

Diseño de una Máquina Soldadora Tipo Spot Welding Multipunto para la Producción de Mallas
Alambradas.

Carlos Eduardo Sarmiento Rodríguez y Héctor David Vargas Trigos

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Mecánico

Director

Alberto David Pertuz Comas

PhD. Ingeniería Mecánica

Codirectora

Yennifer Yuliana Rios Diaz

PhD. Ingeniería Mecánica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

A mis padres, German Eduardo Peña y Pilar Rodríguez Ruiz, quienes con su ejemplo me enseñaron el valor del esfuerzo, trabajo y constancia.

A mis hermanas Jenny Carolina Sarmiento y Leidy Tatiana Sarmiento, por siempre estar apoyándome en los momentos de adversidad y aconsejándome en cada circunstancia de mi vida.

A toda mi familia por inspirarme, motivarme hacer una mejor persona cada día, y enseñarme que todo se logra con esfuerzo y dedicación

A las personas involucradas en este proyecto que mediante sus consejos ayudaron a culminar esta encomienda.

Carlos Eduardo Sarmiento Rodríguez

A mis padres, por su amor incondicional, su sacrificio y su constante apoyo en cada paso de mi formación. Gracias por creer siempre en mí, incluso en los momentos más difíciles, y por enseñarme a perseverar con humildad y determinación.

A mis hermanos, por ser mi inspiración, mis confidentes y mi ejemplo de fortaleza. Su compañía y palabras de ánimo han sido un impulso invaluable para llegar hasta aquí.

A toda mi familia, por su cariño, confianza y motivación constante. Gracias por nunca dudar de mí y por animarme a ser mejor cada día.

A todos ustedes dedico este logro, que no hubiera sido posible sin su amor y respaldo.

Hector David Vargas Trigos

Agradecimientos

Primeramente, a Dios, por las oportunidades, la vida y la salud.

Al apoyo incondicional y amor de mis padres.

A mis hermanas por su confianza, enseñanza y motivación.

Por su colaboración. Por su paciencia y muchos consejos a Oscar Bohórquez y a Yennifer Rios.

Al semillero SIMA y a la UIS por brindarnos un espacio de enseñanza y crecimiento profesional.

A mis amigos, compañeros y por supuesto a novia Tatiana Sánchez por estar apoyándome en el transcurso de este proyecto

A Berlín, ¿por qué no?

Carlos Eduardo Sarmiento Rodríguez

A Dios, por la sabiduría y el entendimiento para culminar esta etapa.

A mis padres, por su amor, apoyo incondicional y guía constante.

A mis hermanos y familia, por su confianza, palabras de aliento y motivación.

Al Dr. Oscar Bohórquez y a Yennifer Rios, por su paciencia, apoyo y guía invaluable.

Al semillero SIMA y a la Universidad Industrial de Santander, por los espacios de aprendizaje y crecimiento que marcaron mi formación profesional.

A mis compañeros y amigos, por su compañía, apoyo y aprendizajes compartidos.

Finalmente, a todos los que contribuyeron a que este sueño se hiciera realidad.

Hector David Vargas Trigos

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	14
1. Objetivos.....	16
2. Marco Teórico.....	17
2.1 Soldadura de Resistencia por Puntos RSW, Resistance Spot Welding	17
2.1.1 Tipos de Soldadura Spot Welding RSW.....	18
2.2 Parámetros y Características que Influyen en la RSW	19
2.2.1 Calor.....	19
2.2.2 Presión	20
2.2.3 Corriente Eléctrica	20
2.2.4 Resistencia Eléctrica	20
2.2.5 Tiempo	22
2.2.6 Ciclo Básico RSW	22
2.3 Tipos de Secuencia en el Proceso de Soldadura	24
2.4 Electrodos	25
2.4.1 Materiales Utilizados para los Electrodos	25
2.4.2 Propiedades del Alambre Acero Galvanizado	26
2.5 Condiciones del Sistema Eléctrico en Soldadoras Spot Welding.....	28
2.5.1 Parámetros del Sistema Eléctrico	29
2.6 Condiciones del Sistema Mecánico en Máquina Soldadora Tipo Spot Welding	30
2.6.1 Parámetros del Sistema Mecánico	30
2.7 Condiciones del Sistema Neumático en Máquina Soldadora Tipo Spot Welding	31
2.8 Sistema de Control.....	31
3. Diseño Conceptual	32

3.1 Despliegue de la Función de Calidad (QFD)..... 32

3.1.1 Criterios de Diseño 32

3.1.2 Matriz de Calidad..... 33

3.1.3 Ponderación de Resultados 34

3.2 Planteamiento de Alternativas 35

3.2.1 Alternativa 1. Máquina Soldadora 1 Cilindro con Mesa Automática..... 35

3.2.2 Alternativa 2. Máquina Soldadora 3 Cilindros con Mesa Automática 36

3.2.3 Alternativa 3. Máquina Soldadora 3 Cilindros con Mesa Tipo Prensa 36

3.2.4 Evaluación de Alternativas del Subsistema de Control 37

3.3 Funcionamiento Principal de la Máquina Soldadora Spot Welding..... 38

4. Diseño en Detalle..... 41

4.1 Diseño del Sistema Eléctrico 41

4.1.1 Cálculo Transformador 41

4.1.2 Cálculo de Potencia del Transformador..... 42

4.2 Diseño del Sistema Neumático 43

4.2.1 Cálculo Diámetro Mínimo Falla por Pandeo..... 44

4.2.2 Cálculo de Velocidad de Extensión y Retracción..... 45

4.3 Diseño Estructural..... 46

4.3.1 Diseño de la Matriz..... 49

4.3.2 Cálculo Longitud del Brazo Viga en Voladizo..... 51

4.3.3 Mecanismo para el Desplazamiento de la Matriz 55

4.3.4 Dimensionamiento Tornillo Sin Fin 56

4.3.5 Cálculo de Reacciones del Tornillo 56

4.4 Diseño Control Eléctrico 59

4.4.1 Descripción de Componentes y Conexión del Sistema de Control 61

4.4.2 Conexión Sistema Neumático del Proceso de Soldadura Spot Welding 64

5. Diagrama P&ID del Proceso de Soldadura..... 66

5.1 Narrativa de Proceso 67

6. Validación del Sistema de Soldadura 68

7. Análisis de Viabilidad Económica..... 70

7.1 Costos de Materiales 70

7.1.1 Costos de Montaje 71

7.1.2 Costo Total..... 71

7.2 Estudio de Viabilidad..... 72

7.2.1 Flujo de Caja Proyectado..... 72

7.2.2 Valor Presente Neto y Tasa Interna de Retorno 73

7.2.3 Payback 74

8. Conclusiones..... 75

9. Recomendaciones 77

Referencias Bibliográficas 79

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Propiedades químicas del alambre de acero galvanizado	26
Tabla 2. Propiedades mecánicas del alambre de acero galvanizado.....	27
Tabla 3. Resistencia máxima a la tracción de alambre acero galvanizado	27
Tabla 4. Parámetros del sistema eléctrico.....	29
Tabla 5. Parámetros del sistema mecánico	30
Tabla 6. Clasificación de la función de calidad	33
Tabla 7. Matriz QFD del equipo de soldadura automática	33
Tabla 8. Ponderación de resultados	34
Tabla 9. Matriz QFD del equipo de soldadura automática	38
Tabla 10. Dimensionamiento del transformador	41
Tabla 11. Dimensionamiento potencia del transformador	42
Tabla 12. Dimensionamiento cilindro neumático.....	43
Tabla 13. Cálculo diámetro mínimo del vástago	44
Tabla 14. Cálculo falla por pandeo	45
Tabla 15. Cálculo longitud del brazo viga en voladizo	51
Tabla 16. Cálculo de fuerzas tornillo sin fin.....	57
Tabla 17. Especificaciones técnicas motor NEMA 23	60
Tabla 18. Cálculo diseño del control eléctrico del motor paso a paso.....	61
Tabla 19. Costos materiales máquina soldadora spot welding	70
Tabla 20. Costo de montaje	71
Tabla 21. Costo total proyecto	71
Tabla 22. Flujo de caja anual	72

Tabla 23. Valores obtenidos del VPN y TIR 74

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Diagrama del proceso de soldadura tipo spot welding	18
Figura 2. Tipos de soldadura spot welding RSW	19
Figura 3. Resistencias del proceso de soldadura.....	21
Figura 4. Secuencia de proceso de soldadura	22
Figura 5. Soldeo en cascada eléctrica	24
Figura 6. Diagrama de límite de frontera de un transformador	28
Figura 7. Alternativa 1 máquina soldadora automática	35
Figura 8. Alternativa 2 máquina de soldadura mesa automática	36
Figura 9. Alternativa 3 máquina de soldadura mesa tipo prensa	37
Figura 10. Alternativa 2 de equipo soldador automático con todos sus subsistemas	39
Figura 11. Cargas sobre estructura bastidor.....	47
Figura 12. Reacciones generadas por la carga de la matriz y esfuerzo del cilindro	48
Figura 13. Factor de seguridad mínimo del bastidor	49
Figura 14. Diseño de matriz de la malla	50
Figura 15. Validación de la Matriz	50
Figura 16. Viga en voladizo con carga puntual en el extremo.....	51
Figura 17. Diagrama de fuerza cortante y momento flector del brazo	54
Figura 18. Mesa automática XY	55
Figura 19. Diagramas de cortante y momento flector en el plano “XZ”	58
Figura 20. Selección conjunto desplazamiento XY	59
Figura 21. Motor stepper bipolar NEMA 23.	60
Figura 22. Circuito de conexión PLC S7-1200 – Controladora TB6600	62

Figura 23. Circuito de conexión Controladora TB6600 y motor paso a paso 63

Figura 24. Diagrama neumático máquina RSW en FluidSIM FESTO..... 65

Figura 25. Diagrama P&ID..... 67

Figura 26. Validación de la secuencia por software Arduino 69

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndices.....	81
Apéndice A. Materiales Utilizados para los Electrodo.....	81
Apéndice B. Diseño del Electrodo.....	82
Apéndice C. Cálculo Tornillo Sin Fin.....	84
Apéndice D. Matriz PUGH para la Selección del Motor.....	85
Apéndice E. Propiedades Físicas del Acero.....	86
Apéndice F. Cálculo de Densidad Eléctrica del Transformador.....	88
Apéndice G. Parámetros de un Transformador.....	88
Apéndice H. Selección del Transformador.....	89
Apéndice I. Selección del Compresor.....	90
Apéndice J. Resultados del Análisis Estático y Modal (Frecuencias Naturales).....	91
Apéndice K. Análisis Técnicoeconómico Máquina Soldadora Spot Welding.....	97
Apéndice L. Circuito Completo de la Secuencia Neumática de FluidSIM FESTO.....	104
Apéndice M. Grafcet Funcionamiento Máquina de Soldadura Spot Welding.....	105
Apéndice N. Código Validación del Sistema Soldador por Software de Arduino.....	108
Apéndice Ñ. Planos de Fabricación de la Máquina Soldadora Tipo Spot Welding Multipunto.....	118

Resumen

Título: Diseño de una Máquina Soldadora Tipo Spot Welding Multipunto para la Producción de Mallas Alambradas*

Autor: Carlos Eduardo Sarmiento Rodríguez y Héctor David Vargas Trigos**

Palabras Clave: Soldadura, Spot Welding, Mallas Alambradas, Electrodo, Matriz, Estructura bastidor, Mesa automática, Transformador, Simultaneidad.

Descripción: En Colombia, la importación de máquinas soldadora por puntos automatizadas para la fabricación de mallas alambradas presenta un elevado costo para las empresas nacionales, lo que hace difícil su acceso a estas tecnologías que mejorarían tanto la productividad como así mismo la calidad de la fabricación de las mallas, dentro de este proyecto se pretendió realizar el diseño de una máquina soldadora de puntos automática para la fabricación y producción de mallas alambradas y presentar una solución a la falta de estas máquinas de bajo costo en Colombia. El desarrollo del proyecto se estructuró mediante las siguientes etapas. La primera etapa consistió con la identificación de los parámetros funcionales para la parte del diseño estructural y eléctrico de la máquina. La segunda etapa se basó en desarrollar el diseño conceptual y detallado de la máquina soldadora capaz de soldar malla alambre de calibre 6 con dimensiones de 1.0 x 0.80 m. La tercera etapa incluyó la selección de un sistema automático para el movimiento lineal de la mesa de soldado en dos ejes, utilizando motores paso a paso NEMA 23 y un controlador PLC S7-1200 para garantizar precisión en el proceso. En la cuarta etapa se modeló y validó el diseño. Por último, se realizó un análisis técnico económico que evaluó la viabilidad del diseño propuesto, con un flujo de caja correspondiente a los gastos estimados para la implementación de la máquina soldadora. El proceso se llevó a cabo de indicadores financieros como el VPN, TIR y Payback considerando la reducción de costos de producción y el incremento en la calidad del producto final, como principal resultado un beneficio económico dentro de los primeros dos años. Por ello, se logró obtener los planos de fabricación, el diseño detallado de la máquina junto a los materiales adecuados para su construcción.

*Trabajo de Grado

**Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Ingeniería Mecánica. Director: Alberto David Pertuz Comas. PhD. Ingeniería Mecánica. Codirectora: Yennifer Yuliana Rios Diaz, PhD. Ingeniería Mecánica.

Abstract

Title: Design of a Multipoint Spot Welding Machine for the Production of Wire Mesh*

Author(s): Carlos Eduardo Sarmiento Rodríguez and Hector David Vargas Trigos**

Key Words: Welding, Spot Welding, Wire Mesh, Electrodes, Matrix, Frame Structure, Automatic Table, Transformer, Simultaneity.

Description: In Colombia, the importation of automated spot welding machines for the manufacture of wire mesh presents a high cost for national companies, which means their access to these technologies would improve both productivity and likewise the quality of the manufacture of the meshes, within this project it was intended to perform the design of an automatic spot welding machine for the manufacture and production of wire mesh and present a solution to the lack of these low-cost machines in Colombia. The development of the project was structured in the following stages. The first stage consisted of identifying the functional parameters for the structural and electrical design of the machine. The second stage was based on developing the conceptual and detailed design of the welding machine capable of welding 6-gauge wire mesh with dimensions of 1.0 x 0.80 m. The third stage included selecting an automatic system for the linear movement of the welding table in two axes, using NEMA 23 stepper motors and a PLC S7-1200 controller to ensure accuracy in the process. In the fourth stage, the design was modeled and validated. Finally, a technical economic analysis was performed to evaluate the feasibility of the proposed design, with a cash flow corresponding to the estimated costs for implementing the welding machine. The process was carried out using financial indicators such as VPN, TIR, and Payback, considering the reduction of production costs and the increase in the quality of the final product, the main result being an economic benefit within the first two years. Therefore, it was possible to obtain the manufacturing plans, the detailed design of the machine together with the appropriate materials for its construction.

* Degree work

**Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Mechanical Engineering. Director: Alberto David Pertuz Comas PhD Mechanical Engineering. Codirectora: Yennifer Yuliana Rios Diaz PhD. Mechanical Engineering.

Introducción

Los procesos de soldadura ocupan un lugar muy importante en la industria, en donde existen variedad de productos manufacturados, que necesitan de uniones soldadas, desde objetos pequeños, a estructuras de gran envergadura. Los conocimientos y comprensión de los diversos procesos y sus aplicaciones proporcionan habilidades que se pueden desarrollar en el campo de soldadura. (E. N. Flórez et al., 2019).

El proceso de soldadura por puntos de resistencia (RSW, por sus siglas en inglés, Resistance Spot Welding) consiste en la unión de dos o más metales, mediante la aplicación de corriente eléctrica a través de electrodos. Para este tipo de soldadura se aprovecha la propiedad eléctrica de las láminas la cual consiste en oponerse al flujo de corriente, generando así la fusión del metal con el calor producido, para obtener la soldadura. (Monserrat T et al., 2024).

Además, aunque existen máquinas de soldadura tipo punto automatizadas en otras partes del mundo, en Colombia la falta de acceso a este tipo de tecnología se debe principalmente a su alto costo. Esta situación implica una desventaja competitiva para las empresas locales que buscan mejorar sus procesos de fabricación de mallas alambradas.

En Colombia, la fabricación de mallas alambradas sigue realizándose en gran parte mediante máquinas de soldadura tipo punto de operación manual conlleva limitaciones en términos de eficiencia, precisión y seguridad. Estas mallas tienen múltiples aplicaciones: cerramientos de lotes, canastas eléctricas, sistemas de protección paisajística y control perimetral en la crianza de animales, por lo que su demanda es constante tanto en zonas urbanas como rurales. A pesar de ello, el acceso a maquinaria automática especializada es limitado, ya que la mayoría de los equipos deben importarse, con costos elevados para pequeñas y medianas empresas del sector metalmeccánico.

La operación manual de estas máquinas requiere una supervisión constante y una destreza técnica por parte del operador, lo que puede resultar en tiempos de producción prolongados, errores de soldadura y riesgos para la seguridad del personal.

Por lo tanto, se hace necesario explorar alternativas que permitan diseñar y desarrollar una máquina de soldadura tipo punto automática de bajo costo en Colombia. Esta iniciativa busca no solo mejorar la eficiencia, la precisión y la seguridad en el proceso de fabricación, sino también permitir el acceso a la tecnología para las empresas del sector, mejorando el uso de los recursos y reduciendo los costos de producción.

