



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE INFLAMABILIDAD
PARA PRODUCTOS DE CONSTRUCCIÓN PARA EL LABORATORIO DE
INVESTIGACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA LIM UTA”**

Autor: Ronnie Efrain Vargas Cordovilla

Tutor: Ing. Mg. Christian Byron Castro Miniguano

Ambato – Ecuador

Septiembre – 2022

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE INFLAMABILIDAD PARA PRODUCTOS DE CONSTRUCCIÓN PARA EL LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA LIMUTA”**, elaborado por el señor Ronnie Efrain Vargas Cordovilla portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 180475412-3, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente proyecto técnico es original de sus autores.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, septiembre 2022



Ing. Mg. Christian Byron Castro Miniguano

C.I. 180344112-8

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Ronnie Efrain Vargas Cordovilla** C.I. 180475412-3, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente proyecto técnico con el tema **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE INFLAMABILIDAD PARA PRODUCTOS DE CONSTRUCCIÓN PARA EL LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA LIM UTA”**, así como también los registros de datos de ensayos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, septiembre 2022



Ronnie Efrain Vargas Cordovilla

C.I. 180475412-3

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto Técnico, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, septiembre 2022



Ronnie Efrain Vargas Cordovilla

C.I. 180475412-3

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

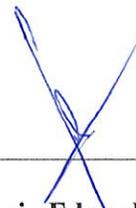
Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por el estudiante Ronnie Efrain Vargas Cordovilla C.I. 180475412-3 de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE INFLAMABILIDAD PARA PRODUCTOS DE CONSTRUCCIÓN PARA EL LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA LIM UTA”**.

Ambato, septiembre 2022

Para constancia firman:



Ing. Mg. Víctor Rodrigo Espín Guerrero
MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Mg. Luis Eduardo Escobar Luna
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de una forma especial a mi abuelita quien con su enseñanza sembró en mi responsabilidad y superación personal, así mismo a mi esposa y mi hermosa hija que han sido los pilares fundamentales en este largo camino, con sus palabras de apoyo han estado siempre presentes en cada momento y así poder cumplir mis metas, a mis padres la gratitud eterna que con su amor y sus buenos consejos han formado un hijo de bien y por su apoyo que siempre será incondicional.

También quiero dedicar a todos mis compañeros y personas que me han apoyado siempre con sus consejos y enseñanzas para poder cumplir esta meta.

Ronnie Vargas

AGRADECIMIENTO

Mi agradeciendo a la Universidad Técnica de Ambato por haberme abierto las puertas y poder estudiar la carrera de Ingeniería Mecánica que con dedicación y esfuerzo he podido cumplir mis metas y alcanzar los objetivos planteados.

Agradezco a mi tutor de tesis el Ing. Mg Christian Castro quien con su conocimiento me ha brindado una mano y enseñanza para realizar este tema y por haberme guía en cada momento en el desarrollo de la tesis.

También quiero agradecer a todas las personas que de una u otra manera han colaborado con un granito de arena en el día a día de mi carrera universitaria, a mis compañeros de clase gracias por todos los momentos compartidos alegrías, tristezas y ganas de poder superarse como personas y poder ser excelentes profesionales.

Ronnie Vargas

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

| | |
|---------------------------------------|------|
| CERTIFICACIÓN | ii |
| AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN | iii |
| DERECHOS DE AUTOR | iv |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO..... | v |
| DEDICATORIA..... | vi |
| AGRADECIMIENTO | vii |
| ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS | viii |
| ÍNDICE DE TABLAS | xi |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xiii |
| RESUMEN | xvi |
| ABSTRACT | xvii |
| CAPÍTULO I..... | 1 |
| PROBLEMA | 1 |
| 1.1. Tema de investigación | 1 |
| 1.2. Justificación | 1 |
| 1.3. Objetivos | 2 |
| 1.3.1. Objetivo General..... | 2 |
| 1.3.2. Objetivos Específicos | 2 |
| CAPÍTULO II..... | 4 |
| FUNDAMENTACIÓN | 4 |
| 2.1. Antecedentes | 4 |
| 2.2. Marco teórico..... | 5 |
| 2.2.1. Incendio | 5 |
| 2.2.2. Proceso de combustión | 6 |
| 2.2.3. Inflamabilidad..... | 6 |
| 2.2.4. Combustible..... | 6 |

| | | |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.5. | Llama | 6 |
| 2.2.6. | Fuego | 6 |
| 2.2.7. | Ignición..... | 6 |
| 2.2.8. | Punto de inflamación | 7 |
| 2.2.9. | Materiales de construcción | 7 |
| 2.2.9.1. | Clasificación de los materiales de construcción según la EN 13501-1 | 7 |
| 2.2.9.2. | Materiales aplicables para la norma ISO 11925 – 2 | 8 |
| 2.2.10. | Comportamiento de los materiales de construcción ante la incidencia al fuego..... | 8 |
| 2.2.11. | Ensayos de inflamabilidad para productos de construcción | 9 |
| 2.2.12. | Ensayo conforme a la ISO 11925-2:2010..... | 10 |
| 2.2.12.1. | Tipo de combustible empleado para el ensayo..... | 10 |
| 2.2.13. | Análisis térmico | 11 |
| 2.2.13.1. | Combustión | 11 |
| 2.2.13.2. | Combustión completa..... | 12 |
| 2.2.13.3. | Combustión incompleta | 12 |
| 2.2.13.4. | Combustión Estequiométrica | 12 |
| 2.2.13.5. | Combustión con exceso de aire..... | 12 |
| 2.2.13.6. | Combustión con deficiencia de aire..... | 13 |
| 2.2.13.7. | Porcentaje de aire en exceso..... | 13 |
| 2.2.14. | Clasificación sobre las cámaras de inflamabilidad..... | 14 |
| CAPÍTULO III | | 17 |
| ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS | | 17 |
| 3.1. | Diseño de la cámara de inflamabilidad..... | 17 |
| 3.1.1. | Selección del tipo de cámara de inflamabilidad | 17 |
| 3.1.2. | Descripción de los elementos de la cámara de inflamabilidad..... | 19 |
| 3.1.3. | Parámetros de diseño la cámara de inflamabilidad con fuente de llama única bajo la ISO 11925-2 ensayos de reacción al fuego de materiales de construcción. | |
| | 25 | |
| 3.1.3.1. | Parámetros de la cabina de la cámara de inflamabilidad..... | 26 |

| | | |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1.4. | Parámetros de diseño de los porta muestras bajo la ISO 11925-2..... | 28 |
| 3.1.5. | Diseño del quemador | 30 |
| 3.1.6. | Diseño del soporte estructural de sujeción de los porta muestras | 32 |
| 3.1.7. | Proceso de soldadura | 36 |
| 3.2. | Análisis térmico del combustible metano | 36 |
| 3.2.1 | Cálculo del comportamiento de combustión del metano..... | 37 |
| 3.3. | Construcción y ensamblaje de la cámara de inflamabilidad..... | 42 |
| 3.4. | Parámetros de ensayo basados en la norma NTE INEN ISO 11925 – 2: 2010 | 50 |
| 3.4.1. | Preparación de los ítems de ensayo | 50 |
| 3.4.2. | Procedimiento de ensayo | 53 |
| 3.5. | Pruebas de funcionamiento y ensayos de inflamabilidad | 56 |
| 3.5.1. | Validación de la cámara de ensayos | 70 |
| 3.6. | Manual de uso y mantenimiento de la cámara de inflamabilidad..... | 71 |
| CAPÍTULO IV | | 75 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | | 75 |
| 4.1 | Conclusiones | 75 |
| 4.2 | Recomendaciones..... | 75 |
| BIBLIOGRAFÍA | | 77 |
| ANEXOS | | 80 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1 Euro clasificación de materiales de construcción..... | 8 |
| Tabla 2 Propiedades y características del gas propano..... | 11 |
| Tabla 3 Indicadores de cantidad de aire en instalaciones comunes | 13 |
| Tabla 4 Selección del material para la fabricación de la máquina de ensayos | 18 |
| Tabla 5 Descripción de los componentes de la cámara de inflamabilidad | 20 |
| Tabla 6 Descripción del porta muestras de materiales planos de hasta 65 mm de espesor | 21 |
| Tabla 7 Descripción del porta muestras de materiales de múltiples capas..... | 22 |
| Tabla 8 Descripción del porta muestras de materiales sueltos | 23 |
| Tabla 9 Descripción del quemador | 24 |
| Tabla 10 Componentes y materiales de la cámara de ensayos | 25 |
| Tabla 11 Selección del material para la fabricación de la máquina de ensayos | 27 |
| Tabla 12 Propiedades del acero AISI 304 | 28 |
| Tabla 13 Parámetros de corriente para soldadura TIG en electrodos de Tungsteno | 36 |
| Tabla 18 Propiedades físicas y químicas del gas metano | 37 |
| Tabla 19 Composición química del aire | 38 |
| Tabla 20 Fracción molar de los productos en la reacción de combustión | 39 |
| Tabla 21 Fracción molar de los productos en la reacción de combustión con aire en exceso | 40 |
| Tabla 22 Entalpias de formación de los productos de combustión | 41 |
| Tabla 23 Entalpias de formación de los productos de combustión | 42 |
| Tabla 14 Descripción del procedimiento de ensayo | 53 |
| Tabla 15 Propiedades del PVC | 58 |

Tabla 16 Precisión de los resultados en el momento de alcanzar 150 mm para tiempos de aplicación de la llama de 30 segundos de acuerdo con la INEN – ISO 11925-2: 2010 . 71

Tabla 17 Validación de la cámara de inflamabilidad de acuerdo con la INEN – ISO 11925-2: 2010..... 71

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 Ensayo de muestras de materiales de sistemas fotovoltaicos | 4 |
| Figura 2 Ensayo de inflamabilidad de madera con recubrimientos sintéticos | 5 |
| Figura 3 Clasificación general de los materiales en la construcción | 7 |
| Figura 4 Ejemplos de los materiales que aplican para los ensayos de inflamabilidad de la norma ISO 11925 – 2 | 9 |
| Figura 5 Esquema general de la cámara de combustión de ítems individuales | 14 |
| Figura 6 Esquema general de la cámara de combustión de fuente de llama única..... | 15 |
| Figura 7 Esquema general de la cámara con panel radiante para suelos | 15 |
| Figura 8 Esquema general del equipo para ensayos de poder calorífico | 16 |
| Figura 9 Esquema general del equipo para ensayos de incombustibilidad | 16 |
| Figura 10 Dimensiones generales de la cámara de combustión | 19 |
| Figura 11 Porta muestras para materiales sin irregularidades | 29 |
| Figura 12 Porta muestras para materiales compuestos | 29 |
| Figura 13 Porta muestras para materiales sueltos | 30 |
| Figura 14 Elementos principales del quemador | 30 |
| Figura 15 Dimensiones del propulsor de gas | 31 |
| Figura 16 Dimensiones del quemador de gas | 31 |
| Figura 17 Dimensiones del estabilizador de llama | 31 |
| Figura 18 Marco de la estructura interna seleccionado para el cálculo de la resistencia del material frente a la carga a la que se encuentra sometido..... | 32 |
| Figura 19 Esquema de la aplicación de la carga en el miembro estructural..... | 33 |
| Figura 20 Diagrama de fuerza cortante y diagrama de momentos | 34 |
| Figura 21 Propiedades de los tubos cuadrados en acero inoxidable AISI 304, el módulo de resistencia está designado por W | 35 |

| | | |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 22 | Diagrama de flujo de la fabricación de la cámara de inflamabilidad..... | 43 |
| Figura 23 | Preparación y corte de las planchas de acero AISI 304 | 44 |
| Figura 24 | Utilización de las herramientas de corte para la preparación del material | 44 |
| Figura 25 | Utilización de las herramientas de corte para la preparación del material | 45 |
| Figura 26 | Utilización de las herramientas de corte para la preparación del material | 45 |
| Figura 27 | Partes de la cámara de combustión dobladas | 46 |
| Figura 28 | Proceso de soldadura TIG aplicado en el ensamblaje de la campana de la cámara de combustión | 46 |
| Figura 29 | Armado de la campana y unión al cuerpo de la cámara de combustión | 47 |
| Figura 30 | Armado del resto de elementos de la cámara de combustión | 47 |
| Figura 31 | Colocación de las puertas en la cámara de combustión | 48 |
| Figura 32 | Ensamblaje y colocación de la malla de acero..... | 48 |
| Figura 33 | Ensamblaje finalizado de la cámara de combustión | 49 |
| Figura 34 | Ensamblaje del quemador | 49 |
| Figura 35 | Ensamblaje del porta muestras para materiales planos..... | 50 |
| Figura 36 | Ensamblaje del mecanismo de regulación del ángulo de aplicación y desplazamiento del quemador | 50 |
| Figura 37 | Dimensiones de la plantilla metálica de corte..... | 51 |
| Figura 38 | Condiciones de ensayo que pueden estar presentes por cada tipo de material, se deben obtener seis ejemplares de ítems de ensayo por cada ensayo completo en direcciones longitudinal y transversal | 51 |
| Figura 39 | Diagrama de flujo del proceso de corte de los ítems de ensayo..... | 52 |
| Figura 40 | Parámetros de acondicionamiento de los ítems de ensayo | 52 |
| Figura 41 | Pesaje del material del piso vinílico..... | 57 |
| Figura 42 | Material piso vinílico PC-E01 acondicionado | 57 |

| | | |
|------------------|----------------------------------------------------------|----|
| Figura 43 | Pesaje del material MDF | 58 |
| Figura 44 | Material piso vinílico PC-E02 acondicionado | 58 |
| Figura 45 | Pesaje del material cielo raso..... | 59 |
| Figura 46 | Material piso vinílico PC-E03 acondicionado | 59 |
| Figura 47 | Procedimiento de ensayo del material | 60 |
| Figura 49 | Papel filtro empleado en el ensayo de piso vinílico..... | 63 |
| Figura 50 | Papel filtro empleado en el ensayo de MDF | 66 |
| Figura 51 | Papel filtro empleado en el ensayo del cielo raso | 69 |
| Figura 52 | Elementos principales de cámara de inflamabilidad..... | 73 |

RESUMEN

Hoy en día es importante cumplir con los requerimientos de calidad de los productos de construcción puesto que su aplicación involucra la seguridad y la vida de las personas, es fundamental que estos productos sean resistentes al fuego y en caso de un evento adverso como este, se pueda garantizar que se evite la propagación de la llama en los materiales básicos de construcción. Por ese motivo, se ha planteado la posibilidad de implementar el ensayo de inflamabilidad de productos de construcción en el Laboratorio de Investigación Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. El presente proyecto técnico se basa en el diseño y fabricación de una cabina de inflamabilidad bajo los requerimientos de la norma NTE INEN - ISO 11925-2: 2010 que se enfoca en el ensayo de productos de construcción, para ello se diseñó el equipo considerando las disposiciones normativas y se construyó el equipo en acero AISI 304 empleando procesos de corte y soldadura TIG con material de aporte y gas de protección, finalmente, se validó el equipo realizando ensayos a tres diferentes materiales como son: piso vinílico, MDF y cielo raso, con los resultados del ensayo bajo los criterios de la NTE INEN - ISO 11925-2: 2010 se determinó que el equipo cumple con todos los requerimientos.

PALABRAS CLAVE: Inflamabilidad, ensayos, productos de construcción, ISO 11925-2: 2010, cámara de inflamabilidad

ABSTRACT

Nowadays it is important to comply with the quality requirements of construction products since their application involves the safety and life of people, it is essential that these products are fire resistant and in case of an adverse event such as this, it can be guaranteed that the spread of flame in the basic building materials is avoided. For this reason, the possibility of implementing the flammability test of construction products in the Mechanical Research Laboratory of the Faculty of Civil and Mechanical Engineering of the Technical University of Ambato has been proposed. This technical project is based on the design and manufacture of a flammability cabinet under the requirements of the NTE INEN - ISO 11925-2: 2010 standard that focuses on the testing of construction products, for this the equipment was designed considering the regulatory provisions and the equipment was built in AISI 304 steel using cutting processes and TIG welding with filler material and shielding gas, finally, the equipment was validated by testing three different materials such as: vinyl flooring, MDF and ceiling, with the test results under the criteria of NTE INEN - ISO 11925-2: 2010 it was determined that the equipment meets all the requirements.

KEYWORDS: Flammability, testing, building products, ISO 11925-2: 2010, flammability chamber

CAPÍTULO I

PROBLEMA

1.1.Tema de investigación

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE INFLAMABILIDAD PARA PRODUCTOS DE CONSTRUCCIÓN PARA EL LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA LIM UTA”

1.2.Justificación

En la actualidad se han evidenciado numerosos avances tecnológicos en la industria, siendo uno de los más notables el sector de la construcción. Hoy en día la reacción al fuego caracteriza la combustibilidad o incombustibilidad de un material y por ende dichos materiales se han clasificado en según el grado de inflamabilidad, lo que permite a los fabricantes de productos para la construcción trabajar día a día implementando nuevos materiales por lo cual es necesario conocer sus propiedades, características y posibles riesgos a los que están expuestos.

El Laboratorio de Investigación de Ingeniería Mecánica LIM UTA posee la certificación para realizar ensayos de inflamabilidad por lo cual se ve en la necesidad de implementar una cámara de inflamabilidad para productos de construcción mediante los requisitos establecidos por la Norma NTE INEN - ISO 11925-2: 2010 para poder satisfacer las necesidades de la industria nacional y local, tras pasar las pruebas, los productos son clasificados en una escala de valores que nos indican el nivel de inflamabilidad de ese material y este método de ensayo permitirá definir el comportamiento de los productos ante el fuego.

El presente proyecto pretende realizar el diseño y construcción de una cámara de inflamabilidad y obtener la validación del método para poder realizar ensayos según los parámetros establecidos por la Norma NTE INEN - ISO 11925-2: 2010 en productos para la construcción y prestar sus servicios dentro y fuera de la Universidad Técnica de Ambato, las pruebas de inflamabilidad en dichos materiales ayudaran a la fabricantes y proveedores a conocer la confiabilidad y seguridad que brinda el producto.

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar y construir una cámara de inflamabilidad para productos de construcción mediante los requisitos establecidos por la Norma NTE INEN - ISO 11925-2: 2010 para el Laboratorio de Investigación de Ingeniería Mecánica LIM UTA.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar las condiciones y parámetros de diseño de la cámara de inflamabilidad.

Se realizará un análisis bibliográfico basado en las normas que establecen los parámetros de diseño una cámara de inflamabilidad para productos de construcción. Se tiene la Norma NTE INEN - ISO 11925-2: 2010 donde se habla sobre ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción.

- Construcción de una cámara de inflamabilidad para productos de construcción según la Norma NTE INEN - ISO 11925-2: 2010.

Después de realizar el diseño y verificar que cumpla con los requisitos establecidos en la norma NTE INEN - ISO 11925-2: 2010, se implementarán los criterios de manufactura para el proceso de construcción de la cámara de inflamabilidad.

- Realizar pruebas de funcionamiento y ensayos de inflamabilidad para la validación del método.

Mediante una investigación bibliográfica se obtendrá información necesaria para la realización de los ensayos de inflamabilidad en materiales de construcción, las pruebas se realizarán en distintos materiales ya que el método especifica un ensayo para determinar la inflamabilidad de los productos sometidos a una pequeña llama directa con radiación nula, se usarán muestras de ensayo orientadas verticalmente.

- Determinar los parámetros y lineamientos técnicos de la Norma NTE INEN-ISO 11925-2: 2010.

Con la obtención de la norma NTE INEN-ISO 11925-2: 2010 se podrá especificar los procedimientos necesarios para realizar ensayos de inflamabilidad en productos de

construcción, la información obtenida ayudará a conocer los parámetros técnicos de dicha norma para desarrollar de mejor manera el presente proyecto técnico.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1. Antecedentes

Existen diversas razones por las que las aplicaciones de los materiales están expuestas a incendios, por esa razón, las normas ISO han desarrollado varios procedimientos de análisis de su comportamiento al fuego. En la ISO 11925-2:2010 se describe la metodología de ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción cuando se someten a la acción directa de la llama [1].

Algunas de las aplicaciones de la normativa para la verificación de la resistencia al fuego de los materiales de construcción se enfocan en los sistemas fotovoltaicos. En el caso de los módulos fotovoltaicos están expuestos a riesgos de incendio. Los ensayos se han llevado a cabo para identificar puntos críticos y posibles mejoras en los materiales con los que se fabrican. Los principales parámetros estudiados fueron la inclinación del módulo, la potencia de llama de ignición, potencia y tiempo de duración de la llama y el grado de deterioro inicial de la muestra [2].



Figura 1 Ensayo de muestras de materiales de sistemas fotovoltaicos [2]

Otra de las aplicaciones de la normativa se enfoca en materiales de madera que tienen la presencia de sustancias susceptibles al fuego como poliuretanos y disolventes que pueden liberar gases contaminantes peligrosos para la salud. Una de las conclusiones de este

estudio fue que los materiales de madera recubiertos con barnices cumplen con las especificaciones de resistencia al fuego [3].

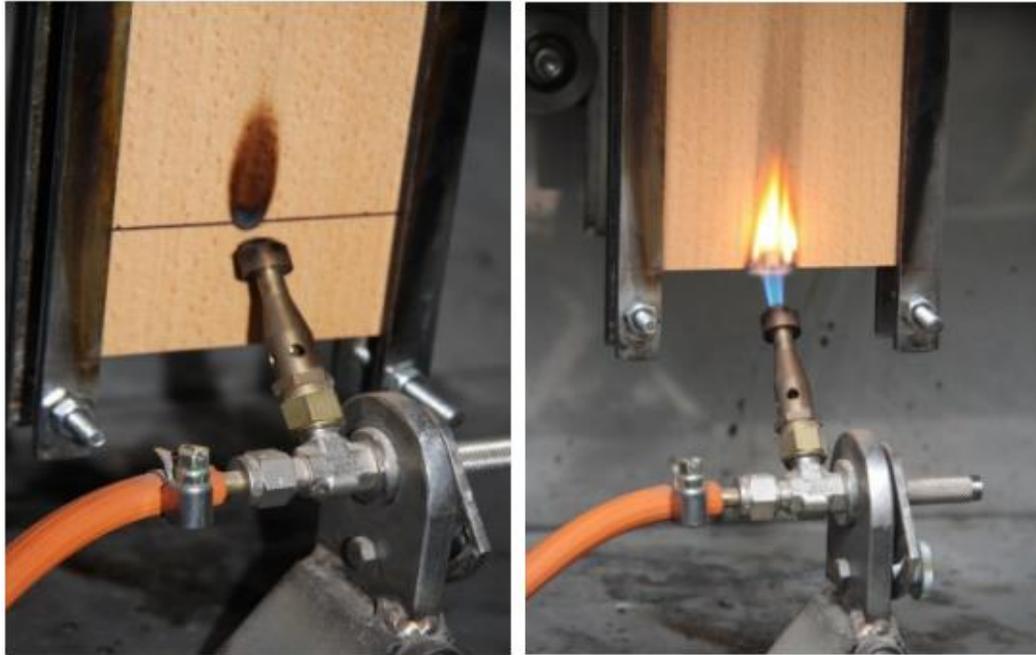


Figura 2 Ensayo de inflamabilidad de madera con recubrimientos sintéticos [3]

En otro estudio de las propiedades de protección contra el fuego de materiales de madera exótica destinada para la construcción de edificaciones se analizaron diez diferentes tipos de madera que tuvieron una buena reacción frente a la exposición al fuego, en ese sentido, se cumplieron con los lineamientos de la norma ISO 11925-2:2010 [4].

2.2.Marco teórico

2.2.1. Incendio

El incendio corresponde al fuego incontrolado de grandes proporciones que tiene un efecto destructivo en los materiales, produce el abrasamiento total o parcial de los elementos que se encuentran afectados. Existen cuatro diferentes tipos de incendio, en función del tipo de material combustible que se quema [5].

- Incendio clase A que se produce en materiales sólidos, la llama se acompaña de brasa y desprendimiento de humo.
- Incendio de clase B se produce en combustibles líquidos y gases.
- Incendio clase C se produce por corto circuitos en artefactos eléctricos.

- Incendio clase D se produce por la reacción de metales de fácil oxidación y combustión, también puede presentarse en productos químicos.

2.2.2. Proceso de combustión

Es el conjunto de reacciones químicas de oxidación que se lleva a cabo por la presencia de calor exotérmico y del flujo de sustancias que forman parte de reactivos y productos [6].

2.2.3. Inflamabilidad

Se conoce como inflamabilidad a la capacidad del combustible de mantener encendida la llama una vez que se da inicio al proceso de combustión [7]. También se le conoce como la capacidad de una sustancia para dar inicio al proceso de combustión bajo la presencia de una fuente de calor [8].

2.2.4. Combustible

Son materiales que son susceptibles a quemarse, pueden ser de diferentes tipos: sólidos, líquidos o gaseosos. Los materiales con mayor capacidad de liberación de energía se emplean en diferentes procesos de la industria, como es el caso de los combustibles fósiles y la madera [9].

2.2.5. Llama

Es la zona de combustión en fase gaseosa que generalmente cuenta con una emisión de luz [10].

2.2.6. Fuego

Combustión auto soportada que ha sido deliberadamente puesta en marcha para beneficiarse de sus efectos y que está controlada en su duración y extensión espacial [10].

2.2.7. Ignición

Es el estado de un objeto iniciando la combustión [10].

2.2.8. Punto de inflamación

Hace referencia a la temperatura mínima en la que un material se inflama y continúa ardiendo por un tiempo determinado, tras la aplicación de una llama sobre una superficie bajo condiciones determinadas [10].

2.2.9. Materiales de construcción

En el área de la construcción existe una gran infinidad de materiales, los más básicos provienen del acero, hormigón y madera [11]. Sin embargo, estos no son los únicos materiales de los cuales se puede percibir el peligro de ser quemados por el fuego. En la figura 3 se resumen otro tipo de materiales que se encuentran presentes en las construcciones.

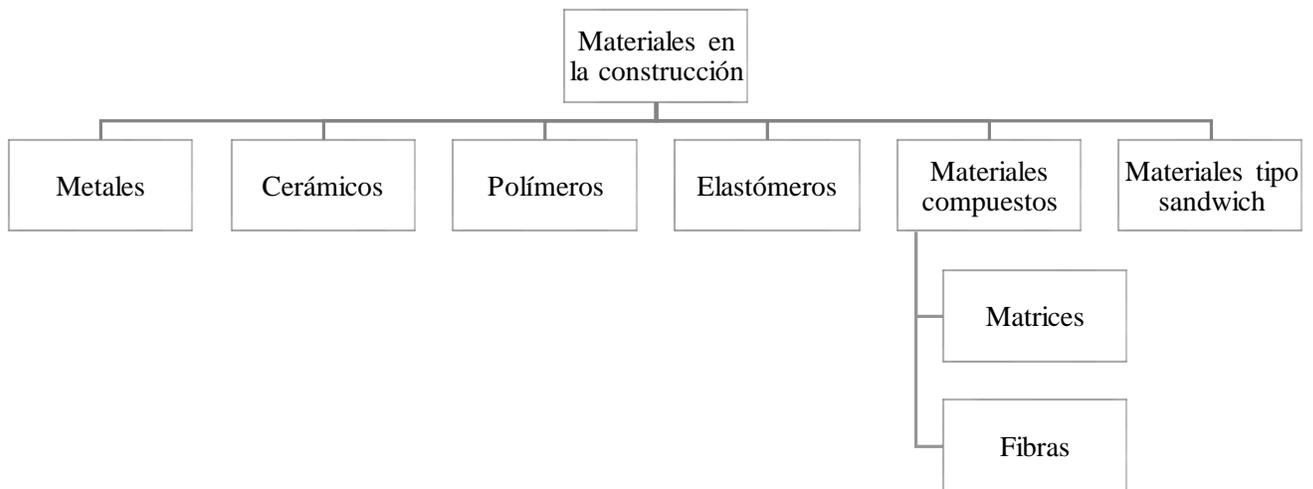


Figura 3 Clasificación general de los materiales en la construcción [12]

2.2.9.1. Clasificación de los materiales de construcción según la EN 13501-1

La norma europea de clasificación EN 13501-1 clasifica los materiales de construcción en 7 clases con respecto a su comportamiento de reacción al fuego: A1, A2, B, C, D, E y F [13].

Tabla 1 Euro clasificación de materiales de construcción [13]

| EUROCLASE | ALCANCE | NORMATIVAS APLICABLES |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| A1 | Cubrirá los productos que no contribuyan al desarrollo de un incendio | EN ISO 1182 EN ISO 1716 |
| A2 | | EN ISO 1182 EN ISO 1716 EN 13823 (SBI) |
| B | Cubrirá los productos que tienen una contribución muy pequeña al fuego | EN 13823 (SBI) EN ISO 11925-2 |
| C | Cubrirá los productos que tengan una contribución limitada al fuego | |
| D | Cubrirá los productos que contribuyan a los incendios | |
| E | Cubrirá los productos que tienen una contribución al fuego y sólo son capaces de resistir la ignición por una pequeña llama durante un corto período | EN ISO 11925-2 |
| F | Es para productos que no han mostrado ningún criterio de rendimiento. | Comportamiento del fuego no determinado/sin actuación |

2.2.9.2. Materiales aplicables para la norma ISO 11925 – 2

Las clasificaciones de materiales de construcción que se aplican a los ensayos bajo la norma EN ISO 11925 – 2 se encuentran dentro de la Euro clasificación B, C, D Y E. Estos materiales corresponden a contribuciones limitadas al fuego y alta contribución al fuego, incluso los materiales que pueden resistir a la ignición por un corto período de tiempo.

Algunos ejemplos de estos materiales se presentan en la figura 4.

2.2.10. Comportamiento de los materiales de construcción ante la incidencia al fuego

Los materiales tienen dos tipos de comportamiento bajo la incidencia del fuego, puede ser, resistencia al fuego y la reacción al fuego. En el caso de la resistencia al fuego, los materiales que se exponen a combustión y mantienen sus características estructurales, son aquellos que pueden tener resistencia al fuego, sin embargo, se limitan a un tiempo específico de 5 minutos y 500°C, dentro de este tipo de comportamiento, los materiales deben poseer la misma capacidad portante, aislamiento de la temperatura y no emisión de gases inflamables que poseen cuando no están expuestos al fuego. Por otro lado, la reacción al fuego se presenta cuando los materiales se exponen al proceso de combustión

y alimentan al fuego, es decir, que no mantienen sus propiedades estructurales, sino que son materiales que se transforman. En este caso, los parámetros que describen la reacción al fuego son, facilidad de encendido, velocidad de propagación, cantidad de calor desprendido y la presencia de gases y humos [12].



Figura 4 Ejemplos de los materiales que aplican para los ensayos de inflamabilidad de la norma ISO 11925 – 2 [14]

2.2.11. Ensayos de inflamabilidad para productos de construcción

Los ensayos de inflamabilidad pueden variar en función del tipo de productos de construcción, a continuación, se enumeran los diferentes ensayos y sus normativas:

2.2.11.1. EN 13823

Ensayos de reacción al fuego para productos de construcción, excluidos los pavimentos, expuestos al ataque térmico de un solo elemento en combustión [14].

2.2.11.2. EN ISO 9239 - 1

Reacción al fuego ensayos para productos de construcción. Propagación horizontal de la llama en la superficie para revestimientos de suelos [14].

2.2.11.3. EN ISO 11925 - 2

Ensayos de reacción al fuego para productos de construcción. Ignitabilidad de los productos de construcción sometidos a la incidencia directa de llama [14].

2.2.11.4. EN ISO 1716

Ensayos de reacción al fuego para productos de construcción. Determinación del calor de combustión [14].

2.2.11.5. EN ISO 1182

Ensayos de reacción al fuego para productos de construcción - Ensayo de no combustibilidad [14].

2.2.12. Ensayo conforme a la ISO 11925-2:2010

El ensayo se aplica para determinar la reacción al fuego de productos sometidos a una llama pequeña en muestras posicionadas verticalmente [1]. Los principales resultados del ensayo son:

- Si se produce ignición
- Si la parte superior de la llama alcanza 150 mm sobre el punto de aplicación y el instante en el que se produce
- La presencia de partículas o gotas en llamas causadas por la inflamación del papel de filtro
- Las observaciones del comportamiento físico de la muestra de ensayo.
- Tiempo de aplicación de la llama

2.2.12.1. Tipo de combustible empleado para el ensayo

Se emplea propano comercial al 95% de pureza mínima. En la tabla 2 se presentan las características físicas y químicas del gas.

Tabla 2 Propiedades y características del gas propano [15]

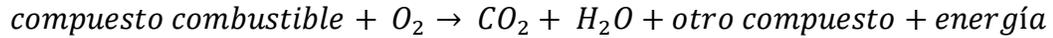
| Características | Valores |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Mezcla compleja de hidrocarburos que consiste fundamentalmente en propanos y propenos con algunas cantidades de C4 e hidrocarburos de mayor peso molecular. Conocido también como: Gas licuado de petróleo, GLP, LPG, Propano | |
| Nombre | 1, 3 butadieno |
| Estado físico | Gas licuado |
| Color | Incoloro |
| Olor | Sin olor Desagradable si está odorizado |
| Punto de ebullición | 45 °C |
| Presión de vapor | 980 kPa a 20 °C |
| Densidad | 510 kg/m ³ a 15 °C |
| Densidad de vapor (aire = 1) | 1,5 a 15 °C |
| Punto de inflamación | - 104 °C |
| Límite de inflamabilidad superior | 10 % (V/V) |
| Límite de inflamabilidad inferior | 2,2% (V/V) |
| Temperatura de auto ignición | Mayor a 450 °C |
| Coefficiente de partición n – octanol / agua | Log Pow = 2,3 (valor estimado) |
| Poder calorífico inferior | 10,80 kcal/kg |
| Poder calorífico superior | 11,90 kcal/kg |
| Hidrocarburo C2 | 2,5 % Volumen máximo |
| Hidrocarburo C3 | 80 % Volumen mínimo |
| Hidrocarburo C4 | 20 % Volumen máximo |
| Hidrocarburo C5 | 1,5 % Volumen máximo |
| Olefinas totales | 35 % Volumen máximo |
| Diolefinas + Acetileno | Menor a 1000 ppm |
| Contenido máximo de azufre | 50 mg/kg |

2.2.13. Análisis térmico

2.2.13.1. Combustión

Es un tipo de reacción química exotérmica que genera luz y se produce de forma rápida, estas reacciones se conocen también como Redox porque realizan dos etapas fundamentales, reducción y oxidación. Las combustiones generan energía térmica,

lumínica y tienen como producto sustancias como el dióxido de carbono, vapor de agua y residuos sólidos del comburente [16]. En términos generales la combustión puede definirse como se presenta en la siguiente ecuación:



Los compuestos combustibles son de diferentes tipos de acuerdo con su naturaleza, en función del tipo de combustible empleado puede variar el nivel de energía generada en la reacción química; sin embargo, los elementos que se encuentran en todo tipo de combustiones son dióxido de carbono y agua [16].

2.2.13.2. Combustión completa

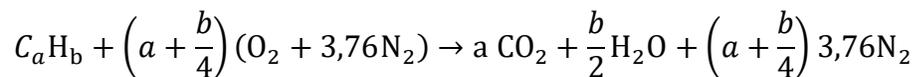
En este tipo de reacciones se consume completamente el material combustible y se tiene como productos otros compuestos oxigenados como dióxido de carbono y agua. El tipo de llama presente en estas reacciones suele caracterizarse por tener una coloración azul [16].

2.2.13.3. Combustión incompleta

En estas reacciones aparecen compuestos inquemados que son los que no se oxidaron completamente y se reflejan en los gases de combustión. Además de los productos principales de la reacción, aparece el monóxido de carbono e hidrógeno, entre otros. La llama característica del proceso suele ser de color amarillo [16].

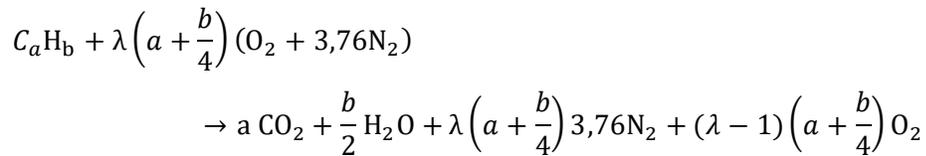
2.2.13.4. Combustión Estequiométrica

Es el proceso en el cual el aire es 100% teórico, y teniendo en cuenta que el oxígeno es suficiente para oxidar por completo todos los componentes del combustible, por lo que se puede definir con la siguiente ecuación.



2.2.13.5. Combustión con exceso de aire

En este caso la combustión puede ser completa o incompleta, considerando que existe una cantidad aportada de aire superior a la de la combustión ideal, es la que por lo general se presenta en la práctica, se define con la siguiente ecuación.



2.2.13.6. Combustión con deficiencia de aire.

Esto ocurre cuando en el aire la cantidad de oxígeno no es el suficiente para oxidar por completo los componentes del combustible, da como resultado la presencia de monóxido de carbono y en algunos casos, humos y gases de carbono y combustible sin quemar.

2.2.13.7. Porcentaje de aire en exceso.

La mayor parte de los procesos de combustión no ocurren en condiciones ideales tales como una combustión completa y estequiométrica, puesto que se debe considerar el principal factor cómo es el exceso o defecto de aire con el fin de caracterizar la proporción de oxígeno necesaria para que exista un completo consumo de combustible presentes en la reacción. El parámetro que se emplea para tener una referencia es Lambda, con base a este indicador se puede conocer si la combustión tiene defecto o exceso de aire, también puede variar en función del tipo de instalación de combustión, como se presenta en la tabla 3.

$\lambda=1$: Combustión estequiométrica ideal o teórica

$\lambda < 1$: Cuando la mezcla es rica y existe defecto de aire.

$\lambda > 1$: Cuando se dice que la mezcla es pobre y existe exceso de aire.

