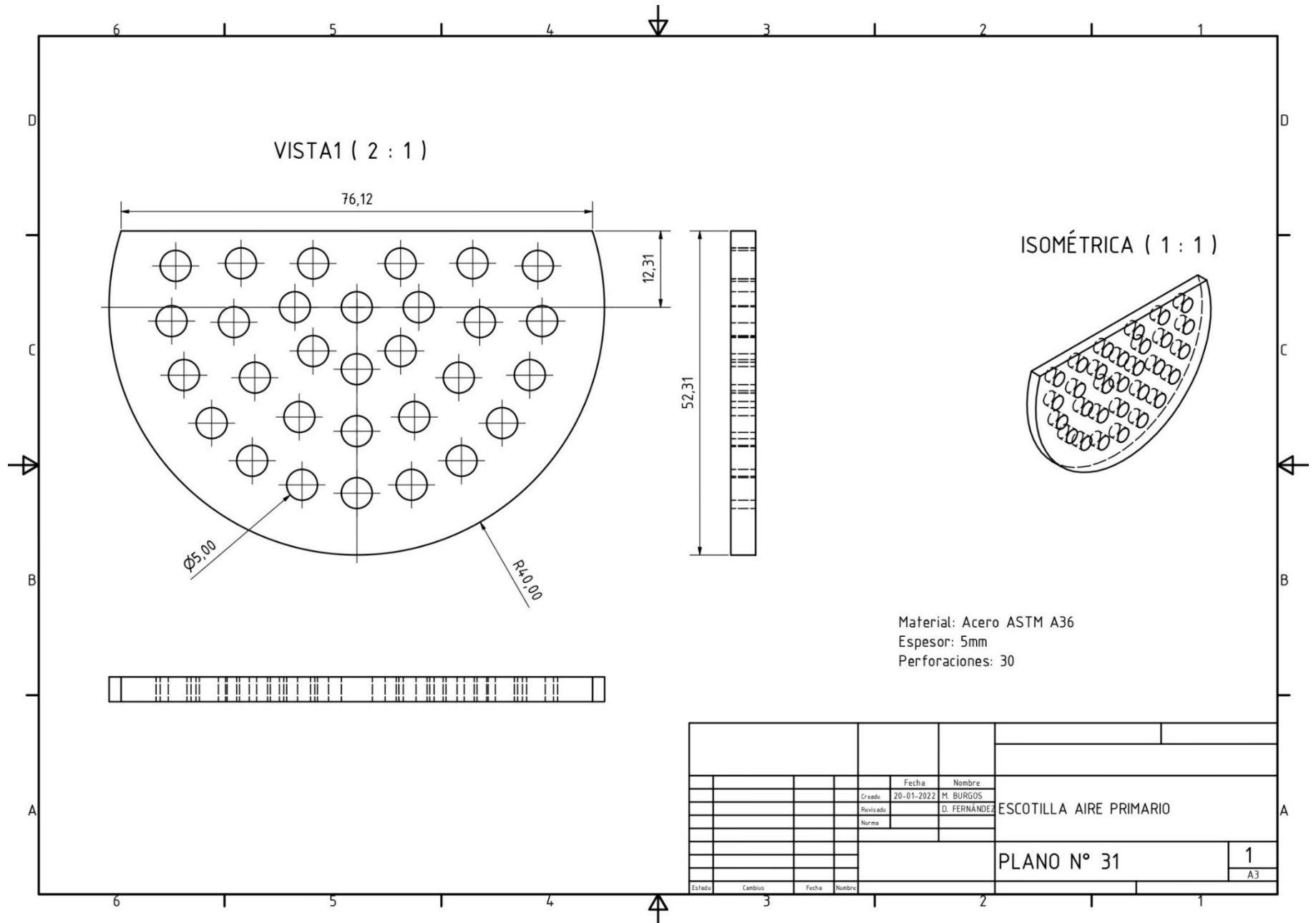


		Fecha	Nombre		
		Creado	20-01-2022	M. BURGOS	REGULADOR TIRO
		Revisado		D. FERNÁNDEZ	
		Norma			
				PLANO N° 26	
				1	
				A3	
Estado	Cambios	Fecha	Numero		