Con base en esto es benéfico presentar propuestas de diseño que mejoren las condiciones de fabricación, generando calidad, seguridad y productividad en la producción de mallas alambradas.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Diseñar una máquina soldadora tipo spot welding multipunto con capacidad de fabricar mallas alambradas de calibre 6 y dimensiones de 1.0 x 0.8 mts.

1.2 Objetivos Específicos

- Identificar los parámetros funcionales adecuados que serán utilizados en el diseño del módulo estructural y eléctrico del sistema de una máquina soldadora tipo spot welding multipunto.
- Generar el diseño en fase conceptual y detalle de una máquina soldadora tipo spot welding de cabezal multipunto capaz de soldar mallas alambradas de calibre 6 y dimensiones 1.0 x 0.80 mts.
- Seleccionar un sistema automático que permita el movimiento lineal mecanizado de la mesa de soldado de tipo 2D con dimensiones de 1.0 x 0.80 mts.
- Evaluar la viabilidad técnico-económica de implementar una máquina de soldadora tipo spot welding multipunto automática para la producción de mallas alambradas.

2. Marco Teórico

El desarrollo del proyecto requirió definir las generalidades de una máquina soldadora tipo spot welding multipunto y sus sistemas principales. A su vez, es necesario establecer el marco conceptual relacionado con el diseño de los sistemas automáticos, neumáticos y estructurales, así como los fundamentos técnicos de la soldadura por resistencia y el comportamiento de los materiales involucrados en el proceso.

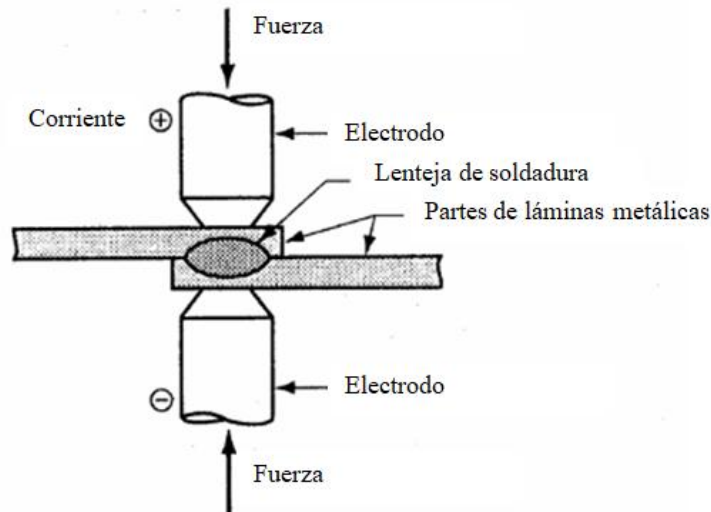
2.1 Soldadura de Resistencia por Puntos RSW, Resistance Spot Welding

Resistance Spot Welding en inglés o soldadura de resistencia por puntos, es un proceso que utiliza como fuente de calentamiento a la electricidad. Este proceso se basa en presionar dos o más láminas o alambres metálicos por medio de electrodos. (Jeffus L, 2012).

Durante este proceso, las áreas de contacto entre ambos electrodos se presionan y se calientan a bajo voltaje y altos amperajes para así formar una unión fuerte entre ambas áreas de contacto. Cuando las láminas metálicas se fusionan a grandes cantidades de intensidad de corriente eléctrica que fluye por material conductor hacia la superficie de contacto de la pieza, esto generando una variación de temperatura permitiendo crear la unión de la pieza. En la figura 1 se evidencia el proceso de soldadura tipo spot welding. (Ashby et al., 2007) .

Figura 1

Diagrama del proceso de soldadura tipo spot welding



Nota. Adaptado de la electrónica aplicada en el proceso de soldadura por resistencia. Tesis de grado, 96, 8–12. (Juárez M, 2016).

2.1.1 Tipos de Soldadura Spot Welding RSW

Existen tres tipos de soldadura por resistencia (RSW): En paralelo, en serie y por polos opuestos (push and pull). Estos tipos de soldadura se diferencian por su modo de uso y aplicabilidad.

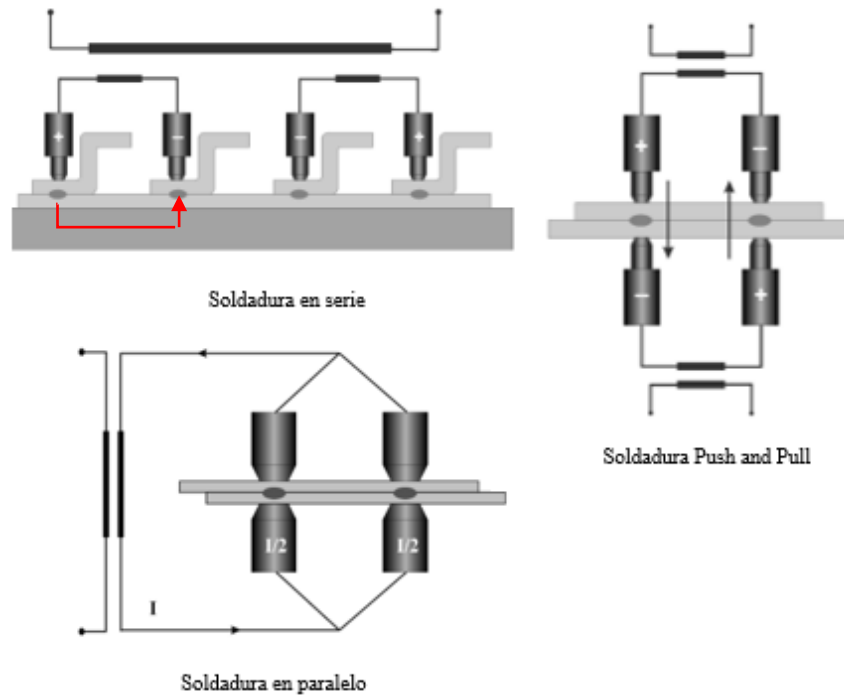
Ver figura 2.

La soldadura en paralelo se realiza cuando se ejecutan múltiples puntos simultáneamente con una fuente de energía, donde la corriente eléctrica se divide entre cada punto, mientras que la soldadura en serie ocurre cuando la misma corriente eléctrica forma simultáneamente dos puntos. En este proceso, la corriente eléctrica fluye desde uno de los electrodos y se distribuye a través del material hasta llegar al otro electrodo, uniendo dos placas en un solo ciclo. Adicional se encuentra

la unión por polos opuesto que utiliza dos transformadores en cada lado de la pieza a soldar, siendo esta la más utilizada para unir espesores muy grandes. (Abad F. & Bisbe J, 2009).

Figura 2

Tipos de soldadura spot welding RSW



Nota. Adaptado de Manual de soldadura por resistencia (Abad F. & Bisbe J, 2009) <https://trabajoyprevencion.jcyl.es/web/jcyl/TrabajoYPrevencion/es/Plantilla100DetalleFeed/1253860466245/Publicacion/1260365801122/>.

2.2 Parámetros y Características que Influyen en la RSW

2.2.1 Calor

El calor producido por la soldadura depende de la corriente eléctrica, el tiempo empleado y la resistencia eléctrica del material entre los electrodos, siendo este directamente proporcional a

la resistencia del circuito. Este calor se limita a la superficie de contacto entre un extremo del electrodo y la superficie de la pieza, y su generación se rige por la ley de Joule. (López V, 2005).

2.2.2 Presión

La presión ejercida permite asegurar un adecuado punto de soldadura, pero si la presión es demasiado fuerte puede provocar pequeños puntos de soldadura y mayor desgaste de los electrodos, mientras que una presión insuficiente puede resultar en salpicaduras en las superficies de contacto del material a soldar.

2.2.3 Corriente Eléctrica

La intensidad de la corriente permite determinar el calor generado en el proceso de la unión. Si la corriente que fluye por los electrodos aumenta gradualmente, refleja un mayor nivel de calor en la superficie de contacto debido a la ley de Joule, por lo tanto, es indispensable controlar un rango aceptable para obtener puntos de soldadura de mejor calidad.

En este proceso es importante caracterizar la densidad eléctrica que fluye por la superficie de contacto del electrodo para formar la soldadura, que indica la cantidad de corriente eléctrica que circula por unidad de corriente. (Manoj R & Vishal A, 2014).

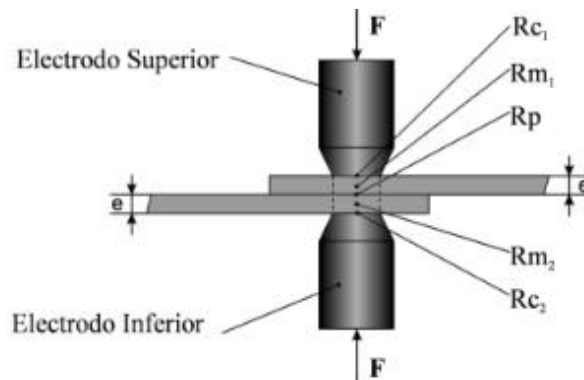
2.2.4 Resistencia Eléctrica

Es la medida de resistencia al flujo de corriente, la cual influye en la generación de calor durante la soldadura. Cuando inicia el proceso, la corriente que circula por los electrodos encuentra diversas resistencias, disipando energía en forma de calor. Esta resistencia eléctrica depende del grosor, la longitud y la conductividad del material a soldar, aumentando a medida que se utiliza.

La corriente eléctrica circula a través de tres diferentes resistencias como se presenta en la figura 3.

Figura 3

Resistencias del proceso de soldadura



Nota. Tomado de Manual de soldadura por resistencia, (Abad F. & Bisbe J, 2009), <https://trabajoyprevencion.jcyl.es/web/jcyl/TrabajoYPrevencion/es/Plantilla100DetalleFeed/1253860466245/Publicacion/1260365801122/Redaccion>.

Donde:

- **Rp:** Es la resistencia que se encuentra entre ambas caras de la pieza y es donde sería conveniente se deposite toda la energía, es decir, el calor generado,
- **Rm:** Es la resistencia del material a soldar. Esta resistencia tiene un valor pequeño, el cual se incrementa aproximadamente por diez al iniciar el proceso de soldadura, aumentando la temperatura, generando un calor inevitable y a la vez necesario, el cual es el componente principal del calor total aplicado a la soldadura.

- **Rc:** Es la resistencia de contacto que se encuentra entre el electrodo y la pieza a soldar, donde la energía y calor que se genera es la primera causa de reducir la vida útil de los electrodos y las huellas en la superficie de las piezas. (Abad F. & Bisbe J, 2009).

2.2.5 Tiempo

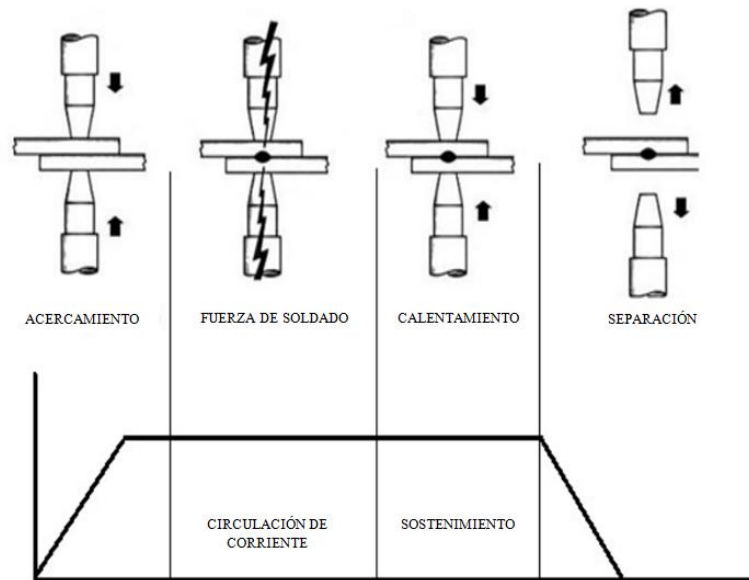
En el proceso de soldadura, el tiempo de la unión debe permitir que la corriente eléctrica actúe antes de aplicar la presión para formar la junta. Si el ciclo es demasiado largo, el exceso de calor puede deformar y fisurar el material; si es demasiado corto, la unión no se completará. Por ello, es esencial un equilibrio adecuado entre calor y tiempo para un mejor control del proceso. (Melendres I & Navarrete L, 2024).

2.2.6 Ciclo Básico RSW

Es un control que dispone de una regulación de corriente que cumple con dosificar el tiempo de paso de la corriente de soldadura y ordenar los ciclos de presión. (Jawad et al., 2012). Ver figura 4.

Figura 4

Secuencia de proceso de soldadura



Nota. Adaptado de Formación de pepitas durante la soldadura por puntos por resistencia Usando el modelo de elementos finitos, (Jawad et al., 2012) <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:536150/fulltext01>.

Los ciclos se definen de la siguiente forma:

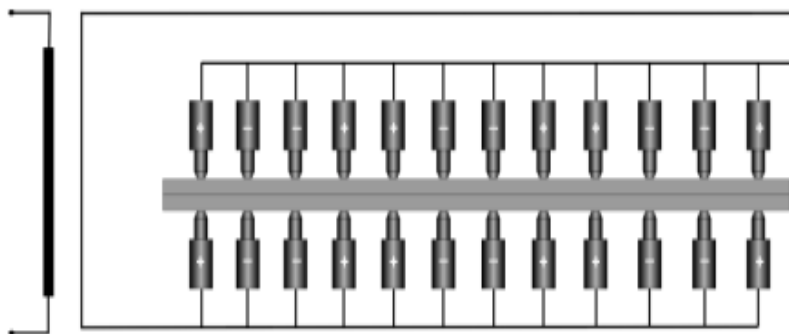
- **Acercamiento:** Es el tiempo que se necesita para establecer la fuerza entre ambas caras a soldar.
- **Fuerza de Soldadura:** Es el tiempo en el que circula la corriente eléctrica y forma la lenteja, esto regulando la corriente que fluye y formando el punto de soldadura en función del tiempo.
- **Calentamiento:** Es el tiempo en el que se sostiene la fuerza sobre las piezas y electrodos.
- **Separación:** Es el tiempo que transcurre entre un ciclo y el siguiente, esté actúa para repetir ciclos.

2.3 Tipos de Secuencia en el Proceso de Soldadura

El soldeo en cascada puede realizarse mediante dos tipos: eléctrico y neumático. En el soldeo en cascada eléctrica, la soldadura se ejecuta de forma secuencial, manteniendo la presión sobre todos los electrodos involucrados que han actuado simultáneamente, En la mayoría de máquinas se pueden realizar dos o cuatro puntos al mismo tiempo gracias a transformadores con dos salidas secundarias; en este caso, es importante conectar correctamente los porta electrodos del cilindro, considerando las polaridades de las salidas secundarias para evitar el paso de corriente no autorizado y defectos en la soldadura. Por otro lado, en el soldeo en cascada neumática, los cilindros que desplazan los electrodos se activan sucesivamente, por lo tanto, las soldaduras también son sucesivas. Este método puede operar con un solo transformador, aunque en algunos casos se emplean dos o más transformadores en paralelo y ubicados en lados opuestos de la máquina para mejorar la adaptación de impedancia en circuitos de alta corriente. Ver figura 5.

Figura 5

Soldeo en cascada eléctrica



Nota. Tomado de Manual de soldadura por resistencia, (Abad F. & Bisbe J., 2009), <https://trabajoyprevencion.jcyl.es/web/jcyl/TrabajoYPrevencion/es/Plantilla100DetalleFeed/1253860466245/Publicacion/1260365801122/Redaccion>.

2.4 Electrodo

Los electrodos son los encargados de transmitir la corriente eléctrica, aunque parezca que no son muy importantes estos juegan un papel fundamental en la unión, soportando altos niveles de densidad de corriente en el momento de soldadura.

El material ideal para los electrodos debe compaginar una elevada conductibilidad eléctrica y térmica con una elevada resistencia mecánica al aplastamiento a temperaturas elevadas, de más de 700°C en la cara activa del electrodo. Además, la cara de los electrodos sufre deterioro con el uso continuo, esto influenciando en la generación de calor, por lo que afecta directamente la resistencia de contacto entre la superficie del electrodo y la pieza a soldar. (Montenegro G & Yaguachi M, 2020).

2.4.1 Materiales Utilizados para los Electrodo

En la soldadura por resistencia, los materiales utilizados para los electrodos deben ser los más apropiados, exigiendo las siguientes características:

- Localizar y concentrar la corriente de soldadura en el punto de soldar.
- Transmitir el esfuerzo de compresión en dicho punto.
- Disipar con rapidez adecuada la concentración de calor.
- Disponer de una conductividad elevada.
- Poseer una dureza y resistencia mecánica elevada, incluso a altas temperaturas.
- Tener las dimensiones y forma convenientes.

En el apéndice A, se observan los diferentes materiales más utilizados para la fabricación de los electrodos, esto de acuerdo con la aplicación y el material a soldar. (Cobyma, 2022).

2.4.2 Propiedades del Alambre Acero Galvanizado

El alambre galvanizado es un tipo de alambre que ha sido recubierto con una capa de zinc mediante un proceso de galvanización. Durante este proceso, el alambre se sumerge en un baño de zinc fundido, lo que crea una capa protectora sobre su superficie. Esta capa de zinc proporciona al alambre una mayor resistencia a la corrosión, lo que lo hace ideal para su uso en proyectos que están expuestos a la humedad o a condiciones ambientales adversas. (Cobyma, 2022).

En la tabla 1 presenta los porcentajes de carbono, magnesio, fósforo, azufre, silicio, establecidos por la norma ASTM A641, la cual lleva las especificaciones estándar del alambre de acero galvanizado.