Tabla 3 Indicadores de cantidad de aire en instalaciones comunes

| Instalación de Combustión | Rango de I |
|-----------------------------------|------------|
| Motores de combustión | 0.8-1.2 |
| Instalaciones de combustión a gas | 1.1-1.3 |
| Quemador de petróleo | 1.2-1.5 |
| Quemador de carbón en polvo | 1.1-1.3 |
| Quemador de parrilla para lignito | 1.3-1.7 |

2.2.14. Clasificación sobre las cámaras de inflamabilidad

2.2.14.1. Cámara de combustión de ítems individuales

En este tipo de cámaras, la muestra se monta en un carro que se coloca en un marco debajo de un sistema de escape. La reacción de la muestra al quemador se controla de forma instrumental y visualmente. Las tasas de liberación de calor y humo de calor se evalúan, las características físicas se evalúan mediante la observación. Los parámetros que se cuantifican en esta prueba y utilizados en los criterios de clasificación, estos son: la Liberación Total de Calor, Índice de Crecimiento del Fuego y el índice de crecimiento del humo. En este tipo de cabina se aplican los ensayos basados en la norma EN 13823 [14]. En la figura 5 se presenta un esquema general de la cámara de inflamabilidad y del manejo de las muestras de ensayos.



Figura 5 Esquema general de la cámara de combustión de ítems individuales [14]

2.2.14.2. Cámara de inflamabilidad de fuente de llama única

Este método de inflamabilidad determina la inflamabilidad de los productos de construcción en la orientación vertical cuando se someten a la incidencia de una pequeña llama estándar. Este ensayo es relevante para las clases B, C, D, E y Bfl, Cfl, Dfl, Efl [14]. En la figura 6 se presenta la cámara de combustión para ensayos expuestos a una única fuente de llama, este equipo es utilizado para la ejecución de los ensayos bajo la norma ISO 11925-2.



Figura 6 Esquema general de la cámara de combustión de fuente de llama única[14]

2.2.14.3. Cámara de panel radiante para suelos

Mediante este equipo se evalúa el flujo radiante crítico por debajo del cual las llamas dejan de propagarse por la superficie horizontal de una muestra.

Se monta un sistema de medición de humos basado en la norma DIN 50055 en un marco separado en la chimenea de escape y se utiliza para medir el humo generado en el ensayo. La prueba es relevante para los productos de construcción tipo A2fl, Bfl, Cfl y Dfl [14]. En la figura 7 se presenta el esquema del equipo de ensayos.



Figura 7 Esquema general de la cámara con panel radiante para suelos [14]

2.2.14.4. Calorímetro de bomba de oxígeno

Este instrumento determina el potencial máximo de liberación de calor de un producto cuando se quema completamente, independientemente de su uso final. El ensayo es pertinente para las clases de materiales A1, A2, A1fl, A2fl, A1L y A2L. El poder calorífico determinado en estas condiciones se calcula a partir del aumento de

temperatura medido, teniendo en cuenta las pérdidas de calor. En la figura 8 se presenta el esquema general del equipo para los ensayos bajo la norma ISO 1716 [14].



Figura 8 Esquema general del equipo para ensayos de poder calorífico [14]

2.2.14.5. Máquina de ensayos de incombustibilidad

Este aparato determina el comportamiento de incombustibilidad, en condiciones específicas, de productos homogéneos y componentes sustanciales de productos de construcción no homogéneos.

La muestra se somete a temperaturas de 750°C en un horno tubular vertical. El espécimen se observa para ver si se produce un flameo sostenido y un aumento de la temperatura, y se utilizan termopares del horno para evaluar la combustibilidad. El ensayo es relevante para las clases A1, A2, A1fl, A2fl, A1L y A2L. En la figura 9 se presenta el esquema del equipo de ensayos bajo la norma ISO 1182 [14].



Figura 9 Esquema general del equipo para ensayos de incombustibilidad [14]

CAPÍTULO III

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Diseño de la cámara de inflamabilidad

El diseño de la cámara de inflamabilidad abarca varios aspectos, en primer lugar, el tipo de cámara que se va a fabricar, en el mercado existen diversos equipos que cumplen funciones similares, sin embargo, cada uno se adapta a los lineamientos de normas específicas. Como segundo punto, se encuentran los elementos complementarios a la cámara de inflamabilidad, como, por ejemplo, los porta muestras y el quemador. A continuación, se presenta la selección del tipo de cámara de inflamabilidad.

3.1.1. Selección del tipo de cámara de inflamabilidad

Existen diversos procedimientos que pueden ser útiles para evaluar el comportamiento al fuego de los materiales, el tipo de cámara de inflamabilidad depende del objetivo de los ensayos que se realizan, en este caso, se aplicaron las directrices de la INEN ISO 11925-2. Se evalúa el tipo de cámara que se va a construir en función a una selección de criterios básicos, se tomaron en consideración las siguientes alternativas:

- **Cámara de combustión de ítems individuales:** se aplican los ensayos basados en la norma EN 13823 en donde se evalúan las tasas de liberación de calor y humo de calor.
- **Cámara de inflamabilidad de fuente de llama única:** determina la inflamabilidad de los productos de construcción en la orientación vertical cuando se someten a la incidencia de una pequeña llama estándar, es utilizado para la ejecución de los ensayos bajo la norma ISO 11925-2.
- **Cámara de panel radiante para suelos:** se evalúa el flujo radiante crítico, la medición de humos se basa en la norma DIN 50055.
- **Calorímetro de bomba de oxígeno:** determina el potencial máximo de liberación de calor de un producto cuando se quema completamente, los ensayos se realizan bajo la norma ISO 1716.

- **Máquina de ensayos de incombustibilidad:** determina el comportamiento de incombustibilidad, en condiciones específicas, los ensayos se realizan bajo la norma ISO 1182

A continuación, se selecciona la cámara de inflamabilidad en base a los siguientes criterios ponderados de diez puntos:

Normativa aplicable: este parámetro permite evaluar la normativa bajo la cual se realiza el diseño y los ensayos de inflamabilidad puesto que cada norma cumple con diferentes objetivos en el estudio de los materiales de construcción, es indispensable emplear la adecuada. Se le asigna una ponderación del 50%.

Parámetros de análisis: con esta variable se determina las variables de estudio en cada ensayo, en este caso lo indispensable es revisar la inflamabilidad en los productos de construcción, además de otros parámetros adicionales que podrían ser importantes. Se le asigna una ponderación del 20%.

Dimensiones del equipo: para analizar la inflamabilidad de los materiales de construcción es necesario un equipo con medidas específicas, por lo que se debe diseñar y fabricar la cámara que cumpla con esas condiciones. Se le asigna una ponderación del 30%.

En la tabla 4 se muestra el resultado de la selección del material:

Tabla 4 Selección del material para la fabricación de la máquina de ensayos

| Tipo de cámara | Normativa aplicable | | Parámetros de análisis | | Dimensiones del equipo | | Total Σ |
|---------------------------------------------------|---------------------|-------|------------------------|-------|------------------------|-------|----------------|
| | 10 | (50%) | 10 | (20%) | 10 | (30%) | |
| Cámara de combustión de ítems individuales | 1 | 0,5 | 8 | 1,6 | 1 | 0,3 | 1,8 |
| Cámara de inflamabilidad de fuente de llama única | 10 | 5 | 10 | 2 | 10 | 3 | 10 |
| Cámara de panel radiante para suelos | 1 | 0,5 | 1 | 0,2 | 4 | 1,2 | 1,9 |
| Calorímetro de bomba de oxígeno | 1 | 0,5 | 1 | 0,2 | 5 | 1,5 | 2,2 |
| Máquina de ensayos de incombustibilidad | 1 | 0,5 | 1 | 0,2 | 3 | 0,9 | 1,6 |

En la tabla 4 se muestra que la cámara de inflamabilidad seleccionada para la construcción de la máquina de ensayos es la de inflamabilidad de fuente de llama única que se rige bajo la norma ISO 11925-2 y cumple con los parámetros de análisis y dimensiones del equipo que se especifican en la norma.

En la figura 10 se presentan las dimensiones y el diseño general de la cámara de inflamabilidad de fuente de llama única bajo la norma ISO 11925-2.

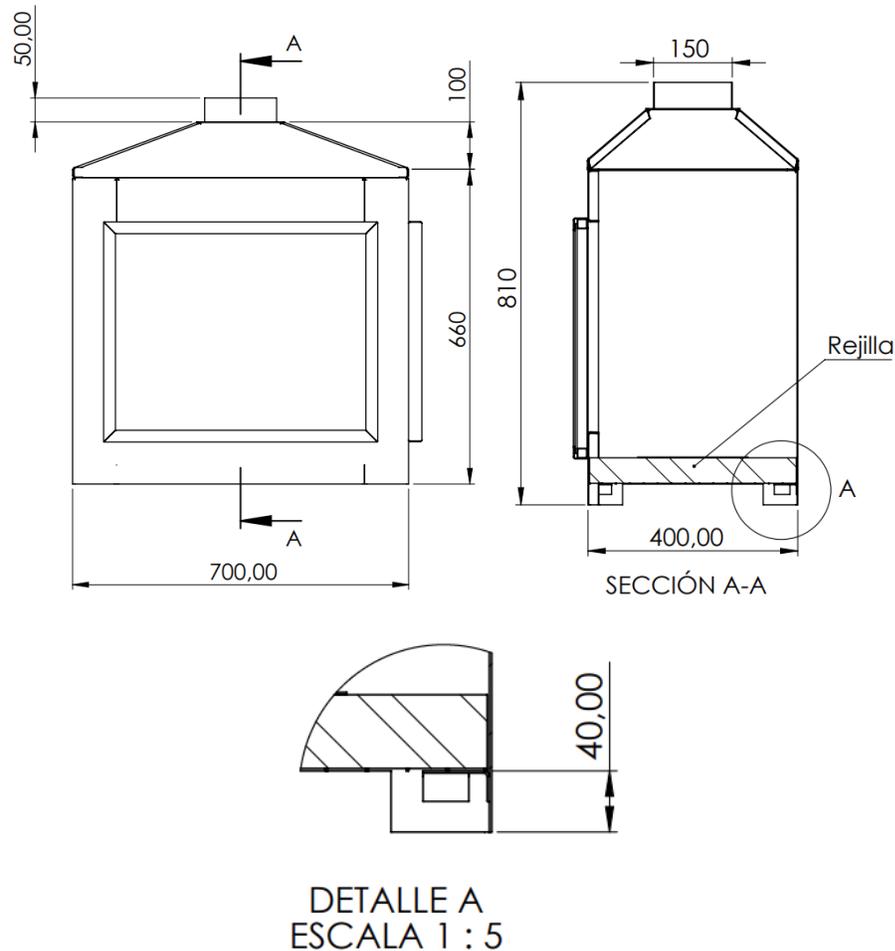
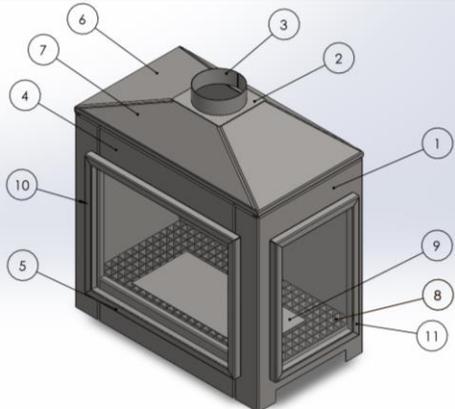


Figura 10 Dimensiones generales de la cámara de combustión [1]

3.1.2. Descripción de los elementos de la cámara de inflamabilidad

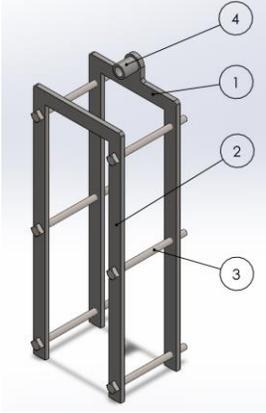
Aplicando los criterios de la norma INEN ISO 11925-2 y los parámetros de diseño calculados, se obtuvo los siguientes resultados. En las tablas 5 a 9 se describen todos los elementos que se diseñaron para la fabricación de la máquina de ensayos.

Tabla 5 Descripción de los componentes de la cámara de inflamabilidad

| CÁMARA DE INFLAMABILIDAD | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | |
| <p>Función: Mantener las condiciones de llama propicias y estables para los ensayos de inflamabilidad de materiales de construcción</p> | |
| Elementos: | <ol style="list-style-type: none"> 1. Cuerpo de la cámara de inflamabilidad 2. Tapa de la campana 3. Chimenea 4. Tapa frontal superior 5. Tapa frontal inferior 6. Componente lateral de la campana 7. Componente frontal de la campana 8. Rejilla 9. Placa horizontal 10. Puerta frontal 11. Puerta lateral |
| Material: | <p>AISI 304</p> <ul style="list-style-type: none"> - Chapa metálica 1,5 mm |
| Procesos de fabricación: | <ul style="list-style-type: none"> - Corte con plasma - Doblado de chapas metálicas - Soldadura TIG - Perforación - Sujeción con pernos |
| Peso: | 41 kg |
| Dimensiones: | <p>Altura hasta la conexión a chimenea: 810 mm</p> <p>Altura de la cámara: 660 mm</p> <p>Ancho horizontal: 700 mm</p> <p>Ancho lateral: 400 mm</p> |

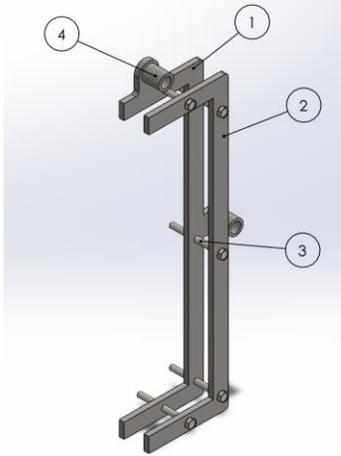
La cámara de combustión se conforma de varios elementos que lo complementan, algunos de ellos son el cuerpo de la cámara, elementos de la campana, chimenea, una rejilla, placa horizontal y las puertas. Estos componentes son básicos para el funcionamiento, sin embargo, para sujetar los materiales se debe emplear los porta muestras y para aplicar la fuente de ignición se debe emplear un quemador.

Tabla 6 Descripción del porta muestras de materiales planos de hasta 65 mm de espesor

| PORTAMUESTRAS MATERIALES PLANOS | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | |
| <p>Función: Sujetar el material a ensayarse para la aplicación de la llama, se regula en función del espesor del material</p> | |
| Elementos: | <ol style="list-style-type: none"> 1. Soporte de sujeción posterior 2. Soporte de sujeción frontal 3. Pernos de unión 4. Pasador de sujeción |
| Material: | <p>AISI 304</p> <ul style="list-style-type: none"> - Platinas de 5 mm de espesor - Ejes de 15 mm de diámetro |
| Procesos de fabricación: | <ul style="list-style-type: none"> - Corte con láser - Soldadura TIG - Mecanizado - Unión con pernos |
| Peso: | 0,8 kg |
| Dimensiones: | <p>Altura: 295 mm</p> <p>Ancho: 110 mm</p> <p>Ancho interno: 80 mm</p> |

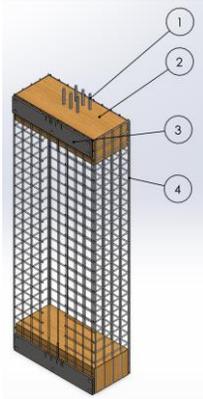
En la tabla 6 se presenta el porta muestras, de acuerdo con los criterios de la normativa, este elemento se emplea para sujetar los materiales de construcción planos que tienen un espesor de hasta 65 mm.

Tabla 7 Descripción del porta muestras de materiales de múltiples capas

| PORTAMUESTRAS MATERIALES PLANOS | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | |
| <p>Función: Sujetar el material a ensayarse para la aplicación de la llama, se regula en función del espesor del material</p> | |
| Elementos: | <ol style="list-style-type: none"> 1. Soporte de sujeción posterior 2. Soporte de sujeción frontal 3. Pernos de unión 4. Pasador de sujeción |
| Material: | <p>AISI 304</p> <ul style="list-style-type: none"> - Platinas de 5 mm de espesor - Ejes de 15 mm de diámetro |
| Procesos de fabricación: | <ul style="list-style-type: none"> - Corte con arco de plasma - Soldadura TIG - Mecanizado - Unión con pernos |
| Peso: | 0,5 kg |
| Dimensiones: | <p>Altura: 295 mm</p> <p>Ancho: 80 mm</p> |

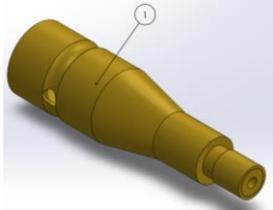
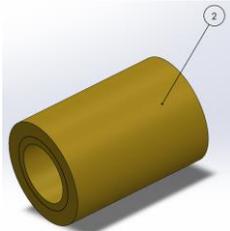
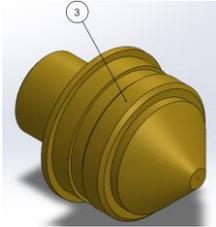
En la tabla 7 se presenta el porta muestras para materiales de múltiples capas, este se utiliza de forma horizontal, a diferencia del porta muestras de la tabla 12. Este elemento también posee un rango de funcionamiento de hasta 80 mm de espesor.

Tabla 8 Descripción del porta muestras de materiales sueltos

| PORTAMUESTRAS MATERIALES SUELTOS | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | |
| <p>Función: Sujetar el material a ensayarse para la aplicación de la llama, se utiliza para materiales sueltos o de texturas irregulares que no son firmes</p> | |
| Elementos: | <ol style="list-style-type: none"> 1. Pasadores de sujeción 2. Bloques de madera 3. Lámina con muescas de apriete 4. Malla de alambre recubierto de zinc |
| Material: | <p>AISI 304</p> <ul style="list-style-type: none"> - Platinas de 1,5 mm de espesor <p>Zinc</p> <ul style="list-style-type: none"> - Alambre de 1 mm de diámetro <p>Madera</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bloques de roble |
| Procesos de fabricación: | <ul style="list-style-type: none"> - Unión con pernos |
| Peso: | 0,1 kg |
| Dimensiones: | <p>Altura: 250 mm</p> <p>Ancho horizontal: 90 mm</p> <p>Ancho lateral: 40 mm</p> |

En la tabla 8 se presenta otro tipo de porta muestras que se especifica en la norma ISO 11925-2 para materiales sueltos, este elemento no requiere de elementos que deban ser fabricados de manera compleja.

Tabla 9 Descripción del quemador

| QUEMADOR | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tubo quemador: |  |
| Estabilizador de llama: |  |
| Propulsor de gas: |  |
| <p>Función: Encender la llama y dirigirla hacia la zona de aplicación en las probetas, permite un adecuado rendimiento del proceso de combustión</p> | |
| Elementos: | <ol style="list-style-type: none"> 1. Tubo quemador 2. Estabilizador de llama 3. Propulsor de gas |
| Material: | Latón |
| Procesos de fabricación: | Mecanizado |
| Peso: | 0,1 kg |
| Dimensiones: | <p>Longitudes:</p> <p>Tubo quemador: 40 mm</p> <p>Estabilizador de llama: 10 mm</p> <p>Propulsor de gas: 14 mm</p> <p>Diámetros varios</p> |

El diseño del quemador también se basa en los criterios definidos en la ISO 11925-2 puesto que se describen las dimensiones y geometría que debe tener.

3.1.3. Parámetros de diseño la cámara de inflamabilidad con fuente de llama única bajo la ISO 11925-2 ensayos de reacción al fuego de materiales de construcción.

La aplicación del ensayo se dirige hacia productos que se someten a impacto directo a una llama pequeña bajo impacto radiante cero. En este caso, las muestras se orientan verticalmente.

- **Cuerpo de la cámara de inflamabilidad**

La cámara de ensayos se compone de las siguientes características que se especifican en la norma ISO 11925 – 2:

Tabla 10 Componentes y materiales de la cámara de ensayos [1]

| Elementos | Especificaciones |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cuerpo de la cámara de inflamabilidad | Está compuesta de acero inoxidable con dos puertas de cristal resistente al calor |
| Ventilación | Abertura de 25 mm x 25 mm en la parte inferior |
| Soportes de la cámara | Ubicados a los laterales de la cámara con una elevación de 40 mm |
| Soporte del porta muestras | Elemento vertical para fijar el porta muestras de forma vertical con la abertura hacia la llama |
| Chimenea | Posicionada a una campana extractora adecuada para estas aplicaciones |

En la figura 10 se presentan las dimensiones generales de la cámara de inflamabilidad, que deberán ser aplicadas con base en los requerimientos de la INEN ISO 11925-2.

- **Fuente de ignición**

Para estos ensayos se emplea un quemador que permita el ajuste de la altura de la llama y regular su posición de 45° y 90° respecto al eje vertical.

- **Combustible**

Propano comercial de 95% de pureza mínima y presión de 10 a 50 kPa.

3.1.3.1. Parámetros de la cabina de la cámara de inflamabilidad

La cámara de inflamabilidad es el elemento principal para este tipo de ensayos porque es el espacio donde se aíslan las condiciones más apropiadas. Además, es la zona donde se sujetan los componentes como la rejilla, porta muestras y el quemador.

Selección del material:

- **AISI 201:** Este material es inoxidable de composición cromo – níquel – manganeso. Es conocido también como acero austénico, es no magnético. Posee propiedades como fácil conformado y resistencia a la corrosión [17].
- **AISI 304:** La serie 300 de los aceros inoxidables también forma parte del grupo de aceros austeníticos, no son magnéticos. La composición del acero brinda ductilidad y buena resistencia a los cambios de temperatura, desde temperaturas criogénicas hasta temperaturas elevadas. Poseen buena soldabilidad y facilidad de limpieza [17].
- **AISI 316:** Posee características similares a las del acero 304 puesto que pertenecen a la serie de 300, sin embargo, para el acero 316 se le adiciona un porcentaje de molibdeno con lo que se aporta mayor resistencia a la corrosión de agentes químicos y exposición a elevadas temperaturas [17].
- **AISI 430:** Los aceros de la serie 400 son martensíticos y ferríticos, se componen principalmente de cromo, poseen elevadas propiedades mecánicas, son magnéticos. Sin embargo, estos aceros no poseen buena soldabilidad [17].

A continuación, se selecciona el material en base a los siguientes criterios ponderados de diez puntos:

Soldabilidad: Este parámetro representa la facilidad con la que se puede llevar a cabo el proceso de soldadura en los materiales, se considera que el material tiene una buena soldabilidad cuando no se requieren operaciones de precalentamiento y post soldadura para asegurar que los elementos soldados se han unido correctamente. Se le asigna una ponderación de 30%.

Resistencia al calor: Las condiciones de servicio de la máquina se someten a periodos recurrentes de calor, por ese motivo, además de la resistencia a la corrosión, es esencial

que el material tenga un buen comportamiento frente al calor. Se le asigna una ponderación del 30%.

Disponibilidad en el mercado: Este parámetro permite conocer si el material se puede encontrar en el mercado de la localidad en diferentes presentaciones, en chapa metálica, ejes, platinas, etc. Se le asigna una valoración del 20%.

Precio: También es un factor decisivo para determinar el material que se elegirá para la fabricación de la máquina puesto que debe regirse dentro del límite de presupuesto planificado para el proyecto. A este parámetro se le asigna una valoración del 20%.

En la siguiente tabla se muestra el resultado de la selección del material:

Tabla 11 Selección del material para la fabricación de la máquina de ensayos

| Material | Soldabilidad | | Resistencia al calor | | Disponibilidad en el mercado | | Precio | | Total Σ |
|-----------------|--------------|-------|----------------------|-------|------------------------------|-------|--------|-------|-------------------|
| | | | | | | | | | |
| Ponderación | 10 | (30%) | 10 | (30%) | 10 | (20%) | 10 | (20%) | |
| AISI 201 | 8 | 2,4 | 7 | 2,1 | 5 | 1 | 9 | 1,8 | 7,3 |
| AISI 304 | 9 | 2,7 | 9 | 2,7 | 10 | 2 | 9 | 1,8 | 9,2 |
| AISI 316 | 9 | 2,7 | 8 | 2,4 | 9 | 1,8 | 8 | 1,6 | 8,5 |
| AISI 430 | 5 | 1,5 | 9 | 2,7 | 7 | 1,4 | 5 | 1 | 6,6 |

En la tabla 11 se muestra que el material seleccionado para la construcción de la máquina de ensayos es el acero AISI 304 debido a que presenta buena soldabilidad, resistencia al calor y una gran variedad de presentaciones del material en el mercado, a su vez, el precio no es tan elevado como en el caso del AISI 430.

El acero inoxidable AISI 304 que fue seleccionado posee un rango de porcentaje de cromo del 18 al 20% con lo cual existe un buen porcentaje de protección corrosiva, adicionalmente, la combinación del porcentaje de níquel, manganeso y cromo permite que la resistencia sea superior, como se presenta en la tabla 12.

Tabla 12 Propiedades del acero AISI 304 [18]

| Propiedades físicas | Valor |
|------------------------------|--------------|
| Densidad | 8 g/cc |
| Propiedades mecánicas | |
| Dureza Brinell | 123 HB |
| Esfuerzo Permisible | 215 MPa |
| Módulo de elasticidad | 193 GPa |
| Composición química | |
| Carbono | 0,08% |
| Cromo | 18 – 20% |
| Hierro | 66,345 – 74% |
| Manganeso | 2% |
| Níquel | 8 – 10,5% |
| Fósforo | 0,045% |
| Silicio | 1% |
| Azufre | 0,03% |

3.1.4. Parámetros de diseño de los porta muestras bajo la ISO 11925-2

- **Porta muestras**

Marco doble en forma de U en acero inoxidable de 5 mm de espesor con la sujeción apropiada para evitar la deformación de las muestras y de mantenerla fija durante todo el ensayo.

Tipos de porta muestras

Para las muestras de sección continua se emplea el porta muestras que se indica en la figura 11.

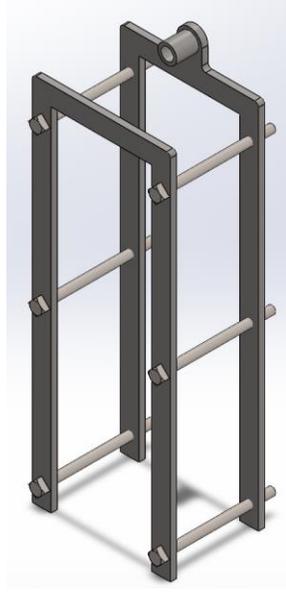


Figura 11 Porta muestras para materiales sin irregularidades [1]

En el caso de productos que presentan múltiples capas se emplea un armazón del tipo C como se indica en la figura 12.

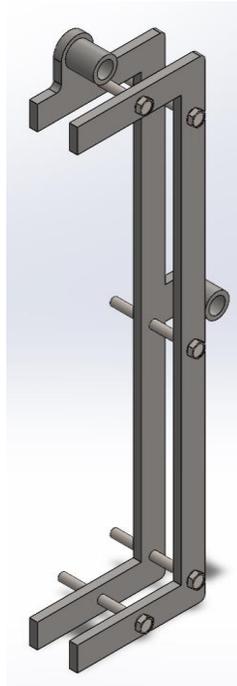


Figura 12 Porta muestras para materiales compuestos [1]

Para materiales de relleno sueltos se debe utilizar un porta muestras de malla de alambre recubierto de zinc, como se indica en la figura 13.

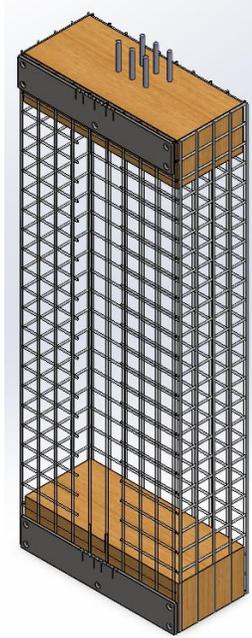


Figura 13 Porta muestras para materiales sueltos [1]

3.1.5. Diseño del quemador

Para este elemento se tomaron en cuenta las especificaciones de la norma ISO 11925-2 en donde se describe la geometría del quemador, los elementos que lo componen y las dimensiones.

En la figura 14 se presentan los elementos que forman parte del quemador, estos son 1) propulsor de gas, 2) tubo del quemador, 3) estabilizador de la llama, 4) tubo regulador interno y 5) muesca para el montaje.

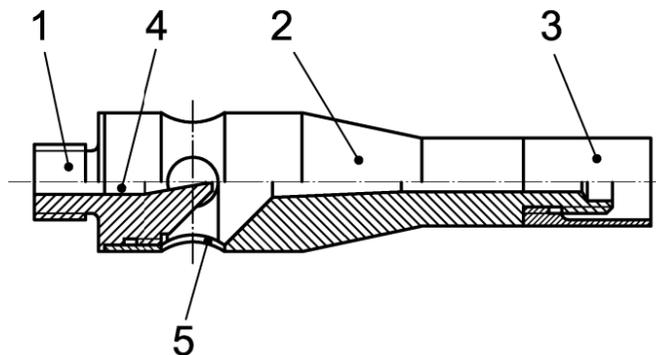


Figura 14 Elementos principales del quemador [1]

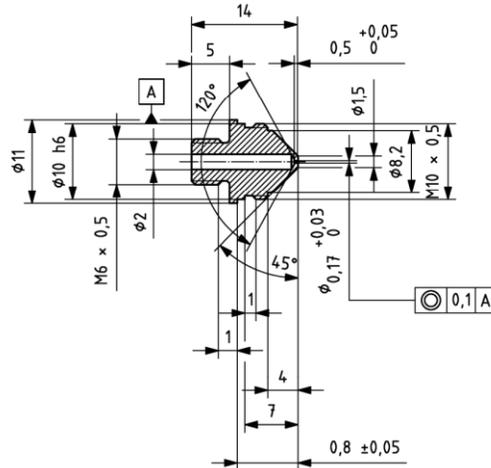


Figura 15 Dimensiones del propulsor de gas [1]

En la figura 15 se presentan las dimensiones del propulsor de gas que se basan en las especificaciones de la normativa, para el diseño del quemador se planteó el diseño empleando un software CAD, para posteriormente realizar su mecanizado.

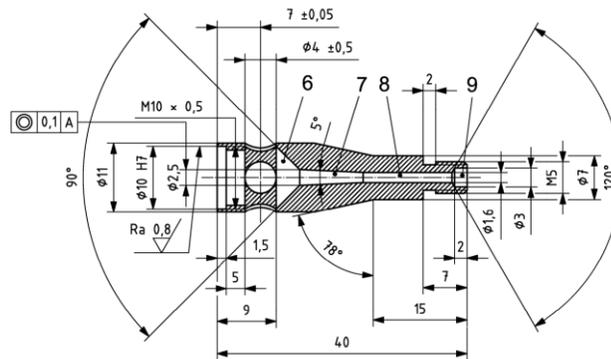


Figura 16 Dimensiones del quemador de gas [1]

En la figura 16 se muestran las dimensiones del quemador de gas, se procedió de igual manera que en el caso anterior.

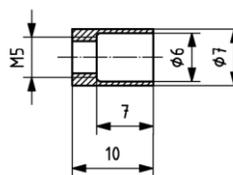


Figura 17 Dimensiones del estabilizador de llama [1]

En la figura 17 se presentan las dimensiones del estabilizador de llama. En este caso, la fabricación fue de latón puesto que es un material con buena maquinabilidad.

3.1.6. Diseño del soporte estructural de sujeción de los porta muestras

Para sujetar los porta muestras es necesario ubicar un pequeño soporte estructural que cubra los requerimientos de carga de los ítems de ensayo. Este elemento no se encuentra dimensionado en la normativa, por esa razón es necesario realizar los cálculos necesarios para dimensionarlo.

En esta sección se muestran los resultados del diseño del soporte que va al interior de la cámara de inflamabilidad, así como las consideraciones que se tomaron en cuenta para su dimensionamiento.

Se analizó el elemento que se encuentra sometido a la carga que se origina por el peso del porta muestras y la probeta de ensayo, en la figura 18 se describen las condiciones de trabajo.

El soporte estructural está formado por tubos cuadrados de $\frac{3}{4}$ in y 1,1 mm de espesor. Las uniones se encuentran soldadas y la placa donde se apoya el porta muestras está ubicado sobre una corredera en la mitad del soporte.

Se considera la cantidad de material para determinar si el perfil seleccionado cumple con las condiciones de carga.

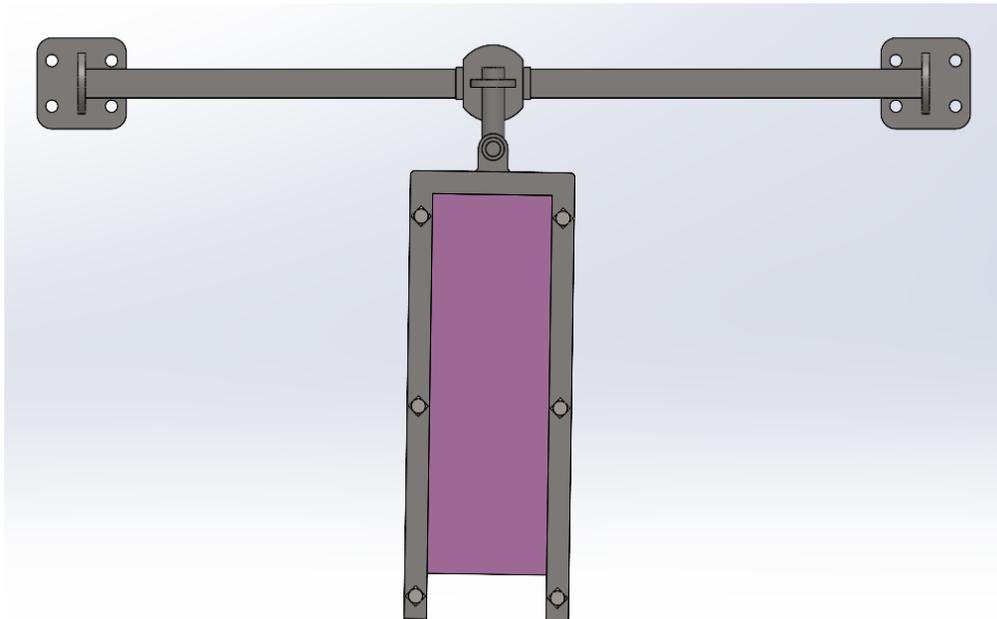


Figura 18 Soporte estructural para el cálculo de la resistencia del material frente a la carga a la que se encuentra sometido.

En la figura 18 se presenta el soporte estructural que debe colocarse en el interior de la cámara de inflamabilidad sujetado con placas y pernos que van de forma fija. En este caso se debe considerar la masa de todos los elementos para poder dimensionarlos adecuadamente. A continuación, se presentan las masas consideradas en el análisis.

Masa del porta muestras: m_p

Masa del apoyo y regulador: m_a

Masa de la probeta de ensayo: m_{pe}

Masa total: M

$$M = m_p + m_a + m_{pe}$$

Aplicando la sumatoria de las masas y asumiendo que el valor máximo de las probetas de ensayo puede llegar a ser de 10 kg, se obtiene una masa de 11 kg; transformándolo a peso, esto da como resultado:

$$P = 107,91 \text{ N} \approx 108 \text{ N}$$

En la figura 19 se detalla un esquema en el que se representa las condiciones de carga de forma simplificada.

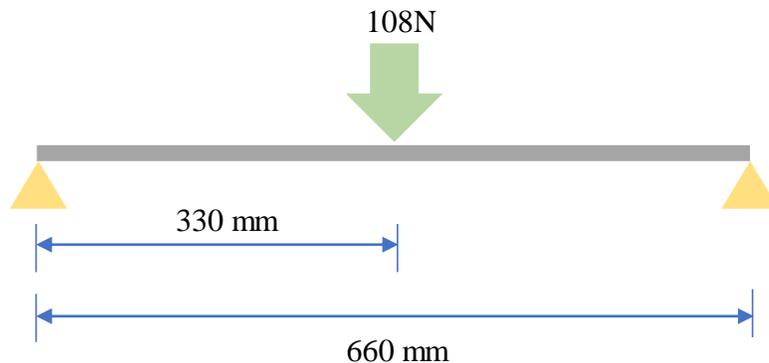


Figura 19 Esquema de la aplicación de la carga en el miembro estructural

En la figura 20 se presenta el diagrama de fuerza cortante, en donde se obtiene una fuerza de corte máxima de 54,00 N mientras que, en el diagrama de momento, el momento máximo es de 17820,00 N.mm.

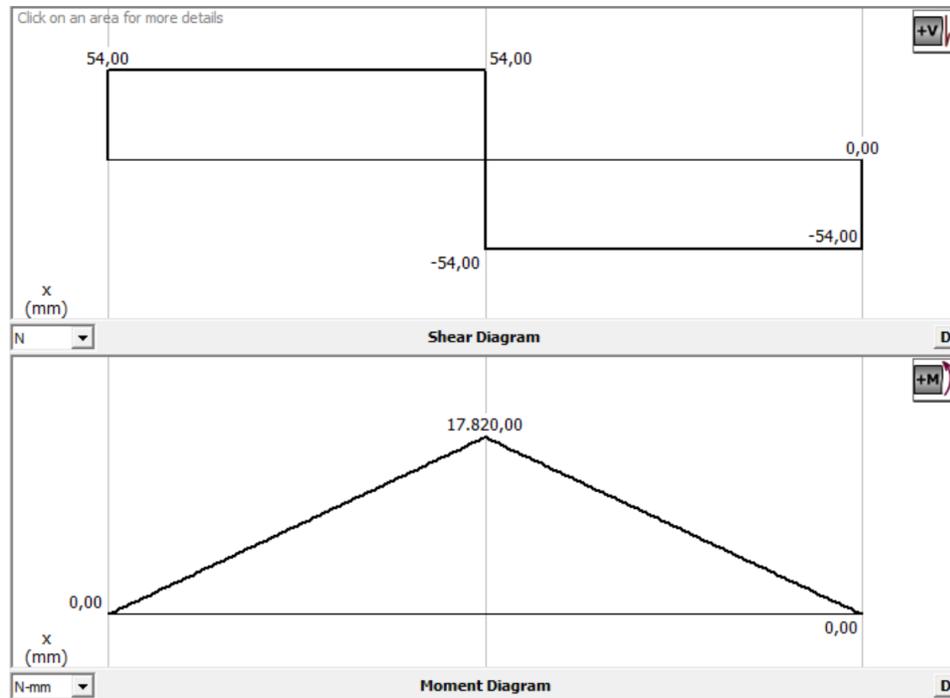


Figura 20 Diagrama de fuerza cortante y diagrama de momentos

Calculado el momento máximo, se determina el módulo resistente para verificar si el perfil seleccionado cumple con las condiciones de carga, en base a las propiedades del perfil. Para ello se emplea la siguiente fórmula.

$$W = \frac{M}{\sigma}$$

Módulo resistente: W

Momento máximo: M

Esfuerzo permisible del material: σ

Se reemplazan los valores obtenidos y el valor del esfuerzo permisible del acero AISI 304 que se presenta en la tabla 12, se obtiene:

$$W = \frac{17820 \text{ N} \cdot \text{mm}}{215 \text{ MPa}}$$

$$W = 82,88 \text{ mm}^3$$

$$W = 0,083 \text{ cm}^3$$

Del catálogo se compara el valor calculado con el que corresponde al tubo cuadrado seleccionado, en la figura 17 se observa que el valor de W es de $0,47\text{cm}^3$, mientras que el valor de W calculado es de $0,083\text{cm}^3$; es decir, que la capacidad del material es superior al módulo resistente que se requiere para las condiciones de carga planteadas y no sufrirá ningún daño por cargas.