Plano 8-29 Regulador tiro



Plano 8-30 Pasador tiro de cañón

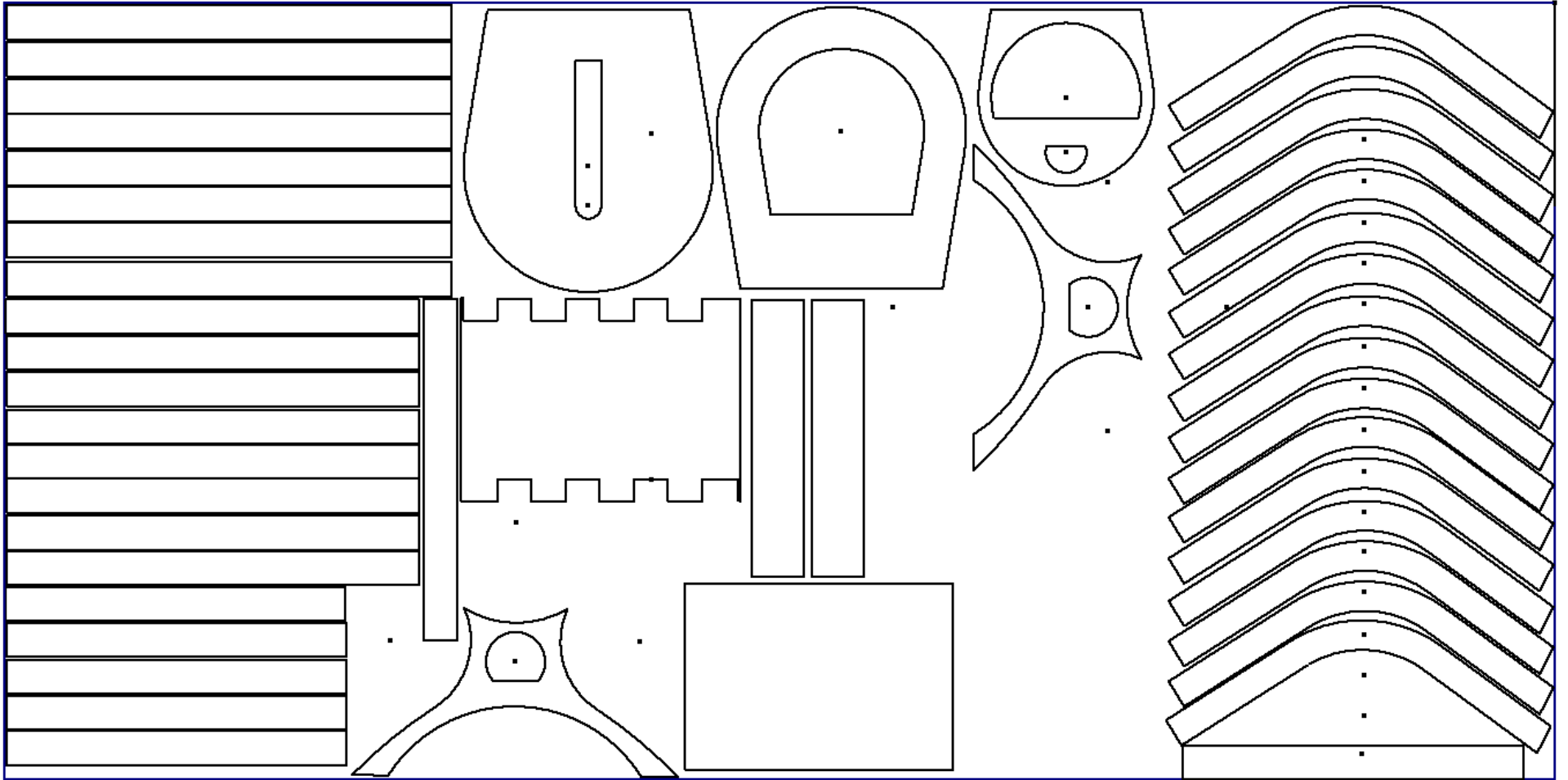


ISOMÉTRICA (1 : 1)

Material: Acero ASTM A36
 Espesor: 5mm
 Perforaciones: 30

		Fecha	Nombre		
		Creado	20-01-2022	M. BURGOS	ESCOTILLA AIRE PRIMARIO
		Revisado		D. FERNÁNDEZ	
		Norma			
		PLANO N° 31			1
					A3
Estado	Cambios	Fecha	Numero		

Plano 8-34 Escotilla aire primario



Plano 8-35 Aprovechamiento de plancha 1500x3000