Tabla 1

Propiedades químicas del alambre de acero galvanizado

% Carbono	% Magnesio	% Fósforo	% Azufre	% Silicio
0.068 – 0.070	0.300 – 0.310	0.030 – 0.040	0.035 – 0.045	0.075 – 0.085

Nota. Adaptado de Diseño y construcción de una máquina para fabricar malla de alambre de forma romboidal de 2m de alto y 10m de ancho con un eslabón de 50mm. (Pujota Dario & Chulga Edwin, 2019).

En la tabla 2 muestra la resistencia a la tracción mínima y máxima para cada diámetro de alambre, expresada en unidades de 42.65 Kpsi para tensión mínima y 45 Kpsi para tensión máxima para todos los diámetros que constan de una capa de zinc de espesor 25 g/cm² en todos los diámetros de alambre galvanizado. (Pujota Dario & Chulga Edwin, 2019).

Tabla 2*Propiedades mecánicas del alambre de acero galvanizado*

Calibre	Diámetro (mm)	Diámetro (in)	Resistencia a la tensión mínimo (Kpsi)	Resistencia a la tensión máximo (Kpsi)	Capa de zinc mínimo (g/cm ²)
12.5	2.46 – 2.56	0.097 – 0.101	42.65	45	25
14.5	1.89 – 1.96	0.074 – 0.078	42.65	45	25
16	1.54 – 1.60	0.060 – 0.064	42.65	45	25
18	1.16 - 1.22	0.045 – 0.049	42.65	45	25
20	0.84 – 0.90	0.033 – 0.035	42.65	45	25

Nota. Adaptado de Diseño y construcción de una máquina para fabricar malla de alambre de forma romboidal de 2m de alto y 10m de ancho con un eslabón de 50mm. (Pujota Dario & Chulga Edwin, 2019).

En la tabla 3 se presenta las características mecánicas que estipula la norma NTC 2403 con relación a los alambres, la cual determina la resistencia máxima a la tracción.

Tabla 3*Resistencia máxima a la tracción de alambre acero galvanizado*

<i>Diámetros nominales del alambre mm</i>	Resistencia a la tracción MPa		
	Blanda	Media	Dura
0,20 ≤ d < 2,00	515 máx.	485 a 690	620 mín.
2,00 ≤ d < 2,50	515 máx.	485 a 655	585 mín.
2,50 ≤ d < 4,70	485 máx.	450 a 620	550 mín.
d ≥ 4,70	485 máx.	415 a 585	515 mín.

Nota. Adaptado de la Norma Técnica Colombiana NTC 2403.

2.5 Condiciones del Sistema Eléctrico en Soldadoras Spot Welding

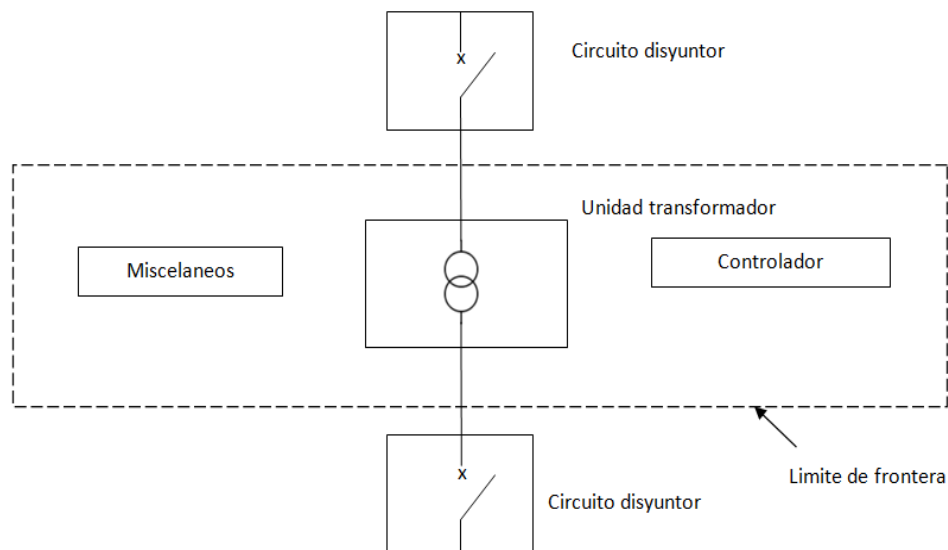
Es primordial contar con una fuente de poder adecuada, sobre todo en los sistemas con relativa demanda, bajos ciclos de trabajo y cortos tiempos. Cuando la corriente eléctrica circula a un alto nivel por el sistema, se produce una caída de voltaje debido a la resistencia y la reactancia, lo que representa una pérdida de energía cuando la corriente fluye a través del cable conductor.

El sistema eléctrico consta de reles, temporizadores, cableado y un transformador, el cual está formado por un núcleo de hierro, siendo este de tipo reductor o elevador de tensión y debe ser capaz de resistir repetidamente sobrecargas por lo que la carga es de tipo intermitente, es decir, que sus valores son cercanos a corto circuito. (Chapman, 2012).

En la figura 6 se delimitan tanto las entradas como las salidas de un transformador. En la entrada, se encuentra la corriente y el voltaje primario, con un devanado de múltiples vueltas. En la salida, se encuentra la corriente y el voltaje secundario, con un devanado de entre uno y tres vueltas. Además, los transformadores están diseñados para un ciclo de trabajo del 50 %, durante el cual permanecen energizados, donde su flujo de corriente circula a través del embobinado secundario. (Chapman, 2012).

Figura 6

Diagrama de límite de frontera de un transformador



Nota. Adaptado de Ingeniería de mantenimiento y confiabilidad, (Pinilla, 2024), <https://strategy.com.co/ingenieria-de-mantenimiento-y-confiabilidad>.

2.5.1 Parámetros del Sistema Eléctrico

En la tabla 4 se observa los parámetros funcionales para el módulo eléctrico.

Tabla 4

Parámetros del sistema eléctrico

Variable	Concepto	Parámetro
Alimentación principal	Fuente principal hacia transformador monofásico	$V_p = 220 - 380 V$
Densidad eléctrica	Cantidad de corriente eléctrica que circula por la cara activa del electrodo	$220 - 320 A/mm^2$
Tiempo de unión	Duración de flujo de corriente en la soldadura de acuerdo con el espesor a soldar	Para unir 0.25 mm de espesor se necesita 0.016 s, para 10 mm $t = 0.64 s$
Factor de potencia	Según el largo del brazo se estima el factor de potencia	$FP = 0.7 - 0.85$

Potencia del transformador	Potencia nominal del transformador	$P_{in} = Vp * Ip * \cos(\alpha)$ $Pot_{50\%} = Pot_{100\%} * 1.41Watt$
Electrodos	Conductividad eléctrica	$1.72 - 1,75 \times 10^{-8} \Omega m$
Voltaje secundario	Voltaje de salida del transformador	$V_S = 1 - 25V$
Embobinado primario y secundario	Relación de espiras del transformador	Para N_s embobinado secundario varia 1-3

Nota. Elaboración propia.

2.6 Condiciones del Sistema Mecánico en Máquina Soldadora Tipo Spot Welding

En el sistema mecánico de la máquina soldadora está conformado por la carcasa, electrodos, bastidor y otros componentes que están relacionados para soportar el peso de los perfiles, la matriz y la presión ejercida por el cilindro neumático. Los elementos sistema mecánico constan de: la carcasa del sistema soldador, el soporte inferior, el soporte superior, los porta electrodos, y elementos de sujeción. Estos elementos son los encargados de proporcionar protección, alineación y estabilidad durante el proceso de unión.

2.6.1 Parámetros del Sistema Mecánico

En la tabla 5 se observa los parámetros funcionales para el módulo estructural.

Tabla 5

Parámetros del sistema mecánico

Variable	Concepto	Parámetro
Material del bastidor	Acero estructural ASTM A36, perfilería cuadrada aleación aluminio	-
Capacidad de carga	Peso máximo que puede soportar	60 – 100 Kg
Factor de seguridad	Relación entre el esfuerzo diseño y esfuerzo por el material	$FS \geq 3$

Deformación máxima	Cambio de la forma debido a la carga	$\delta_{m\acute{a}x} \leq 0.5 \text{ mm}$
Esfuerzo máximo	Límite de esfuerzo antes de la falla	400 - 550 MPa
Sistema desplazamiento	Mesa automática con guías lineales en XY	Recorrido X = 1 m Y = 0.80 m Rango velocidad 300-1000 RPM
Momento flector máximo	Reacción que produce un elemento al aplicar una fuerza	$M_A - M_B = \int_{X_A}^{X_B} V dx$

Nota. Elaboración propia.

2.7 Condiciones del Sistema Neumático en Máquina Soldadora Tipo Spot Welding

En el sistema neumático de la máquina soldadora es importante resaltar que su objetivo es ejercer la fuerza necesaria para realizar el punto de soldadura para ello se deben considerar componentes para la regulación del caudal, la presión del sistema, la calidad del aire comprimido, su filtrado, la unidad compresora, electroválvulas y por último el cilindro neumático, el cual debe ser capaz de realizar una fuerza máxima de 533 N. (Arango J & Forero F, 1987).

2.8 Sistema de Control

El sistema de control de una máquina soldadora está basado de un microcontrolador PLC, que se encarga de coordinar el movimiento de la mesa de soldado y la activación del sistema de soldadura. Para el movimiento de la mesa de soldado en los ejes XY que utiliza motores paso a paso los cuales permiten ajustar la velocidad y la aceleración del desplazamiento. Este sistema hace que la mesa se posicione en cada punto de soldadura, garantiza un control del proceso automático que permite la repetibilidad y la calidad en la producción de las mallas alambreadas.

3. Diseño Conceptual

Este tipo de máquinas existen actualmente en el mercado, pero para producción en masa de mallas diversos calibres. Se requiere diseñar la maquinaria con la capacidad de realizar mallas de 1.0 x 0.8 m. Este equipo de producción de mallas debe ser capaz de soldar mallas con calibre 6 (5mm), con el fin de ser almacenada una vez haya salido de la máquina con condiciones similares de dureza, resistencia, paso adecuado y longitudes de las que se venden en el mercado. A partir de lo anteriormente dicho, se realizó un estudio de posibles alternativas por medio del despliegue de la función de calidad (QFD), que se presenta a continuación:

3.1 Despliegue de la Función de Calidad (QFD)

3.1.1 Criterios de Diseño

Diseñar un el sistema de soldadura por puntos implica realizar una determinada lista de criterios de diseño, basado en varias visitas técnicas a diversas empresas, donde se utilice este tipo de máquinas soldadora por puntos para recopilar la información necesaria y obtener los siguientes criterios de diseño.

- Bajos costos de mantenimiento.
- Mayor capacidad de producir mallas alambreadas.
- Mayor facilidad de manipulación del material.
- Menor interacción con el equipo.
- Menor cantidad de elementos de control.
- Económica y bajo consumo energético.

3.1.2 Matriz de Calidad

Los requerimientos del sistema automático anteriormente mencionados fueron evaluados dentro de una matriz QFD. En la columna de la derecha, se encuentran los requerimientos necesarios del diseño de la máquina anteriormente mencionada y se ordenan de mayor a menor según la prioridad, siendo el más alto, el más importante. También, se establecieron varios requerimientos ingenieriles ubicados en las siguientes columnas que fueron calificados de acuerdo con lo anteriormente mencionados. Ver tabla 6.

Tabla 6

Clasificación de la función de calidad

Nivel de clasificación	Ponderado
Alto	9
Moderado	5
Baja	1
Nula	0

Nota. Se escogieron los cuatros requerimientos ingenieriles con mayor puntuación para proceder con la siguiente fase de diseño. Ver tabla 7.

Tabla 7

Matriz QFD del equipo de soldadura automática

Equipo de soldadura tipo spot welding	Prioridad	Subsistema neumático	Subsistema mec. lineal	Subsistema de control	Subsistema estructural	Subsistema de potencia	
	Valor	Resultado	Valor	Resultado	Valor	Resultado	Valor

Mayor capacidad de producir mallas	9	17	63	5	45	8	72	1	9	8	72
Bajo consumo energético	8	2	16	2	16	7	56	0	0	7	56
Bajo costo de mantenimiento	7	3	21	2	14	6	42	1	7	7	49
Menor interacción con el equipo	6	6	36	9	54	2	12	1	6	3	18
Guardas de seguridad	5	2	10	7	35	0	0	0	10	2	10
Mayor facilidad de manipulación de material	4	0	0	2	8	3	12	2	8	0	0
Fácil de operar	3	3	9	3	9	8	24	1	3	2	6
Ergonómica	2	2	4	4	8	4	8	7	14	2	14
Buen aspecto	1	6	6	5	5	7	7	7	7	2	2
Total	-		165		194		233		74		217

Nota. Elaboración propia. Matriz QFD de la máquina soldadora multipunto.

3.1.3 Ponderación de Resultados

Al desarrollar la matriz de la calidad, se obtuvo que el sistema de control es el requerimiento más importante, seguido por el subsistema de transformación de tensión, subsistema de mecanismo lineal, y el subsistema neumático, los más relevantes para el diseño del equipo de soldadura spot welding. Se evidencia en la tabla 8.

Tabla 8

Ponderación de resultados

Ponderación de resultados		
Subsistemas	Valoración	Porcentaje
Subsistema neumático	165	19 %
Subsistema mecanismo lineal	194	22%
Subsistema de control	233	26%
Subsistema estructural	74	8%
Subsistema de potencia	217	25%
Total	881	

Nota. En la tabla 8 se evidencia que los subsistemas más críticos para el diseño de mayor a menor son: el subsistema de control, subsistema de potencia, subsistema mecanismo lineal, subsistema neumático y por último subsistema estructural.

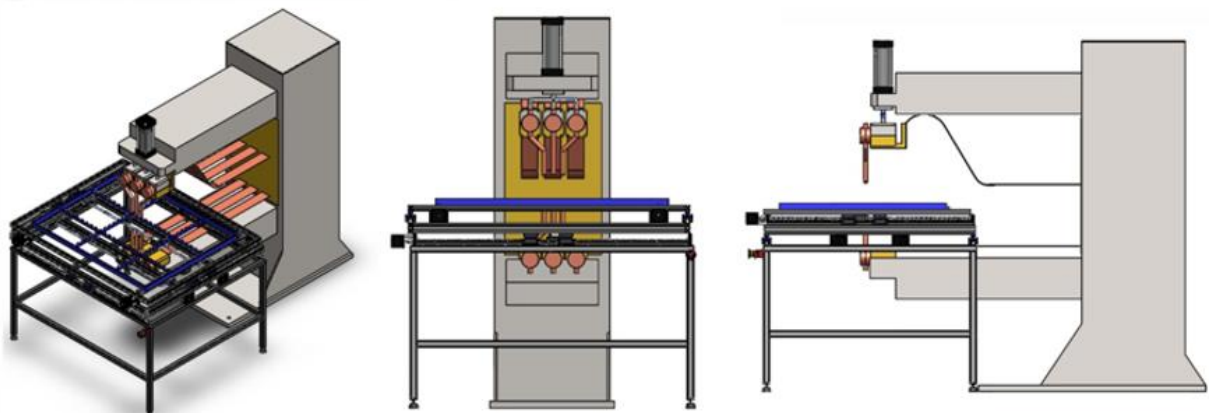
3.2 Planteamiento de Alternativas

3.2.1 Alternativa 1. Máquina Soldadora 1 Cilindro con Mesa Automática

Este tipo de sistema neumático funciona mediante un cilindro neumático que realiza el esfuerzo necesario para desarrollar tres puntos simultáneamente, manteniendo estática la matriz, a medida que se hace la unión se debe utilizar un transformador lo suficientemente potente para desarrollar el punto de soldadura, distribuyendo el calor de manera uniforme por el alambre, permitiendo que el tiempo de soldadura se reduzca pero aumentando los ciclos del cilindro, esto, disminuyendo la complejidad del sistema de control automático. Además, el bastidor estará acoplado a la máquina de soldadura reduciendo significativamente el espacio. Ver figura 7.

Figura 7

Alternativa 1 máquina soldadora automática



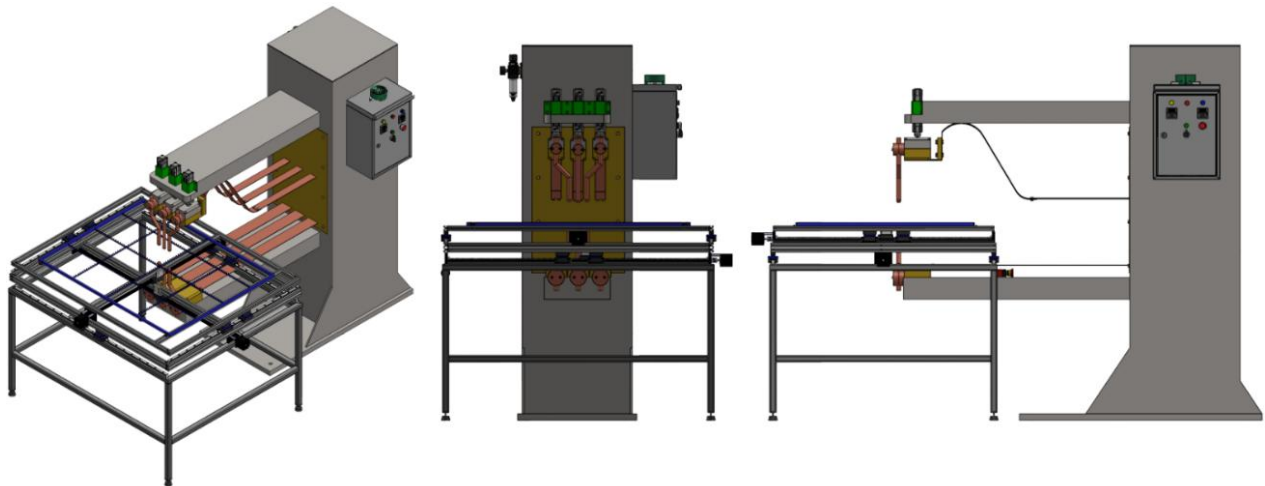
Nota. Elaboración propia.