En la figura 21 se presentan los valores de los perfiles de tubo cuadrado para la fabricación del soporte estructural de las muestras, allí se especifican las dimensiones y propiedades específicas como el área, la inercia y el módulo resistente, se eligió un tubo de $\frac{3}{4}$ de in x 20 mm y 1,10 mm de espesor.

**TUBO CUADRADO
EN ACERO INOXIDABLE**

Especificaciones Generales

- Norma** AISI 304
- Largo normal** 6mts
- Otros largos** Previa consulta
- Dimensiones** Desde 1/2" a 2"
- Espesor** Desde 0.6 a 2.0 mm



| Pulg. | DIMENSIONES | | PESO | AREA | EJES X-X E Y-Y | | |
|-------|-------------|------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|------|
| | H | e | P | A | I | W | I |
| | mm. | mm | Kg/6m | cm ² | cm ⁴ | cm ³ | cm |
| 1/2 | 12 | 0.60 | 1.32 | 0.27 | 0.06 | 0.10 | 0.47 |
| | | 0.75 | 1.86 | 0.32 | 0.07 | 0.12 | 0.47 |
| | | 0.95 | 2.28 | 0.40 | 0.08 | 0.13 | 0.45 |
| 5/8 | 15 | 0.60 | 1.74 | 0.35 | 0.12 | 0.16 | 0.59 |
| | | 0.75 | 2.16 | 0.41 | 0.14 | 0.19 | 0.58 |
| | | 0.95 | 2.70 | 0.51 | 0.16 | 0.21 | 0.56 |
| 3/4 | 20 | 0.60 | 2.22 | 0.47 | 0.29 | 0.29 | 0.79 |
| | | 0.75 | 2.88 | 0.56 | 0.34 | 0.34 | 0.78 |
| | | 0.95 | 3.60 | 0.70 | 0.41 | 0.41 | 0.77 |
| | | 1.10 | 4.20 | 0.80 | 0.47 | 0.47 | 0.77 |
| 1 | 25 | 1.50 | 5.64 | 1.05 | 0.58 | 0.58 | 0.74 |
| | | 0.75 | 3.60 | 0.71 | 0.69 | 0.55 | 0.99 |
| | | 0.95 | 4.50 | 0.89 | 0.84 | 0.67 | 0.97 |
| | | 1.10 | 5.22 | 1.02 | 0.95 | 0.76 | 0.97 |
| | | 1.50 | 7.08 | 1.35 | 1.21 | 0.97 | 0.95 |
| 1 1/4 | 30 | 0.95 | 5.40 | 1.08 | 1.50 | 1.00 | 1.18 |
| | | 1.10 | 6.24 | 1.24 | 1.70 | 1.13 | 1.17 |
| | | 1.50 | 8.46 | 1.65 | 2.19 | 1.47 | 1.15 |
| 1 1/2 | 40 | 0.95 | 7.20 | 1.46 | 3.68 | 1.84 | 1.59 |
| | | 1.10 | 4.34 | 1.68 | 4.20 | 2.10 | 1.58 |
| | | 1.50 | 11.28 | 2.25 | 5.48 | 2.74 | 1.56 |
| 2 | 50 | 1.50 | 14.04 | 2.85 | 11.06 | 4.42 | 1.97 |

Figura 21 Propiedades de los tubos cuadrados en acero inoxidable AISI 304, el módulo de resistencia está designado por W [19]

3.1.7. Proceso de soldadura

Se empleó el proceso de soldadura TIG que se basa en el uso de un electrodo de tungsteno y de gas de protección inerte, a continuación, se presentan las consideraciones que se tomaron en cuenta para la fabricación de la máquina.

Para el soldeo del acero austenítico no se requieren procesos de pre soldeo o tratamientos técnicos post soldeo, sin embargo, la temperatura entre pasadas no debe ser superior a los 250 °C [20].

- **Material de aporte y gas de protección:**

Para la soldadura de aceros inoxidables austeníticos se recomienda el uso del electrodo de tungsteno AWS ER 308L con gas de protección 100% argón a un flujo de 8 a 14 L/min [21]. El mínimo diámetro disponible del electrodo es de 1,6 mm.

- **Corriente o intensidad de soldeo:**

Para este tipo de aceros lo más aconsejable es la utilización de corriente continua y la conexión de la antorcha al polo negativo. En base a los parámetros descritos en la tabla 13 se determina que el rango de corriente aplicable para el proceso es de 60 a 150 A, sin embargo, se debe mantener el mínimo posible para evitar sobrepasar la temperatura entre pasadas.

Tabla 13 Parámetros de corriente para soldadura TIG en electrodos de Tungsteno [20]

| Diámetro electrodo en mm | Corriente continua c.c. (-) | | Diámetro tobera en mm |
|--------------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------|
| | Tungsteno puro | Tungsteno con óxidos | |
| 1,0 | 10 - 75 A | 10 - 75 A | 10 |
| 1,6 | 60 - 150 A | 60 - 150 A | 10 |
| 2,0 | 75 - 180 A | 100 - 200 A | 10 |
| 2,4 | 120 - 220 A | 150 - 250 A | 12 |
| 3,2 | 160 - 310 A | 225 - 330 A | 12 |
| 4,0 | 275 - 450 A | 350 - 480 A | 12 |

3.2. Análisis térmico del combustible metano

Es un gas combustible CH₄ conocido también como hidruro de metilo y gas de los pantanos, presenta características como ser incoloro, inodoro e insoluble en el agua.

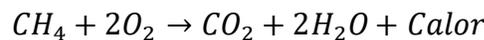
Como combustible, es importante en la generación eléctrica puesto que su aplicación principal se da en las turbinas de gas y en generadores de vapor. Comercialmente se distribuye en cilindros como líquido refrigerado o gas licuado. En la tabla 18 se presentan las propiedades del gas metano.

Tabla 14 Propiedades físicas y químicas del gas metano [26]

| 9. Propiedades Físicas y Químicas | |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| APARIENCIA: | Gas incoloro |
| OLOR: | Inoloro |
| UMBRAL DE OLOR: | No disponible.. |
| ESTADO FÍSICO: | Gas a temperatura y presión normales. |
| pH: | No aplicable. |
| PUNTO DE CONGELACIÓN a 1 atm: | -296.5°F (-182.5°C) |
| PUNTO DE EBULLICIÓN a 1 atm: | -258.7°F (-161.5°C) |
| PUNTO DE INFLAMACIÓN (método de prueba): | -306°F (-187.8°C) |
| RANGO DE EVAPORACIÓN (Acetato de Butilo = 1): | Alto |
| INFLAMABILIDAD: | Inflamable. |
| LÍMITES DE INFLAMABILIDAD EN EL AIRE, % por volumen: | INFERIOR: 5.0% SUPERIOR: 15.0% |
| PRESIÓN DE VAPOR a 68°F (20°C): | No disponible. |
| DENSIDAD DE VAPOR a 60°F (15.6°C) y 1 atm: | 0.04235 lb/ft ³ (0.6784 kg/m ³) |
| GRAVEDAD ESPECÍFICA (H₂O = 1) a 19.4°F (-7°C): | No disponible. |
| GRAVEDAD ESPECÍFICA (Aire = 1) a 60°F (15.6°C) y 1 atm: | 0.56 |
| SOLUBILIDAD EN AGUA, % vol/vol a 100°F (37.8°C) y 1 atm: | Leve |
| COEFICIENTE DE PARTICIÓN: n-octanol/agua: | No disponible. |
| TEMPERATURA DE AUTOIGNICIÓN: | 1112°F (600°C) |
| TEMPERATURA DE DESCOMPOSICIÓN: | No disponible. |
| POR CIENTO DE VOLÁTILES POR VOLUMEN: | 100 |
| PESO MOLECULAR: | 16.042 |
| FÓRMULA MOLECULAR: | CH ₄ |

Poder calorífico del metano

Es la cantidad de calor que se genera por metro cúbico de la sustancia combustible cuando se oxida de forma completa. En el caso del metano, la ecuación de la reacción de oxidación es la siguiente:



Considerando el poder calorífico del metano es de 52630.389 BTU/kg del mismo modo, el comportamiento de la temperatura máxima de llama corresponde a 1940 °C.

3.2.1 Cálculo del comportamiento de combustión del metano

Potencia calorífica: 11,98 kWh = 10300 kcal

Poder calorífico del metano = 12639 kcal /kg

$$Q = m_{com} * PCS$$

Q : Potencia calorífica kcal/h

m_{com} : flujo de combustible kg/s

PCS : Poder calorífico superior kcal/kg

$$m_{com} = \frac{10300 \text{ kcal}}{12639 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}}$$

$$m_{com} = 0,8149 \frac{\text{kg}}{\text{hora}} = 2,26 \text{ E}^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 0,000226 \text{ kg/s}$$

Partiendo de la ecuación estequiométrica para combustión completa y tomando en cuenta el combustible metano CH_4 , además de la composición de aire seco, el siguiente paso es el balance de energía.

Despreciando la cantidad de CO_2 y el Argón presentes en el aire, se obtiene lo siguiente:

$$1 \text{ mol de Aire} = 0,21O_2 + 0,76N_2$$

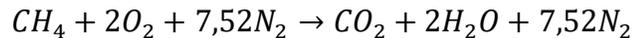
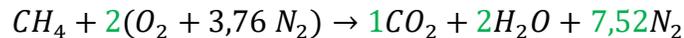
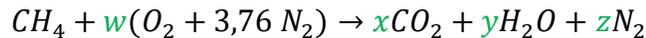
Se considera al aire como un comburente con la siguiente composición

Tabla 15 Composición química del aire

| | |
|-------------------------|----------------|
| N_2 | 0,7809 |
| O_2 | 0,2095 |
| Ar | 0,0093 |
| CO_2 | 0,0003 |
| Masa molar de la mezcla | 28,967 kg/kmol |

$$\frac{1 \text{ mol}}{0,21} \text{ de Aire} = \frac{0,21}{0,21} O_2 + \frac{0,76}{0,21} N_2 = 4,76 \text{ mol de Aire} = O_2 + 3,76N_2$$

Combustión estequiométrica del metano:



Se calcula la fracción molar de los productos

Tabla 16 Fracción molar de los productos en la reacción de combustión

| Fracción molar de los productos | | | |
|---------------------------------|------------|-------|--------|
| CO ₂ | 1/10,52 | 0,095 | 9,50% |
| H ₂ O | 2/10,52 | 0,190 | 19,01% |
| N ₂ | 7,52/10,52 | 0,714 | 71,48% |

$$A/C = \frac{\# \text{ moles de Aire} * m_{\text{aire}}}{\# \text{ moles de Combustible} * m_{\text{combustible}}}$$

→ relación aire/combustible

$$A/C = \frac{2 * 4,76 * 28,967 \text{ kg/kmol}}{1 * 16 \text{ kg/kmol}}$$

$$A/C = \frac{2 * 4,76 * 28,967 \text{ kg/kmol}}{1 * 16 \text{ kg/kmol}}$$

$$A/C = 17,24 \frac{\text{kg/kmol}(\text{aire})}{\text{kg/kmol}(\text{comb})}$$

Flujo másico de aire 100% teórico o estequiométrico necesario para la combustión completa

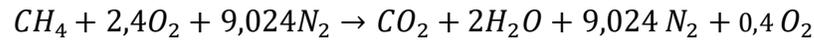
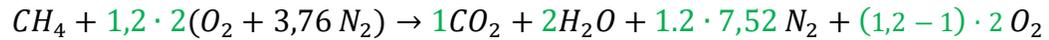
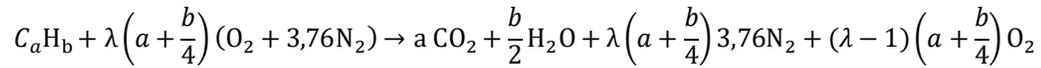
$$A/C = \frac{m_{\text{aire}}}{m_{\text{combustible}}}$$

$$m_{\text{aire}} = A/C * m_{\text{combustible}}$$

$$m_{\text{aire}} = 17,24 * 2,26 E^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$m_{\text{aire}} = 3,89 E^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{s}} = m_{\text{aire teorico}}$$

Ahora se considera el índice de exceso de aire para una instalación de gas, además de la ecuación de combustión correspondiente para determinar la masa de aire necesaria para oxidar por completo los componentes del combustible ya en condiciones reales partiendo de la ecuación correspondiente.



Procedemos a calcular la fracción molar de los productos

Tabla 17 Fracción molar de los productos en la reacción de combustión con aire en exceso

| Fracción molar de los productos | | | |
|---------------------------------|--------------|--------|--------|
| CO ₂ | 1/12,424 | 0,0804 | 8,04% |
| H ₂ O | 2/12,424 | 0,1609 | 16,09% |
| N ₂ | 9,024/12,424 | 0,7263 | 72,63% |
| O ₂ | 0,4/12,424 | 0,0321 | 3,21 % |

$$A/C = \frac{\# \text{ moles de Aire} * m_{\text{aire}}}{\# \text{ moles de Combustible} * m_{\text{combustible}}}$$

→ relación aire/combustible

$$A/C = \frac{2,4 * 4,76 * 28,967 \text{ kg/kmol}}{1 * 16 \text{ kg/kmol}}$$

$$A/C = \frac{330,919 \text{ kg/kmol}}{16 \text{ kg/kmol}}$$

$$A/C = 20,68 \frac{\text{kg/kmol}(\text{aire})}{\text{kg/kmol}(\text{comb})}$$

Flujo másico de aire considerando una combustión completa con exceso de aire.

$$A/C = \frac{m_{\text{aire}}}{m_{\text{combustible}}}$$

$$m_{\text{aire}} = A/C * m_{\text{combustible}}$$

$$m_{\text{aire}} = 20,68 * 2,26 E^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$m_{\text{aire}} = 4,67 E^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Se calcula la entalpia de reacción presente en la combustión

$$\bar{h}_C = \sum N_p \bar{h}_{ofp} - \sum N_R \bar{h}_{ofR}$$

\bar{h}_C = Entalpia de combustión

N_p = Moles (productos)

N_R = Moles (reactivos)

\bar{h}_{ofp} = entalpia de formacion (productos)

\bar{h}_{ofR} = entalpia de formacion (reactivos)

ecuación balanceada con exceso de aire:

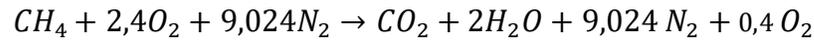


Tabla 18 Entalpias de formación de los productos de combustión [27].

| | $\bar{h}_{of,p} [KJ/Kmol]$ | $\bar{h}_{ofR} a 370^{\circ}K [KJ/Kmol]$ | $N [mol]$ |
|------------------|----------------------------|------------------------------------------|-----------|
| CH ₄ | -74850 | - | 1 |
| O ₂ | 8682 | - | 2,4 |
| N ₂ | 8669 | - | 9,024 |
| CO ₂ | - | 12148 | 1 |
| H ₂ O | - | 12331 | 2 |
| N ₂ | - | 10763 | 9,024 |
| O ₂ | - | 10809 | 0,4 |

$$\bar{h}_C = \sum N_p \bar{h}_{ofp} - \sum N_R \bar{h}_{ofR}$$

$$\bar{h}_C = 1(-74850) + 2,4(8682) + 9,024(8669) - 1(12148) - 2(12331) - 9,024(10763) - 0,4(10809)$$

$$\bar{h}_C = -114043 \left[\frac{KJ}{Kmol} \right] \rightarrow \bar{h}_C > 0 \text{ reaccion endotermica}$$

El calor generado por la mezcla aire combustible se calcula con la ecuación del balance entre entalpias, tanto de los reactivos como de los productos

$$Q_{sal} = \sum N_R (\bar{h}_{of} + \bar{h} - h^{\circ})_R - \sum N_P (\bar{h}_{of} + \bar{h} - h^{\circ})_P$$

Q_{sal} = Flujo de calor

N = numero de moles

\bar{h}_{of} = entalpía de formación condiciones normales Tabla A – 26

\bar{h} = entalpía de formación a temperatura para los reactivos es la temperatura ambiente de 15 °C o 288 °K y de los productos la temperatura más crítica de 96,67 °C o 370 °K.

h° = entalpia de corrección

Tabla 19 Entalpias de formación de los productos de combustión [27].

| | \bar{h}_{of} [KJ/Kmol] | \bar{h} a 288 °K [KJ/Kmol] | h° a 298 °K [KJ/Kmol] | \bar{h} a 370°K [KJ/Kmol] | N [mol] |
|------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------|
| CH ₄ | -74850 | - | - | - | 1 |
| O ₂ | 0 | 8384,40 | 8682 | - | 2,4 |
| N ₂ | 0 | 8373,80 | 8669 | - | 9,024 |
| CO ₂ | -393520 | - | 9364 | 12148 | 1 |
| H ₂ O | -241820 | - | 9904 | 12331 | 2 |
| N ₂ | 0 | - | 8669 | 10763 | 9,024 |
| O ₂ | 0 | - | 8682 | 10809 | 0,4 |

$$Q_{sal} = \sum N_R (\bar{h}_{of} + \bar{h} - h^\circ)_R - \sum N_P (\bar{h}_{of} + \bar{h} - h^\circ)_P$$

$$Q_{sal} = -78228,124 - (-849774,94)$$

$$Q_{sal} = 771546,816 [MJ/Kmol]$$

Se calcula el flujo másico considerando el calor liberado por la reacción ya en condiciones normales.

$$m_{com} = \frac{43128KJ/s}{771546,816 [KJ/mol]}$$

$$m_{com} = 0,0558 \frac{mol}{s} CH_4 \left| \frac{16g}{1mol CH_8} \right| = \frac{0,893g}{s}$$

3.3.Construcción y ensamblaje de la cámara de inflamabilidad

Para la construcción de la cámara de inflamabilidad se siguió un proceso detallado mediante el cual se emplearon etapas como la preparación del material, corte de la chapa

de acero y elementos estructurales, procesos de soldadura y medios de conexión como pernos y bisagras.

En la figura 22 se presenta el diagrama de flujo con todas las etapas que se llevaron a cabo en la fabricación de la cámara de inflamabilidad.

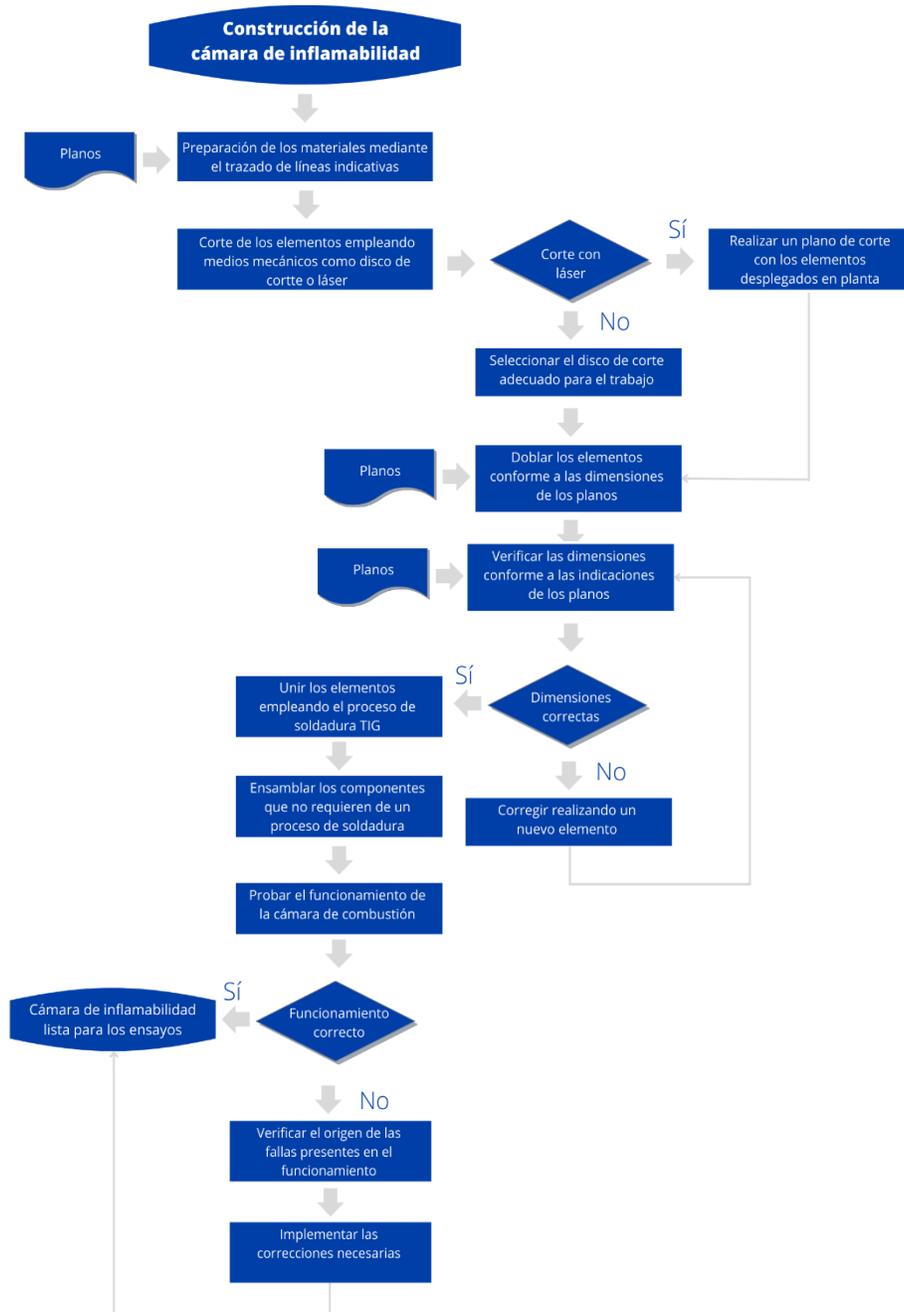


Figura 22 Diagrama de flujo de la fabricación de la cámara de inflamabilidad

En primer lugar, se realizó el trazado de las partes de acuerdo con las medidas planteadas en el diseño de los componentes de la cámara de inflamabilidad, en la figura 23 se presenta el corte y preparación del material.



Figura 23 Preparación y corte de las planchas de acero AISI 304

Para el corte se empleó un disco propio para este tipo de trabajos y la ayuda de una amoladora, se utilizó planchas de acero de 1,5 mm. En las figuras 24 y 25 se muestra la ejecución de estas tareas por parte del personal técnico especializado en este tipo de trabajos.



Figura 24 Utilización de las herramientas de corte para la preparación del material



Figura 25 Utilización de las herramientas de corte para la preparación del material

A continuación de esto, se verificó que se cuenta con todas las partes listas para el proceso de doblado. En las figuras 26 se muestra algunas de las partes principales.

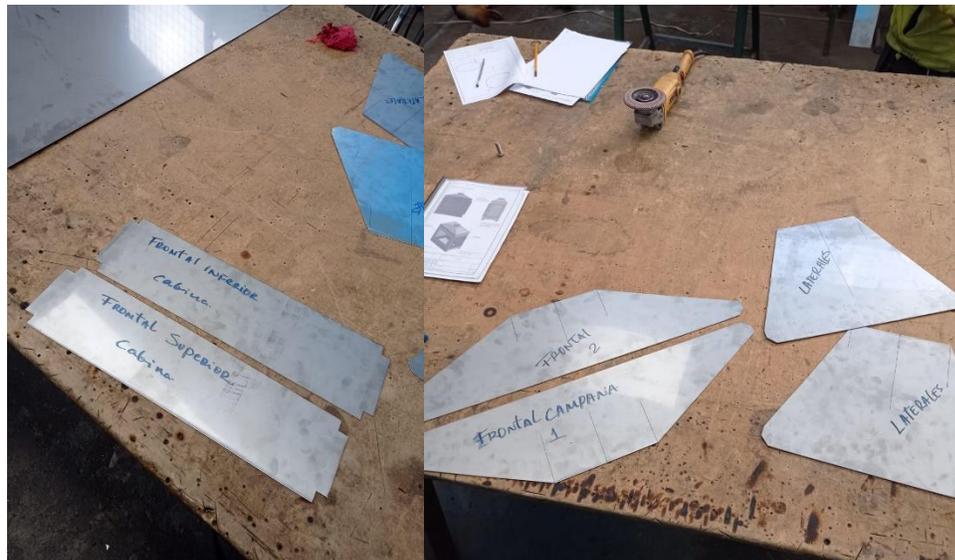


Figura 26 Utilización de las herramientas de corte para la preparación del material

En la figura 27 se presenta el cuerpo de la cámara de combustión luego de obtener su configuración final, los elementos quedaron listos para su ensamblaje mediante el proceso de soldadura.



Figura 27 Partes de la cámara de combustión dobladas

En la figura 28 se presenta la aplicación del proceso de soldadura para la unión de los elementos de la campana de la cámara de combustión. Se utilizó el proceso de soldadura TIG con material de aporte de Tungsteno y gas de protección de Argón.



Figura 28 Proceso de soldadura TIG aplicado en el ensamblaje de la campana de la cámara de combustión

En la figura 29 se presenta el proceso del ensamblaje de la cámara de combustión, en el lado izquierdo está el armado de la campana y, en el lado derecho se presenta la unión de la campana al cuerpo de la cámara de combustión.



Figura 29 Armado de la campana y unión al cuerpo de la cámara de combustión

En la figura 30 se presenta el ensamblaje del resto de elementos, en todos los casos, se realiza la unión empleando el proceso de soldadura TIG. En el lado derecho de la imagen se presenta el armado final de la cámara.



Figura 30 Armado del resto de elementos de la cámara de combustión

En la figura 31 se presenta el ensamblaje de las puertas, se colocaron empleando bisagras y en el caso de la fijación de las puertas se emplearon imanes de neodimio para evitar la utilización de cerraduras que podrían alterar la estética de la cabina.



Figura 31 Colocación de las puertas en la cámara de combustión

En la figura 32 se presenta la malla de acero inoxidable que se debe colocar como base de la cámara de combustión. Para el desarrollo de este elemento, se realizaron cortes láser con la configuración del mallado y se entrelazaron los componentes para, posteriormente fijarlos con puntos de soldadura. La colocación en el interior de la cámara se realizó de manera directa.



Figura 32 Ensamblaje y colocación de la malla de acero



Figura 33 Ensamblaje finalizado de la cámara de combustión

En la figura 33 se presenta el ensamblaje final de la cámara de combustión, adicionalmente a esto, se agregaron los demás componentes que son los encargados de regular la distancia horizontal y vertical de los porta muestras, así como también el movimiento del quemador.



Figura 34 Ensamblaje del quemador

En la figura 34 se presenta el resultado de la fabricación del quemador, se realizó mediante la utilización de torno.

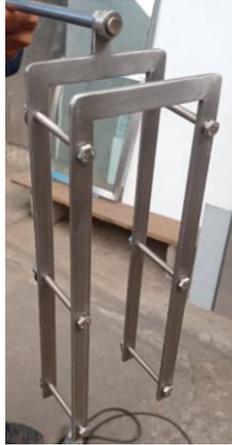


Figura 35 Ensamblaje del porta muestras para materiales planos



Figura 36 Ensamblaje del mecanismo de regulación del ángulo de aplicación y desplazamiento del quemador

En la figura 35 se presenta el resultado final de uno de los porta muestras fabricados y en la figura 36 se muestra el soporte para el quemador, este permite la movilidad de la boquilla en 45 y 90 grados.

3.4. Parámetros de ensayo basados en la norma NTE INEN ISO 11925 – 2: 2010

3.4.1. Preparación de los ítems de ensayo

Para la preparación de los ítems de ensayo se toman en cuenta tres diferentes fases, en primer lugar, se selecciona el tipo de producto a ensayarse con base en el alcance de la NTE INEN ISO 11925 – 2: 2010. Como segundo punto, se deben realizar los cortes de los ítems de ensayo respetando las dimensiones de la plantilla metálica, como se presenta en la figura 37.

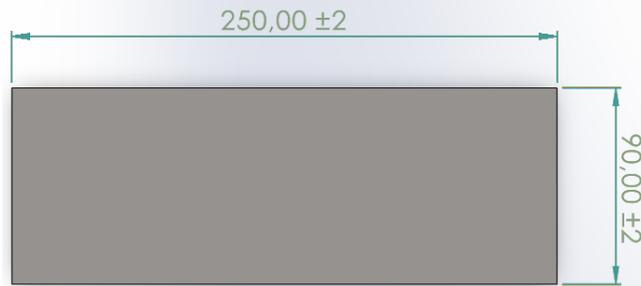


Figura 37 Dimensiones de la plantilla metálica de corte

En la figura 39 se muestran las condiciones de selección del material para los ítems de ensayo y los parámetros de corte que deben tenerse en cuenta para la preparación del material. Para este tipo de ensayos se deben tener seis ítems de ensayo para cada tipo de material, los cortes deben ser de tres ejemplares en dirección longitudinal y tres ejemplares en dirección transversal. Para el número de muestras se deben tener en cuenta las condiciones de la figura 38:

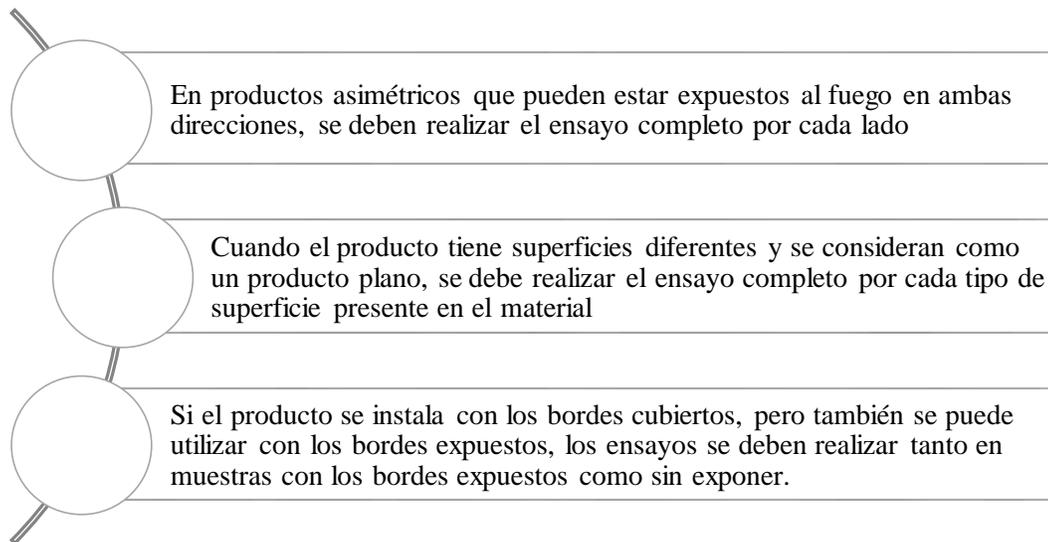


Figura 38 Condiciones de ensayo que pueden estar presentes por cada tipo de material, se deben obtener seis ejemplares de ítems de ensayo por cada ensayo completo en direcciones longitudinal y transversal

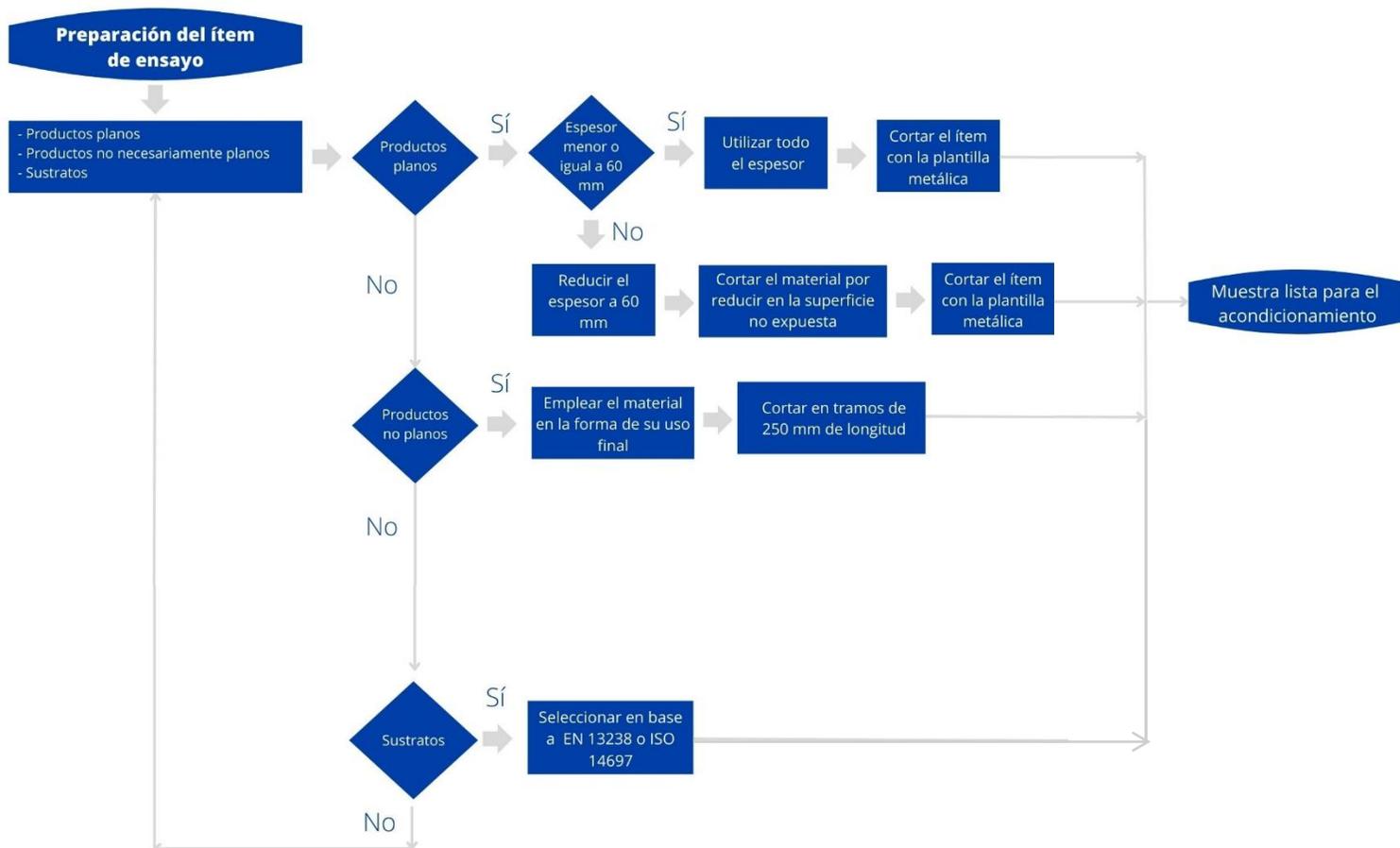


Figura 39 Diagrama de flujo de la preparación de los ítems de ensayo.

Finalmente, los ítems de ensayo, así como también el papel filtro deben acondicionarse bajo las consideraciones que se muestran en la figura 40:

- Temperatura de 21 a 25 °C y humedad relativa de 45 a 55 °C
- Acondicionar las muestras de manera que se encuentren libres de forma individual dentro de un ambiente controlado con flujo de aire
- Tiempo mínimo de acondicionamiento de 48 horas hasta alcanzar una masa constante
- Realizar mediciones constantes en intervalos de 24 horas, comprobar la masa de cada ítem no difiere entre sí más del 0,1%

Figura 40 Parámetros de acondicionamiento de los ítems de ensayo

3.4.2. Procedimiento de ensayo

Se debe seguir el procedimiento de ensayo que se describe en la tabla 14.

Tabla 20 Descripción del procedimiento de ensayo

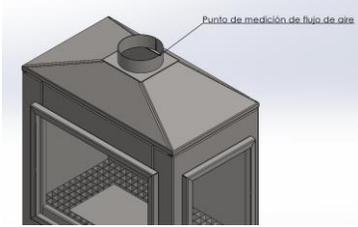
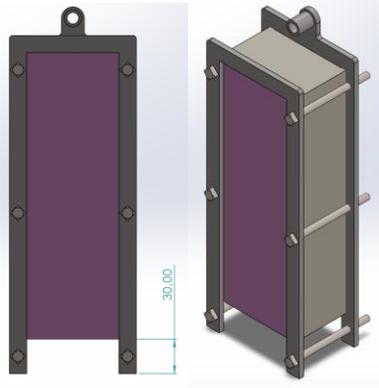
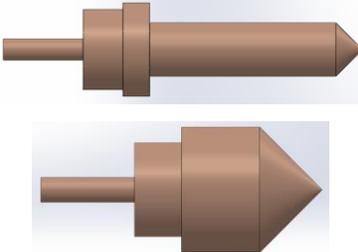
| PROCEDIMIENTO DE ENSAYO | |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tiempo de aplicación de la llama | <ul style="list-style-type: none"> • 15 segundos • 30 segundos |
| Previo al ensayo | <ol style="list-style-type: none"> 1. Medir la velocidad de flujo de aire en la chimenea de la máquina de ensayos <div style="text-align: center; margin: 10px 0;">  <p style="font-size: small; text-align: right;">Punto de medición de flujo de aire</p> </div> 2. Dejar separadas del espacio de adecuación las muestras de ensayo durante 30 minutos en un recipiente sellado, después de ese tiempo, iniciar con el análisis 3. Fijar la muestra de ensayo en el porta muestras dejando 30 mm libres en el borde expuesto <div style="text-align: center; margin: 10px 0;">  </div> 4. Configurar la distancia de las muestras al quemador, empleando los aditamentos espaciadores con el quemador inclinado a 45° <div style="text-align: center; margin: 10px 0;">  </div> |

Tabla 14 Descripción del procedimiento de ensayo (continuación 1)

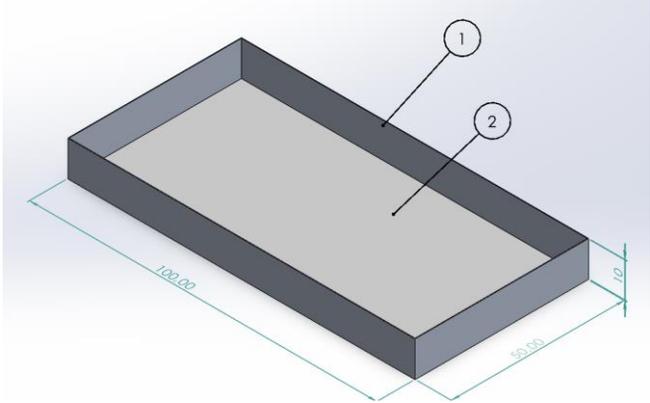
| | |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <p>5. Colocar el papel filtro acondicionado tres minutos antes del ensayo, por cada muestra se deben colocar dos piezas de papel filtro (2) en la bandeja de papel aluminio (1)</p>  |
| <p>Procedimiento de ensayo</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Encender el quemador en posición de 90° hasta que la llama se estabilice 2. Ajustar la altura de la llama a 20 mm empleando la galga de medición  <ol style="list-style-type: none"> 3. Inclinar el quemador a 45° 4. Colocar el quemador desplazándolo hasta el punto de contacto con la muestra 5. Iniciar el cronómetro cuando la llama entra en contacto con la muestra de ensayo 6. Aplicar la llama durante 15 o 30 segundos según las especificaciones del cliente 7. Retirar el quemador de forma uniforme y continua |

Tabla 14 Descripción del procedimiento de ensayo (continuación 2)

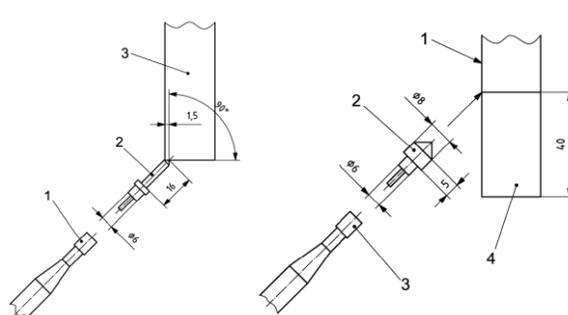
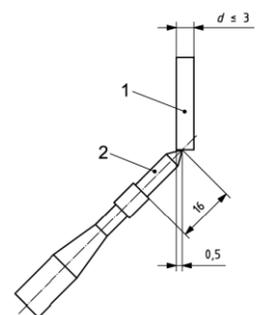
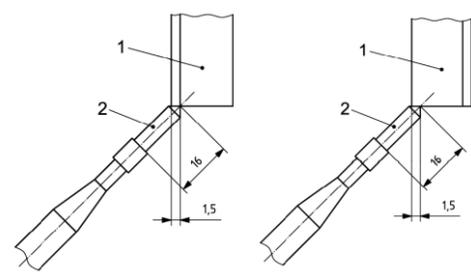
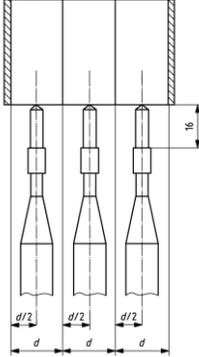
| | |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Condiciones de exposición</p> | <p>Puede ser la superficie o el borde de la muestra de ensayo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Superficie expuesta: productos planos <ol style="list-style-type: none"> 1. Aplicar sobre el eje de la muestra a 40 mm sobre el borde inferior 2. Ensayar toda superficie que pueda quedar expuesta en la práctica  <ul style="list-style-type: none"> • Borde expuesto – productos planos monocapa o multicapa – menor o igual a 3 mm <ol style="list-style-type: none"> 1. Aplicar la llama en el punto medio de la parte inferior de la muestra de ensayo  <ul style="list-style-type: none"> • Borde expuesto – productos planos monocapa o multicapa – mayor a 3 mm <ol style="list-style-type: none"> 1. Aplicar la llama en el centro del ancho del borde inferior de la muestra de ensayo a 1,5 mm tras la superficie  |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Tabla 14 Descripción del procedimiento de ensayo (continuación 3)

| | |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Productos multicapa de espesor mayor a 10 mm <ol style="list-style-type: none"> 1. Girar la muestra a 90° respecto al eje vertical 2. Colocar la llama en contacto con el eje central del borde inferior de cada capa diferente del material <div style="text-align: center;">  </div> <ol style="list-style-type: none"> 3. Realizar al menos dos ensayos por cada cara punto de aplicación de la llama 4. Determinar el pésimo resultado entre los puntos de aplicación 5. Realizar un ensayo completo de seis muestras de ensayo empleando el pésimo punto de aplicación de la llama <ul style="list-style-type: none"> • Productos que no son esencialmente planos <ol style="list-style-type: none"> 1. Ensayar los productos en su forma final de uso 2. Aplicar las condiciones de ensayo de productos planos monocapa o multicapa mayor o igual a 3 mm 3. Realizar al menos dos ensayos para cada punto de aplicación de la llama <p>Realizar un ensayo completo de seis muestras de ensayo empleando el pésimo punto de aplicación de la llama</p> |
| Duración del ensayo | <ul style="list-style-type: none"> • Si el tiempo de aplicación de llama es de 15 s, la duración total del ensayo debe ser de 20 s desde el momento en que se aplica la llama. • Si el tiempo de aplicación de llama es de 30 s, la duración total del ensayo debe ser de 60 s desde el momento en que se aplica la llama |

3.5. Pruebas de funcionamiento y ensayos de inflamabilidad

Para evaluar el funcionamiento de la cámara de inflamabilidad se realizaron ensayos para su validación de acuerdo con la norma ISO 11925 – 2: 2010. Se eligieron tres diferentes materiales para la construcción: piso vinílico, MDF y cielo raso.

De acuerdo con el procedimiento normativo primero se realizó el acondicionamiento de los ítems de ensayo, para ello se tomaron las mediciones del peso de cada uno.

En el caso del piso vinílico se tomaron 12 ítems de ensayo, seis por cada lado puesto que el material contiene dos diferentes superficies, se tomaron en cuenta las dos direcciones del material. En la figura 41 se presenta la toma del peso de los ítems.



Figura 41 Pesaje del material del piso vinílico

En la figura 42 se presenta el material acondicionado con las medidas de los ítems según la normativa.



Figura 42 Material piso vinílico PC-E01 acondicionado

El PVC es un material polimérico de alta resistencia, en este caso se presenta en forma de láminas para aplicarse sobre el piso, mantiene una buena capacidad para soportar las cargas sin deformarse. Algunas de las propiedades del material se describen en la tabla 15.

Tabla 21 Propiedades del PVC [22]

| Propiedades físicas | Valor SI |
|------------------------------|--------------------|
| Densidad | 1.15 – 1.65 [g/cc] |
| Propiedades mecánicas | Valor SI |
| Dureza Shore D | 68 – 83 |
| Resistencia a la tracción | 37.9 – 50.4 [MPa] |
| Módulo de elasticidad | 2.55 – 2.82 [GPa] |

El segundo material que se tomó para la realización de los ensayos fue MDF, en este material se emplearon seis ítems en los cuales se consideró la dirección longitudinal y transversal. Se tomaron las mediciones del peso de cada ítem como se presenta en la figura 43.



Figura 43 Pesaje del material MDF

En la figura 44 se presenta el acondicionamiento de los ítems de acuerdo con las especificaciones de la normativa.

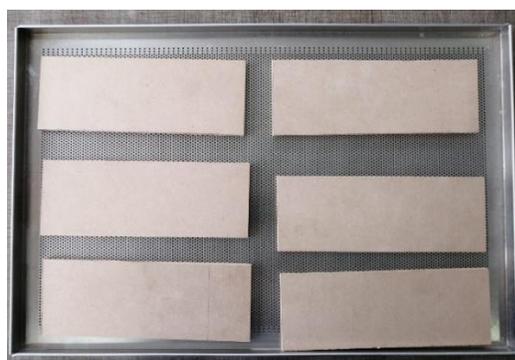


Figura 44 Material piso vinílico PC-E02 acondicionado

El MDF es un material cuyas siglas significan fibras de densidad media por sus siglas en inglés. El 85% de las fibras de este material son de madera y resina sintética para la formación de aglomerados. La densidad del material fluctúa entre 500 y 800 kg/m³. Otras propiedades como la resistencia a la flexión se aproxima a 30 N/mm² [23].

Este material se utiliza para la fabricación de mobiliario y es muy sencillo para su aplicación, se pueden realizar operaciones de corte y mecanizado, además de esto, el material mantiene una buena superficie, aislamiento térmico y acústico.

Otro material utilizado en para la validación de la cabina de inflamabilidad es el cielo raso, para este caso se emplearon 6 ítems de ensayo considerando las dos direcciones del material. Se ensayaron los ítems en la superficie de aplicación del material, como se presenta en la figura 45 en el proceso de pesaje.



Figura 45 Pesaje del material cielo raso

En la figura 46 se presenta el material luego del acondicionamiento. Este material se emplea en las viviendas como parte del techo falso, su componente principal son las placas de yeso.

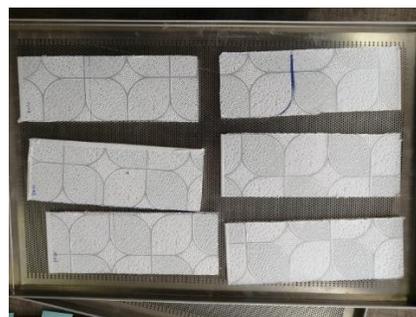


Figura 46 Material piso vinílico PC-E03 acondicionado

Este material es un producto que resulta de la deshidratación del sulfato cálcico, existen diferentes tipos de yeso comercial, el principal uso es el de conglomerantes para su uso posterior procesado en elementos como placas de yeso laminado, paneles, placas para techos, y placas reforzadas con fibras. Algunas de las propiedades son la buena adherencia a otros materiales, buen funcionamiento como aislante térmico y acústico, regulador de humedad y buena resistencia al fuego [24].

Luego del acondicionamiento de los materiales se realizó el ensayo, aplicando el procedimiento descrito en la tabla 12.

En la figura 47 se presenta el procedimiento de ensayo, al ser un material plano se emplea el porta probetas para este tipo de materiales y se fija como se muestra en el punto (1), en el segundo punto (2) se presenta el espaciador en la posición que dicta las directrices de la norma para este tipo de materiales, con esa distancia se verifica en donde debe aplicarse la llama, en el punto (3) se presenta la colocación del material del filtro en la bandeja colocada en la parte inferior del porta muestras. En el punto (4) se muestra la aplicación de la llama en el material, previo a eso, se calibra la altura de la llama como se presenta en la figura 47 lado derecho.



Figura 47 Procedimiento de ensayo del material

En las siguientes fichas se presentan los resultados de los ensayos de inflamabilidad de los materiales seleccionados.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN PARA ENSAYOS DE INFLAMABILIDAD
Informe de resultados del ensayo de reacción al fuego de los materiales de construcción



Inflamabilidad de los productos de construcción cuando se someten a la acción directa de la llama, ensayo con una fuente de llama única. ISO 11925-2: 2010

Código: PC-E01 **Fecha:** 12/7/2022 **Página:** 01/03

1. DATOS INFORMATIVOS

| | |
|----------------------------------------|---------------------------------|
| Razón social: | Universidad Técnica de Ambato |
| RUC: | |
| Dirección: | Av. Los Chasquis y Río Payamino |
| Técnico responsable del ensayo: | Ronnie Efraín Vargas Cordovilla |

2. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE

| | |
|-------------------------------|--|
| Nombre / razón social: | |
| RUC: | |
| Dirección | |
| Teléfono: | |
| Correo electrónico: | |

3. INFORMACIÓN DE LOS ÍTEMS DE ENSAYO

| | | | | |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Tipo de material: | Productos (Marque con una X) | | | |
| | Planos | <input checked="" type="checkbox"/> | No planos | <input type="checkbox"/> |
| Espesor del material: | 1 mm | | | |
| Características del material: | Asimétrico | <input type="checkbox"/> | Superficies diferentes | <input checked="" type="checkbox"/> Diferente tipo de instalación |
| Identificación del producto: | Piso vinílico | | | |
| Preparación de la muestra: | Corte sencillo con las dimensiones según ISO 11925-2:2010 | | | |
| N° de muestras: | (3 en sentido longitudinal y 3 en sentido transversal) un juego para cada caso, según la característica del material | | | |
| Dimensiones: | 250 x 90 mm | | | |
| Color en el anverso: | Café claro | Color en el reverso: | Beige | |
| Superficie en el anverso: | Textura de parquet de madera lisa | Superficie en el reverso: | Rugosa suave | |
| Nombre del fabricante: | | | | |
| Dirección del fabricante: | | | | |

Fotografías de los ítems de ensayo:



4. ACONDICIONAMIENTO DE LOS ÍTEMS DE ENSAYO

| Código del ítem | Peso inicial (g): | Peso final (g): | Fecha de ingreso: | Fecha de salida: |
|-------------------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|
| PVLR-01 | 26,05 | 26,1 | 8/7/2022 | 12/7/2022 |
| PVLR-02 | 26,23 | 26,25 | 8/7/2022 | 12/7/2022 |
| PVLR-03 | 25,93 | 25,96 | 8/7/2022 | 12/7/2022 |
| PVLA-01 | 26,59 | 26,61 | 8/7/2022 | 12/7/2022 |
| PVLA-02 | 25,95 | 25,98 | 8/7/2022 | 12/7/2022 |
| PVLA-03 | 26,00 | 26,03 | 8/7/2022 | 12/7/2022 |
| PVTR-01 | 25,97 | 26,02 | 8/7/2022 | 12/7/2022 |
| PVTR-02 | 25,79 | 25,83 | 8/7/2022 | 12/7/2022 |
| PVTR-03 | 25,86 | 25,9 | 8/7/2022 | 12/7/2022 |
| PVTA-01 | 25,72 | 25,78 | 8/7/2022 | 12/7/2022 |
| PVTA-02 | 25,73 | 25,77 | 8/7/2022 | 12/7/2022 |
| PVTA-03 | 25,74 | 25,8 | 8/7/2022 | 12/7/2022 |
| Humedad relativa: | 50 ± 5% | | | |
| Temperatura: | 23 ± 2 °C | | | |
| Tiempo de acondicionamiento: | 5 días | | | |
| Velocidad del aire: | | | | |

4. CONDICIONES DEL ENSAYO

| | | | |
|------------------------------------------|-------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| Fecha del ensayo: | 12/7/2022 | Método de fijación: | Porta probetas para materiales planos |
| Cámara de inflamabilidad: | ISO 11925-2: 2010 | | |
| Tiempo de aplicación de la llama: | 30 segundos | | |
| Velocidad de campana extractora: | 0,26 m/s | | |
| Humedad relativa: | 49,20% | Temperatura: | 22,1 °C |
| Velocidad del aire: | 0 m/s | | |

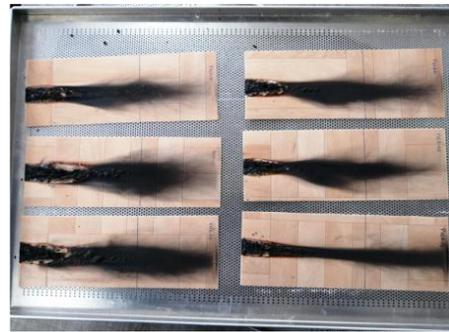
5. RESULTADOS DEL ENSAYO

| Parámetro | Tipo | Registro (%) |
|---------------------------------|-----------|--------------|
| Ignición | (Sí) No | 100 |
| La llama alcanza 150 mm | (Sí) No | 83,33 |
| Tiempo para alcanzar los 150 mm | Número | 18,62 |
| Ignición del papel de filtro | Sí / (No) | 100 |

| | | | | |
|----------------------------------------------|------------|----------------|---|----------------|
| Tiempo de ignición: | 15 s | 30 s | x | |
| Punto de aplicación para la ignición: | Superficie | Borde inferior | x | Borde vertical |

| Código del ítem | Ignición | Ignición del papel filtro | Tiempo (150 mm) |
|-----------------|----------|---------------------------|-----------------|
| PVLR-01 | Sí | No | 18,5 |
| PVLR-02 | Sí | No | 18,03 |
| PVLR-03 | Sí | No | 14,86 |
| PVLA-01 | Sí | No | - |
| PVLA-02 | Sí | No | 22,32 |
| PVLA-03 | Sí | No | - |
| PVTR-01 | Sí | No | 19,81 |
| PVTR-02 | Sí | No | 18,92 |
| PVTR-03 | Sí | No | 18,65 |
| PVTA-01 | Sí | No | 18,74 |
| PVTA-02 | Sí | No | 16 |
| PVTA-03 | Sí | No | 20,36 |

Fotografías de los ítems ensayados:



| |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Observaciones adicionales: Se visualiza la presencia de partículas de hollín en el papel filtro |
| Conclusiones: Los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos permitidos por la ISO 11925-2: 2010 |

Declaración:

“Los resultados del ensayo corresponden al comportamiento de muestras de ensayo de un producto bajo unas condiciones de ensayo particulares; no pretenden constituir el único criterio de valoración del riesgo de incendio potencial del producto en servicio”

Firma del responsable

En la figura 49 se presenta los residuos del hollín del piso vinílico quemado en el papel filtro.



Figura 48 Papel filtro empleado en el ensayo de piso vinílico

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN PARA ENSAYOS DE INFLAMABILIDAD
Informe de resultados del ensayo de reacción al fuego de los materiales de construcción



Inflamabilidad de los productos de construcción cuando se someten a la acción directa de la llama, ensayo con una fuente de llama única. ISO 11925-2: 2010

| | | | | | |
|----------------|---------------|---------------|------------------|----------------|--------------|
| Código: | PC-E02 | Fecha: | 12/7/2022 | Página: | 01/03 |
|----------------|---------------|---------------|------------------|----------------|--------------|

1. DATOS INFORMATIVOS

| | |
|----------------------|---------------------------------|
| Razón social: | Universidad Técnica de Ambato |
| RUC: | |
| Dirección: | Av. Los Chasquis y Río Payamino |

| | |
|----------------------------------------|----------------------------------------|
| Técnico responsable del ensayo: | Ronnie Efraín Vargas Cordovilla |
|----------------------------------------|----------------------------------------|

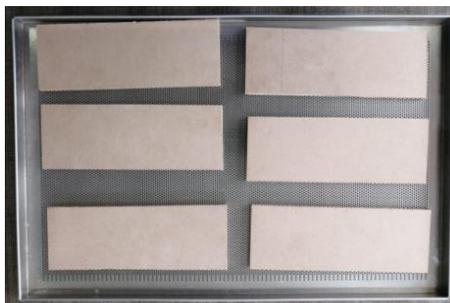
2. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE

| | |
|-------------------------------|--|
| Nombre / razón social: | |
| RUC: | |
| Dirección: | |
| Teléfono: | |
| Correo electrónico: | |

3. INFORMACIÓN DE LOS ÍTEMS DE ENSAYO

| | | | | |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| Tipo de material: | Productos (Marque con una X) | | | |
| | Planos | <input checked="" type="checkbox"/> | No planos | Sustratos |
| Espesor del material: | 10 mm | | | |
| Características del material: | Asimétrico | <input type="checkbox"/> | Superficies diferentes | Diferente tipo de instalación |
| Identificación del producto: | Tablero MDF | | | |
| Preparación de la muestra: | Corte con sierra normal | | | |
| N° de muestras: | (3 en sentido longitudinal y 3 en sentido transversal) un juego para cada caso, según la característica del material | | | |
| Dimensiones: | 250 x 90 mm | | | |
| Color en el anverso: | Café claro | Color en el reverso: | Café claro | |
| Superficie en el anverso: | Lisa | Superficie en el reverso: | Lisa | |
| Nombre del fabricante: | | | | |
| Dirección del fabricante: | | | | |

Fotografías de los ítems de ensayo:



| | | | | | |
|----------------|---------------|---------------|------------------|----------------|--------------|
| Código: | PC-E02 | Fecha: | 12/7/2022 | Página: | 02/03 |
|----------------|---------------|---------------|------------------|----------------|--------------|

4. ACONDICIONAMIENTO DE LOS ÍTEMS DE ENSAYO

| Código del ítem | Peso inicial (g): | Peso final (g): | Fecha de ingreso: | Fecha de salida: |
|-------------------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|
| VCRE-01 | 136,87 | 136,92 | 8/7/2022 | 12/7/2022 |
| VCRE-02 | 135,55 | 135,57 | 8/7/2022 | 12/7/2022 |
| VCRE-03 | 136,21 | 136,24 | 8/7/2022 | 12/7/2022 |
| VCRE-04 | 137,85 | 137,87 | 8/7/2022 | 12/7/2022 |
| VCRE-05 | 136,36 | 136,39 | 8/7/2022 | 12/7/2022 |
| VCRE-06 | 134,31 | 134,34 | 8/7/2022 | 12/7/2022 |
| Humedad relativa: | 50 ± 5% | | | |
| Temperatura: | 23 ± 2 °C | | | |
| Tiempo de acondicionamiento: | 5 días | | | |
| Velocidad del aire: | | | | |

4. CONDICIONES DEL ENSAYO

| | | | |
|------------------------------------------|-------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| Fecha del ensayo: | 12/7/2022 | Método de fijación: | Porta probetas para materiales planos |
| Cámara de inflamabilidad: | ISO 11925-2: 2010 | | |
| Tiempo de aplicación de la llama: | 30 segundos | | |
| Velocidad de campana extractora: | 0,26 m/s | | |
| Humedad relativa: | 49,20% | Temperatura: | 22,1 °C |
| Velocidad del aire: | 0 m/s | | |

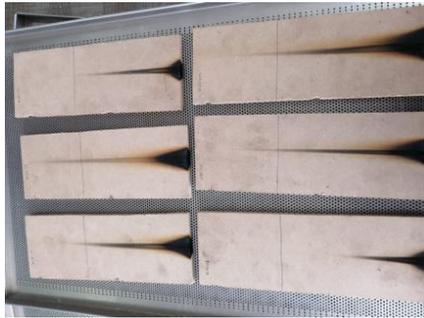
5. RESULTADOS DEL ENSAYO

| Parámetro | Tipo | Registro (%) |
|---------------------------------|-----------|--------------|
| Ignición | (Sí) No | 100 |
| La llama alcanza 150 mm | Sí / (No) | 100 |
| Tiempo para alcanzar los 150 mm | Número | - |
| Ignición del papel de filtro | Sí / (No) | 100 |

| | | | | |
|----------------------------------------------|------------|----------------|---|----------------|
| Tiempo de ignición: | 15 s | 30 s | x | |
| Punto de aplicación para la ignición: | Superficie | Borde inferior | x | Borde vertical |

| Código del ítem | Ignición | Ignición del papel filtro | Tiempo (150 mm) |
|-----------------|----------|---------------------------|-----------------|
| VCRE-01 | Sí | No | - |
| VCRE-02 | Sí | No | - |
| VCRE-03 | Sí | No | - |
| VCRE-04 | Sí | No | - |
| VCRE-05 | Sí | No | - |
| VCRE-06 | Sí | No | - |

Fotografías de los ítems ensayados:



| |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Observaciones adicionales: Se visualiza la presencia de partículas de hollín en el papel filtro |
| Conclusiones: Los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos permitidos por la ISO 11925-2: 2010 |

Declaración:

“Los resultados del ensayo corresponden al comportamiento de muestras de ensayo de un producto bajo unas condiciones de ensayo particulares; no pretenden constituir el único criterio de valoración del riesgo de incendio potencial del producto en servicio”

Firma del responsable

En la figura 50 se presenta los residuos del hollín del tablero MDF quemado en el papel filtro.



Figura 49 Papel filtro empleado en el ensayo de MDF

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN PARA ENSAYOS DE INFLAMABILIDAD
Informe de resultados del ensayo de reacción al fuego de los materiales de construcción



Inflamabilidad de los productos de construcción cuando se someten a la acción directa de la llama, ensayo con una fuente de llama única. ISO 11925-2: 2010

| | | | | | |
|----------------|---------------|---------------|------------------|----------------|--------------|
| Código: | PC-E03 | Fecha: | 12/7/2022 | Página: | 01/03 |
|----------------|---------------|---------------|------------------|----------------|--------------|

1. DATOS INFORMATIVOS

| | |
|----------------------------------------|---------------------------------|
| Razón social: | Universidad Técnica de Ambato |
| RUC: | |
| Dirección: | Av. Los Chasquis y Río Payamino |
| Técnico responsable del ensayo: | Ronnie Efraim Vargas Cordovilla |

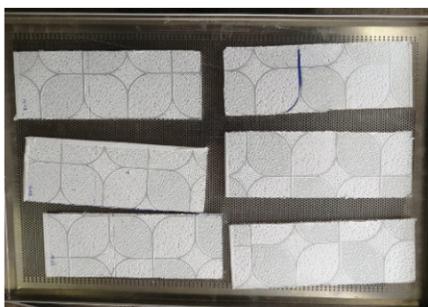
2. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE

| | |
|-------------------------------|--|
| Nombre / razón social: | |
| RUC: | |
| Dirección: | |
| Teléfono: | |
| Correo electrónico: | |

3. INFORMACIÓN DE LOS ÍTEMS DE ENSAYO

| | | | | |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| Tipo de material: | Productos (Marque con una X) | | | |
| | Planos | <input checked="" type="checkbox"/> | No planos | Sustratos |
| Espesor del material: | 10 mm | | | |
| Características del material: | Asimétrico | <input type="checkbox"/> | Superficies diferentes | Diferente tipo de instalación |
| Identificación del producto: | Cielo raso | | | |
| Preparación de la muestra: | Corte manual con cuchilla | | | |
| N° de muestras: | (3 en sentido longitudinal y 3 en sentido transversal) un juego para cada caso, según la característica del material | | | |
| Dimensiones: | 250 x 90 mm | | | |
| Color en el anverso: | Blanco con detalles | Color en el reverso: | Blanco con detalles | |
| Superficie en el anverso: | Detalles decorativos | Superficie en el reverso: | Detalles decorativos | |
| Nombre del fabricante: | | | | |
| Dirección del fabricante: | | | | |

Fotografías de los ítems de ensayo:



| | | | | | |
|----------------|---------------|---------------|------------------|----------------|--------------|
| Código: | PC-E03 | Fecha: | 12/7/2022 | Página: | 02/03 |
|----------------|---------------|---------------|------------------|----------------|--------------|

4. ACONDICIONAMIENTO DE LOS ÍTEMS DE ENSAYO

| Código del ítem | Peso inicial (g): | Peso final (g): | Fecha de ingreso: | Fecha de salida: |
|-------------------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|
| RV-01 | 113,09 | 113,14 | 8/7/2022 | 12/7/2022 |
| RV-02 | 113,52 | 113,54 | 8/7/2022 | 12/7/2022 |
| RV-03 | 113,5 | 113,53 | 8/7/2022 | 12/7/2022 |
| RV-04 | 109,74 | 109,76 | 8/7/2022 | 12/7/2022 |
| RV-05 | 110,74 | 110,77 | 8/7/2022 | 12/7/2022 |
| RV-06 | 109,1 | 109,13 | 8/7/2022 | 12/7/2022 |
| Humedad relativa: | 50 ± 5% | | | |
| Temperatura: | 23 ± 2 °C | | | |
| Tiempo de acondicionamiento: | 5 días | | | |
| Velocidad del aire: | | | | |

4. CONDICIONES DEL ENSAYO

| | | | |
|------------------------------------------|-------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| Fecha del ensayo: | 12/7/2022 | Método de fijación: | Porta probetas para materiales planos |
| Cámara de inflamabilidad: | ISO 11925-2: 2010 | | |
| Tiempo de aplicación de la llama: | 30 segundos | | |
| Velocidad de campana extractora: | 0,26 m/s | | |
| Humedad relativa: | 49,20% | Temperatura: | 18,5 °C |
| Velocidad del aire: | 0 m/s | | |

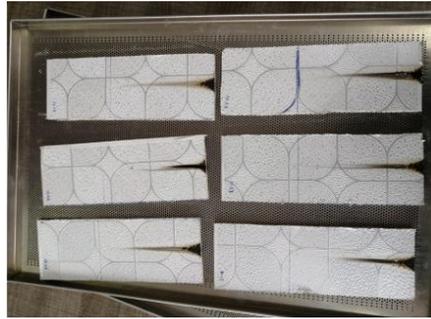
5. RESULTADOS DEL ENSAYO

| Parámetro | Tipo | Registro (%) |
|---------------------------------|-----------|--------------|
| Ignición | Si / No | 100 |
| La llama alcanza 150 mm | Si / (No) | 100 |
| Tiempo para alcanzar los 150 mm | Número | - |
| Ignición del papel de filtro | Si / (No) | 100 |

| | | | | |
|----------------------------------------------|------------|----------------|---|----------------|
| Tiempo de ignición: | 15 s | 30 s | x | |
| Punto de aplicación para la ignición: | Superficie | Borde inferior | x | Borde vertical |

| Código del ítem | Ignición | Ignición del papel filtro | Tiempo (150 mm) |
|-----------------|----------|---------------------------|-----------------|
| RV-01 | Si | No | - |
| RV-02 | Si | No | - |
| RV-03 | Si | No | - |
| RV-04 | Si | No | - |
| RV-05 | Si | No | - |
| RV-06 | Si | No | - |

Fotografías de los ítems ensayados:



Observaciones adicionales:

Se visualiza la presencia de partículas de hollín en el papel filtro

Conclusiones:

Los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos permitidos por la ISO 11925-2: 2010

Declaración:

“Los resultados del ensayo corresponden al comportamiento de muestras de ensayo de un producto bajo unas condiciones de ensayo particulares; no pretenden constituir el único criterio de valoración del riesgo de incendio potencial del producto en servicio”

Firma del responsable

En la figura 51 se presenta los residuos del hollín del cielo raso quemado en el papel filtro.



Figura 50 Papel filtro empleado en el ensayo del cielo raso

3.5.1. Validación de la cámara de ensayos

Para la validación de la cámara de ensayos se realizó un análisis basado en los resultados, para este caso también se siguió la metodología propuesta por la ISO 11925-2:2010. En este caso se evalúa la incertidumbre, repetibilidad y reproducibilidad de los resultados.

Para la determinación de la incertidumbre se tomó en consideración como 2 x min (sí%, no%), de modo que es igual a 0 si todas las respuestas son "sí" o "no" e igual al 100% si la mitad de las respuestas son "sí" y la otra mitad son "no".

En el caso de la repetibilidad se empleó la siguiente fórmula [25].

$$\%Repetibilidad = \frac{K_1 \cdot \bar{R}}{T} * 100\%$$

K_1 : Constante basada en el número de mediciones por operador, intervalo de confianza 99%

\bar{R} : Rango promedio de todos los rangos

T : Tolerancia característica medida

En el caso de la reproducibilidad se empleó la siguiente fórmula [25].

$$\%Reproducibilidad = \frac{\sqrt{(K_2 \cdot \bar{X}_D)^2 - \frac{(K_1 \cdot \bar{R})^2}{nr}}}{T} * 100\%$$

K_2 : Constante basada en el número de operadores, intervalo de confianza 99%

\bar{X}_D : Diferencia entre el promedio mayor y el promedio menor de los operadores

n : Número de ensayos del operador

r : Número de partes medidas

De acuerdo con la normativa, la precisión de los resultados debe encontrarse dentro de los límites descritos en la tabla 16 en donde se describen los intervalos de desviación

estándar repetibilidad y reproducibilidad del tiempo de alcance de la llama a 150 mm en los 30 segundos de aplicación de la llama.

Tabla 22 Precisión de los resultados en el momento de alcanzar 150 mm para tiempos de aplicación de la llama de 30 segundos de acuerdo con la INEN – ISO 11925-2: 2010 [1]

| Área de aplicación de la llama | Intervalo de desviaciones estándar (%) | Media de la desviación estándar (%) | Intervalo de repetitibilidad relativa r/m (%) | Media de la repetitibilidad relativa r/m (%) | Intervalo de la reproducibilidad relativa R/m (%) | Media de la reproducibilidad relativa R/m (%) |
|--------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Superficie | s_r/m 0 – 28,1 s_R/m 0 – 74,7 | s_r/m 29,3 s_R/m 35,0 | 0 – 74,4 | 49,1 | 0 – 211,4 | 99,1 |
| Borde inferior | s_r/m 0 – 11,6 s_R/m 0 – 28,8 | s_r/m 8,1 s_R/m 19,7 | 0 – 32,9 | 23,0 | 0 – 81,5 | 55,7 |
| Borde vertical | s_r/m 0 – 18,8 s_R/m 0 – 18,8 | s_r/m 6,3 s_R/m 6,3 | 0 – 53,3 | 17,8 | 0 – 53,3 | 17,8 |

Para este caso debe considerarse la aplicación de la llama en el borde inferior de los ítems de ensayo puesto que son materiales planos.

En la tabla 17 se presentan los resultados de incertidumbre y precisión de los ensayos efectuados en la cámara de inflamabilidad.

Tabla 23 Validación de la cámara de inflamabilidad de acuerdo con la INEN – ISO 11925-2: 2010

| Material | Grado de Incertidumbre | | Precisión de los resultados en el momento de alcanzar 150 mm para 30 s | | |
|----------|------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------|
| | Ignición 30 s (%) | Ignición del papel (%) | Desviación estándar (%) | Repetitibilidad relativa r/m (%) | Intervalo de la reproducibilidad relativa R/m (%) |
| PC-E01 | 0 | 0 | 7,49 | 1,83 | 3,58 |
| PC-E02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PC-E03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

De acuerdo con estos resultados, los valores de incertidumbre repetibilidad y reproducibilidad se encuentran dentro de los rangos establecidos por la normativa.

3.6. Manual de uso y mantenimiento de la cámara de inflamabilidad

En el presente manual se describen las actividades de mantenimiento para garantizar su mayor duración.

MANUAL DE MANTENIMIENTO DE LA CÁMARA DE INFLAMABILIDAD

INEN – ISO 11925-2: 2010

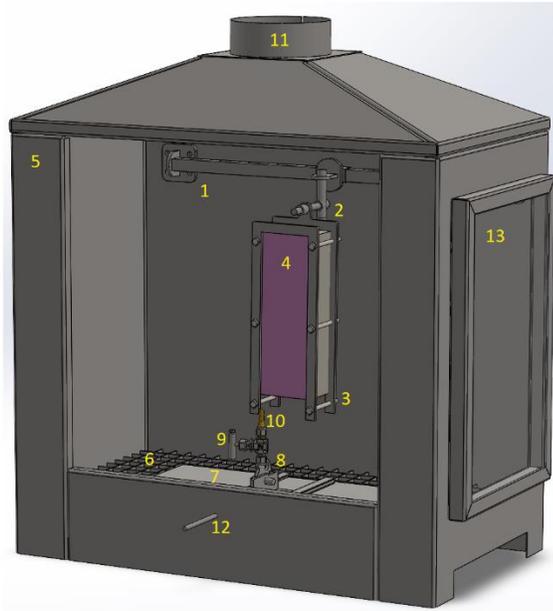


INFORMACIÓN GENERAL DEL EQUIPO:

Descripción:

La cámara de inflamabilidad está diseñada y fabricada conforme los requerimientos descritos en la INEN – ISO 11925-2:2010. Tanto los componentes interiores y exteriores están fabricados en acero AISI 304, para la realización de ensayos cuenta con un soporte de desplazamiento horizontal y vertical para regular el porta muestras. El quemador se sujeta en un soporte de regulación de 90 y 45° para la aplicación de la llama en los ítems de ensayo, el quemador está fabricado también conforma las especificaciones de la INEN – ISO 11925-2:2010 en material de bronce.

Principio de funcionamiento:



Elementos principales de la cámara de inflamabilidad

1. Soporte de regulación horizontal
 2. Soporte de regulación vertical
 3. Porta muestras
 4. Ítem de ensayo
 5. Cámara de inflamabilidad
 6. Rejilla de soporte
 7. Placa horizontal
 8. Mecanismo de regulación del quemador
 9. Válvula de aguja
 10. Quemador
 11. Chimenea
 12. Regulador de desplazamiento del quemador
 13. Puertas de acceso al quemador
- Conexión de gas

Figura 51 Elementos principales de cámara de inflamabilidad

Los ítems de ensayo (4) se colocan en el porta muestras (3) dependiendo de las características del material se elige el tipo de porta muestras que se va a emplear para los ensayos. Conforme a la posición de exposición de la llama se regula el porta muestras utilizando el soporte de regulación vertical (2) y horizontal (1).

Con la ayuda del regulador de desplazamiento del quemador (12) se acerca o se aleja el quemador a los ítems de ensayo, del mismo modo, se emplea el mecanismo de regulación del quemador (8) para moverlo de 90 a 45°. Para regular la cantidad de gas se emplea la válvula de aguja (9).

Previo a los ensayos se coloca la cámara de combustión en una zona regular bajo un extractor de humos, la chimenea (11) se coloca directamente bajo el extractor que debe ser encendido previo a los ensayos.