3.2.2 Alternativa 2. Máquina Soldadora 3 Cilindros con Mesa Automática

Este tipo de sistema neumático funciona mediante tres cilindros neumático que realiza el esfuerzo necesario para desarrollar tres puntos de soldadura secuencialmente, a medida que se hace la unión se utiliza un transformador menos potente para desarrollar cada punto de soldadura, distribuyendo el calor de manera uniforme por el alambre, permitiendo que el tiempo de soldadura se reduzca, haciendo más fácil la solidificación de los puntos de la unión, esto, haciendo que cada punto se endurezca adecuadamente. Haciendo más complejo el control automático. Además, cuenta con una mesa independiente a la máquina soldadora lo que facilita el mantenimiento del equipo y su desmontaje, también se reduce considerablemente su peso. Ver figura 8.

Figura 8

Alternativa 2 máquina de soldadura mesa automática



Nota. Elaboración propia.

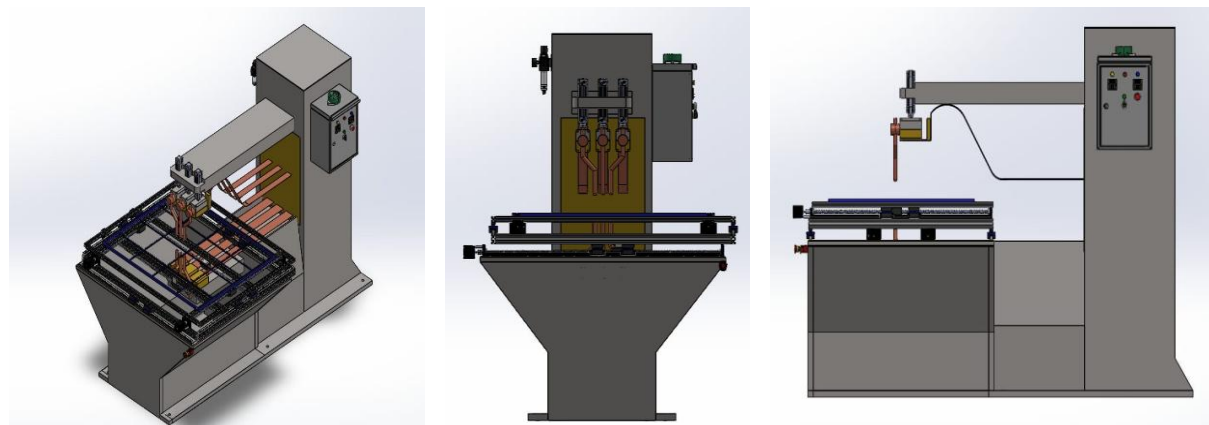
3.2.3 Alternativa 3. Máquina Soldadora 3 Cilindros con Mesa Tipo Prensa

Este tipo de sistema neumático funciona mediante tres cilindros neumáticos que realizan el esfuerzo necesario para desarrollar simultáneamente los puntos de soldadura. Está compuesta de

una mesa tipo prensa, lo que permite sujetar firmemente la malla durante el proceso de la unión. Para este diseño, se emplea un transformador de potencia adecuada, capaz de garantizar una distribución uniforme del calor en cada punto de la unión. Además, la mesa tipo prensa aporta mayor estabilidad al sistema, lo que hace que esta alternativa sea mucho más robusta y adecuada para aplicaciones que requieran alta precisión y resistencia en la estructura. Sin embargo, esta robustez incrementa el peso y el costo del equipo en comparación con las otras alternativas, lo que podría hacer que sea menos viable económicamente. Ver figura 9.

Figura 9

Alternativa 3 máquina de soldadura mesa tipo prensa



Nota. Elaboración propia.

3.2.4 Evaluación de Alternativas del Subsistema de Control

Al desarrollar la evaluación entre las tres alternativas resulto ganadora el sistema con tres cilindros y mesa independiente deslizante, esto por mayor comodidad, menor pérdida de material y la facilidad de movilizar el equipo, su resultado se evidencia en la tabla 9.

Tabla 9*Matriz QFD del equipo de soldadura automática*

Maquina soldadura spot welding	Prioridad	Subsistema neumático de un cilindro con mesa automática.		Subsistema neumático de tres cilindros con mesa automática.		Subsistema neumático de un cilindro con mesa prensa.	
	Valor	Resultado	Valor	Resultado	Valor	Resultado	
Mayor capacidad de producir mallas alambradas	9	7	63	7	63	7	63
Bajo consumo energético	8	7	56	5	40	8	64
Bajo costo de mantenimiento	7	4	28	5	35	3	21
Menor interacción con el equipo	6	4	24	4	24	4	24
Guardas de seguridad	5	3	15	4	20	2	10
Mayor facilidad de manipulación de material	4	2	8	4	16	2	8
Fácil de operar	3	6	18	7	21	7	21
Ergonómica	2	7	14	5	10	4	8
Buen Aspecto	1	6	6	8	8	6	6
Total			232		237		225

Nota. Se escoge la alternativa 2 que cuenta con un subsistema de 3 cilindros y una mesa automática XY independiente.

3.3 Funcionamiento Principal de la Máquina Soldadora Spot Welding

Se basa en un sistema que incluye un transformador, un cilindro neumático y una mesa que se desplaza en dos ejes. El proceso comienza cuando un operario coloca los alambres en ambas posiciones, formando una malla cuadrada en la matriz o molde. Luego, se posiciona el molde sobre

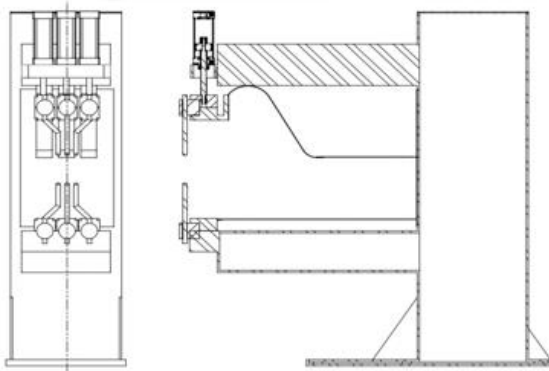
la mesa de movimiento lineal XY y se aprietan los tornillos de sujeción para asegurar que quede firme. Una vez que el molde está en su lugar, se selecciona en el sistema de control el paso que se utilizará para la creación de la malla. Junto con los motores paso a paso, la mesa se mueve en ambas direcciones, posicionándose en el punto inicial de acuerdo con el paso de la malla y el molde colocado. En este momento, el cilindro neumático inicia su operación de unión, alcanzando el punto de fusión para unir los cruces de los alambres. Posteriormente, el cilindro sigue la secuencia programada mientras la mesa se desplaza conforme a la misma secuencia, soldando cada uno de los puntos de la matriz. Esto permite unir todos los puntos de la malla. Cabe resaltar que este proceso se realiza secuencialmente. Finalmente, la malla producida se deja enfriar para regular la temperatura antes de ser retiradas y continuar con la producción.

En la figura 10 se presenta el esquema completo de la maquina soldadura tipo spot welding. En el apéndice M se evidencia el graficet del funcionamiento principal.

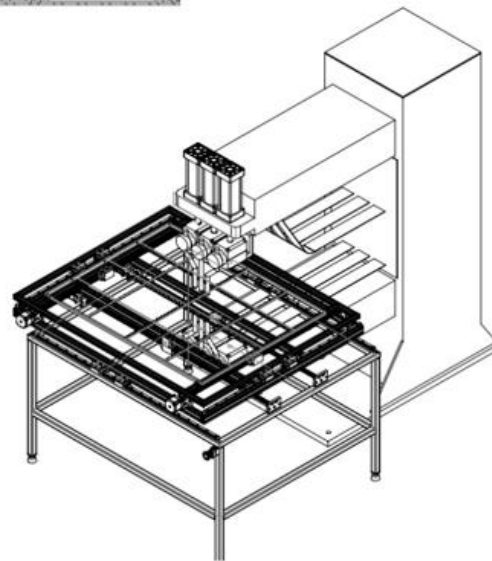
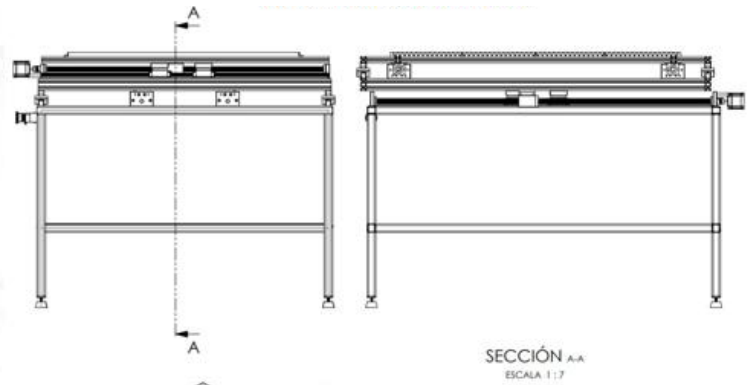
Figura 10

Alternativa 2 de equipo soldador automático con todos sus subsistemas

Sistema soldador automático



Sistema desplazamiento automático



Nota. Elaboración propia.

4. Diseño en Detalle

Dado el entorno industrial, es esencial que todos los elementos del equipo estén orientados a que no sea solamente resistente, sino también sencillo de operar en cuanto al desarrollo de tareas relacionadas al mantenimiento.

4.1 Diseño del Sistema Eléctrico

Teniendo en cuenta una alimentación de tensión de 220 V y una corriente primaria de 200 A. se plantea el diseño de un transformador capaz de convertir este voltaje en la corriente de 7400 A de salida con un número de vueltas de 2 en el embobinado de salida. Estos valores se utilizarán para soldar un cruce de alambres de acero de calibre 6 (5 mm). Ver apéndice F.

4.1.1 Cálculo Transformador

Considerando un transformador ideal, sin pérdidas, constituido por un devanado de entrada y un devanado de salida. Las relaciones entre el voltaje de entrada y el de salida, y entre la corriente de entrada y la de salida, se pueden ver en la tabla 10.

Tabla 10

Dimensionamiento del transformador

Dimensionamiento del transformador			
$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$ $\alpha = \frac{N_p}{N_s}$ $\frac{I_p}{I_s} = \frac{1}{\alpha}$			
Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
V_p	220	V	Voltaje primario

I_s	7400	A	Corriente secundaria salida del transformador
N_s	2	Vueltas	Número de vueltas embobinado secundario
I_p	200	A	Corriente primaria entrada del transformador
Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
N_p	74	Vueltas	Número de vueltas en el embobinado primario
V_s	6	V	Voltaje secundario

Nota. Elaboración propia.

Se puede concluir a partir de las ecuaciones que el número de vueltas que debe llevar el embobinado primario es de 74.

4.1.2 Cálculo de Potencia del Transformador

Para determinar la potencia del transformador se utilizan las siguientes ecuaciones, esto teniendo en cuenta tanto la corriente de entrada y de salida como el voltaje de entrada y salida calculadas anteriormente, además se utilice un factor de potencia establecido en 0.8 de acuerdo con los fabricantes, como límite alto para compensar las pérdidas de la alimentación de la red sugerido por los fabricantes de transformadores.

Cabe mencionar que la norma internacional ISO establece que la potencia en la placa del transformador debe ser potencia nominal 50 %, esta es la relación expresada en porcentaje del tiempo de paso de corriente respecto al tiempo total entre dos soldaduras consecutivas. A continuación, se evidencia en la tabla 11 el cálculo y las relaciones utilizadas.

Tabla 11

Dimensionamiento potencia del transformador

Dimensionamiento potencia del transformador			
$P_{in} = Vp * Ip * \cos(\alpha)$	$S_{int} = Vp * Ip$	$\alpha = \text{arc cos}(\text{factor}_p)$	
$P_{out} = Vs * Is * \cos(\alpha)$	$S_{out} = Vs * Is$	$Pot_{50\%} = Pot_{100\%} * 1.41$	
$P_{out} = P_{int}$	$S_{out} = S_{int}$	$Q = Vp * Ip * \text{sen}(\alpha)$	
Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
Vp	220	V	Voltaje primario
Vs	6	V	Voltaje secundario
Ip	200	A	Corriente primaria entrada del transformador
Is	7400	-	Corriente secundaria salida del transformador
$\cos(\alpha)$	0.80	° Grados	Factor de potencia
α	36.86	-	Ángulo entre voltaje y corriente primaria
$\text{Sen}(\alpha)$	0.60	-	Factor de potencia reactiva
Variables de Salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
Pot_{in}	35.20	Kva	Potencia entrada del transformador
Q	26.40	Kva	Potencia reactiva
S_{int}	44	Kva	Potencia aparente
$Pot_{50\%}$	62	Kva	Potencia nominal al 50 %

Nota. Elaboración propia.

4.2 Diseño del Sistema Neumático

Teniendo en cuenta que los cilindros neumáticos aplicados en la industria manejan presiones de trabajo estandarizadas de 6 a 8 bares, para la creación de una malla de 1.0 x 0.8 m con un paso de 40 x 40 mm se deben realizar 500 puntos, si por cada punto de soldadura demora 0.6 s, un solo cilindro debe realizar 31 ciclos por minuto con una carrera de 10 cm. además la fuerza máxima ejercida para aplicar en los electrodos es de 533 N. (Arango J. & Aragon F, 1987). En la tabla 12 se ve en mayor detalle su dimensionamiento.

Tabla 12

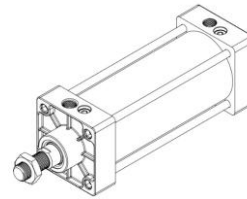
Dimensionamiento cilindro neumático

Dimensionamiento cilindro neumático

$$F_P = P_{aire} \cdot A_P$$

$$m = \frac{F_P}{g}$$

$$A_P = \frac{\pi}{4} (D_p)^2$$

**Variables de entrada**

Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
P_{aire}	6×10^5	Pa	Presión del sistema
N_{ciclos}	31	-	Cantidad de ciclos que realiza un cilindro en un min
g	9.81	m/s^2	Gravedad
$L_{carrera}$	100	mm	Longitud de la carrera

Variables de Salida

Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
D_p	33.63	mm	Diámetro del embolo
m	54.33	Kg	Carga necesaria aplicar
F_p	533	N	Esfuerzo que debe aplicar al momento de la unión

Nota. Elaboración propia.

4.2.1 Cálculo Diámetro Mínimo Falla por Pandeo

Para determinar el diámetro mínimo que garantice que el vástago no falle por pandeo se asume el material del vástago como acero, cuyo módulo de Young es 206.8 GPa. Ver tabla 13.

Tabla 13

Cálculo diámetro mínimo del vástago

Cálculo falla por pandeo

$$F_{Euler} = \frac{\pi^2 * E_{vástago} * I_{vástago}}{\eta * S_k^2} \quad S_k = 1.5 * L_{vástago} \quad I_{vástago} = \frac{\pi * D_{vástago}^4}{64}$$

Variables de entrada

Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
$E_{vástago}$	206800	N/mm^2	Módulo de Young
$L_{vástago}$	100	mm	Carrera vástago
S_k	150	-	Característica de Euler

η	5	-	Factor de seguridad
F_{Euler}	533	N	Esfuerzo necesario
Variables de Salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
I_{vast}	29.23	Pa	Momento de inercia del vástago
D_{vast}	4.94	mm	Diámetro del vástago

Nota. Elaboración propia.

4.2.2 Cálculo de Velocidad de Extensión y Retracción

Para determinar la velocidad de extensión y retracción del cilindro, se debe calcular el caudal de extensión y retracción de este mismo, y junto a los anteriores cálculos encontrar la relación de áreas. Conociendo esto se calcula las velocidades en la siguiente tabla 14.