Campo de aplicación:

La cámara de inflamabilidad se aplica para materiales de construcción bajo las especificaciones de clasificación de materiales del euro código y la norma INEN – ISO 11925-2:2010.

INSTALACIÓN:

Los elementos que forman parte de la cámara de inflamabilidad se encuentran unidos mediante cordones de soldadura, sin embargo, los elementos como el soporte de regulación horizontal (1), la rejilla (6), la placa horizontal (7), el mecanismo de regulación del quemador (8), la válvula de aguja (9), el quemador (10), el regulador de desplazamiento del quemador (12) y las puertas de la cámara (13), son desmontables.

Para cambiar el tipo de quemador, se debe ajustar con la ayuda de una llave hexagonal y posicionarlo en el soporte de regulación vertical (2).

Para retirar la placa horizontal (7) y el mecanismo de regulación del quemador (8) se debe retirar quitando la cinta de doble faz con la cual se fijaron los elementos.

TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO:

Para poder movilizar la cámara de inflamabilidad se deben sujetar a la rejilla (6) los componentes móviles y cerrar las puertas con cuidado de romper los vidrios de las puertas que son de material templado. La sujeción debe realizarse de la parte inferior de los laterales, la misma que cuenta con pestañas propias para mayor comodidad.

MANTENIMIENTO:

Para el mantenimiento se debe realizar la limpieza interior y exterior de la cámara de inflamabilidad después de cada uso. Con este fin se puede emplear alcohol para dejar sin residuos de hollín en las superficies.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

El análisis de la normativa NTE INEN - ISO 11925-2: 2010 se determinaron las dimensiones con las que se fabricó la cámara de inflamabilidad, destacando como parámetros principales la utilización de acero inoxidable con una chapa de acero de 1,5 mm y las medidas generales de 700 x 810 mm y ancho de 400 mm.

Para la fabricación de la cámara de inflamabilidad se emplearon procesos de manufactura de soldadura TIG con material de aporte y gas de protección de argón. En los elementos que mantuvieron una configuración geométrica muy específica se empleó el corte láser para realizar el corte más exacto, como en el caso de la rejilla.

Las pruebas de funcionamiento permitieron verificar las condiciones de operación de la cámara de inflamabilidad. Se determinó que el diseño y fabricación son adecuados puesto que los resultados mantuvieron uniformidad en todas las repeticiones. En este caso se evaluaron tres diferentes materiales: piso vinílico, MDF y cielo raso y para cada uno de ellos se mantuvieron resultados similares.

Los parámetros y lineamientos técnicos que permiten evaluar los materiales son visuales, sin embargo, mantienen criterios específicos como en el caso del encendido del material, en los ensayos se evaluó este comportamiento. Otro parámetro es el encendido del papel filtro, es importante determinar si el material ensayado se desprende y tiene la capacidad de quemar el papel. Finalmente, se evalúa el tiempo que la llama tarda en alcanzar los 150 mm de los ítems de ensayo.

4.2 Recomendaciones

Evaluar cada etapa de fabricación de la cámara de inflamabilidad para controlar las dimensiones que especifica la normativa.

Para el proceso de soldadura, se debe controlar la cantidad de gas de protección y el material de aporte que debe emplearse junto con los parámetros de soldadura conforme al material y condiciones de operación.

Se pueden realizar pruebas de funcionamiento empleando el mismo material en otros laboratorios para evaluar más a fondo la fiabilidad de los resultados de la cámara de inflamabilidad.

Previo a la realización de los ensayos se debe marcar la distancia de 150 mm desde el borde expuesto para que visualmente se pueda determinar el tiempo que tarda la llama en alcanzar este punto.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] /Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN-ISO 11925-2:2010 IDT,” *Norma Técnica Ecuatoriana*, pp. 1–5, 2014.
- [2] G. Manzini, P. Gramazio, S. Guastella, C. Liciotti, and G. L. Baffoni, “The Fire Risk in Photovoltaic Installations - Test Protocols For Fire Behavior of PV Modules,” *Energy Procedia*, vol. 82, pp. 752–758, Dec. 2015, doi: 10.1016/J.EGYPRO.2015.11.805.
- [3] M. Cyrankowski, J. Osipiuk, W. Jaskolowski, and A. Opalach, “Research on fire protection properties of chosen kinds of exotic wood.,” *Ann. Warsaw Univ. Life Sci. For. Wood Technol.*, vol. 82, 2013, [Online]. Available: https://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.agro-3e3212c4-5869-4164-abe9-9acccc8b67d2/c/136_Annals_of_Warsaw_University_of_Life_Sciences__SGG_W_Forestry_and_Wood_Technology_-_82.pdf.
- [4] E. Ruzinska, I. Mitterova, and J. Osipiuk, “Study of selected characteristics thermal degradation wood materials modified by coatings with the occurrence of risk substances.,” *Ann. Warsaw Univ. Life Sci. For. Wood Technol.*, 2013, [Online]. Available: https://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.agro-6ea97a0c-586c-4955-b216-175b1e3458e7/c/121_Annals84.pdf.
- [5] SENA Servicio Nacional de Aprendizaje, “Teoría del fuego, el extintor y su manejo,” 2007, Accessed: Apr. 21, 2022. [Online]. Available: https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/3752/cartilla_07_teor%C3%ADa_del_fuego_extintor_manejo.pdf?sequence=1.
- [6] C. Sánchez, *Teoría de la combustión*. 2011.
- [7] F. Alzate-Guarín, L. Muñoz, and A. Amell, “Evaluación preliminar de la inflamabilidad de algunas especies de plantas cultivadas en Colombia,” *Hoehnea*, vol. 49, p. 2022, Jan. 2022, doi: 10.1590/2236-8906-49/2021.
- [8] Programa ambiental de las Naciones Unidas, “Cuestiones técnicas de

- inflamabilidad,” *Hoja Inf. N° 10*, 2013, Accessed: Mar. 07, 2022. [Online]. Available: www.multilateralfund.org/72/English/1/7247.pdf.
- [9] QUÍMICA.ES, “Combustible,” 2016. <https://www.quimica.es/enciclopedia/Combustible.html> (accessed Mar. 07, 2022).
- [10] AENOR, “UNE - EN ISO 13943,” 2018.
- [11] P3 Consultores, “Comportamiento de los materiales de construcción ante la incidencia del fuego ,” 2019. <https://www.p3consultores.com/comportamiento-de-los-materiales-de-construccion-ante-la-incidencia-del-fuego/> (accessed Mar. 07, 2022).
- [12] M. A. Miravete, *Los nuevos materiales en la construcción*. 1995.
- [13] UNE EN 13501-1, *Clasificación en función al comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación*. Madrid: AENOR, 2007.
- [14] Fire testing technology, “European Fire Testing Classification for Construction Products,” *Eur. Fire Test. Classif. Constr. Prod.*, 2020, Accessed: Apr. 21, 2022. [Online]. Available: https://www.fire-testing.com/wp-content/uploads/2020/07/EU-Fire-Testing-Classification-for-Construction-Products_FTT.pdf.
- [15] Ecosmep, “PROPANO COMERCIAL Ref.: FDS-22SP 1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA / PREPARADO Y DE LA EMPRESA,” 2022, Accessed: Apr. 21, 2022. [Online]. Available: <https://www.ecosmep.com/cabecera/upload/fichas/4904.pdf>.
- [16] Concepto, “Combustión,” 2022. <https://concepto.de/combustion/>.
- [17] Concepción Merino Casals, *Aceros inoxidable*, Dextra Edi. Madrid, 2017.
- [18] MatWeb, “Propiedades acero AISI 304,” 2016. <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=abc4415b0f8b490387e3c922237098da&ckck=1>.
- [19] DIPAC, “Catalogo acero dipac,” 2015.

<https://www.slideshare.net/JaviCaiza/catalogo-acero-dipac>.

- [20] M. Cueto, *Soldadura TIG de acero inoxidable: UF1627*. Murcia: Cano Pina, 2017.
- [21] Indura, “Catálogo de procesos y productos,” 2016.
[http://www.indura.com.ec/Descargar/Catálogo de Procesos de Productos?path=%2Fcontent%2Fstorage%2Fec%2Fbiblioteca%2F4e4aa7f687694565bb3b902988d2a15e.pdf](http://www.indura.com.ec/Descargar/Catálogo%20de%20Procesos%20de%20Productos?path=%2Fcontent%2Fstorage%2Fec%2Fbiblioteca%2F4e4aa7f687694565bb3b902988d2a15e.pdf).
- [22] MatWeb, “Overview of materials for PVC, Sheet Grade,” 2021.
<https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=7612abff891246f8aa0fb92a0e6ed522&ckck=1>.
- [23] Santana, “Características de los tableros o madera MDF,” 2017.
[https://www.maderasantana.com/caracteristicas-tableros-madera-mdf/#:~:text=La madera MDF es un,buen rendimiento sobre esta madera.](https://www.maderasantana.com/caracteristicas-tableros-madera-mdf/#:~:text=La%20madera%20MDF%20es%20un%20buen%20rendimiento%20sobre%20esta%20madera.)
- [24] J. Polanco, S. Cavia, and C. García, “Materiales de construcción,” *Dep. Cienc. e Ing. del terreno y los Mater.*, 2018, [Online]. Available: <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/280/course/section/205/Leccion9a.pdf>.
- [25] L. Llamosa, L. Meza, and M. Botero, “Estudio de repetibilidad y reproducibilidad utilizando el método de promedios y rangos para el aseguramiento de la calidad de los resultados de calibración de acuerdo con la norma técnica NTC ISO / IEC 17025,” *Sci. Tech.*, no. 35, 2007.
- [26] Praxair, “Hoja de datos del Metano comprimido.” 2009, [Online]. Available: <https://www.linde.mx/-/media/corporate/praxair-mexico/documents/safety-data-sheets/metano-hds-p4618f-2009.pdf>.
- [27] Y. Cengel and M. Boles, *Termodinámica*, Séptima. México, 2012.

ANEXOS



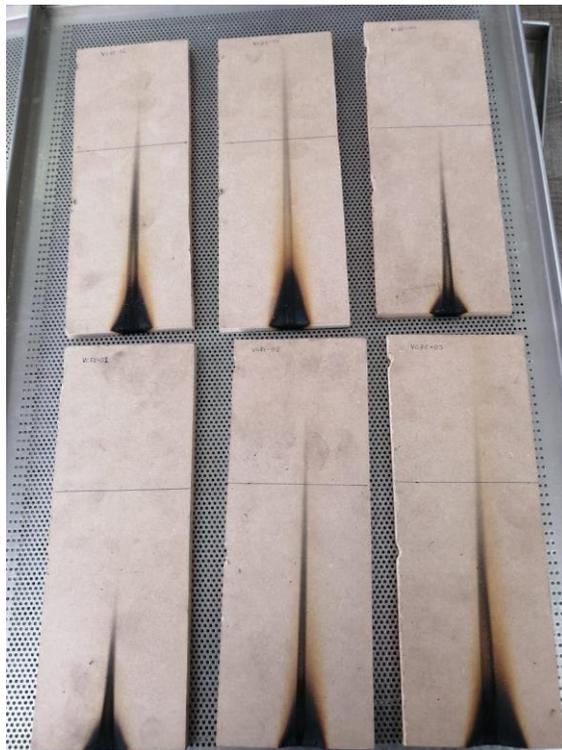
Anexo 1: Calibración del tamaño de la llama



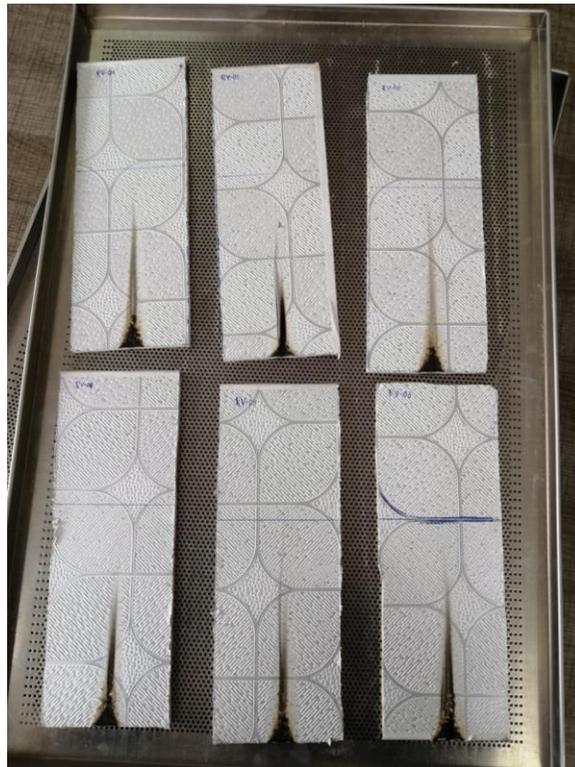
Anexo 2: Evaluación de los resultados de inflamabilidad



Anexo 3: Resultados del ensayo del piso vinílico

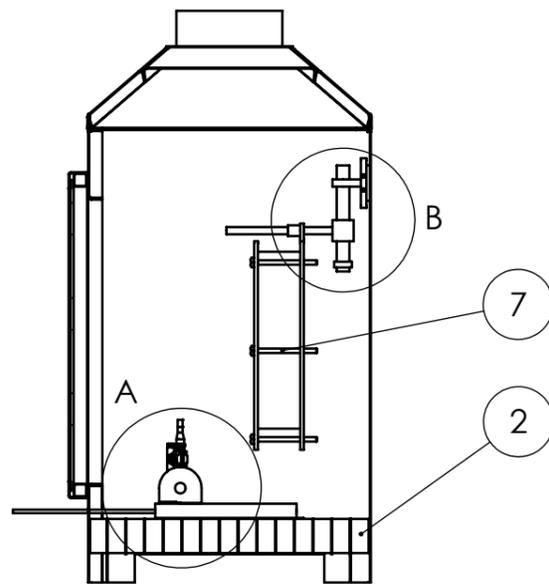
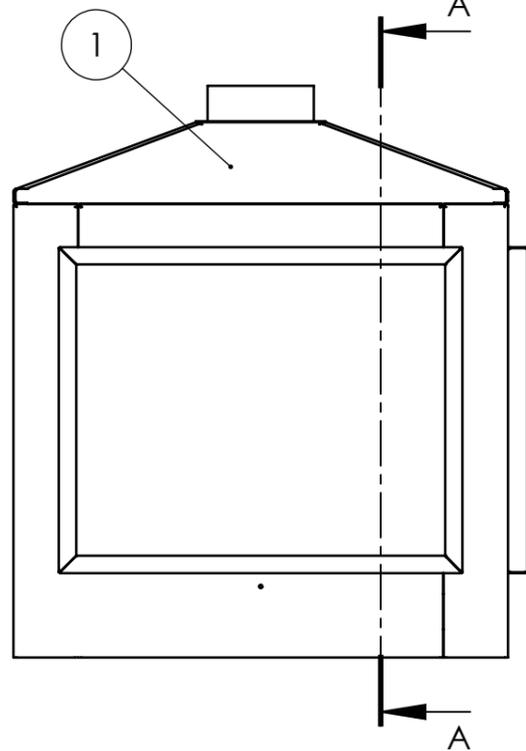


Anexo 4: Resultados del ensayo del MDF

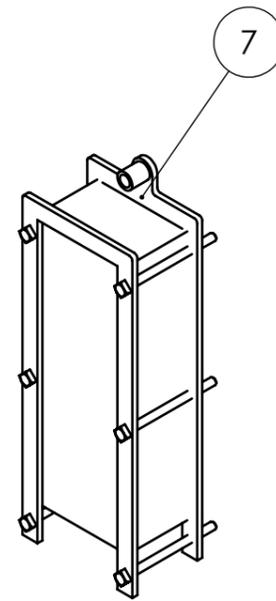


Anexo 5: Resultados del ensayo del cielo raso

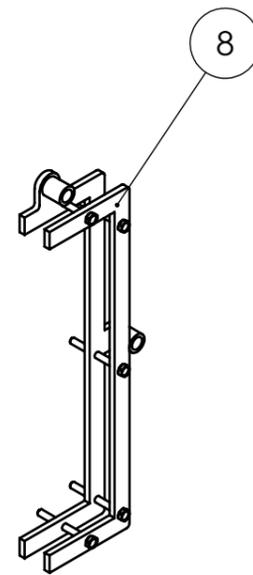
Planos de construcción



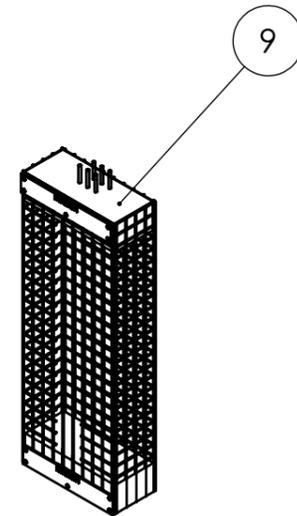
SECCIÓN A-A



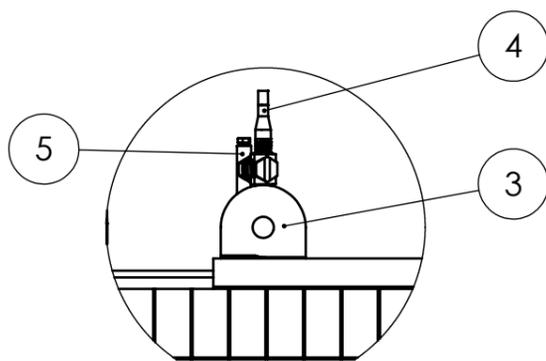
PORTA MUESTRAS
MATERIALES PLANOS
ESCALA 1 : 5



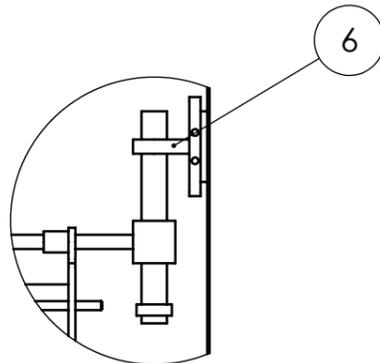
PORTA MUESTRAS
MATERIALES MULTICAPA
ESCALA 1 : 5



PORTA MUESTRAS
MATERIALES SUELTOS
ESCALA 1 : 5



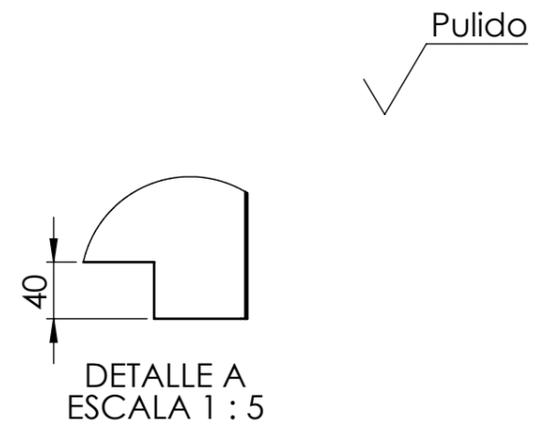
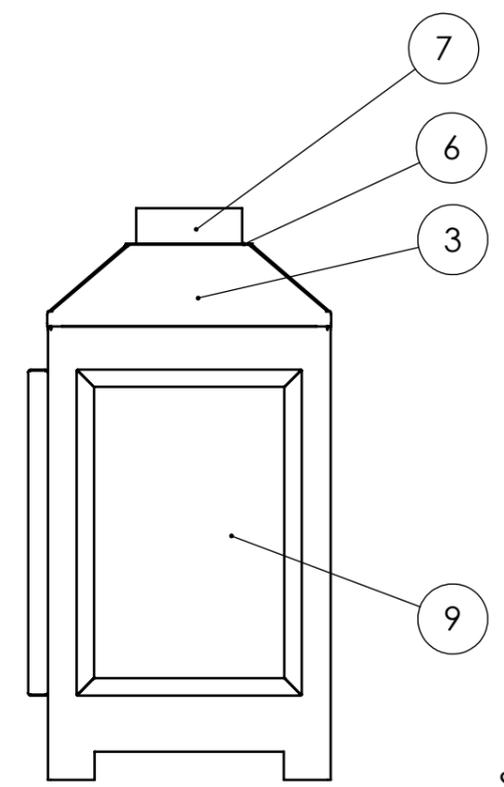
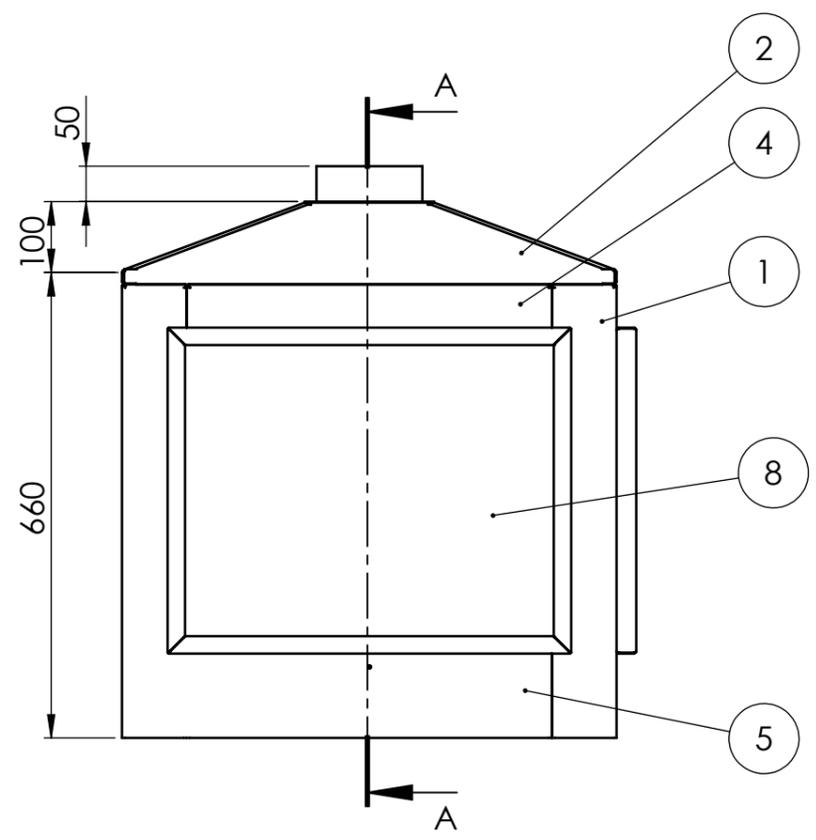
DETALLE A
ESCALA 1 : 5



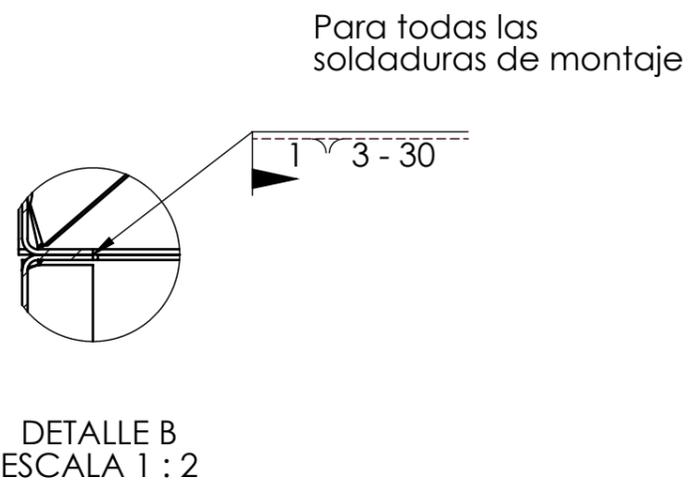
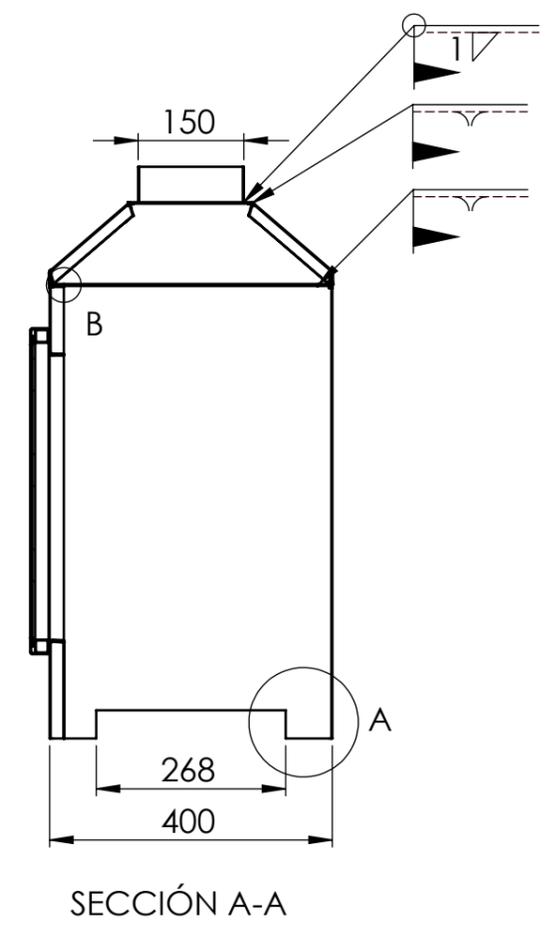
DETALLE B
ESCALA 1 : 5

| 1 | Porta muestras para materiales sueltos | INEN 11925 - 2 / 33 | AISI 304 | 9 | | 0,20 | |
|-------------|--------------------------------------------|----------------------|----------|-------------|------------------------------|-----------------|---------------|
| 1 | Porta muestras para materiales multicapa | INEN 11925 - 2 / 30 | AISI 304 | 8 | | 0,54 | |
| 1 | Porta muestras para materiales planos | INEN 11925 - 2 / 26 | AISI 304 | 7 | | 0,86 | |
| 1 | Mecanismo de movimiento del porta muestras | - | AISI 304 | 6 | | 1,17 | |
| 1 | Válvula de aguja | - | AISI 304 | 5 | | 0,058 | |
| 1 | Quemador | INEN 11925 - 2 / | Bronce | 4 | | 0,021 | |
| 1 | Mecanismo de movimiento del quemador | - | AISI 304 | 3 | | 0,89 | |
| 1 | Rejilla | INEN 11925 - 2 / 23 | AISI 304 | 2 | | 11,26 | |
| 1 | Cámara de combustión | INEN 11925 - 2 / 02 | AISI 304 | 1 | | 28,27 | |
| Nº de pieza | Denominación | Nº de Norma / Dibujo | Material | Nº de orden | Nº del Modelo / Semiproducto | Peso kg / pieza | Observaciones |

| | | | | | | | |
|-------------------------------|--------------|-----------------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------|--|-----------|---------|
| Tolerancia: | | Peso: | | Material: | | | |
| ±0.3 | | 45700.98 g | | AISI 304 | | | |
| Fecha | | Nombre | | Denominación: | | | Escala: |
| Dibujó: 18/04/2022 | | Ronnie Vargas | | Equipo para ensayos - Ensayo con una fuente de llama única ISO 11925 - 2:2010 | | | 1:10 |
| Revisó: 20/04/2022 | | Ing. Christian Castro | | | | | |
| Aprobó: 20/04/2022 | | Ing. Christian Castro | | | | | |
| U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA | | | | No. de lámina: | | Registro: | |
| | | | | 01 de 36 | | | |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | (Sustitución) | | | |



Soldadura GTAW
 Material de aporte: AWS ER 308L ϕ 1.6 mm
 Gas de protección: 100% Argón 8 - 10 L/min
 Amperaje: 60 - 150 A - optar por el más bajo posible



| Nº de pieza | Denominación | Nº de Norma / Dibujo | Material | Nº de orden | Nº del Modelo / Semiproducto | Peso kg / pieza | Observaciones |
|-------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------------|-------------|------------------------------|-----------------|---------------|
| 1 | Puerta lateral | 19 | AISI 304 y vidrio templado | 9 | | 3,7 | |
| 1 | Puerta frontal | 13 | AISI 304 y vidrio templado | 8 | | 5,6 | |
| 1 | Chimenea | INEN 11925 - 2 / 12 | AISI 304 | 7 | | 0,27 | |
| 1 | Tapa de la campana | 11 | AISI 304 | 6 | | 0,18 | |
| 1 | Tapa frontal inferior | 10 | AISI 304 | 5 | | 0,97 | |
| 1 | Tapa frontal superior | 09 | AISI 304 | 4 | | 0,77 | |
| 2 | Forro lateral de la campana | INEN 11925 - 2 / 07 | AISI 304 | 3 | | 1,24 | |
| 2 | Forro frontal de la campana | INEN 11925 - 2 / 05 | AISI 304 | 2 | | 1,17 | |
| 1 | Cuerpo de la cámara de combustión | INEN 11925 - 2 / 03 | AISI 304 | 1 | | 11,82 | |

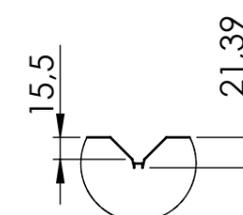
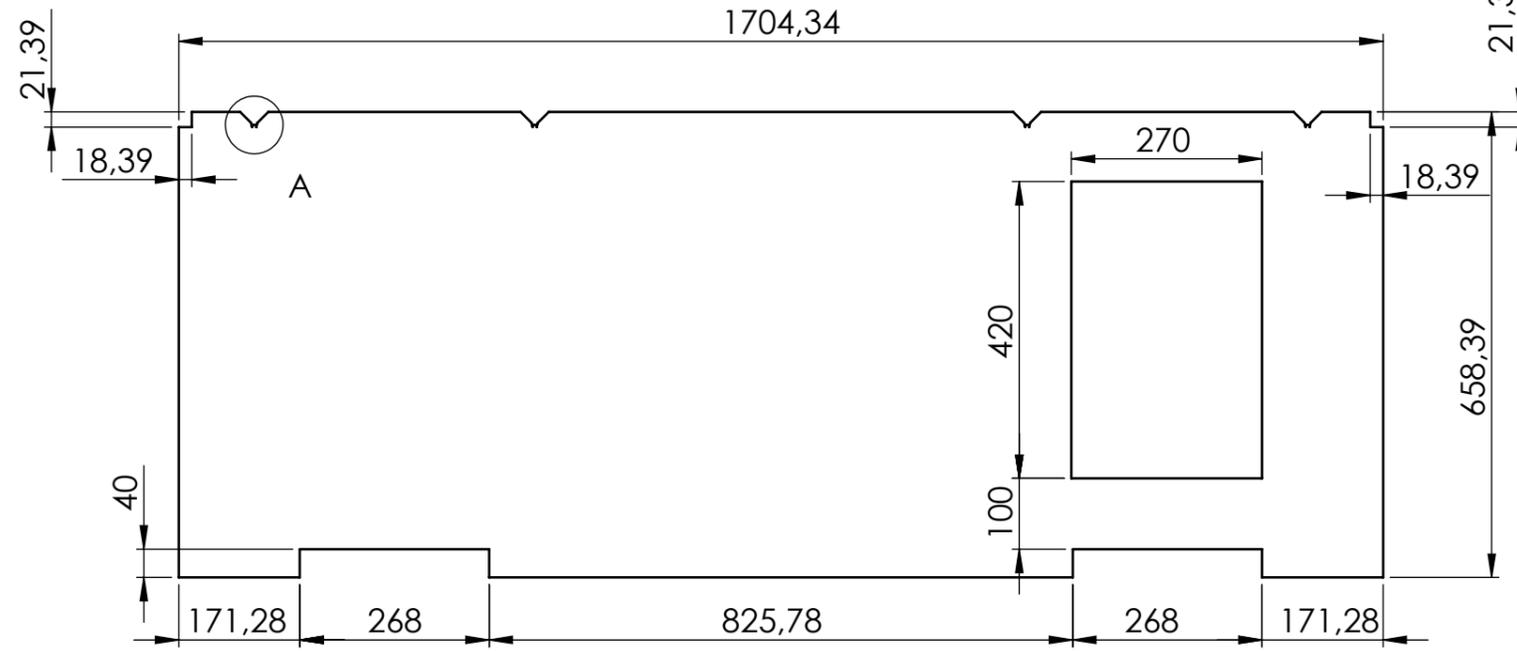
| | | | | | | |
|-------------------------------|--------------|-----------------------|--------|----------------------|--|-----------|
| Tolerancia: | | Peso: | | Material: | | |
| ±0.3 | | 28278.94 g | | AISI 304 | | |
| Fecha | | Nombre | | Denominación: | | Escala: |
| Dibujó: 18/04/2022 | | Ronnie Vargas | | Cámara de combustión | | 1:10 |
| Revisó: 20/04/2022 | | Ing. Christian Castro | | | | |
| Aprobó: 20/04/2022 | | Ing. Christian Castro | | | | |
| U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA | | | | No. de lámina: | | Registro: |
| | | | | 02 de 36 | | |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | (Sustitución) | | |

Cuerpo de la cámara de combustión desdoblado

Chapa acero espesor 1,5 mm

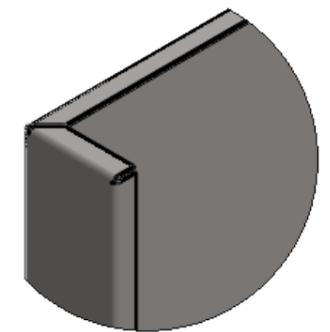
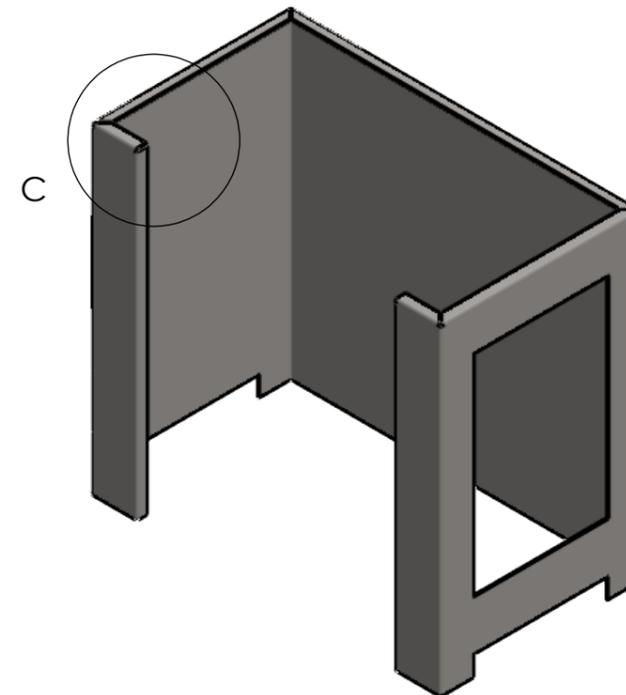
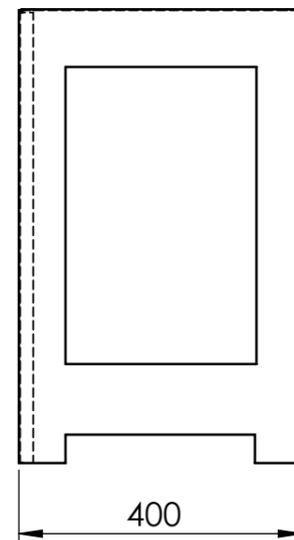
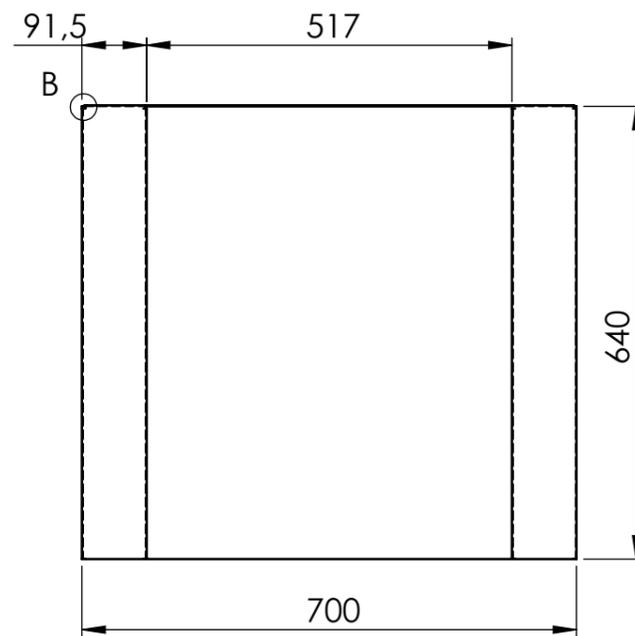
Radio de curvatura para dobleces R= 3 mm

Radio de curvatura para dobladillos a 90° R= 3 mm



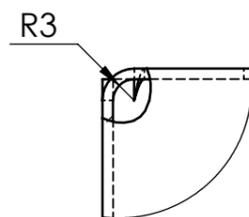
Detalle A para evitar interferencias entre los dobleces de las pestañas de 20 mm