Tabla 14

Cálculo falla por pandeo

Cálculo falla por pandeo			
$\beta = \frac{A_p}{A_a} = \frac{V_{ext}}{V_{Rec}}$	$Q_{Retroceso} = \frac{\pi}{4} * (D_p^2 - D_{va}^2) * L_{carrera} * (p + 1) * 1x^{-6}$		
$V_{ext} = \frac{Q_{ext}}{A_p}$	$Q_{Avance} = \frac{\pi}{4} * D_p^2 * L_{carrera} * (p + 1) * 1x10^{-6}$		
Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
D_p	33.63	mm	Diámetro del pistón
D_{va}	4.96	mm	Diámetro del vástago
$L_{carrera}$	100	mm	Carrera del cilindro
P	6	Bar	Presión de aire del sistema
A_p	888.26	mm ²	Área del pistón
A_a	645.57	mm ²	Área anular
Variables de Salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
β	1.37	-	Relación beta
Q_{ext}	37.20	Lpm	Consumo de aire en extensión

Q_{ret}	18	Lpm	Consumo de aire en retracción
V_{ext}	27.04	in/s	Velocidad de extensión
V_{rec}	18.30	in/s	Velocidad de retracción
Q_T	55.20	Lpm	Consumo de aire litro por minuto

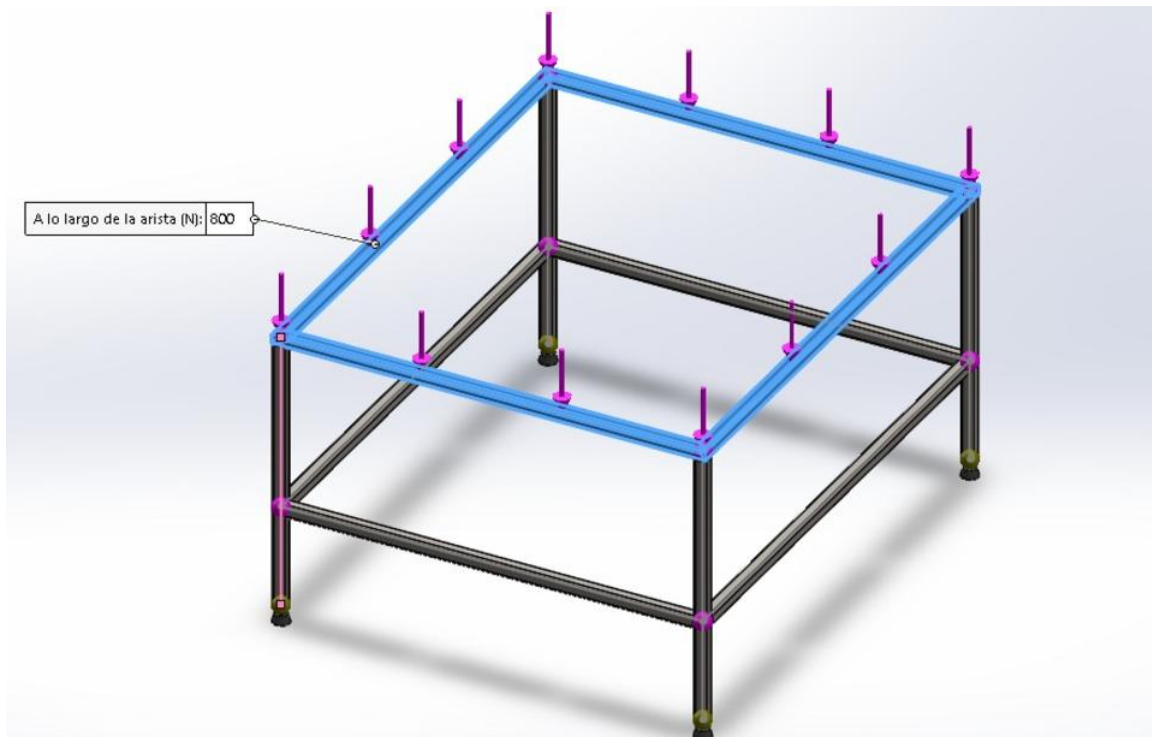
Nota. Elaboración propia. En el apéndice L.1 se encuentra la selección del cilindro neumático.

4.3 Diseño Estructural

La estructura del bastidor se encarga de soportar la matriz y la malla, juntos con los componentes que contiene, como el mecanismo de movimiento lineal. En la figura 11, se muestra el análisis estático realizado para la estructura con las reacciones generadas por una carga total de 267 N que involucra el peso de los elementos contenidos en ella, y se agrega otra carga de 533 N en la parte superior de la mesa de desplazamiento lineal ejercida por el contacto del electrodo y el alambre al momento de soldar el cruce de alambres, resultando en un peso combinado entre el sistema mecánico (soldador) y el sistema de desplazamiento (bastidor).

Figura 11

Cargas sobre estructura bastidor



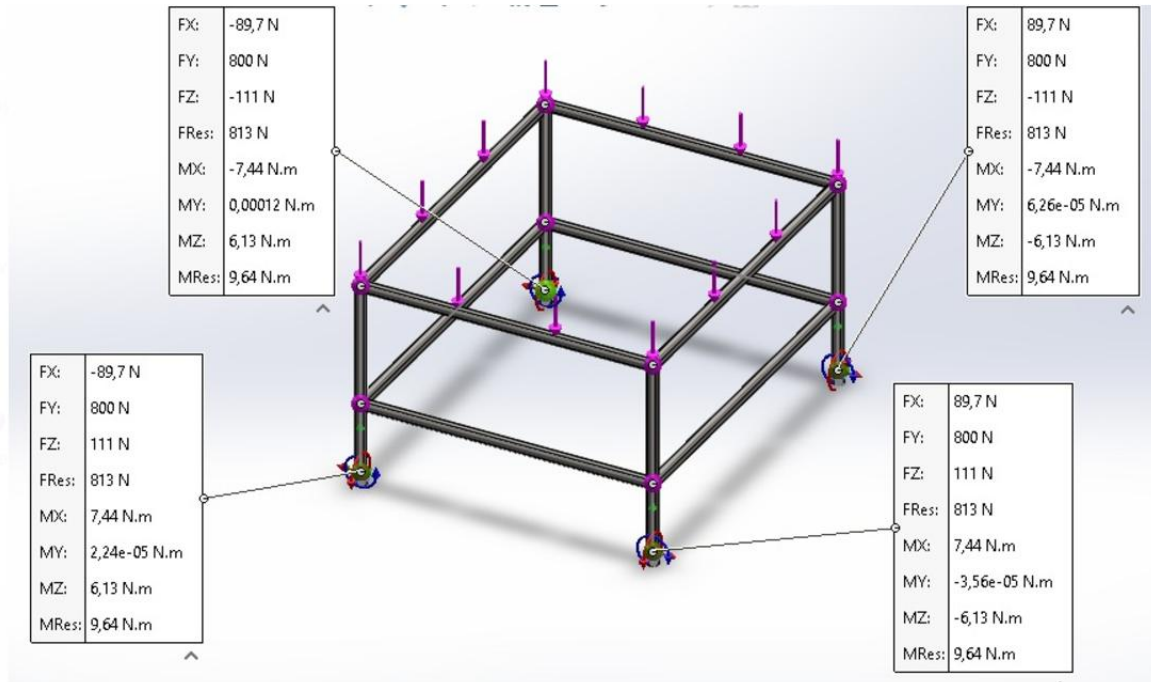
Nota. Elaboración propia.

Para el soporte estructural del bastidor se diseñó la estructura mostrada en la figura 12. Con el uso de SolidWorks se hace el análisis de resistencia. La estructura es sometida a una carga de 800 N generada por el peso de los elementos móviles, malla y matriz de la malla.

Las reacciones generadas en los soportes del bastidor se muestran en la figura 12.

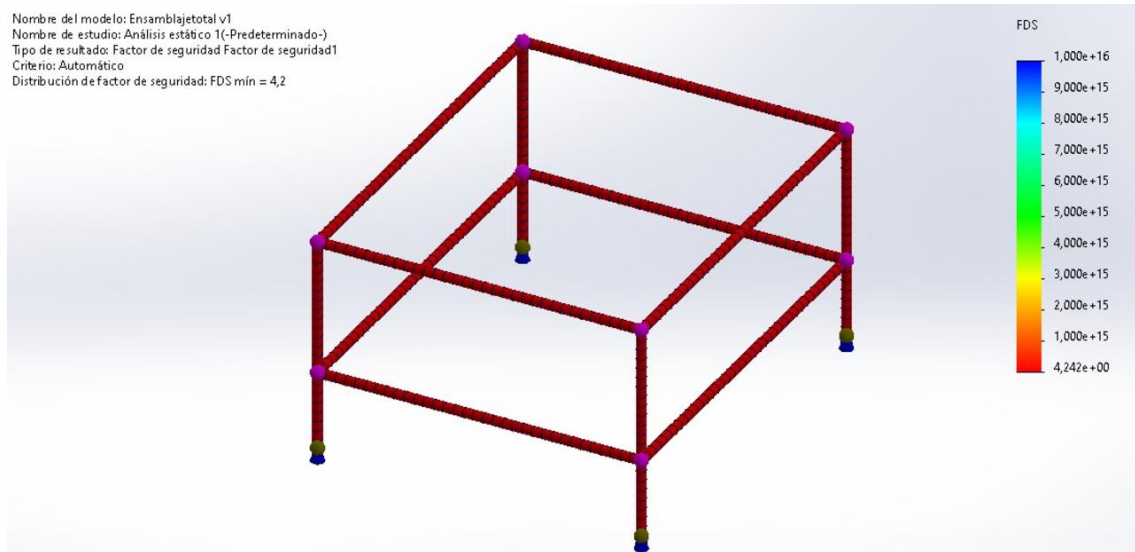
Figura 12

Reacciones generadas por la carga de la matriz y esfuerzo del cilindro



Nota. Elaboración propia.

Mediante el uso de SolidWorks se encontró que el factor de seguridad mínimo requerido que hay en el bastidor es de 4.2, con base a esto se verifica que el bastidor de la malla es capaz de soportar la carga real sin fallar. Se evidencia en la figura 13. El nivel de detalle se encuentra los planos en el apéndice Ñ.

Figura 13*Factor de seguridad mínimo del bastidor*

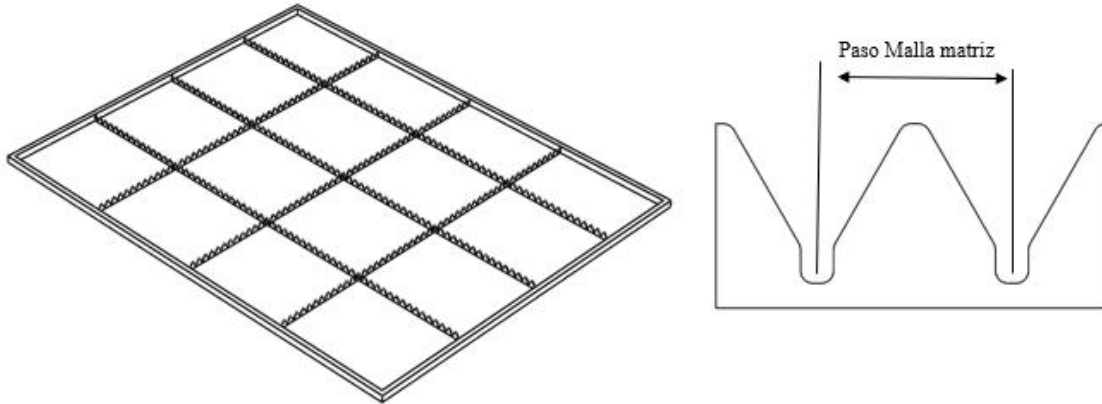
Nota. Elaboración propia.

4.3.1 Diseño de la Matriz

El diseño de la matriz presentado en la figura 14, tiene la función de posicionar el cruce de alambre adecuadamente, cuenta con un diseño con un patrón especial en las filas y columnas con un paso de 40 x 40 mm. Además, la forma de la matriz es en cola de milano permitiendo que en el momento de efectuar el punto de soldadura la malla no sufra deformaciones ejercidas por el esfuerzo del sistema neumático, Este diseño garantiza una forma más sencilla, rápida y adecuada de preparar cada malla. Las especificaciones y detalles de la matriz se encuentran adjuntos en el apéndice Ñ de los planos de la máquina soldadora.

Figura 14

Diseño de matriz de la malla

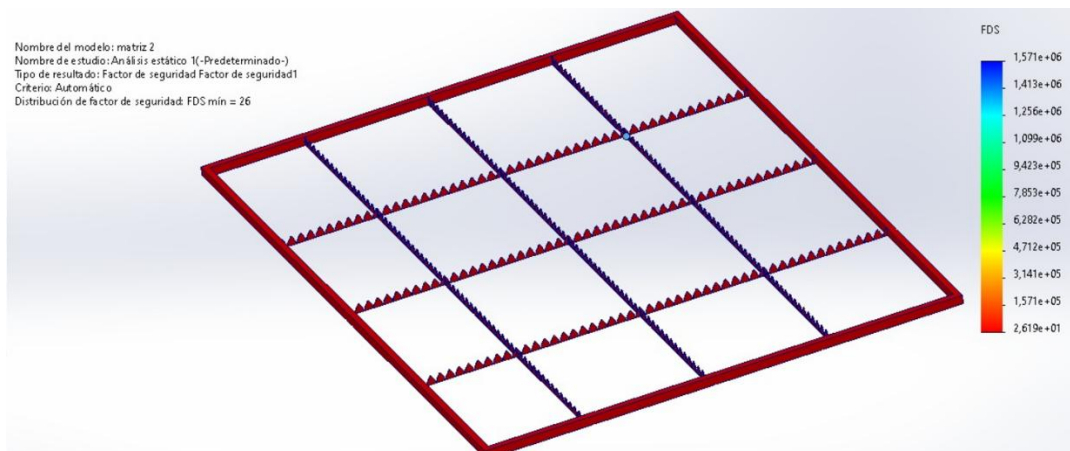


Nota. Elaboración propia.

Para verificar la resistencia, el esfuerzo de la matriz realizado por el cilindro neumático se determinó con el factor de seguridad por medio de Simulation de SolidWorks, este arrojó un factor de seguridad mínimo de 26, se evidencia en la figura 15.

Figura 15

Validación de la Matriz



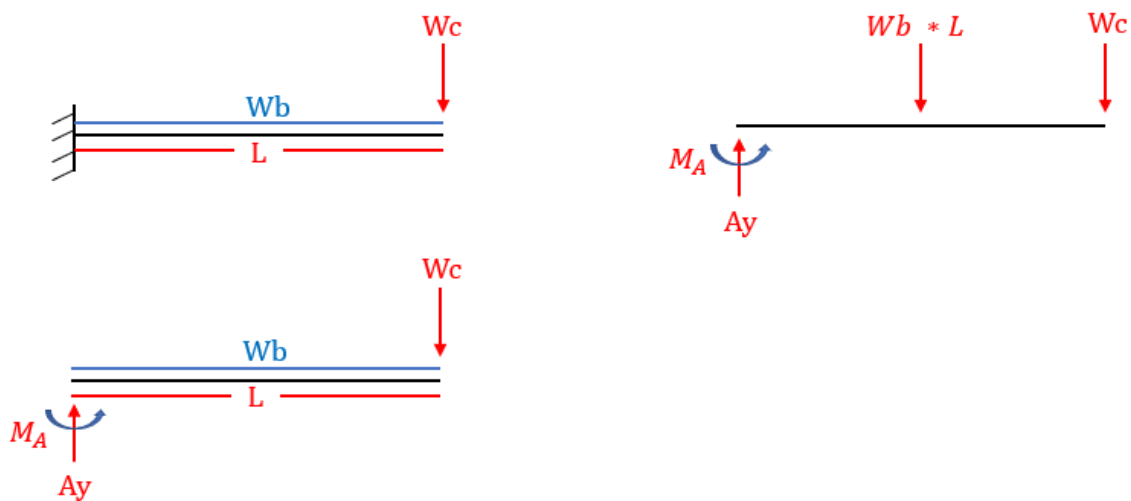
Nota. Elaboración propia.

4.3.2 Cálculo Longitud del Brazo Viga en Voladizo

Para determinar la longitud mínima del brazo de la máquina soldadora tipo spot welding multipunto, se realizó un cálculo basado en el modelo de una viga en voladizo. Esto permitió analizar las cargas aplicadas durante el proceso de soldadura, considerando tanto el peso de los componentes como las fuerzas generadas en la operación. Se evaluó el momento cortante y momento flector máximo bajo las condiciones de carga. A partir de estos cálculos, que se detalla en la tabla 15, se iteró una longitud mediante la deflexión de ella y se obtuvo una longitud que garantiza la estabilidad estructural y el adecuado desempeño funcional de la máquina en condiciones de trabajo. Ver figura 16.

Figura 16

Viga en voladizo con carga puntual en el extremo



Nota. Elaboración propia.

Tabla 15

Cálculo longitud del brazo viga en voladizo

Cálculo longitud brazo viga en voladizo

$$\sum M_A = Wb * L * \frac{L}{2} + Wc * L$$

$$\sum F_Y = 0 \quad A_Y = Wc + Wb * L$$

$$- M_A$$

Método de integración

$$M_A = \frac{Wb}{2} * L^2 * Wc * L$$

$$EIY'' = -M_A \langle X \rangle^0 + A_Y \langle X \rangle^1 - \frac{Wb}{2} \langle X \rangle^2$$

$$EIY' = -M_A \langle X \rangle^1 + \frac{A_Y}{2} \langle X \rangle^2 - \frac{Wb}{6} \langle X \rangle^3 + C1$$

$$EIY = -\frac{M_A}{2} \langle X \rangle^2 + \frac{A_Y}{6} \langle X \rangle^3 - \frac{Wb}{24} \langle X \rangle^4 + C1x + C2$$

Variables de entrada

Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
Wc	-	N	Peso del cilindro
Wb	-	N	Peso del brazo
L	0.90	m	Longitud del brazo

Variables de salida

Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
M_A	-	N	Momento
F_Y	-	N	Fuerza en y
A_Y	-	N	Fuerza en Ay
De	20	mm	Diámetro exterior del electrodo
L_p	34	mm	Distancia mínima entre puntos

Nota. Elaboración propia.

Método de integración

$$EIY'' = -M_A \langle X \rangle^0 + A_Y \langle X \rangle^1 - \frac{Wb}{2} \langle X \rangle^2$$

$$EIY' = -M_A \langle X \rangle^1 + \frac{A_Y}{2} \langle X \rangle^2 - \frac{Wb}{6} \langle X \rangle^3 + C1$$

$$EIY = -\frac{M_A}{2} \langle X \rangle^2 + \frac{A_Y}{6} \langle X \rangle^3 - \frac{Wb}{24} \langle X \rangle^4 + C1x + C2$$

Condiciones

$$x = 0 \quad y = 0 \quad C2 = 0$$

$$x = 0 \quad y' = 0 \quad C1 = 0$$

$$EIY = -\frac{M_A}{2} \langle X \rangle^2 + \frac{A_Y}{6} \langle X \rangle^3 - \frac{Wb}{24} \langle X \rangle^4$$

Se reemplaza en la ecuación anterior

$$EIY = -\frac{\left(\frac{Wb}{2} * L^2 + Wc * L\right)}{2} \langle X \rangle^2 + \frac{Wc + Wb * L}{6} \langle X \rangle^3 - \frac{Wb}{24} \langle X \rangle^4$$

$$Wb = \frac{Wb}{L}$$

$$EIY_c = -\frac{Wb}{4} * L^4 - \frac{Wc}{2} * L^3 + \frac{Wc}{6} * L^3 + \frac{Wb}{6} * L^4 - \frac{Wb}{24} * L^4$$

$$EIY_c = -\frac{Wb}{4} * L^3 - \frac{Wc}{2} * L^3 + \frac{Wc}{6} * L^3 + \frac{Wb}{6} * L^3 - \frac{Wb}{24} * L^3$$

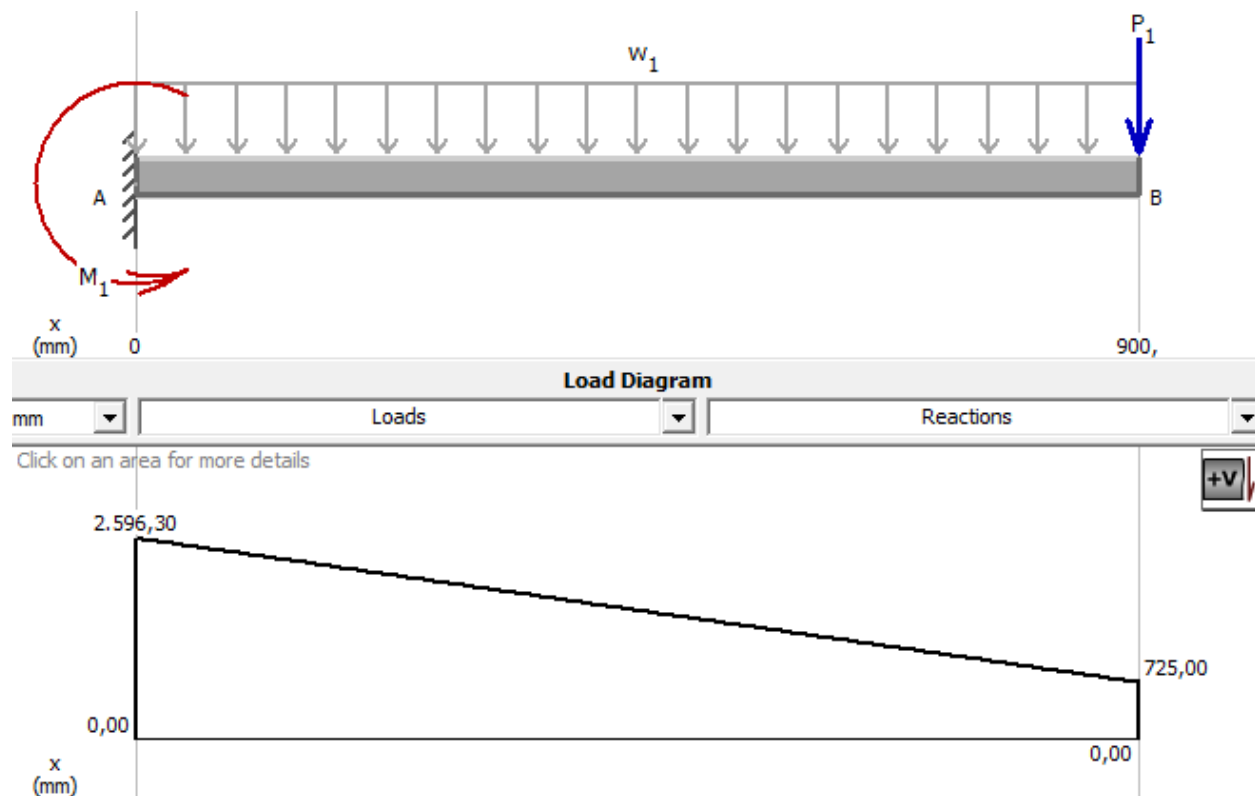
$$EIY_c = -\frac{1}{8} Wb * L^3 - \frac{1}{3} Wc * L^3$$

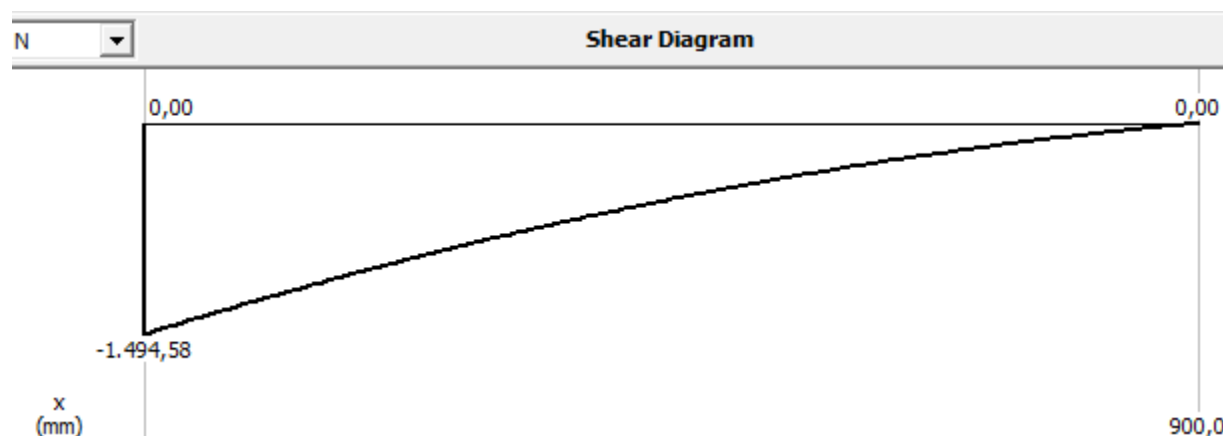
Para el análisis estructural del brazo de la máquina soldadora tipo spot welding multipunto, se utilizó el software MS Solids para simular las condiciones de carga y determinar los valores del momento cortante, momento flector máximo. En el modelo se consideraron los siguientes datos principales: el material del brazo es acero con un módulo de elasticidad de 200 GPa, una sección transversal cuadrada con dimensiones de 30 x 10 cm, y una longitud inicial estimada de 90 cm.

Las cargas aplicadas incluyen el peso de los componentes y una fuerza puntual de N. Ver figura 17.

Figura 17

Diagrama de fuerza cortante y momento flector del brazo





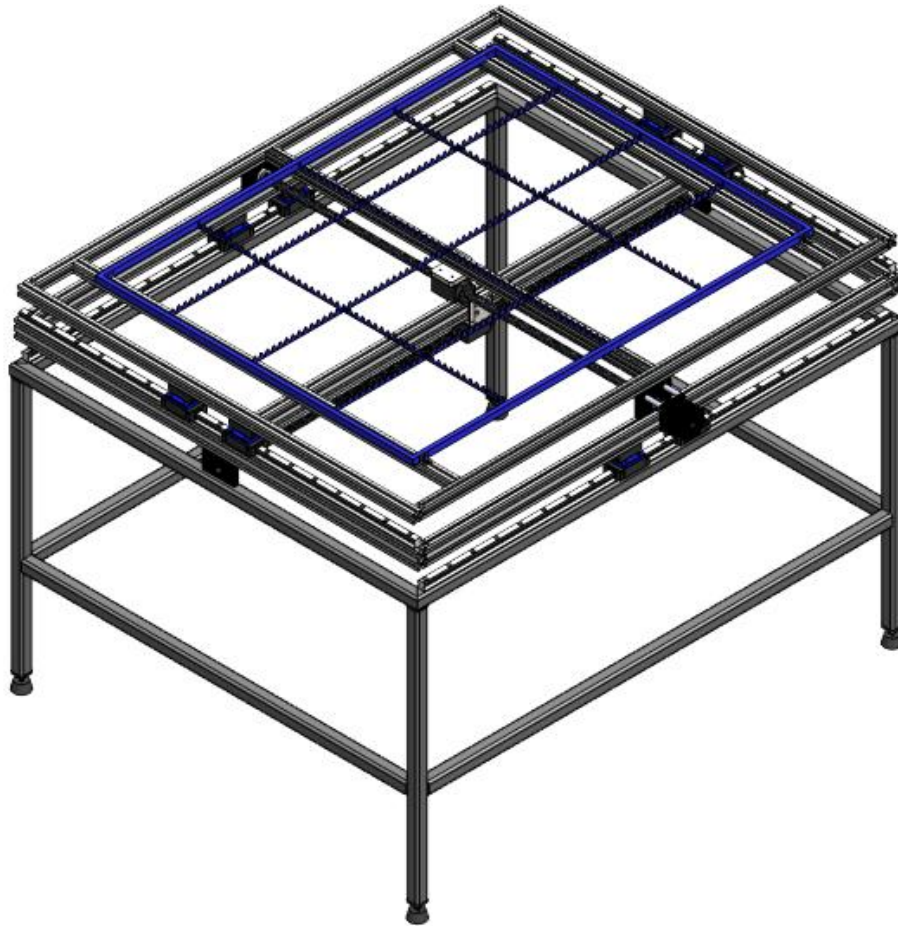
Nota. Elaboración propia.

4.3.3 Mecanismo para el Desplazamiento de la Matriz

El mecanismo presentado en la figura 18 tiene la función de permitir el desplazamiento de la matriz en ambas direcciones XY automáticamente, permitiendo llegar a todos los extremos de la matriz realizando cada punto de soldadura, el operario debe colocar y sujetar bien los pasadores antes de accionar el start de la máquina, esto le permitirá desplazarse hasta 1.0 m en el eje X y 0.8 m en el eje Y.

Figura 18

Mesa automática XY



Nota. Elaboración propia

4.3.4 Dimensionamiento Tornillo Sin Fin

El dimensionamiento del tornillo sin fin se detalla en la siguiente tabla del apéndice C. Donde se evidencia tanto el paso como la longitud del tornillo.

4.3.5 Cálculo de Reacciones del Tornillo

Considerando los cálculos anteriores se procede a calcular la fuerza axial sobre el tornillo en la siguiente tabla 16.

Tabla 16*Cálculo de fuerzas tornillo sin fin*

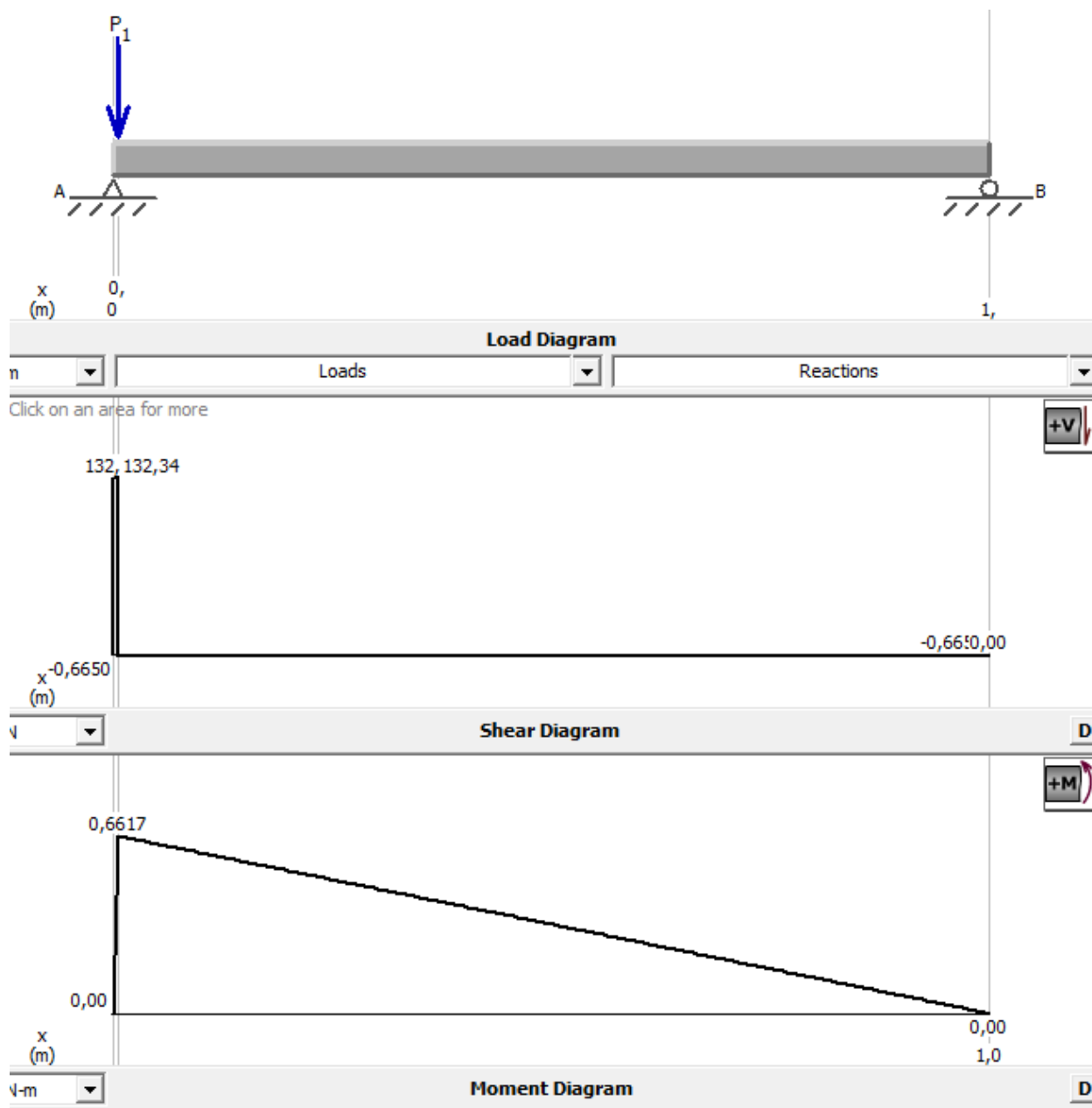
Cálculo fuerzas tornillo sin fin			
$n_{cr} = \frac{f_{ncr} * 10^6}{Long.R}$			$L = \left(\frac{C}{F_m}\right)^3 * 10^6$
$L_h = \frac{L}{n_m * 60}$			$F_{cp} = \frac{F_c}{2}$
$M_{ta} = \frac{F_l * Paso}{2000 * \pi * 0.9}$			$F_c = \frac{f_{Fc} * d_o^4}{Long.R^2}$
Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
$Carga_{total}$	800	<i>N</i>	Carga total
D_p	12.80	<i>mm</i>	Diámetro primitivo
Paso	5	<i>mm</i>	Paso del tornillo sin fin
n	199	-	Número de espiras
D_e	16	<i>mm</i>	Diámetro exterior
f_{ner}	12.10	-	Coefficiente según tipo de apoyo (2)
$Long.R$	1000	<i>mm</i>	Longitud del tornillo sin fin
Variables de Salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
n_{cr}	12100	<i>Rpm</i>	Revoluciones críticas
$n_{cr\ trabajo}$	9680	<i>Rpm</i>	Revoluciones de trabajo
M_{ta}	0.70	<i>Nm</i>	Torque necesario
F_c	1330	<i>N</i>	Fuerza axial admisible
L	176.61×10^6	<i>Rev</i>	Vida útil en revoluciones
L_h	9628	<i>h</i>	Vida útil en horas

Nota. Elaboración propia.

Junto a los datos obtenidos anteriormente, por medio de MDSolids 4.0. Los diagramas de cortante y momento flector en las direcciones “x” y “z” sobre el tornillo sin fin con una carga de 113 N, siendo este el peso de la malla y el sistema de desplazamiento se muestran en la figura 19.

Figura 19

Diagramas de cortante y momento flector en el plano "XZ"



Nota. Elaboración propia.

De acuerdo con los cálculos anteriores se requiere seleccionar un motor paso a paso sea capaz de realizar un torque mayor a 0.66 Nm y garantice el desplazamiento del sistema.

Se realiza la selección del conjunto de desplazamiento en XY, el cual, se componen de la guía lineal (husillo), el tornillo sin fin, los rodamientos y soporte. Cabe mencionar que se selecciona conjunto guía SKR46 A-0690/B-0580 de longitud 840 mm eje Y y SKR46 A-0790/B-0680 de longitud 940 mm para eje X, Ver figura 20.