DETALLE A
ESCALA 1 : 5



DETALLE C
ESCALA 1 : 5

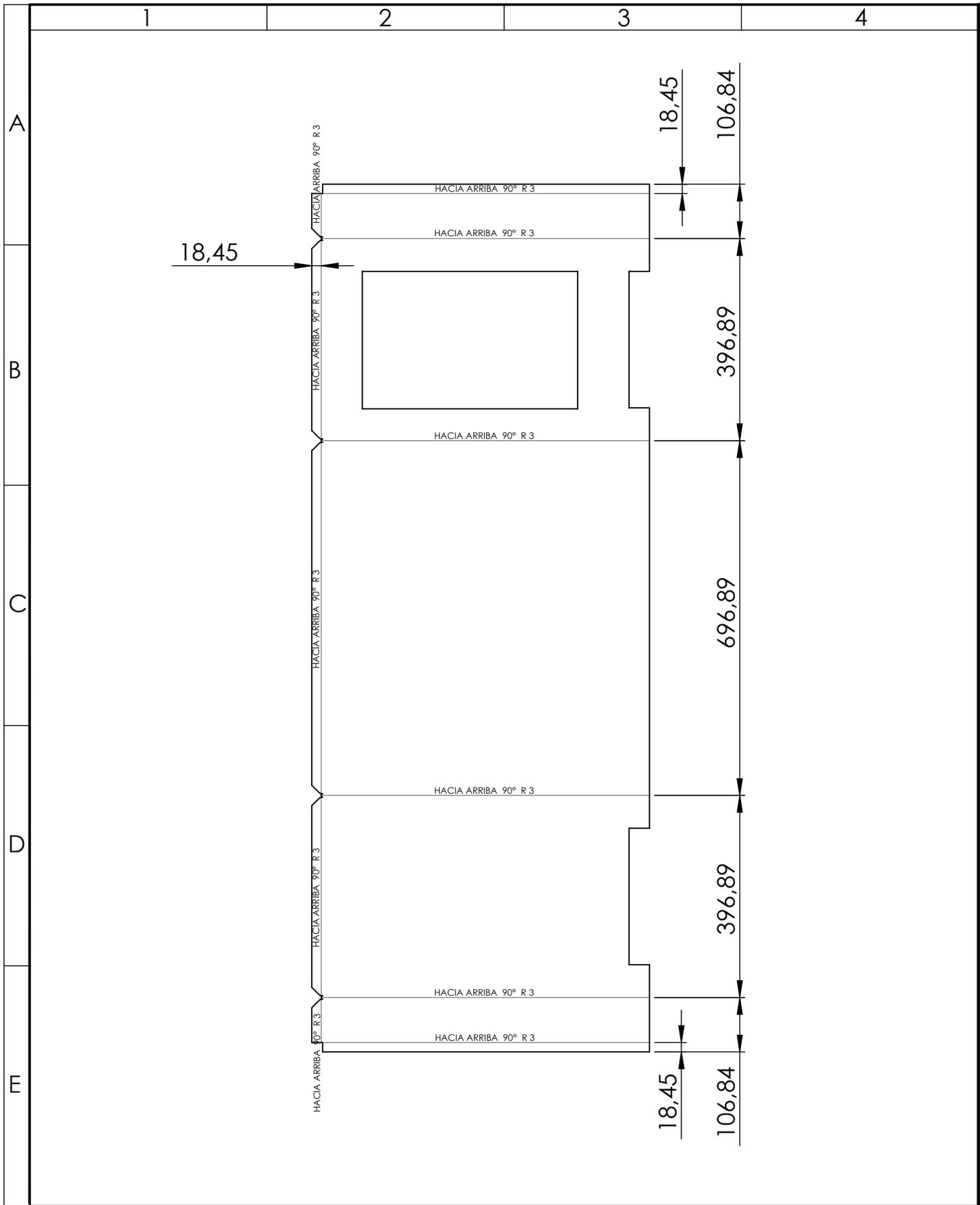
Plegados a 90°



DETALLE B
ESCALA 1 : 1

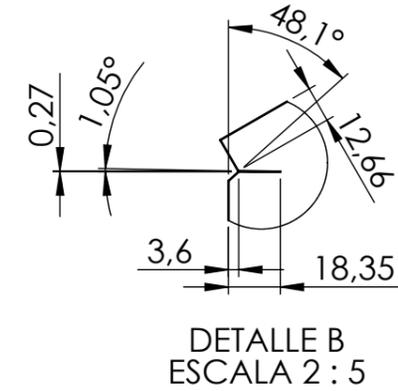
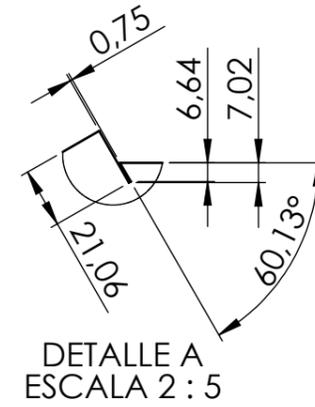
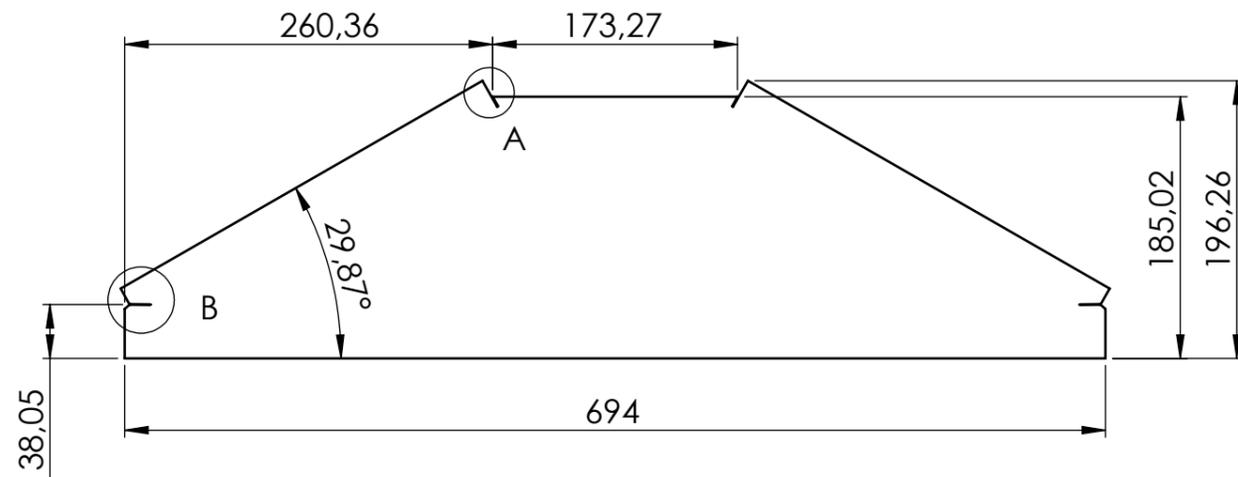
Radio interno de plegado
Emplear punzones de radio de 3 mm
para todos los dobleces del plegado

| | | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------|---------|
| | | | | Tolerancia: | Peso: | Material: | | |
| | | | | ±0,3 | 11818,56 g | AISI 304 | | |
| | | | | Fecha | Nombre | Denominación: | | Escala: |
| | | | | Dibujó: 18/04/2022 | Ronnie Vargas | Cuerpo de la cámara de combustión | | 1:10 |
| | | | | Revisó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | | |
| | | | | Aprobó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | | |
| | | | | U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA | | No. de lámina: | Registro: | |
| | | | | | | 03 de 36 | | |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | (Sustitución) | | |



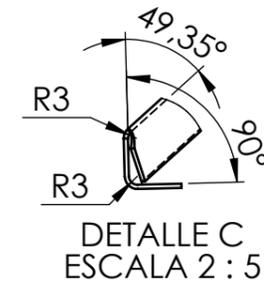
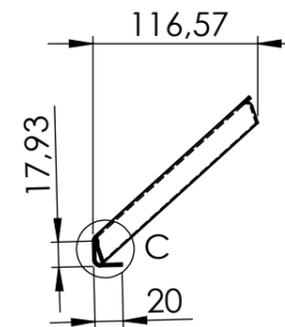
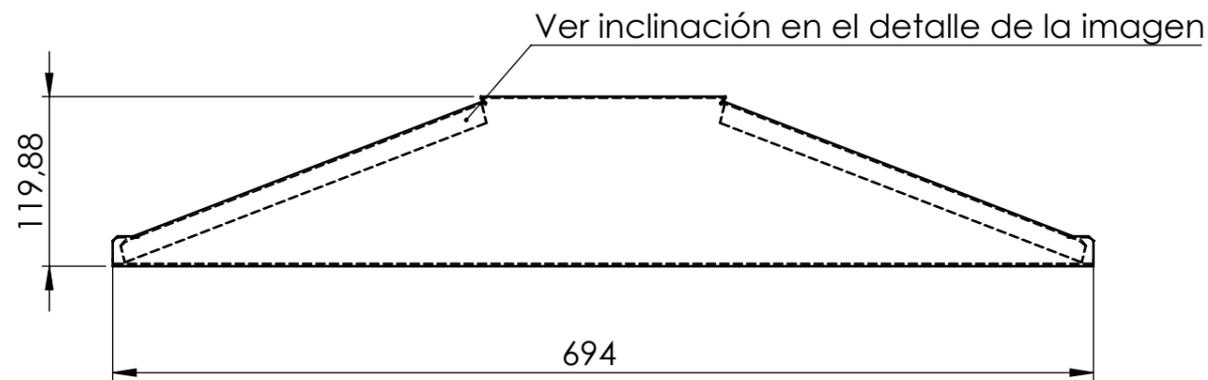
| | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| | | | | Tolerancia: ±0,3 | Peso: 11818.56 g | Material: AISI 304 | |
| | | | | Fecha | Nombre | Denominación: Detalle de dobleces del cuerpo de la cámara de combustión | Escala: 1:10 |
| | | | | Dibujó: 18/04/2022 | Ronnie Vargas | | |
| | | | | Revisó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | |
| | | | | Aprobó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | |
| | | | | FICM U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA | | No. de lámina: 04 de 36 | Registro: |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | (Sustitución) | |

Forro frontal de la campana desdoblado

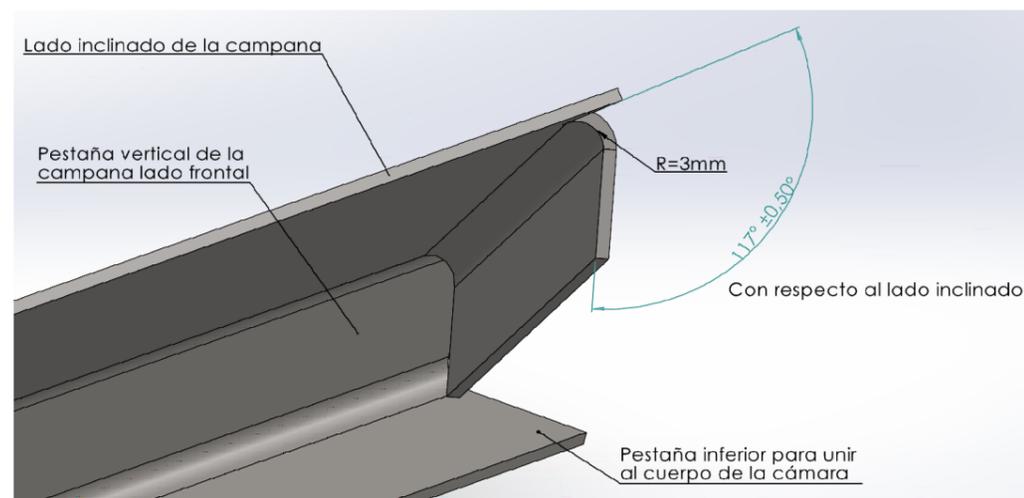


Chapa acero espesor 1,5 mm
Radio de curvatura para dobleces R= 3 mm

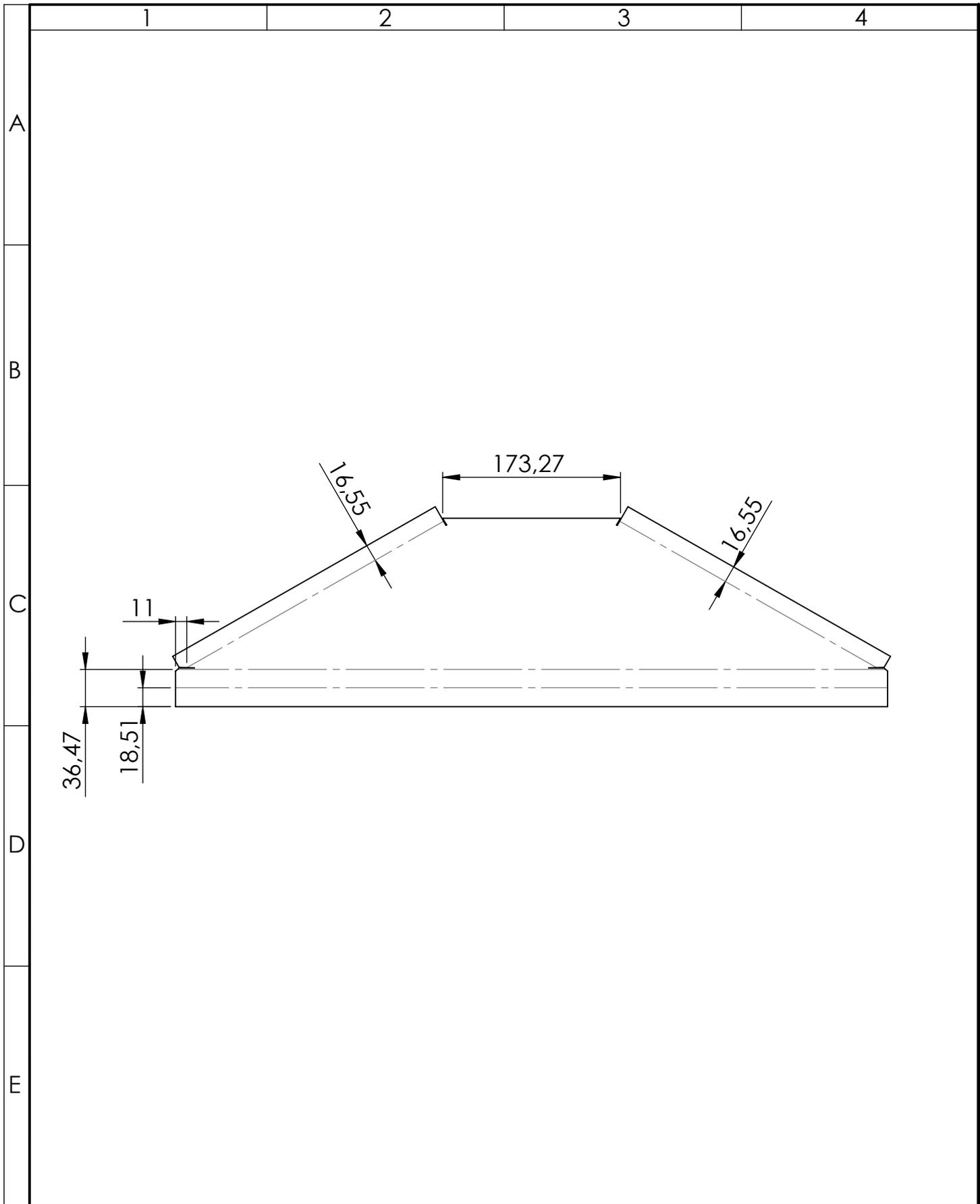
Aberturas para evitar interferencias entre los dobleces de las pestañas de 20 mm



Radio interno de plegado
Emplear punzones de radio de 3 mm para todos los dobleces del plegado



| | | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------|---------|
| | | | | Tolerancia: | Peso: | Material: | | |
| | | | | ±0,3 | 1168.36 g | AISI 304 | | |
| | | | | Fecha | Nombre | Denominación: | | Escala: |
| | | | | Dibujó: 18/04/2022 | Ronnie Vargas | Forro frontal de la campana | | 1:5 |
| | | | | Revisó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | | |
| | | | | Aprobó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | | |
| | | | | U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA | | No. de lámina: | Registro: | |
| | | | | | | 05 de 36 | | |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | (Sustitución) | | |

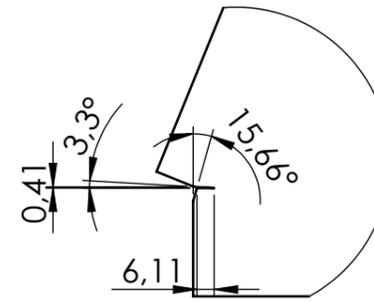
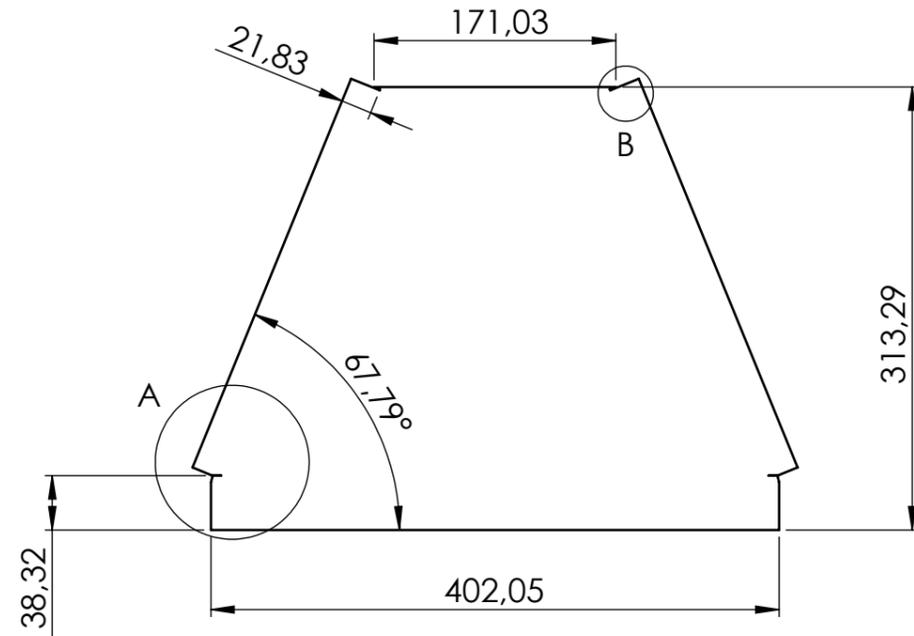


| | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------|
| | | | | Tolerancia: ±0,3 | Peso: 1168.36 g | Material: AISI 304 | |
| | | | | Fecha | Nombre | Denominación: Detalle de dobleces del forro frontal de la campana | Escala: 1:5 |
| | | | | Dibujó: 18/04/2022 | Ronnie Vargas | | |
| | | | | Revisó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | |
| | | | | Aprobó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | |
| | | | | FICM U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA | | No. de lámina: 06 de 36 | Registro: |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | (Sustitución) | |

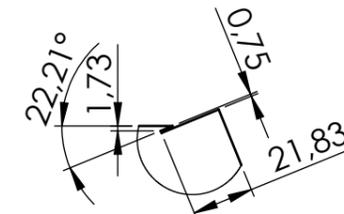
Forro frontal de la campana desdoblado

Chapa acero espesor 1,5 mm

Radio de curvatura para dobleces R= 3 mm



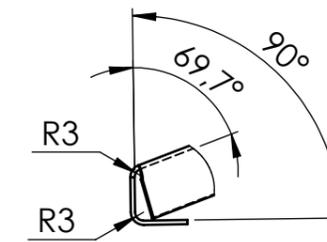
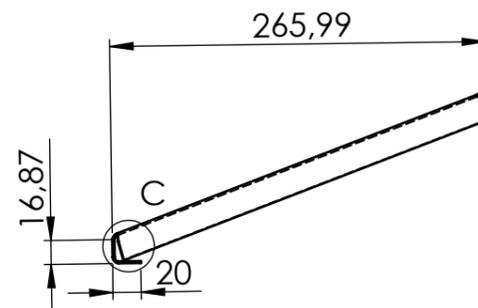
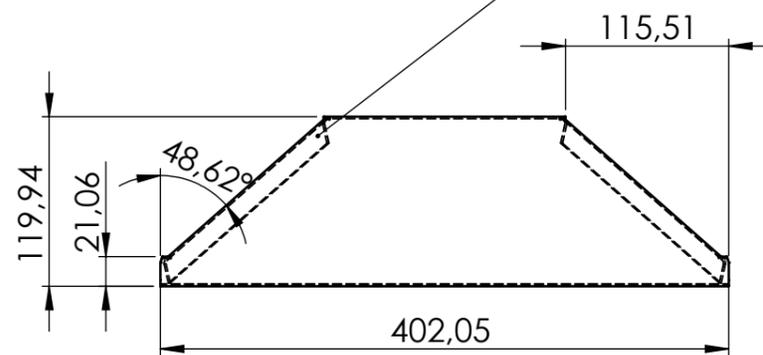
DETALLE A
ESCALA 2 : 5



DETALLE B
ESCALA 2 : 5

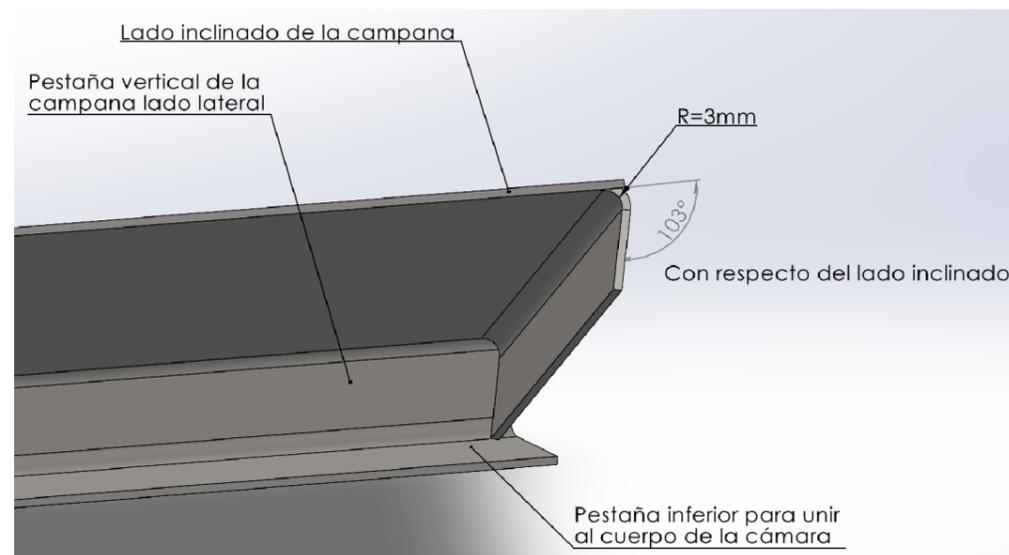
Aberturas para evitar interferencias entre los dobleces de las pestañas de 20 mm

Ver inclinación en el detalle de la imagen

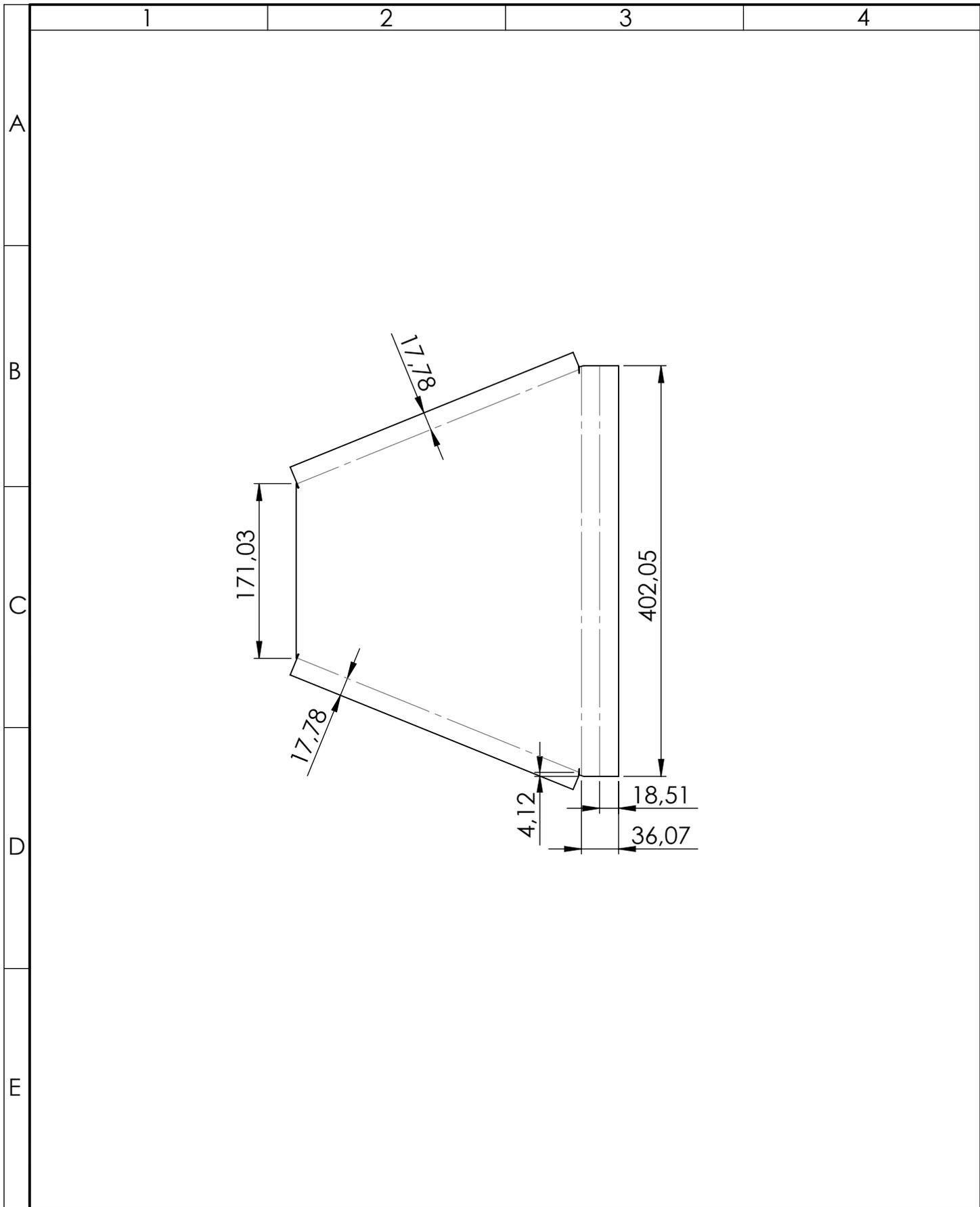


DETALLE C
ESCALA 2 : 5

Radio interno de plegado
Emplear punzones de radio de 3 mm
para todos los dobleces del plegado



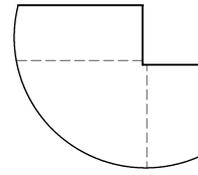
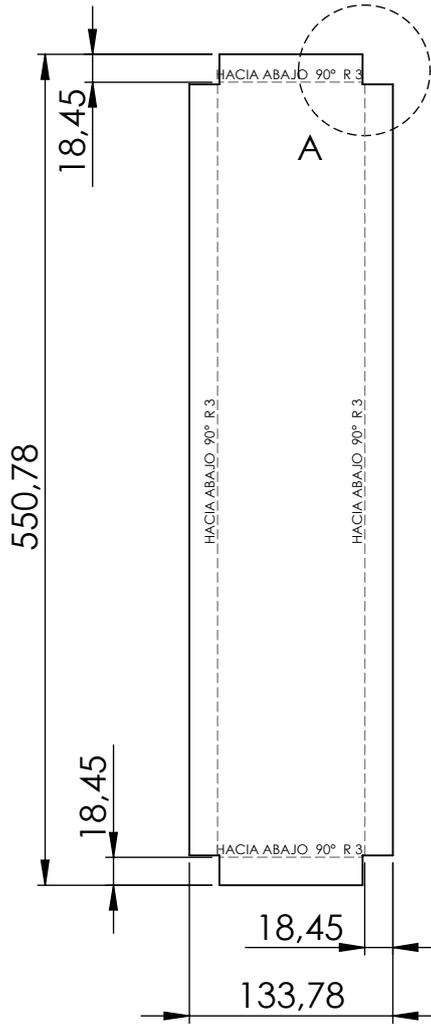
| | | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------|---------|
| | | | | Tolerancia: | Peso: | Material: | | |
| | | | | ±0,3 | 1242,41 g | AISI 304 | | |
| | | | | Fecha | Nombre | Denominación: | | Escala: |
| | | | | Dibujó: 18/04/2022 | Ronnie Vargas | Forro lateral de la campana | | 1:5 |
| | | | | Revisó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | | |
| | | | | Aprobó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | | |
| | | | | U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA | | No. de lámina: | Registro: | |
| | | | | | | 07 de 36 | | |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | | | |



| | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------|-----------|
| | | | | Tolerancia: ±0,3 | Peso: 1242,44 g | Material: AISI 304 | |
| | | | | Fecha | Nombre | Denominación: | Escala: |
| | | | | Dibujó: 18/04/2022 | Ronnie Vargas | Detalle de dobleces del forro lateral de la campana | 1:5 |
| | | | | Revisó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | |
| | | | | Aprobó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | |
| | | | | FICM U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA | | No. de lámina: 08 de 36 | Registro: |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | (Sustitución) | |

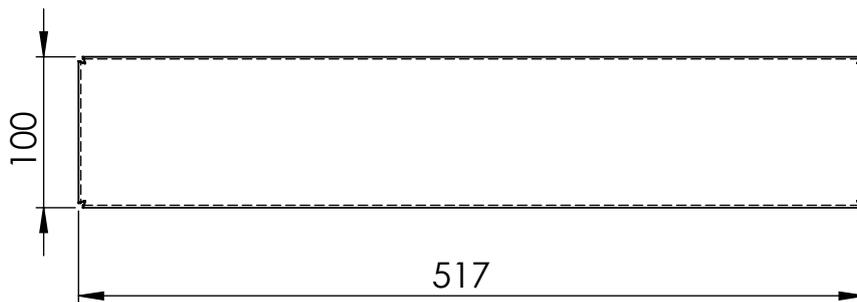
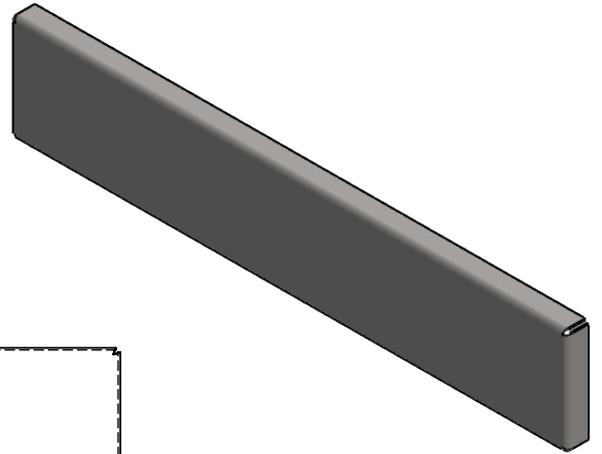
Tapa frontal superior desdoblada

Chapa acero espesor 1,5 mm



DETALLE A
ESCALA 2 : 5

Detalle A para evitar interferencias entre los dobleces de las pestañas de 20 mm



| | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------|----------------|
| | | | | Tolerancia: ±0,2 | Peso: 772.59 g | Material: AISI 304 | |
| | | | | | | Denominación: Tapa frontal superior | Escala: 1:5 |
| | | | | Fecha | Nombre | | |
| | | | | Dibujó: 18/04/2022 | Ronnie Vargas | | |
| | | | | Revisó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | |
| | | | | Aprobó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | |
| | | | | FICM U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA | | No. de lámina: 09 de 36 | Registro: |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | (Sustitución) | |

Tapa frontal inferior desdoblada

Chapa acero espesor 1,5 mm

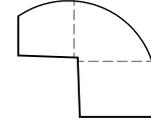
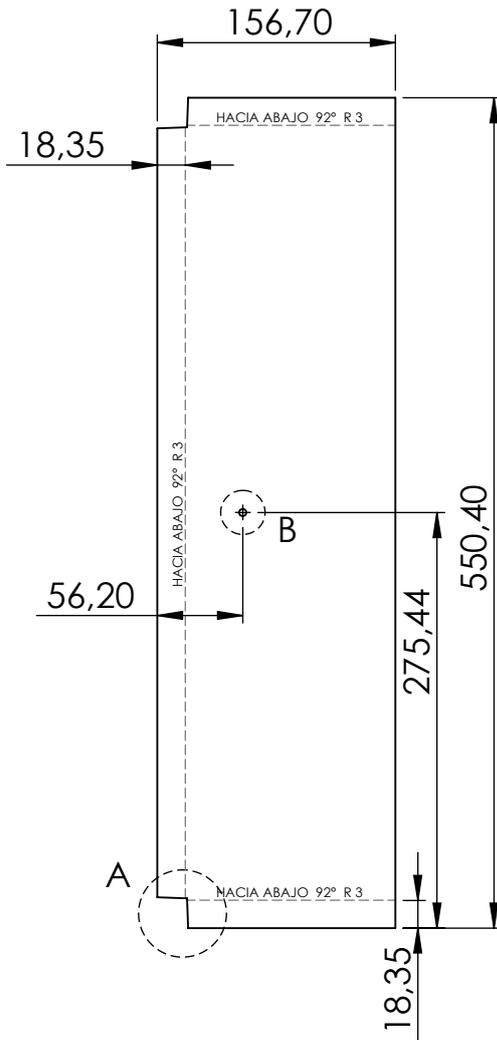
A

B

C

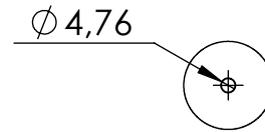
D

E



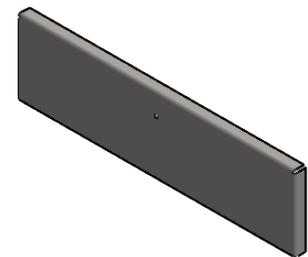
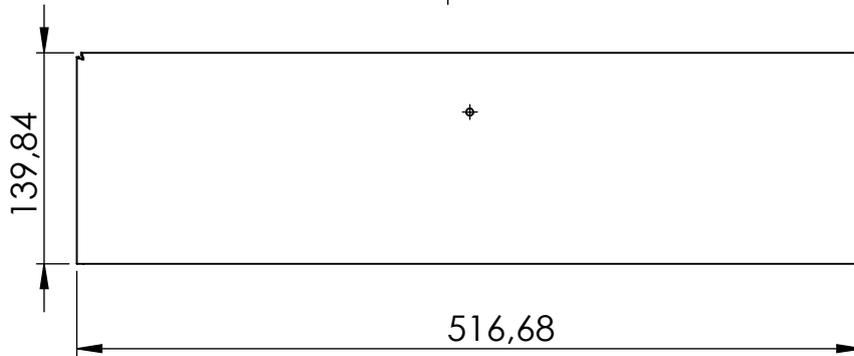
DETALLE A
ESCALA 2 : 5