Figura 20

Selección conjunto desplazamiento XY

Modelo No. Tipo A	Long. Riel exterior [mm]	Long Total [mm]	Distancia total entre centros [mm]	Masa total [Kg] Tipo A
SKR46 A-0190/B-0080	340	440.50	200	6.70
SKR46 A-0290/B-0180	440	540.50	300	8.10
SKR46 A-0390/B-0280	540	640.50	400	9.50
SKR46 A-0490/B-0380	640	740.50	500	10.90
SKR46 A-0590/B-0480	740	840.50	600	12.30
SKR46 A-0690/B-0580	840	940.50	700	13.80
SKR46 A-0790/B-0680	940	1040.50	800	15.20

Nota. Adaptado de THK, https://tech.thk.com/es/products/pdfs/en_a02_046.pdf

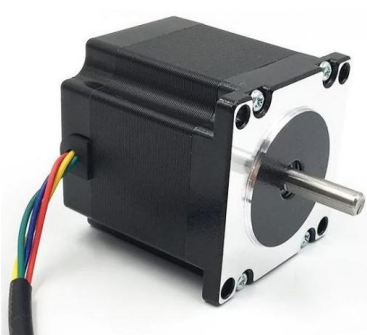
4.4 Diseño Control Eléctrico

El diseño del sistema de control eléctrico para la máquina soldadora tipo spot welding multipunto se centra en garantizar la precisión y sincronización en los movimientos de la mesa automática, así como en la activación adecuada del proceso de soldadura. Este diseño incorpora motores paso a paso seleccionados específicamente por su alta precisión en el posicionamiento, en este caso, motores NEMA 23 como se presenta en la figura 21 acoplados a un tornillo sin fin para convertir el movimiento rotativo en lineal. Además, los drivers TB6600 proporcionan una interfaz confiable para el control de los motores, permitiendo ajustar parámetros como el microstepping para lograr desplazamientos suaves y precisos. El sistema se gestiona mediante un controlador

PLC S7 - 1200, que coordina las señales de movimiento y temporización de los motores, asegurando que cada punto de soldadura se alinee correctamente con los pasos definidos en el diseño de la malla que tiene un paso de 40 mm. Las especificaciones técnicas y cálculos del motor se pueden observar en las tablas 17 y 18.

Figura 21

Motor stepper bipolar NEMA 23.



Nota. Tomado de Cimech 3D <https://www.cimech3d.cl/producto/motor-stepper-bipolar-nema-23-2n-m/>

Tabla 17

Especificaciones técnicas motor NEMA 23

Especificaciones técnicas	
Tipo de motor	Paso a paso bipolar
Ángulo desplazamiento	1.8°/paso
Torque	2 N.m
Voltaje de operación	3.06 V
Corriente máxima/fase	3 A
Resistencia de una fase	1 ohms
Inductancia	1.6 mH ± 20 % (1KHz)
Número de cables	4
Pasos por revolución	200

Nota. Adaptado de <https://www.cimech3d.cl/producto/motor-stepper-bipolar-nema-23-2n-m/>

Tabla 18*Cálculo diseño del control eléctrico del motor paso a paso*

Cálculo diseño control eléctrico			
$Mlp = \frac{Pt}{Pr}$		$Mlp \text{ (microstep)} = \frac{Pt}{Per}$	
$Per = Po * Dm$		$Pn = \frac{Pm}{Mlp}$	
VARIABLES DE ENTRADA			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
Mlp	0.025	mm/paso	Movimiento lineal por paso
Pr	200	Paso/rev	Pasos efectivos por revolución
Mlp (microstep)	0.00625	mm/paso	Movimiento lineal por paso (microstep)
Pn	1600	Pasos	Pasos necesarios
VARIABLES DE SALIDA			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
Pt	5	mm	Paso del tornillo
Per	200	Paso/rev	Pasos efectivos por revolución
Po	200	mm	Pasos originales
Dm	16	-	División del microstepping
Per	3200	Paso/rev	Pasos efectivos por revolución
Pm	40	mm	Paso de la malla

Nota. Elaboración propia

4.4.1 Descripción de Componentes y Conexión del Sistema de Control

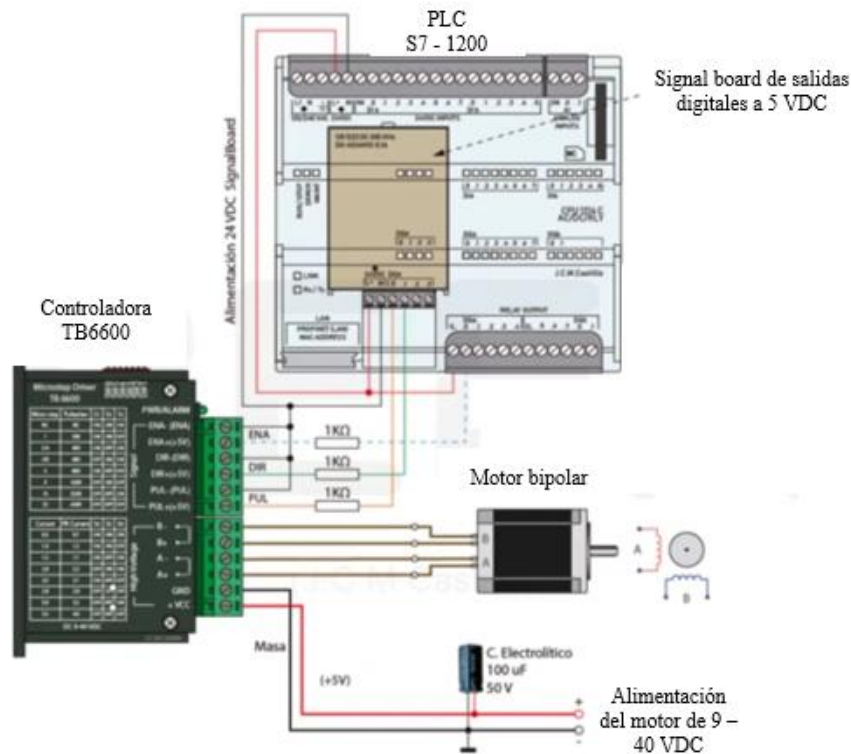
El sistema de control de la máquina soldadora requiere un mecanismo para el desplazamiento automático de la mesa de soldado en los ejes X e Y. Para esto, se ha implementado un sistema basado en un PLC Siemens S7-1200, con unos drivers TB6600 y motores paso a paso bipolares NEMA 23. Mediante estos componentes permite el control del posicionamiento de la matriz de la malla antes de ejecutar la soldadura en cada punto determinado.

En la Figura 22, se muestra el esquema de conexión entre el PLC Siemens S7-1200 AC/DC/RLY y el driver TB6600, encargado de alimentar y gestionar el movimiento del motor

paso a paso NEMA 23. El PLC S7- 1200 genera señales de control que definen la activación, la dirección y la cantidad de pasos que debe ejecutar el motor para posicionar la mesa de soldado.

Figura 22

Circuito de conexión PLC S7-1200 – Controladora TB6600



Nota. Adaptado de Juan Carlos Martín Castillo. (2018, 20 julio). *Motion Control: Control de un motor PaP con S7-1200 y controladora TB6600* [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=Lwe_ofOP1TI.

El driver TB6600 es el encargado de convertir estas señales en impulsos eléctricos adecuados para el motor paso a paso. Este driver permite trabajar con una alimentación de 9V a 40V DC. Por otro lado, incorpora una etapa de control de corriente para proteger el motor.

Para establecer la comunicación entre el PLC y el driver TB6600, se han configurado tres señales:

ENA (Enable): Hace habilitar o deshabilitar el driver, que facilita la activación y el apagado del motor cuando no se requiere movimiento.

DIR (Direction): Determina el sentido de giro del motor. Cuando esta señal está en estado alto (1), el motor gira en un sentido, y cuando está en estado bajo (0), el giro se invierte.

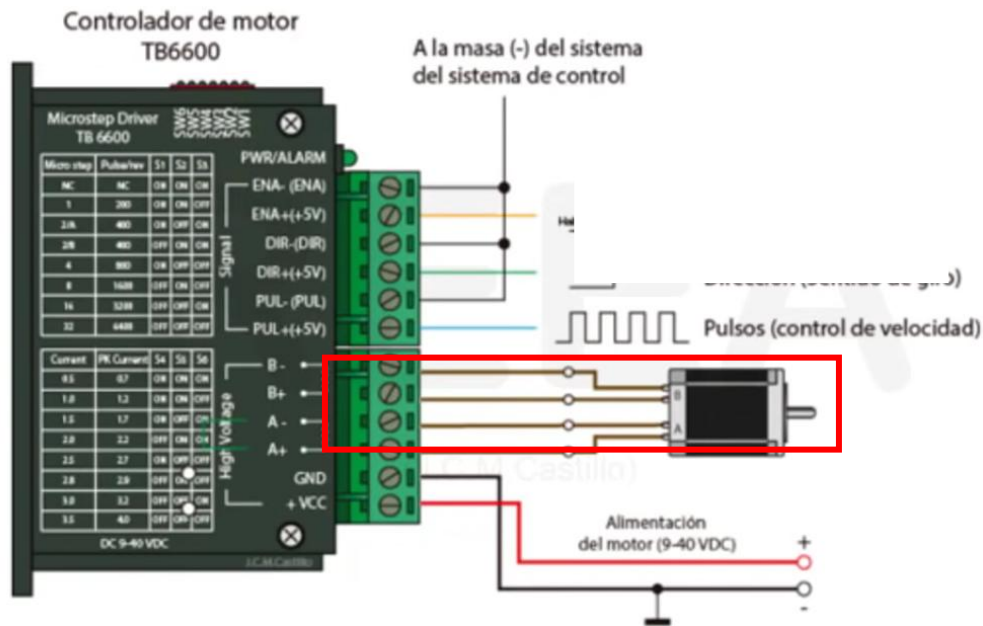
PUL (Pulse): Cada pulso enviado desde el PLC a esta entrada hace que el motor avance un paso. La frecuencia de los pulsos define la velocidad de giro del motor.

Para que exista una buena transmisión de señales, se han puesto resistencias de $1k\Omega$ en cada línea de señal (ENA, DIR y PUL), lo que limitan la corriente y protegen los circuitos electrónicos.

El motor NEMA 23 utilizado en la máquina soldadora es un modelo bipolar, con dos bobinas internas conectadas a los terminales A+ / A- y B+ / B- del driver TB6600 como se observa en la figura 23. Este motor es utilizado para aplicaciones de alta precisión en el posicionamiento, como lo es para mesas de trabajo en procesos de soldadura por puntos. El PLC se alimenta con 24 VDC, mientras que el driver y el motor reciben una alimentación independiente en el rango de 9 V a 40 VDC. Para mantener el voltaje y evitar variaciones de corriente suministrada al motor paso a paso, se agrega un condensador electrolítico de $100\mu F / 50V$ en la línea de alimentación del driver.

Figura 23

Circuito de conexión Controladora TB6600 y motor paso a paso



Nota. Adaptado de Juan Carlos Martín Castillo. (2018, 20 julio). *Motion Control: Control de un motor PaP con S7-1200 y controladora TB6600* [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=Lwe_ofOP1TI.

El sistema de control se basa en una lógica de control programada en el PLC Siemens S7-1200, utilizando el entorno TIA Portal. A través de esta programación, se genera una secuencia de movimientos coordinados para posicionar la mesa de soldado en cada punto de la malla antes de activar el transformador de soldadura. En el apéndice M.2 se puede observar un graficet sobre secuencia lógica que realiza el motor paso a paso.

4.4.2 Conexión Sistema Neumático del Proceso de Soldadura Spot Welding

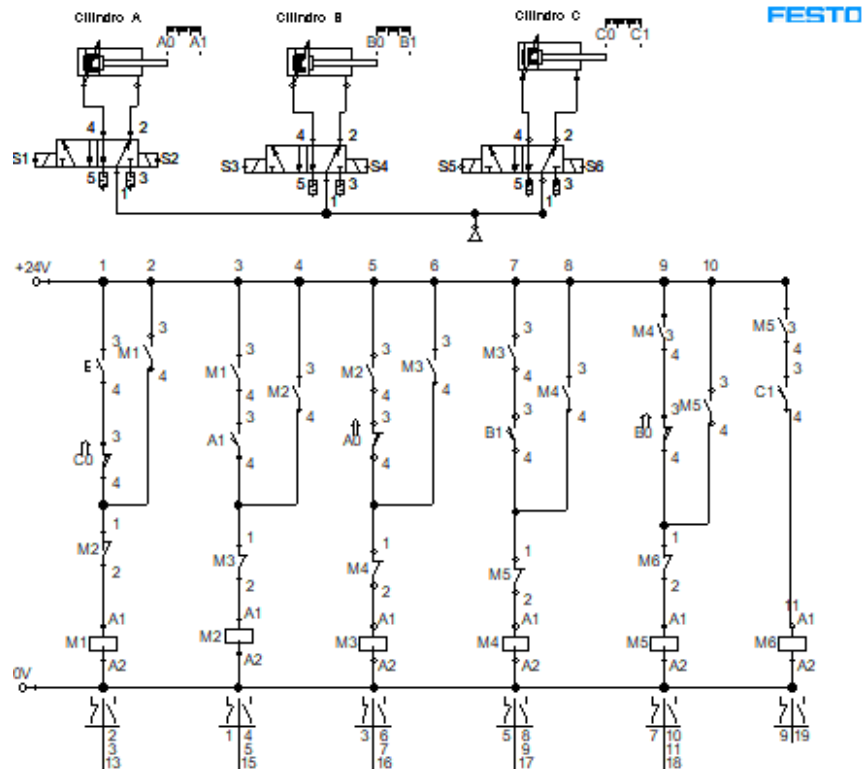
El sistema neumático de la máquina soldadora tipo spot welding controla la activación de los electrodos de soldadura de forma secuencial. Para validar su funcionamiento, se realizó una simulación en FluidSIM FESTO.

El sistema neumático está compuesto por cilindros neumáticos de doble efecto (A, B y C), que ejecutan la soldadura siguiendo la secuencia A+/A- B+/B-C+/C-. Cada cilindro es accionado por una electroválvula 5/2 con solenoide, permitiendo el movimiento controlado. El sistema de activación de las válvulas se realiza a través de electroválvulas con bobinas (M1, M2, M3, M4, M5 y M6), las cuales reciben una señal eléctrica desde el sistema de control para abrir o cerrar el paso de aire comprimido.

El circuito de control, programado en lenguaje Ladder en un PLC Siemens S7-1200, coordina la activación de los cilindros mediante relés, contactos y pulsadores, garantizando la correcta sincronización del proceso. Sensores de final de carrera (S1, S2, S3, S4, S5 y S6) detectan la posición de los cilindros y envían señales al sistema de control para verificar que la secuencia se ejecute correctamente. La alimentación eléctrica del sistema proviene de una fuente de +24V DC, que suministra energía a las electroválvulas y sensores. Ver figura 24. En el apéndice M.1 presenta la secuencia lógica que realiza el cilindro neumático por grafcet.

Figura 24

Diagrama neumático máquina RSW en FluidSIM FESTO



Nota. Diseño del sistema neumático. Elaboración propia. Ver circuito completo en el apéndice L.

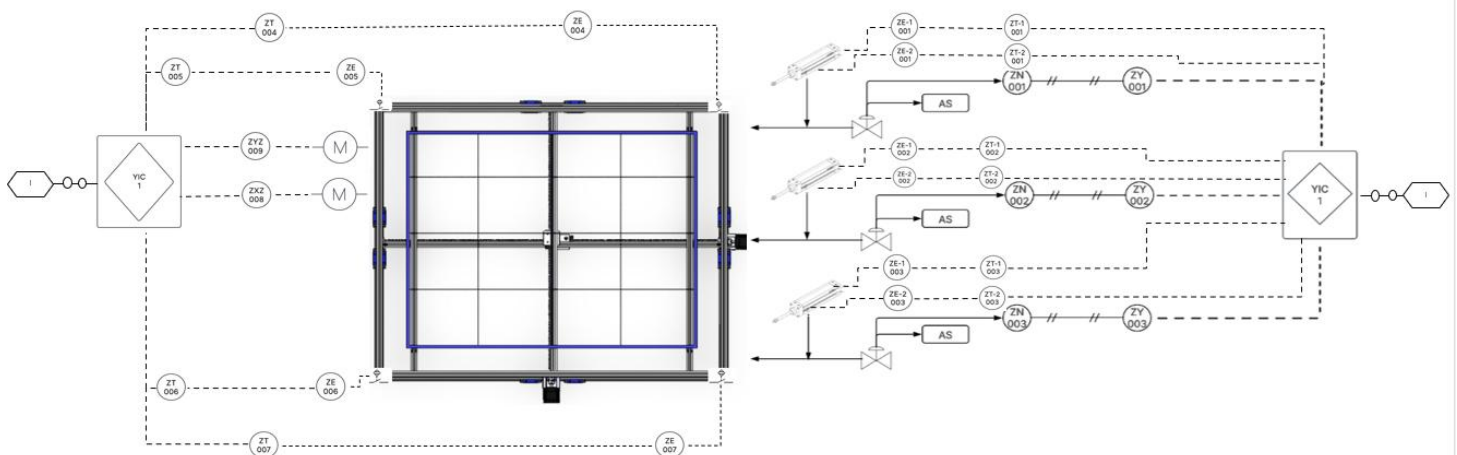
5. Diagrama P&ID del Proceso de Soldadura

Es una representación gráfica utilizada en ingeniería para describir los procesos industriales, mostrando la relación entre equipos, sensores, actuadores y sistemas de control. Este tipo de diagrama sigue la norma ISA 5.1, que estandariza los símbolos y nomenclatura para facilitar su interpretación.

A continuación, se presenta el diagrama P&ID del proceso de soldadura de la máquina spot welding multipunto, desarrollado de acuerdo con la norma ISA 5.1. Este diagrama ilustra la interacción entre los componentes principales, incluyendo motores, cilindros neumáticos, sensores y el sistema de control basado en un PLC. Ver figura 25.