Detalle A para evitar interferencias entre los dobleces de las pestañas de 20 mm



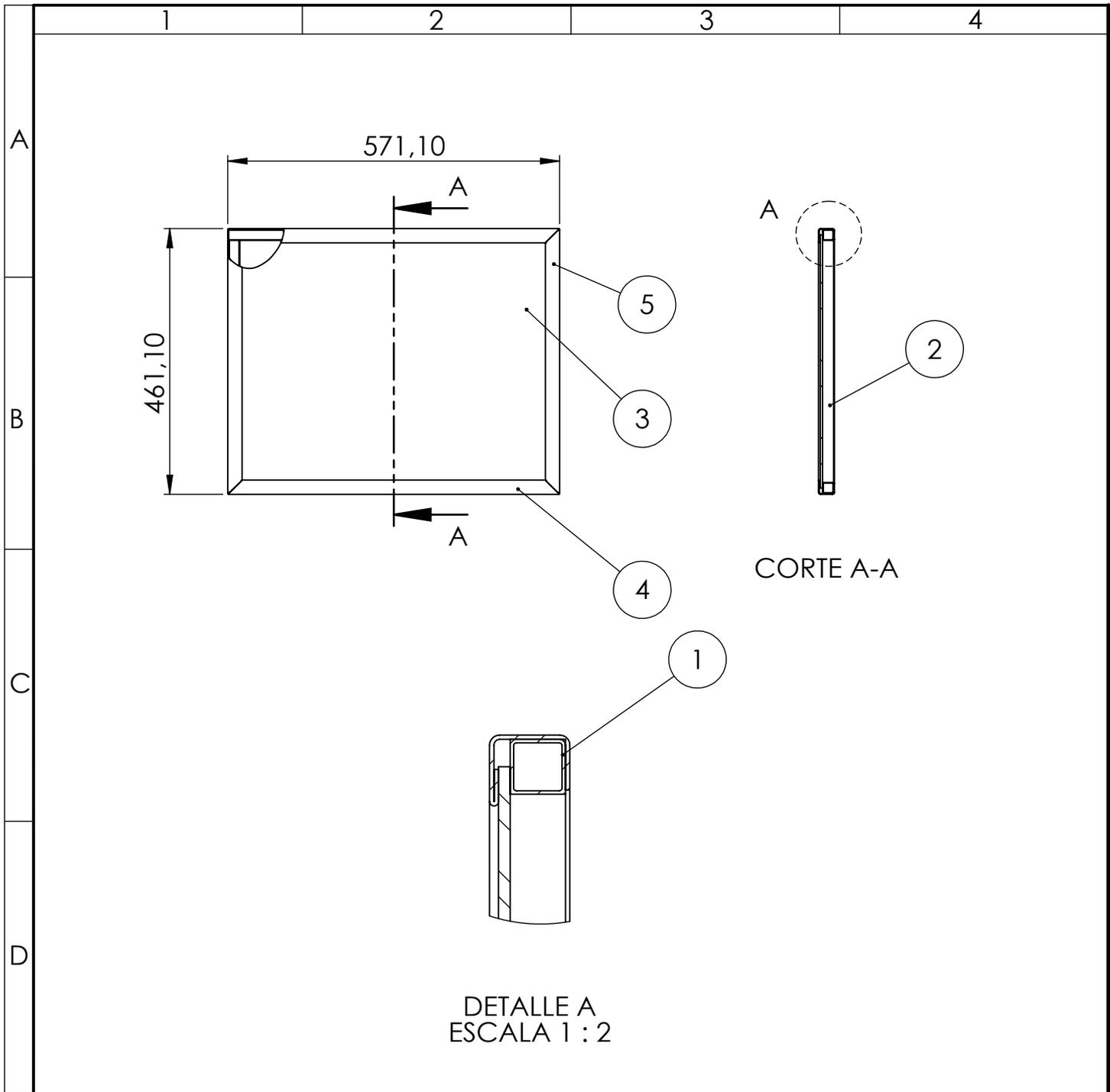
DETALLE B
ESCALA 2 : 5

Agujero para el paso de una varilla de 3/16 in



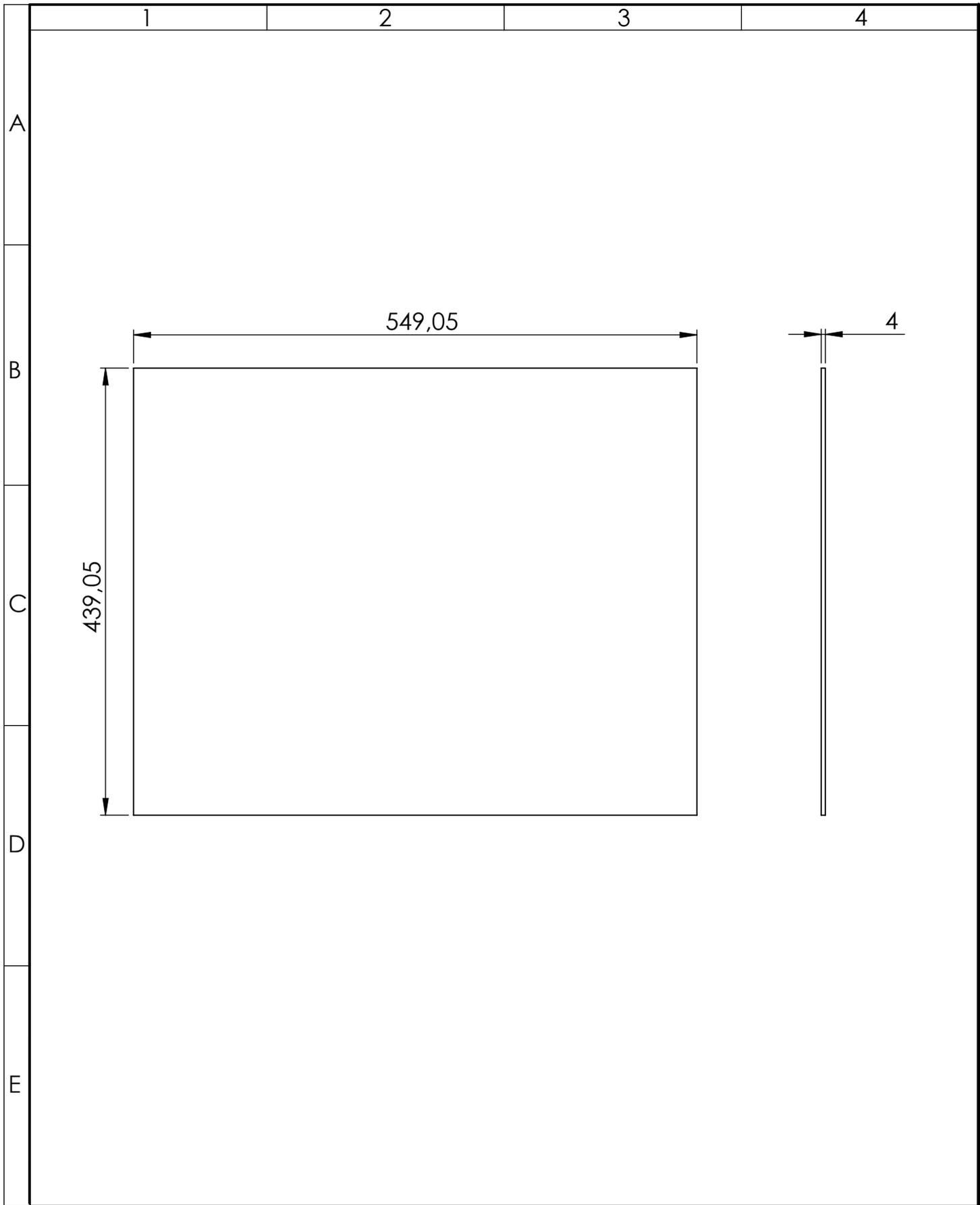
Vista isométrica
Escala 1:10

| | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|
| | | | | Tolerancia: ±0,3 | Peso: 979.00 g | Material: AISI 304 | |
| | | | | Fecha | Nombre | Denominación: | Escala: |
| | | | | Dibujó: 18/04/2022 | Ronnie Vargas | Tapa frontal inferior | 1:5 |
| | | | | Revisó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | |
| | | | | Aprobó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | |
| | | | | FICM U.T.A. | | No. de lámina: | Registro: |
| | | | | INGENIERÍA MECÁNICA | | 10 de 36 | |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | (Sustitución) | | | |



| Nº de orden | Nº de pieza | Denominación | Número de norma o dibujo | Observaciones |
|-------------|-------------|-------------------------------|--------------------------|---------------|
| 1 | 2 | TC 3/4 in x 1,2 mm x 568,1 mm | 17 | |
| 2 | 2 | TC 3/4 in x 1,2 mm x 420 mm | 18 | |
| 3 | 1 | Vidrio templado frontal | 19 | |
| 4 | 2 | Cubierta horizontal frontal | 20 | |
| 5 | 2 | Cubierta lateral | 21 | |

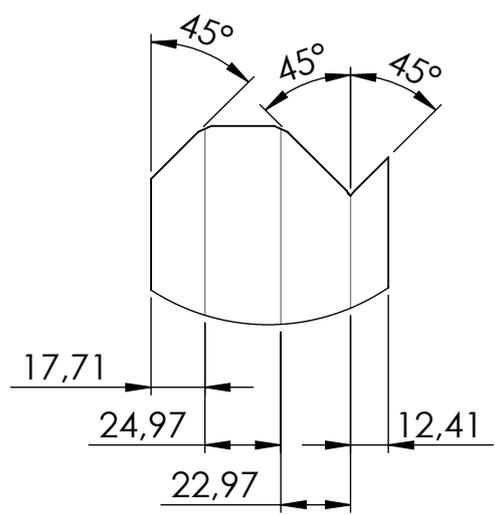
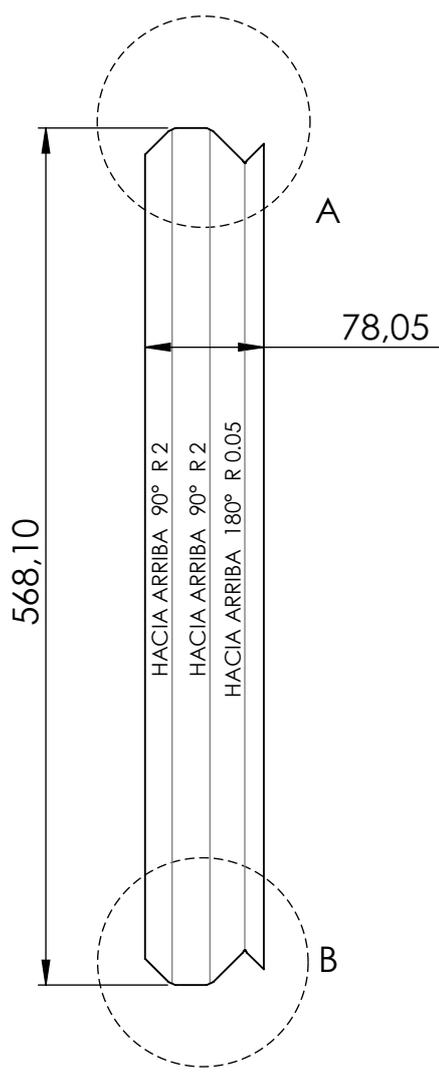
| | | | | | |
|---------------------|--------------|-----------------------|--------|----------------|--|
| Tolerancia: | | Peso: | | Material: | |
| ±0,3 | | 5600.27 g | | AISI 304 | |
| Fecha | | Nombre | | Denominación: | |
| Dibujó: 18/04/2022 | | Ronnie Vargas | | Puerta frontal | |
| Revisó: 20/04/2022 | | Ing. Christian Castro | | Escala: | |
| Aprobó: 20/04/2022 | | Ing. Christian Castro | | 1:10 | |
| FICM U.T.A. | | No. de lámina: | | Registro: | |
| INGENIERÍA MECÁNICA | | 13 de 36 | | | |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | (Sustitución) | |



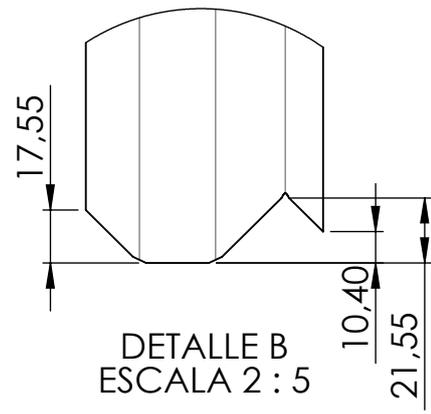
| | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------|----------------|
| | | | | Tolerancia: ±0,3 | Peso: 2369.72 g | Material: Vidrio templado | |
| | | | | | | Denominación: Vidrio templado frontal | Escala: 1:5 |
| | | | | Fecha | Nombre | | |
| | | | | Dibujó: 18/04/2022 | Ronnie Vargas | | |
| | | | | Revisó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | |
| | | | | Aprobó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | |
| | | | | FICM U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA | | No. de lámina: 16 de 36 | Registro: |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | (Sustitución) | |

1 2 3 4

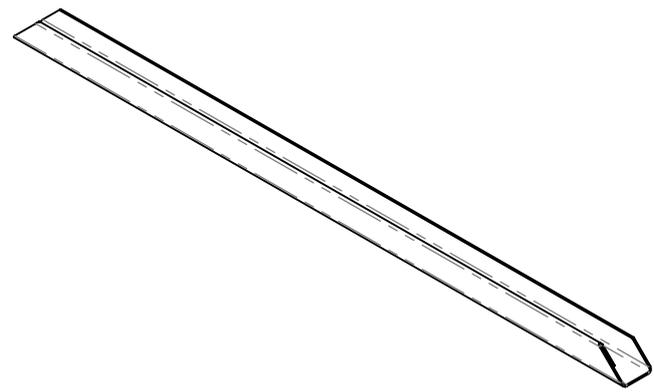
A
B
C
D
E



DETALLE A
ESCALA 2 : 5

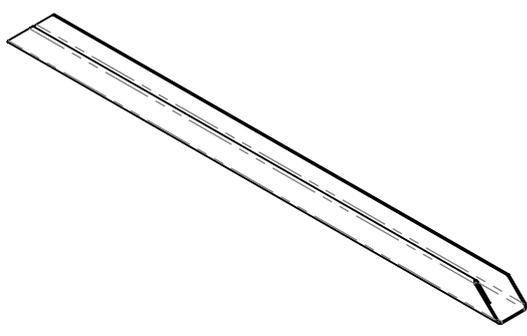
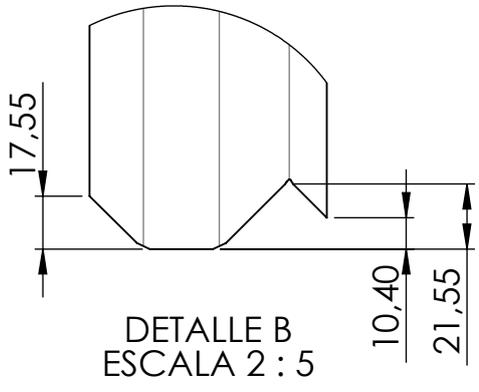
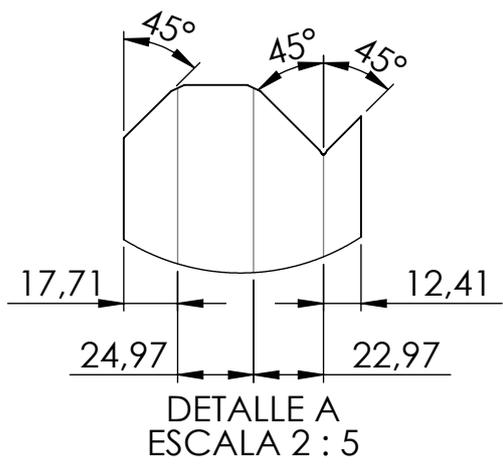
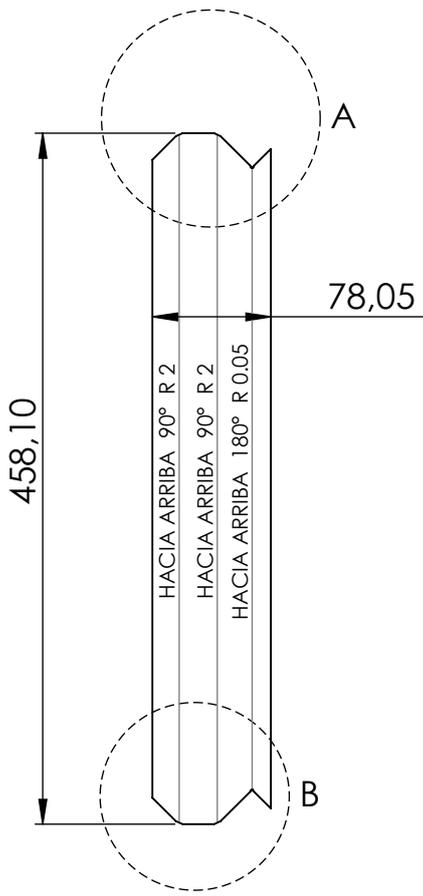


DETALLE B
ESCALA 2 : 5



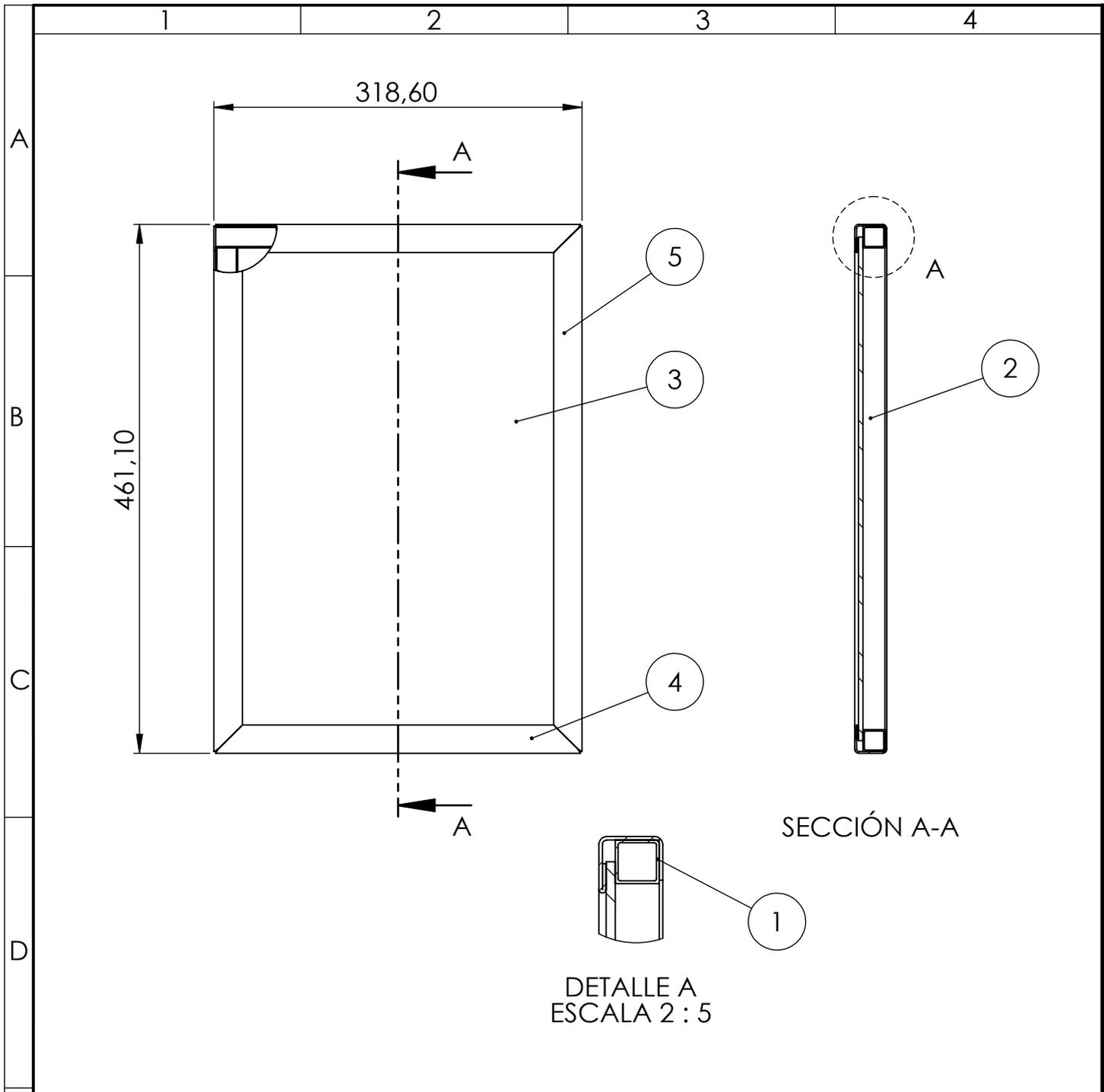
Chapa de acero espesor 1,5 mm

| | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------|
| | | | | Tolerancia: ±0,3 | Peso: 517.12 g | Material: AISI 304 | |
| | | | | Fecha | Nombre | Denominación: | Escala: |
| | | | | Dibujó: 18/04/2022 | Ronnie Vargas | Cubierta horizontal frontal | 1:5 |
| | | | | Revisó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | |
| | | | | Aprobó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | |
| | | | | FICM U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA | | No. de lámina: | Registro: |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | 17 de 36 | (Sustitución) |



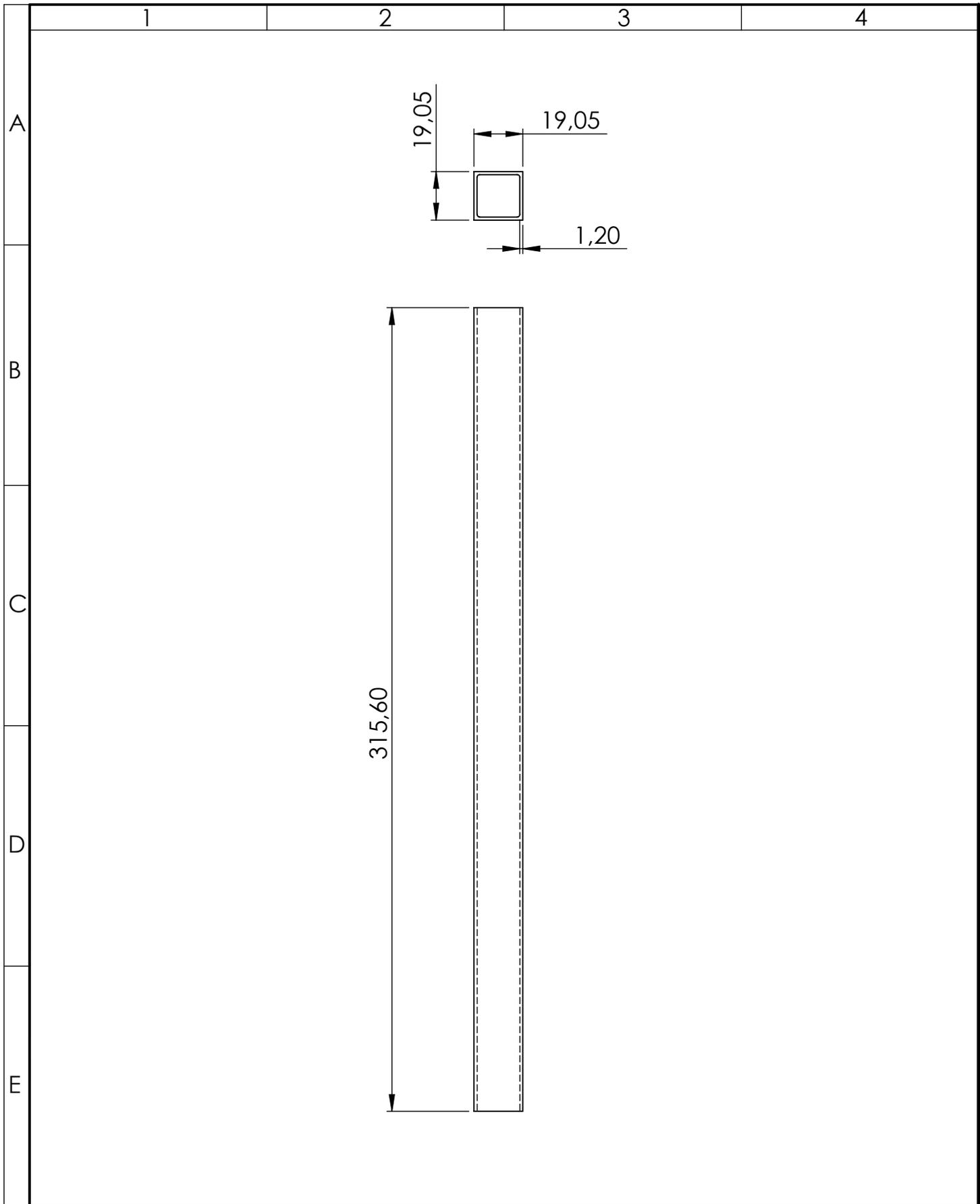
Chapa de acero espesor 1,5 mm

| | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|------------------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------|
| | | | | Tolerancia: ±0,3 | Peso: 414.09 g | Material: AISI 304 | |
| | | | | Fecha | Nombre | Denominación: | Escala: |
| | | | | Dibujó: | 18/04/2022 | Ronnie Vargas | Cubierta lateral 1:5 |
| | | | | Revisó: | 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | |
| | | | | Aprobó: | 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | |
| | | | | FICM U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA | | No. de lámina: | Registro: |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | 18 de 36 | (Sustitución) |



| Nº de orden | Nº de pieza | Denominación | Número de norma o dibujo | Observaciones |
|-------------|-------------|--------------------------------|--------------------------|---------------|
| 1 | 2 | TC 3/4 in x 1,2 mm x 315,60 mm | 23 | |
| 2 | 2 | TC 3/4 in x 1,2 mm x 420 mm | 18 | |
| 3 | 1 | Vidrio templado lateral | 24 | |
| 4 | 2 | Cubierta horizontal lateral | 25 | |
| 5 | 2 | Cubierta lateral | 21 | |

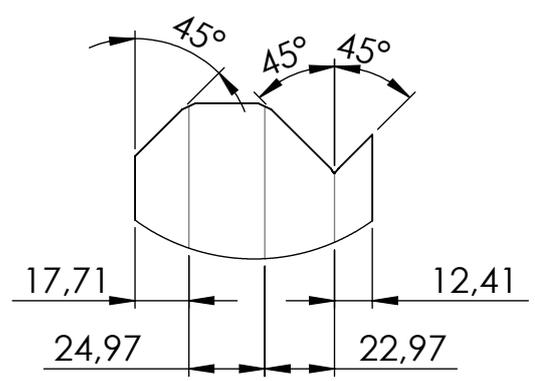
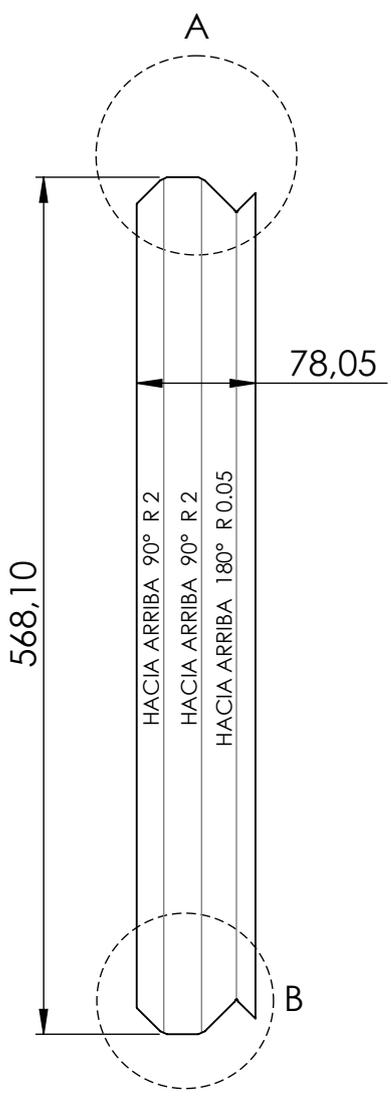
| | | | | | |
|---------------------|--|-----------------------|--|-------------------------|--|
| Tolerancia: | | Peso: | | Material: | |
| ±0,3 | | 3687.87 g | | AISI 304 | |
| Fecha | | Nombre | | Denominación: | |
| Dibujó: 18/04/2022 | | Ronnie Vargas | | Puerta lateral | |
| Revisó: 20/04/2022 | | Ing. Christian Castro | | Escala: 1:5 | |
| Aprobó: 20/04/2022 | | Ing. Christian Castro | | Registro: | |
| Edición | | Modificación | | Fecha | |
| Nombre | | FICM U.T.A. | | No. de lámina: 19 de 36 | |
| INGENIERÍA MECÁNICA | | (Sustitución) | | | |



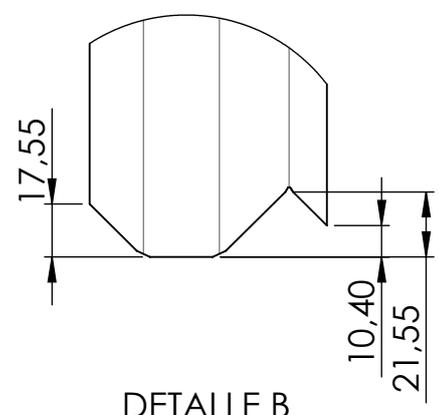
| | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|----------------|
| | | | | Tolerancia: ±0,3 | Peso: 218.49 g | Material: AISI 304 | |
| | | | | Fecha | Nombre | Denominación: TC 3/4 in x 1,2 mm x 315,60 mm | Escala: 1:2 |
| | | | | Dibujó: 18/04/2022 | Ronnie Vargas | | |
| | | | | Revisó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | |
| | | | | Aprobó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | |
| | | | | FICM U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA | | No. de lámina: 20 de 36 | Registro: |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | (Sustitución) | |

1 2 3 4

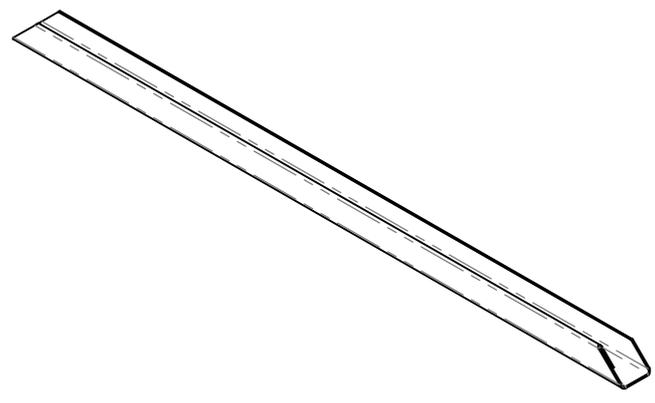
A
B
C
D
E



DETALLE A
ESCALA 2 : 5



DETALLE B
ESCALA 2 : 5



Chapa de acero espesor 1,5 mm

| | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|-------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------|
| | | | | Tolerancia: ±0,3 | Peso: 280.62 g | Material: AISI 304 | |
| | | | | Fecha | Nombre | Denominación: | Escala: |
| | | | | Dibujó: 18/04/2022 | Ronnie Vargas | Cubierta horizontal lateral | 1:5 |
| | | | | Revisó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | |
| | | | | Aprobó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | |
| | | | | FICM U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA | | No. de lámina: 22 de 36 | Registro: |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | (Sustitución) | |

1

2

3

4

Chapa acero espesor 1,5 mm

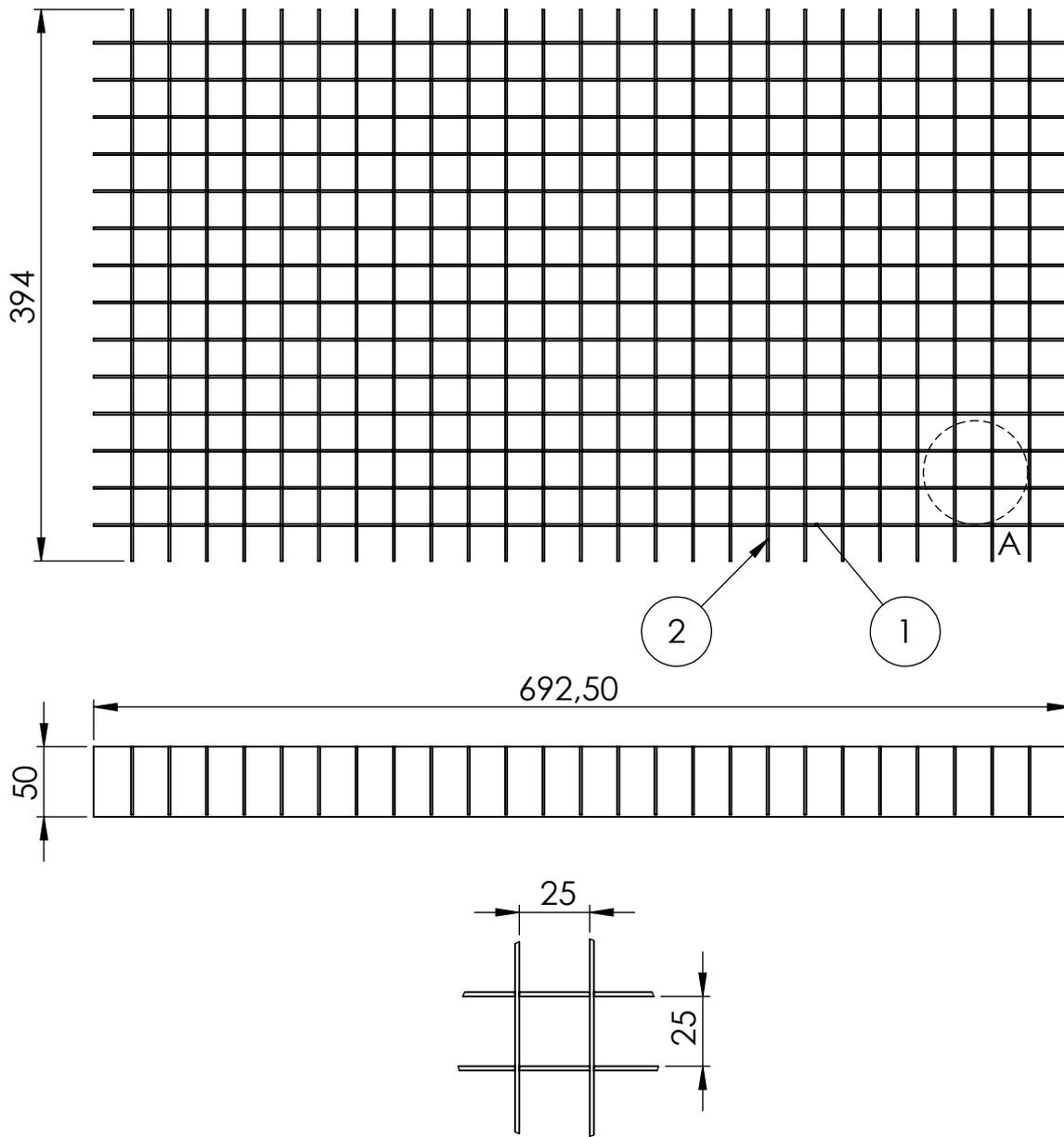
A

B

C

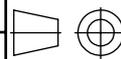
D

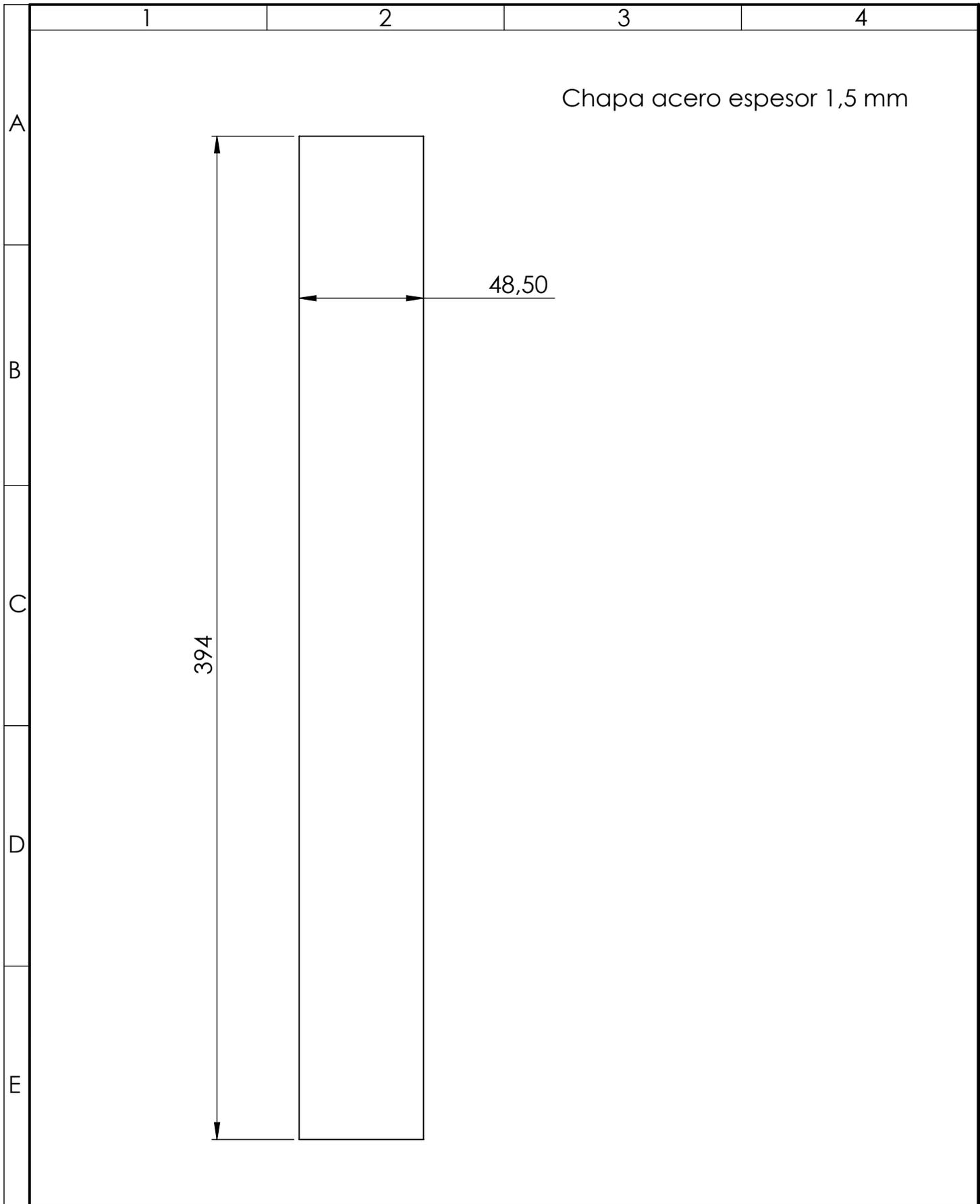
E

DETALLE A
ESCALA 2 : 5

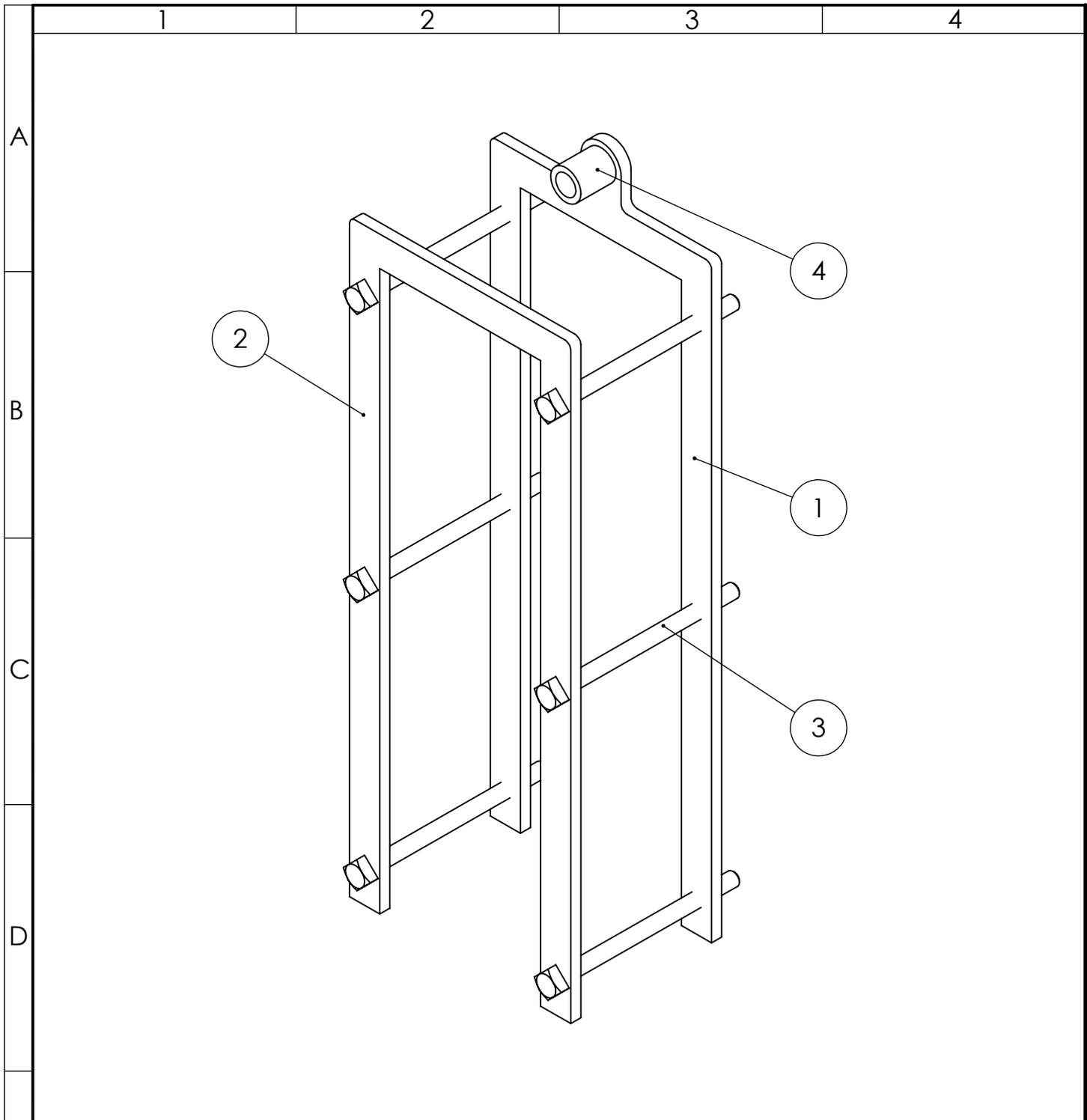
| Nº de orden | Nº de pieza | Denominación | Número de norma o dibujo | Observaciones |
|-------------|-------------|------------------|--------------------------|---------------|
| 1 | 14 | Fleje horizontal | 13 | |
| 2 | 25 | Fleje lateral | 14 | |

| | | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------|----------------|
| | | | | Tolerancia: ±0,3 | Peso: 11256.37 g | Material: AISI 304 | | |
| | | | | Fecha | Nombre | Denominación: | Rejilla | Escala: 1:5 |
| | | | | Dibujó: 18/04/2022 | Ronnie Vargas | | | |
| | | | | Revisó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | | |
| | | | | Aprobó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | | |
| | | | | FICM U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA | | No. de lámina: | 23 de 36 | Registro: |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | (Sustitución) | | |





| | | | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|---------------------|------------|-----------------------|----------------------------------------------|--|---------------|
| | | | | Tolerancia: | Peso: | Material: | | | |
| | | | | ±0,3 | 229.31 g | AISI 304 | | | |
| | | | | | Fecha | Nombre | Denominación: Fleje lateral - rejilla | | Escala: |
| | | | | Dibujó: | 18/04/2022 | Ronnie Vargas | | | 1:2 |
| | | | | Revisó: | 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | | |
| | | | | Aprobó: | 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | | |
| | | | | FICM U.T.A. | | | No. de lámina: | | Registro: |
| | | | | INGENIERÍA MECÁNICA | | | 25 de 36 | | (Sustitución) |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | | | | |



A

B

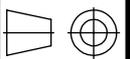
C

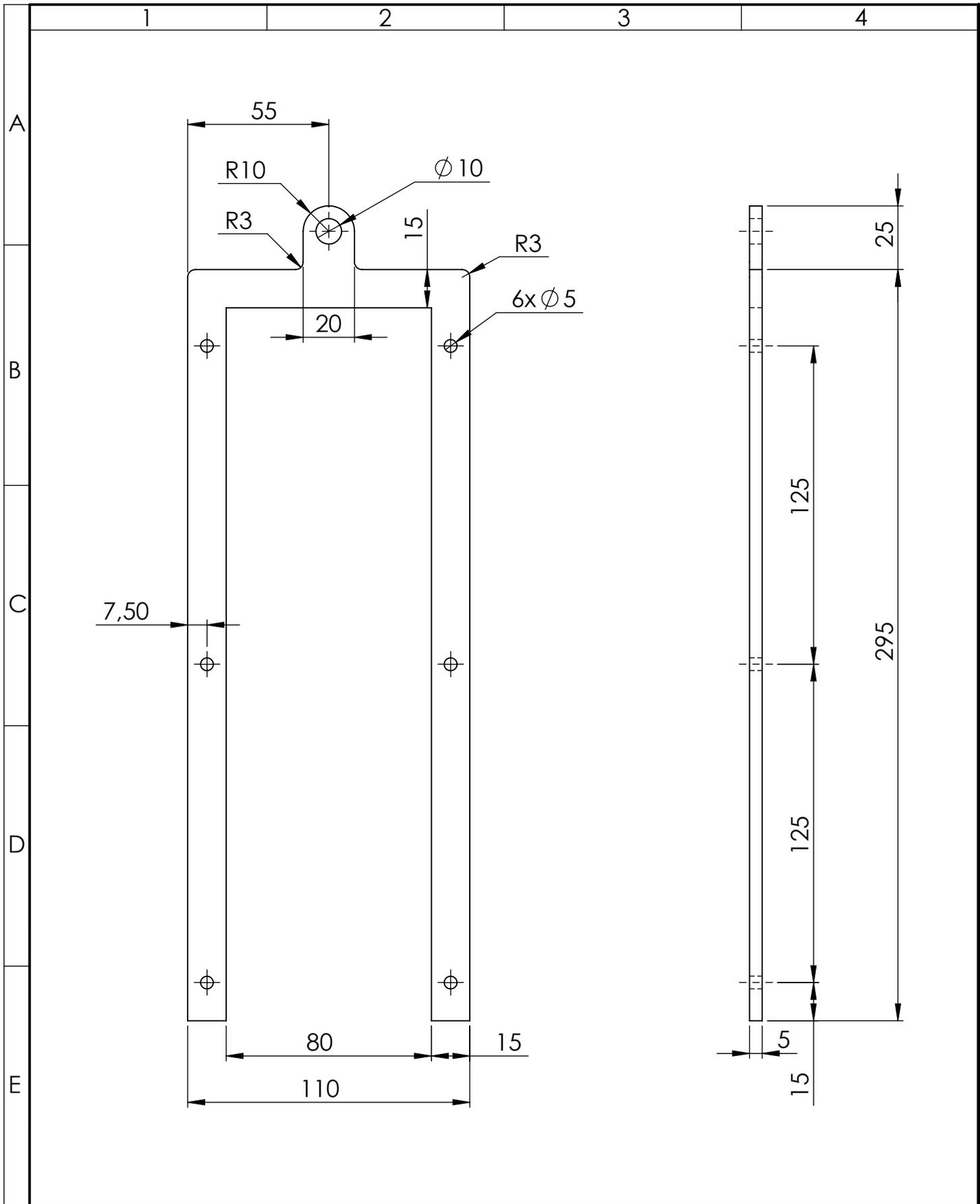
D

E

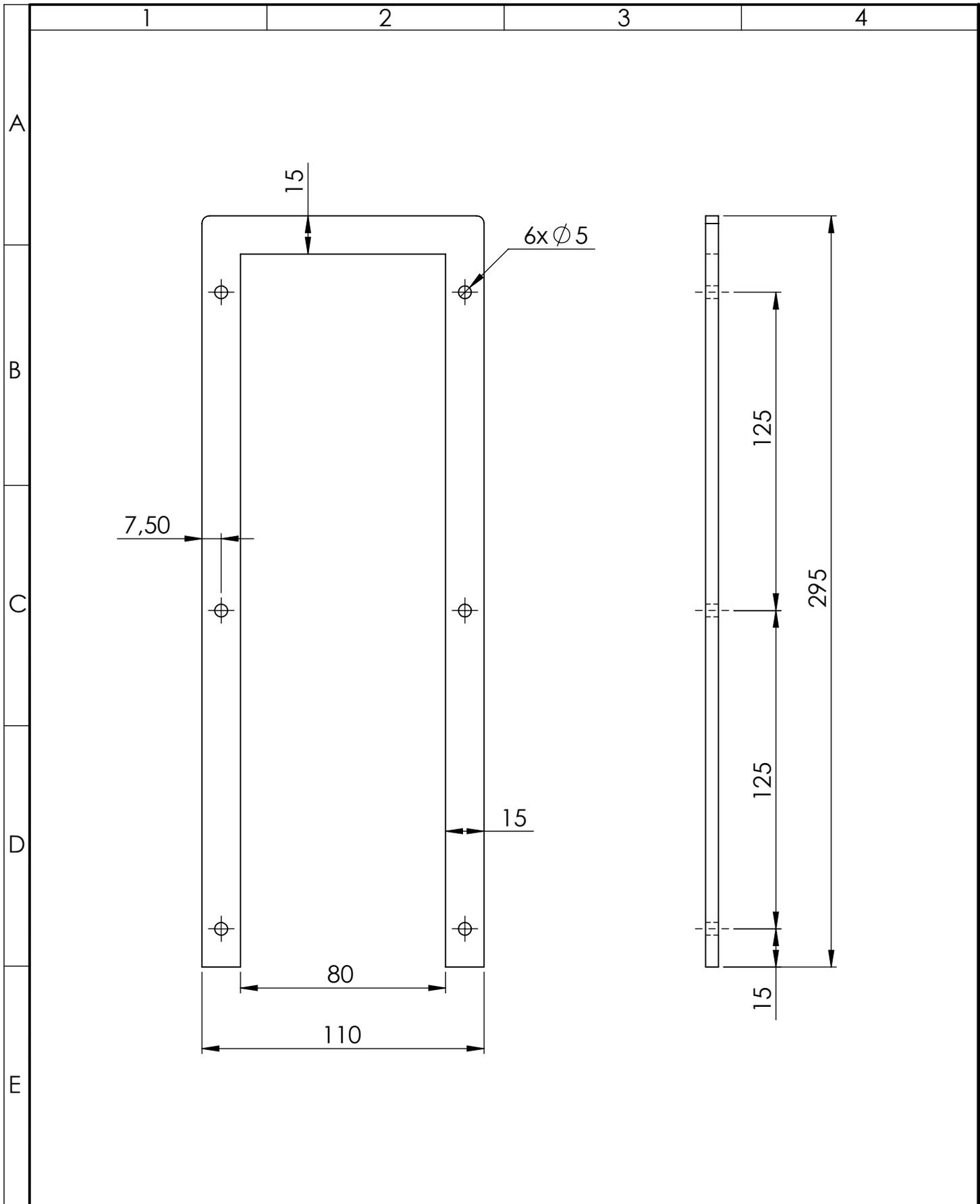
| Nº de orden | Nº de pieza | Denominación | Número de norma o dibujo | Observaciones |
|-------------|-------------|--------------------|--------------------------|----------------|
| 1 | 1 | Soporte posterior | INEN 11925 - 2 / 27 | |
| 2 | 1 | Soporte frontal | INEN 11925 - 2 / 28 | |
| 3 | 6 | Pernos de sujeción | M5 | Longitud 80 mm |
| 4 | 1 | Pasador | INEN 11925 - 2 / 29 | |

| | | | | | | | |
|---------|--|---------------------|--|------------------------------------|--|----------------------------------|--|
| | | Tolerancia: ±0,3 | | Peso: 842.73 g | | Material: AISI 304 | |
| | | Fecha | | Nombre | | Denominación: | |
| | | Dibujó: 18/04/2022 | | Ronnie Vargas | | Porta muestras materiales planos | |
| | | Revisó: 20/04/2022 | | Ing. Christian Castro | | | |
| | | Aprobó: 20/04/2022 | | Ing. Christian Castro | | | |
| | | | | No. de lámina: | | Escala: | |
| | | | | 26 de 36 | | 1:2 | |
| | | | | No. de lámina: | | Registro: | |
| | | | | 26 de 36 | | | |
| Edición | | Modificación | | Fecha | | Nombre | |
| | | | | | | | |
| | | | | FICM U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | | | | (Sustitución) | | | |

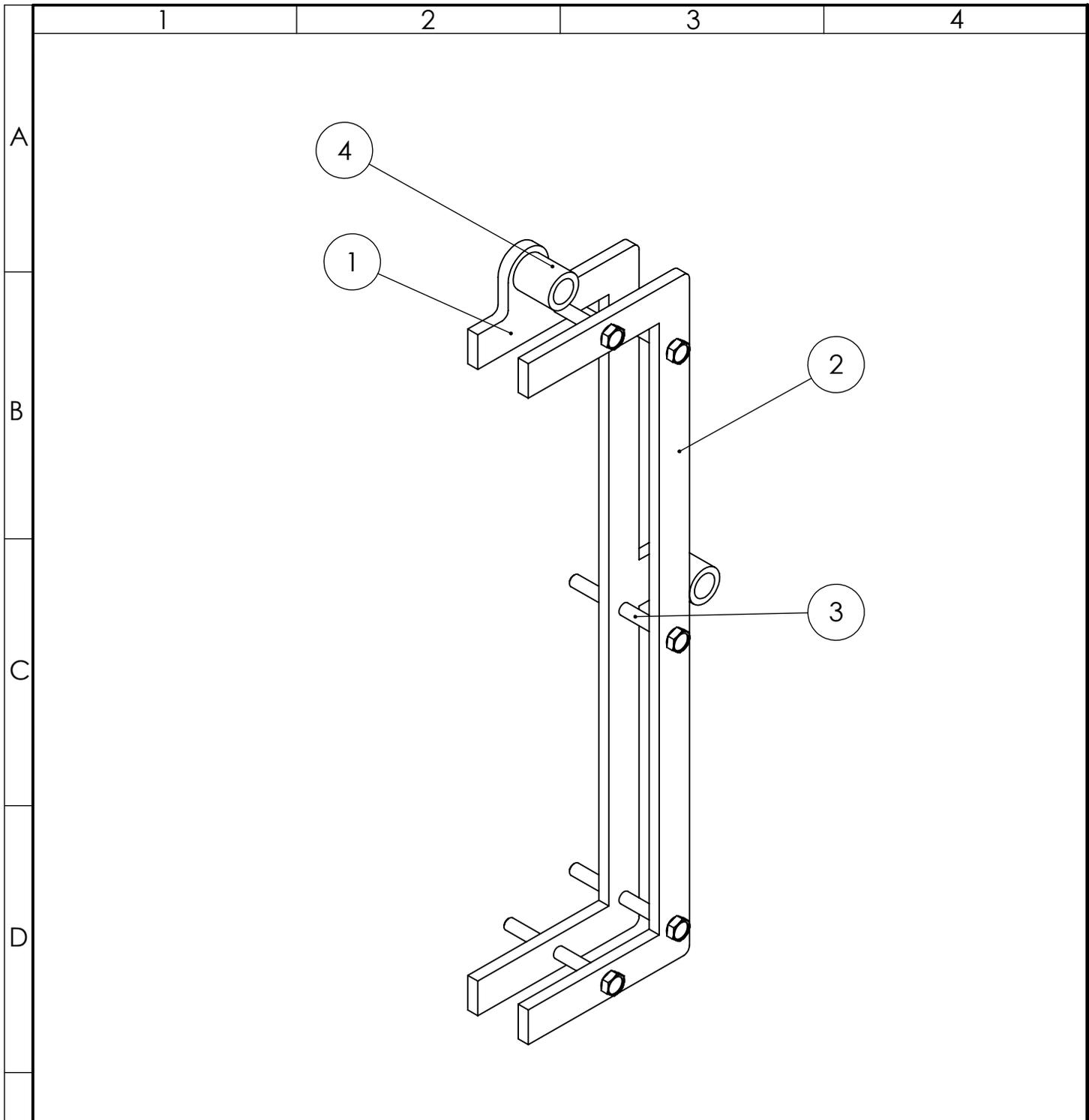




| | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|
| | | | | Tolerancia: ±0,3 | Peso: 412.43 g | Material: AISI 304 | |
| | | | | Fecha | Nombre | Denominación: | Escala: |
| | | | | Dibujó: 18/04/2022 | Ronnie Vargas | Soporte posterior | 1:2 |
| | | | | Revisó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | |
| | | | | Aprobó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | |
| | | | | FICM U.T.A. | | No. de lámina: | Registro: |
| | | | | INGENIERÍA MECÁNICA | | 27 de 36 | |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | (Sustitución) | |

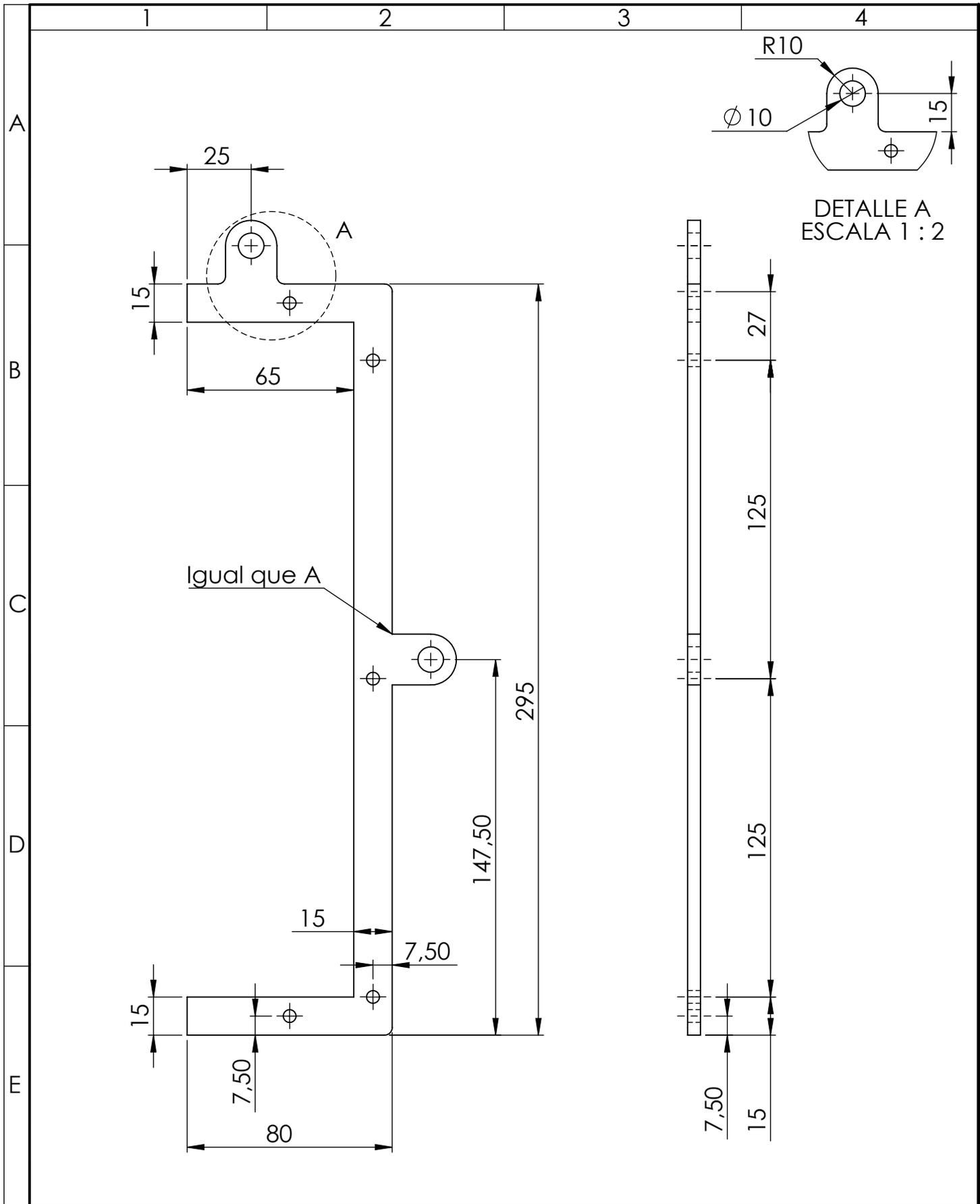


| | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|------------------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------|
| | | | | Tolerancia: ±0,3 | Peso: 397.13 g | Material: AISI 304 | |
| | | | | Fecha | Nombre | Denominación: | Escala: |
| | | | | Dibujó: 18/04/2022 | Ronnie Vargas | Soporte frontal | 1:2 |
| | | | | Revisó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | |
| | | | | Aprobó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | |
| | | | | FICM U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA | | No. de lámina: 28 de 36 | Registro: |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | (Sustitución) | |

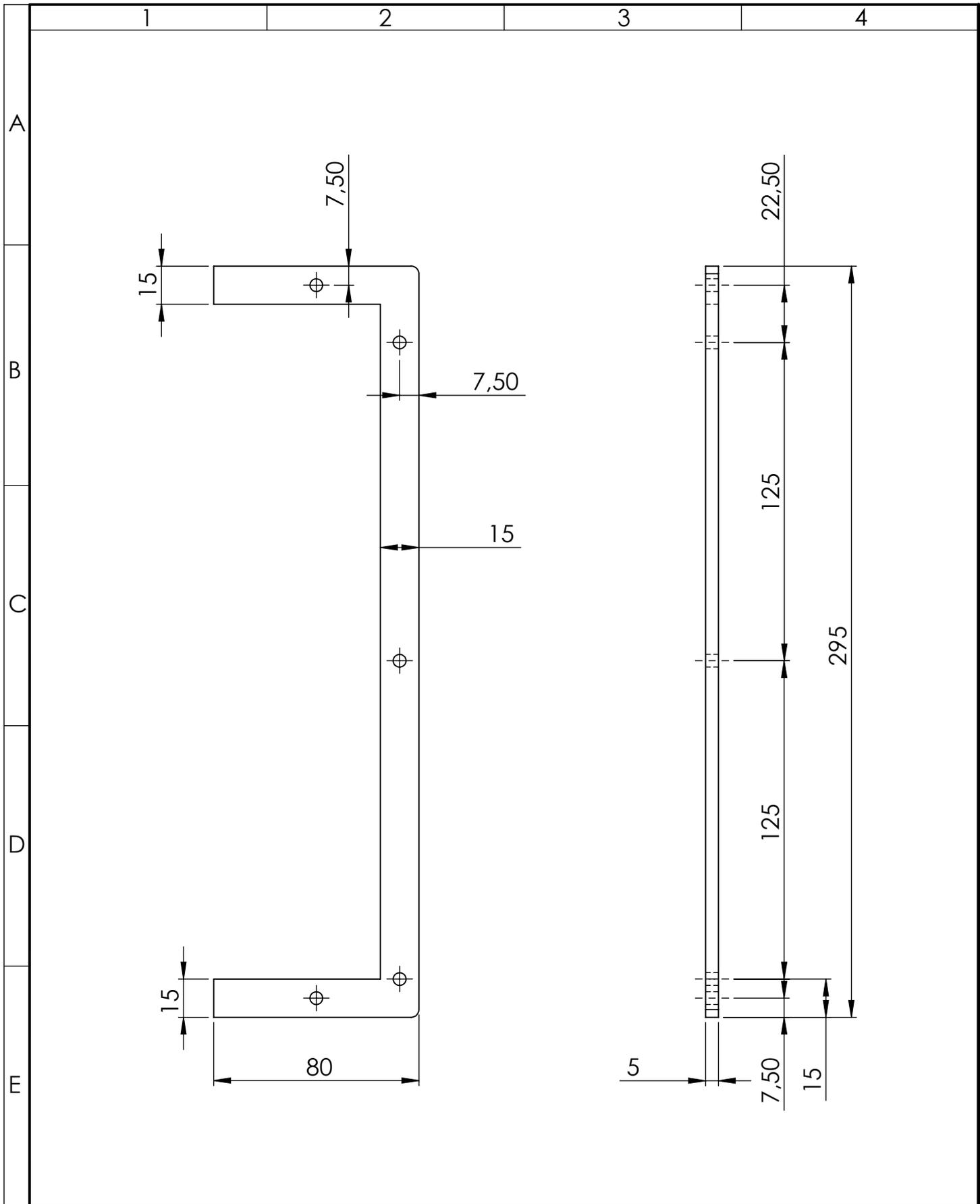


| Nº de orden | Nº de pieza | Denominación | Número de norma o dibujo | Observaciones |
|-------------|-------------|----------------------------------|--------------------------|----------------|
| 1 | 1 | Soporte posterior para multicapa | INEN 11925 - 2 / 31 | |
| 2 | 1 | Soporte frontal para multicapa | INEN 11925 - 2 / 32 | |
| 3 | 5 | Pernos de sujeción | M5 | Longitud 80 mm |
| 4 | 2 | Pasador | INEN 11925 - 2 / 29 | |

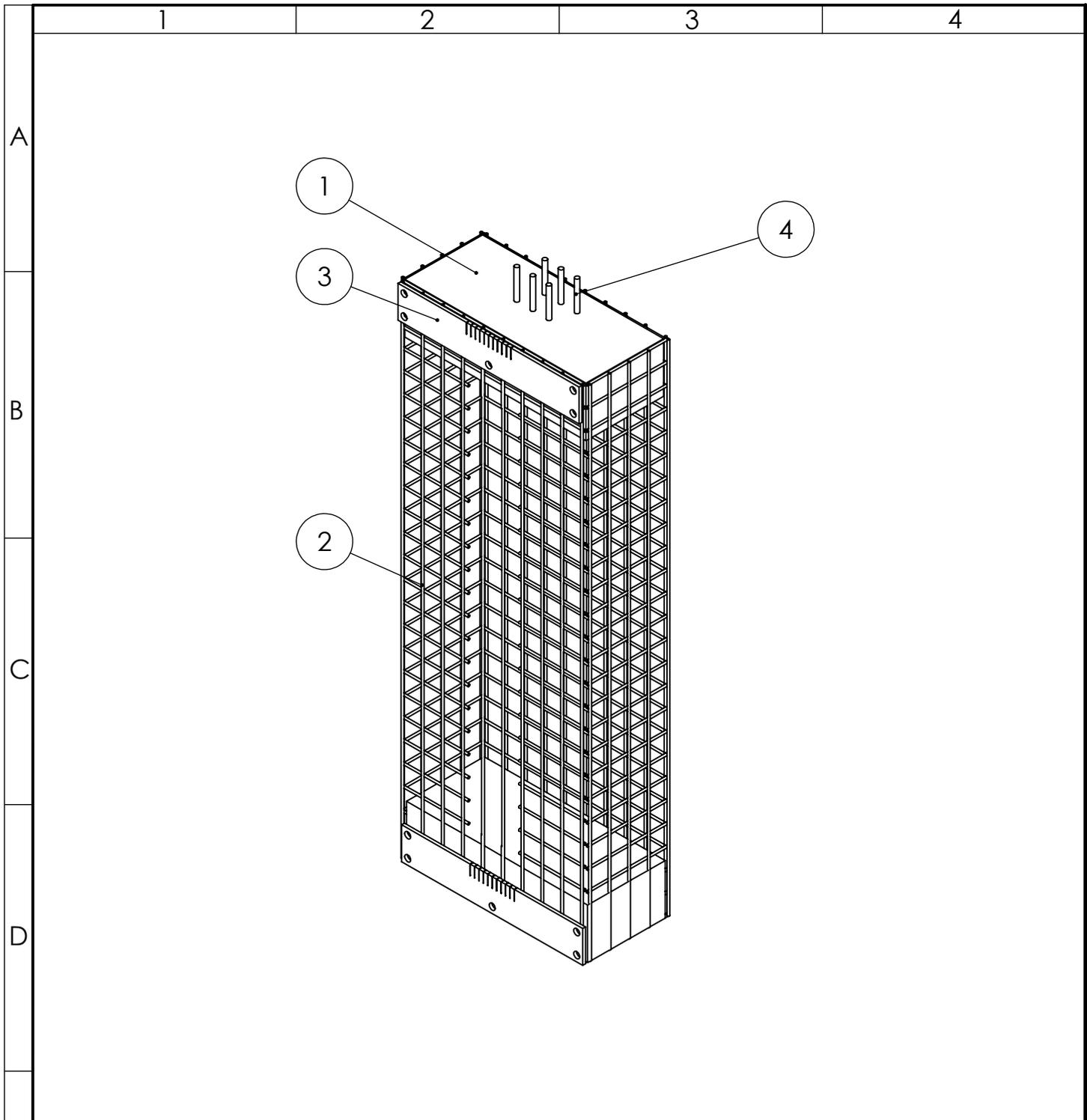
| | | | | | | | | | |
|---------|--|------------------------------------|--|-----------------------|--|-------------------------------------|--|-----------|--|
| | | Tolerancia: ±0,3 | | Peso: 536.69 g | | Material: AISI 304 | | | |
| | | Fecha | | Nombre | | Denominación: | | Escala: | |
| | | Dibujó: 18/04/2022 | | Ronnie Vargas | | Porta muestras materiales multicapa | | 1:2 | |
| | | Revisó: 20/04/2022 | | Ing. Christian Castro | | | | | |
| | | Aprobó: 20/04/2022 | | Ing. Christian Castro | | | | | |
| | | FICM U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA | | No. de lámina: | | 30 de 36 | | Registro: | |
| Edición | | | | Modificación | | Fecha | | Nombre | |



| | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------|
| | | | | Tolerancia: ±0,3 | Peso: 281.36 g | Material: AISI 304 | |
| | | | | Fecha | Nombre | Denominación: | Escala: |
| | | | | Dibujó: 18/04/2022 | Ronnie Vargas | Soporte posterior para multicapa | 1:2 |
| | | | | Revisó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | |
| | | | | Aprobó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | |
| | | | | FICM U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA | | No. de lámina: 31 de 36 | Registro: |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | (Sustitución) | |

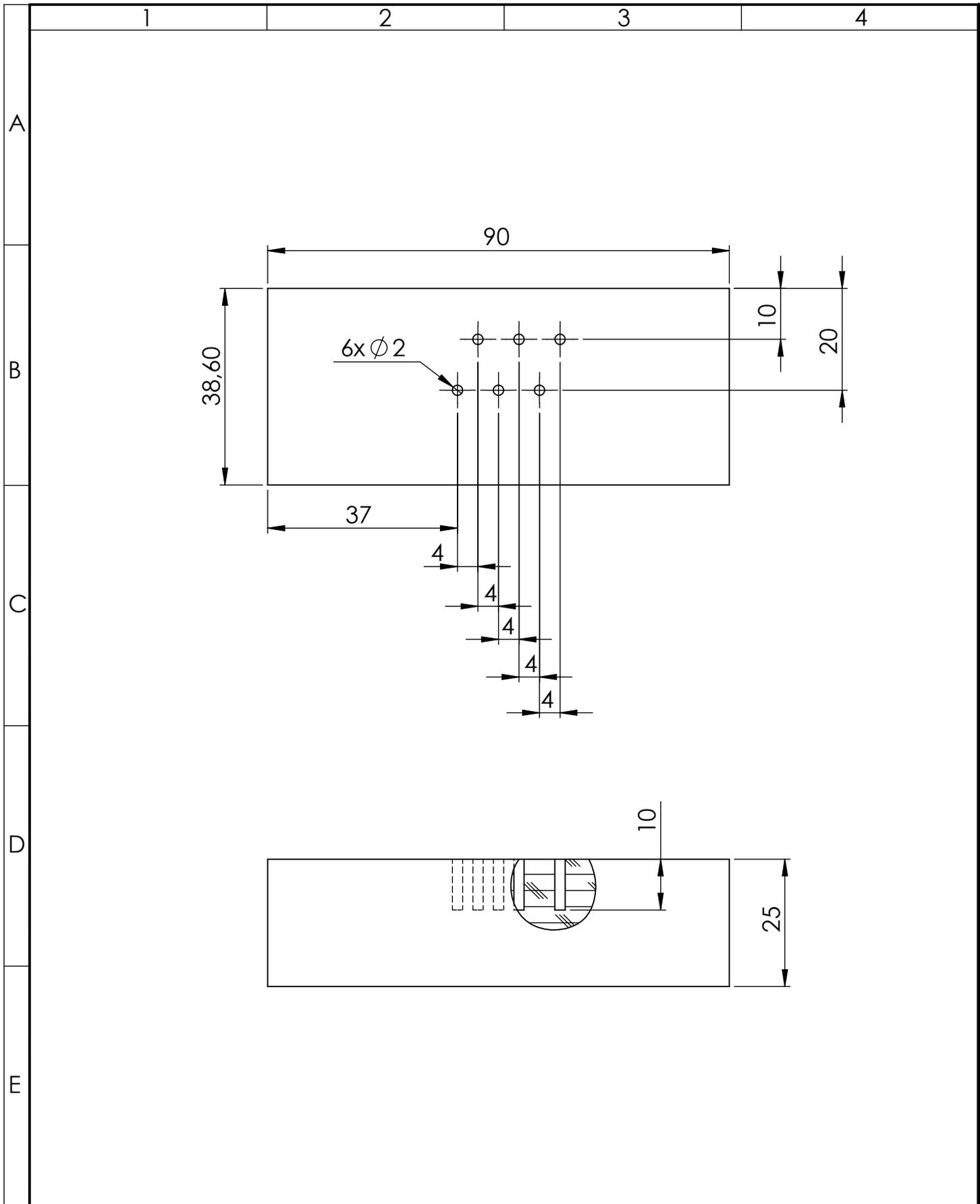


| | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|--------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------|
| | | | | Tolerancia: ±0,3 | Peso: 250.92 g | Material: AISI 304 | |
| | | | | Fecha | Nombre | Denominación: | Escala: |
| | | | | Dibujó: 18/04/2022 | Ronnie Vargas | Soporte frontal para multicapa | 1:2 |
| | | | | Revisó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | |
| | | | | Aprobó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | |
| | | | | FICM U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA | | No. de lámina: 32 de 36 | Registro: |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | (Sustitución) | |

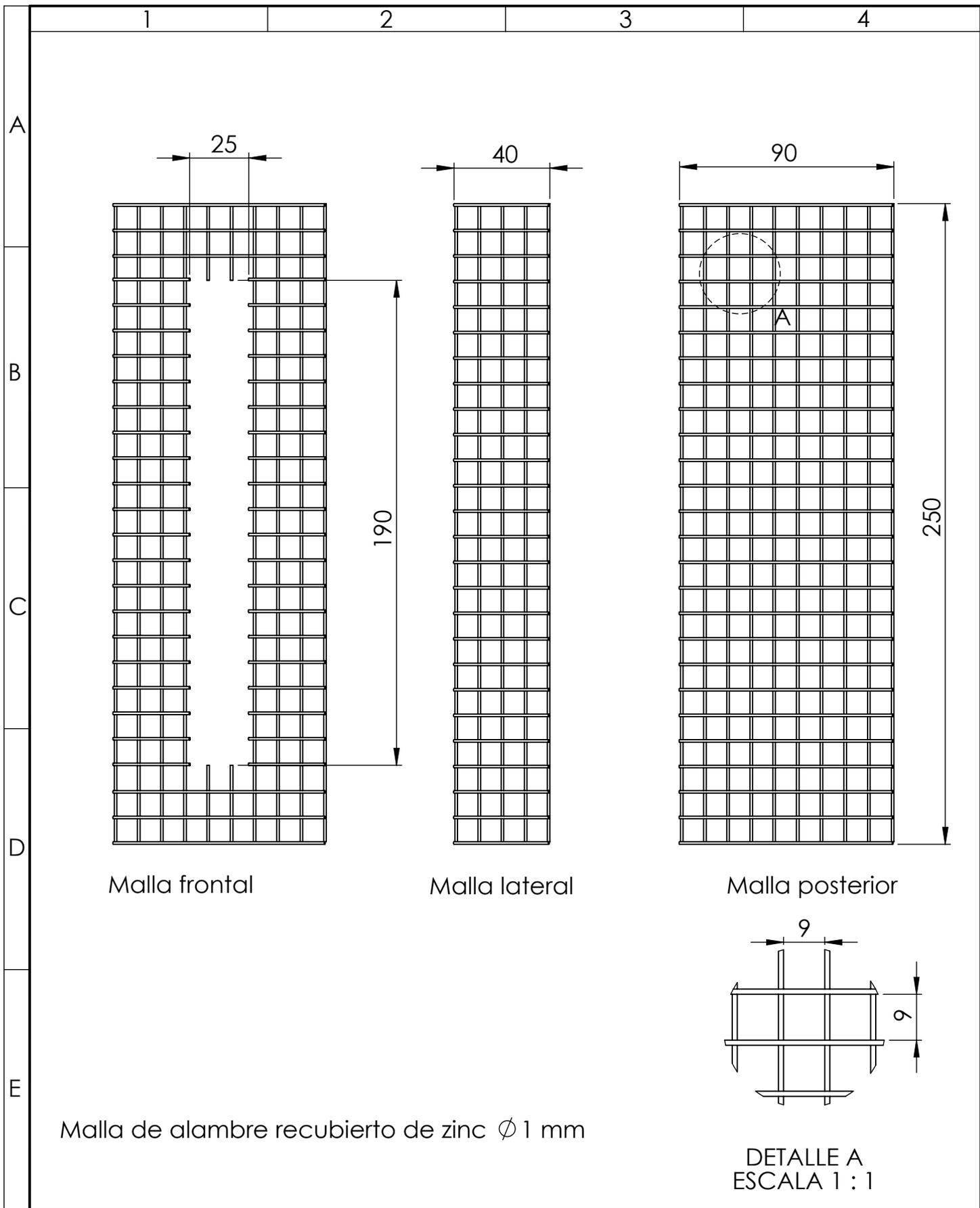


| Nº de orden | Nº de pieza | Denominación | Número de norma o dibujo | Observaciones |
|-------------|-------------|-----------------------------|--------------------------|---------------|
| 1 | 2 | Bloque de madera | INEN 11925 - 2 / 34 | |
| 2 | 1 | Malla de alambre de zinc | INEN 11925 - 2 / 35 | |
| 3 | 2 | Lámina de metal con guías | INEN 11925 - 2 / 36 | |
| 4 | 6 | Puntas metálicas de alambre | INEN 11925 - 2 | Ø 2 mm |

| | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------|
| | | | | Tolerancia: ±0,2 | Peso: 190.41 g | Material: Varios | |
| | | | | Fecha | Nombre | Denominación: | Escala: |
| | | | | Dibujó: 18/04/2022 | Ronnie Vargas | Porta muestras materiales sueltos | 1:2 |
| | | | | Revisó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | |
| | | | | Aprobó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | |
| | | | | FICM U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA | | No. de lámina: 33 de 36 | Registro: |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | (Sustitución) | |



| | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|------------------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------|
| | | | | Tolerancia: ±0,15 | Peso: 48.53 g | Material: Roble | |
| | | | | Fecha | Nombre | Denominación: | Escala: |
| | | | | Dibujó: 18/04/2022 | Ronnie Vargas | Bloques de madera | 1:1 |
| | | | | Revisó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | |
| | | | | Aprobó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | |
| | | | | FICM U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA | | No. de lámina: 34 de 36 | Registro: |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | (Sustitución) | |



| | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------|----------------|
| | | | | Tolerancia: $\pm 0,2$ | Peso: 35,61 g | Material: Alambre recubierto de Zinc | |
| | | | | Fecha | Nombre | Denominación: Malla de alambre de Zinc | Escala: 1:2 |
| | | | | Dibujó: 18/04/2022 | Ronnie Vargas | | |
| | | | | Revisó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | | |
| | | | | Aprobó: 20/04/2022 | Ing. Christian Castro | No. de lámina: 35 de 36 | Registro: |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | FICM U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA | | (Sustitución) | |