Nomenclatura utilizada:

- YIC: PLC
- ZXZ: Motor eje x
- ZYZ: Motor eje y
- ZN: Cilindro neumático
- ZE: Sensor final de carrera
- ZT: Transmisor
- ZY: Sensor de posición del cilindro en y
- AS: Fuente de aire comprimido

Figura 25*Diagrama P&ID**Nota. Elaboración propia*

5.1 Narrativa de Proceso

La máquina soldadora tipo spot welding multipunto opera de manera automática mediante un PLC (YIC), que coordina los movimientos de la mesa de soldado y la activación de los cilindros neumáticos ZN. Inicia con los motores NEMA 23 ZXZ y ZYZ, ubicándolos en la posición de referencia (0,0). Antes de iniciar el movimiento, el sistema de control verifica las señales de los

sensores de final de carrera (ZE 004, ZE 005, ZE 006, ZE 007) para indicar que la mesa se encuentra en su posición inicial. Una vez realizada esta verificación, el motor ZXZ se activa y desplaza la mesa en la dirección X hasta la posición programada. Luego, el motor ZYZ mueve la mesa en la dirección Y. Una vez alcanzadas las posiciones establecidas, los motores retornan la mesa a la posición inicial (0,0).

Cuando la mesa este en posición, inicia la secuencia de activación de los cilindros neumáticos ZN de acuerdo con el siguiente orden: primero, el ZN 001+ avanza y luego ZN 001- se retrae, seguido por el avance de ZN 002+ y su posterior retorno ZN 002-. Por lo siguiente, el cilindro ZN 003+ avanza y finaliza con el retroceso ZN 003-. Durante este proceso, los sensores de final de carrera (ZE) monitorean la posición de la mesa y verifican que los motores ZXZ y ZYZ no sobrepasen los límites programados. Además, los sensores transmisores (ZT) supervisan variables clave del sistema para garantizar un funcionamiento seguro. Para la activación de los cilindros neumáticos se suministra una fuente de aire comprimido (AS).

Una vez finalizada la secuencia de soldadura y el retorno de los cilindros ZN a su posición inicial, la mesa vuelve a la posición (0,0) y el sistema queda listo para un nuevo ciclo. Si se requiere, el operador puede reiniciar el proceso mediante el PLC (YIC).

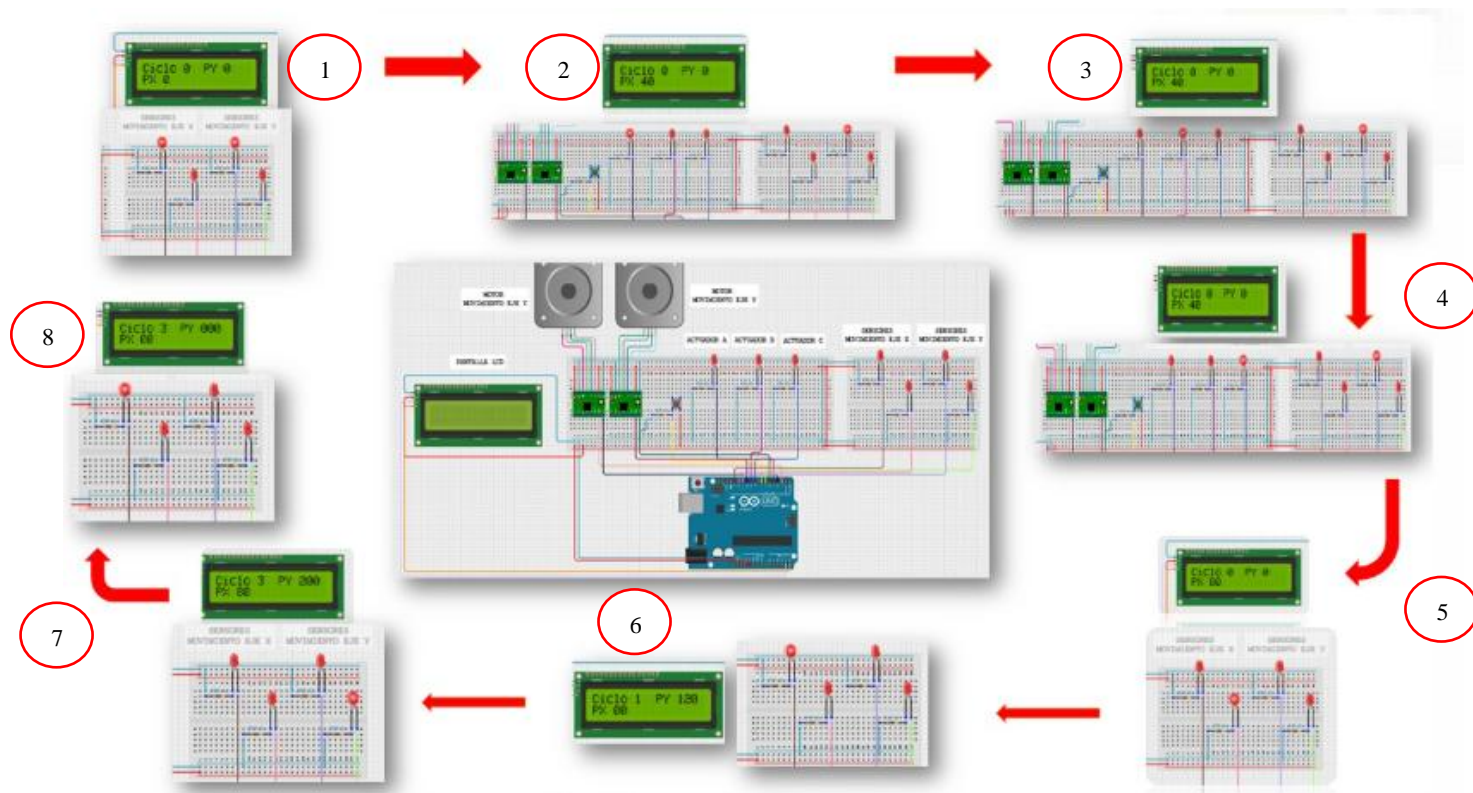
6. Validación del Sistema de Soldadura

En la figura 26 se muestra la secuencia automática que realiza para la producción de una malla alamburada. Mediante el software de arduino, la simulación consta de siete luces led, cuatro representados como finales de carrera y tres representando los actuadores lineales, visualizando el accionamiento de cada uno con ello siguiendo la secuencia A+/A-B+/B-C+/C-, dos motores paso a paso, uno para el eje X y el otro para el eje Y. Además cuenta con su conexión al driver

A4988. También tiene una pantalla LCD, la cual, presenta los ciclos realizados y la distancia recorrida por el motor paso a paso en X y Y. Adicionalmente cuenta con un botón de start que da la orden de iniciar el proceso de producción de la malla alamburada.

Figura 26

Validación de la secuencia por software Arduino



Nota. 1. Posición inicial, sensor de posición en X1 y Y1 activados, 2. desplazamiento de 40 mm por motor paso a paso y ejecución del actuador 1, 3. ejecución del actuador 2, 4. ejecución del actuador 3, 5. desplazamiento de 40 mm por motor paso a paso y activación de sensor de posición X2, además de activar motor paso a paso Y que se desplaza 40 mm, luego activación secuencia de ejecución de acusadores, 6. desplazamiento de 40 mm en 40 mm, ejecutando la secuencia de los cilindros neumáticos hasta llegar y activar al sensor de posición X1, además de accionando motor de desplazamiento en Y por 40 mm y activando secuencia de ejecución de actuadores, realizando

un ciclo, esto hasta realizar todos los ciclos, 7. activación sensor de posición Y2 mostrando que es el último ciclo que realiza, 8. finalización de creación de malla, desplazando motor en X y motor Y a su posición inicial y dejando en esperar el accionamiento del start para volver a realizar la creación de otra malla.

7. Análisis de Viabilidad Económica

Para la elaboración del análisis tecnoeconómico de la máquina soldadora tipo spot welding multipunto para la fabricación de mallas alambros se tomaron en cuenta los distintos costos involucrados en la construcción de la máquina para definir la inversión realizada en la adquisición del equipo. En las siguientes tablas se muestra de una manera más detallada la naturaleza de los costos.

7.1 Costos de Materiales

El costo total por concepto de la adquisición de los materiales se muestra en la siguiente tabla. Cabe resaltar que los costos relacionados en la lista tienen incluido los valores por maquinado para la construcción de cada una de las piezas que compone la máquina.

Tabla 19

Costos materiales máquina soldadora spot welding

Costos de materiales			
N°	Referencia	Valor	Unidad
1	Materiales subsistema mecánico	5.772.450	\$COP
2	Materiales subsistema electrónico	2.686.102	\$COP
3	Materiales subsistema eléctrico	1.040.000	\$COP
4	Materiales subsistema neumático	4.142.400	\$COP
TOTAL		13.640.952	\$COP

Nota. Elaboración propia.

En el apéndice K se puede ver a detalle los costos asociados a materiales.

7.1.1 Costos de Montaje

El costo total por montaje del equipo se relaciona en la siguiente tabla.

Tabla 20

Costo de montaje

Costo de montaje			
Ítem	Referencia	Valor	Unidad
1	Costo de manufactura	1.000.000	\$COP
2	Corte láser para piezas de la máquina	300.000	\$COP
3	Soldadura	200.000	\$COP
4	Montaje mecánico	1.500.000	\$COP
5	Montaje eléctrico	1.000.000	\$COP
6	Montaje electrónico	1.000.000	\$COP
7	Montaje neumático	1.000.000	\$COP
TOTAL		6.000.000	\$COP

Nota. Elaboración propia.

7.1.2 Costo Total

A continuación, se muestra una tabla donde se relaciona los costos totales de la máquina soldadora tipo spot welding.

Tabla 21

Costo total proyecto

Costo total			
Ítem	Referencia	Valor	Unidad
1	Materiales subsistema mecánico	5.772.450	\$COP
2	Montaje subsistema mecánico	3.000.000	\$COP
3	Materiales subsistema eléctrico	1.040.000	\$COP
4	Montaje subsistema eléctrico	1.500.000	\$COP
5	Materiales subsistema electrónico	2.686.102	\$COP
6	Montaje electrónico	1.000.000	\$COP
7	Materiales subsistema neumático	5.022.400	\$COP

8	Montaje neumático	1.000.000	\$COP
	Subtotal	20.520.952	\$COP
9	Imprevistos (5%)	1.026.047	\$COP
	TOTAL	21.547.000	\$COP

Nota. Elaboración propia.

7.2 Estudio de Viabilidad

Para determinar la viabilidad que tiene la inversión realizada en la adquisición de la máquina soldadora tipo spot welding para la fabricación de mallas alambradas se hace uso de la información mostrada por el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), estos se obtuvieron mediante un análisis de los flujos de caja proyectados.

7.2.1 Flujo de Caja Proyectado

Se trazó un flujo de caja a tres años, donde se consideraron las entradas de dinero por venta de mallas alambradas y salidas asociados a mantenimiento, costo energético y salario de un operario de la máquina. Ver tabla 22.

Además del ingreso por venta de mallas alambradas, se tuvieron en cuenta egresos por mantenimiento de la máquina, salario del operario, materia prima y el costo energético. El flujo de caja proyectado con una periodicidad mensual se puede ver en el apéndice K. Los costos obtenidos por consumo energético se muestran en el apéndice K, además del salario del operario se puede obtener en el apéndice K.

Tabla 22

Flujo de caja anual

# Periodo	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3
Inversión	\$22.000.000	-	-	-
Pago		\$11.218.111	\$12.259.245	\$12.176.709
Capital		\$9.746.836	\$11.623.360	\$12.176.709
Saldo	\$22.000.000	\$12.253.894	\$629.803	-\$11.546.907
Interés		\$1.471.276	\$635.885	-
Ingresos				
Ventas		\$222.300.000	\$222.300.000	\$222.300.000
Precio venta x UND		\$95.000	\$95.000	\$95.000
Egresos				
Mantenimiento		\$2.200.000	\$2.200.000	\$2.200.000
Salario operario		\$26.972.820	\$27.889.895	\$28.868.831
Costo energético		\$32.913.336	\$32.913.336	\$32.913.336
Gastos operativos		\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000
Flujo relacionado a la caja		\$136.213.844	\$135.296.768	\$134.317.833
Saldo para la cuota (9%)		\$12.259.246	\$12.176.709	\$12.088.605
Flujo de caja	-\$22.000.000	\$73.826.910	\$74.826.523	\$75.893.562

Nota. Elaboración propia.

7.2.2 Valor Presente Neto y Tasa Interna de Retorno

El valor presente neto (VPN) es un indicador que mide la riqueza que genera el proyecto visualizado en un valor presente. Se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{V_T}{(1+k)^t} - I_0$$

Donde V_T representa el flujo de caja neto efectivo en cada mes, I_0 es la inversión inicial, n número de periodos considerados, k tasa equivalente al costo de capital. El VPN debe ser mayor a cero (0) para que el proyecto tenga índices de rentabilidad.

La tasa interna de retorno (TIR) es la tasa de descuento que hace que el VPN sea igual a cero, representando la rentabilidad esperada del proyecto. Si la TIR es mayor que la tasa de descuento o la tasa mínima aceptable de rendimiento, el proyecto se considera atractivo.

Una vez realizado el flujo de caja se procedió a calcular el VPN y la TIR del proyecto para los valores estimados anteriormente, en la tabla 23 se muestran los valores obtenidos correspondientes.

Tabla 23

Valores obtenidos del VPN y TIR

Parámetro	Valor	Unidades	Descripción
i_m	0,75	%	Tasa de interés mensual
i_{EA}	9,50	%	Tasa de interés efectiva anual Banco de la República
VPN	58.702.598	\$COP	Valor Presente Neto
TIR	27,88	%	Tasa Interna de Retorno

Nota. Elaboración propia.

7.2.3 Payback

El periodo de recuperación de capital, conocido como Payback, corresponde al primer periodo en el que el flujo neto acumulado supera la inversión inicial, es decir, el momento en que la inversión es completamente recuperada. Para este proyecto, el Payback se alcanza en el segundo año, lo que significa que, tras la inversión inicial, la implementación de la máquina soldadora tipo spot welding multipunto, la inversión se recupera a partir de ese momento. Para esto, se consideró el tiempo que le tomaría al cliente recuperar su inversión, utilizando como referencia la tasa interés efectivo anual del Banco de la República, establecida en 9.50 % EA para el año 2025.

8. Conclusiones

Se diseñó una máquina soldadora tipo spot welding multipunto, con capacidad para fabricar mallas alambradas de 1.0 x 0.8 m, cumpliendo con los requerimientos establecidos. El diseño abarcó cuatro módulos principales: estructural, eléctrico, neumático y de control. Donde, el módulo estructural está conformado por un bastidor de perfil cuadrado de 30x30x2.6 mm, con un factor de seguridad de 4.2, garantizando la estabilidad y resistencia de la máquina, el módulo eléctrico incluye un transformador de 63 KVA, diseñado para suministrar una densidad de corriente de 55.75 A/mm², necesaria para fundir un cruce de alambre de calibre 6 en un tiempo de 0.64 s. Para lograrlo, además cuenta con un embobinado primario de 74 vueltas y un secundario de 2 vueltas, capaz de conducir una corriente de 7400 A en el embobinado secundario.

El módulo neumático está compuesto por un cilindro neumático, capaz de ejercer una fuerza de 533 N, suficiente para unir los cruces de alambre sin aplastar los elementos durante la fusión, asegurando que el proceso de deformación se mantenga dentro de la fase elástica.

Se seleccionó el sistema automático basado en motores NEMA 23 y controlado mediante un PLC Siemens S7-1200 que permitió la selección de un kit de desplazamiento compuesto de un módulo lineal de guía lineal SKR46 motorizado para el desplazamiento lineal de la mesa de soldado en los ejes X y Y, asegurando la correcta alineación y posicionamiento de los puntos de soldadura.

El presupuesto para la implementación de la máquina soldadora es de \$ 21.547.000. Se realizó el análisis de viabilidad económica teniendo en cuenta los ingresos y egresos tomados para la fabricación de mallas alambradas. Se obtuvo un periodo de retorno de capital en los primeros dos años, con una TIR de 27,88% que indica un balance positivo para la inversión y valor presente

neto VPN de \$ 58.702.598. Se concluye que la inversión para la implementación de la máquina soldadora tipo spot welding es viable económicamente.

La propuesta de este proyecto presenta una alternativa viable y de menor costo en comparación con las máquinas importadas, lo que favorece la competitividad del sector metalmeccánico local. Adicionalmente, se identificó un alto potencial de crecimiento en el mercado nacional y local, tanto para la producción de equipos de soldadura multipunto como para la fabricación de mallas bajo este esquema automático. Esto representa una oportunidad de desarrollo para futuras investigaciones y proyectos orientados a la mejora del sistema de alimentación de la máquina, con el objetivo de aumentar su competitividad en el mercado, permitiendo la fabricación de mallas con diferentes calibres y dimensiones.

9. Recomendaciones

El diseño de la maquina soldadora tipo spot welding multipunto, se ajustó a los requisitos operativos encontrados en la industria de fabricación de mallas alambradas, y en un ambiente controlado. Para futuras modificación, se presentan la siguiente consideración:

- Para futuros diseños enfocados por la alta demanda de equipos de naturaleza automática, se recomienda la implementación de un sistema de alimentación automático, capaz de posicionar con precisión cada uno de los alambres que conforman la matriz en un cruce de cruz. Este sistema no solo garantizaría la colocación exacta de los elementos, sino que también mejoraría la precisión en la entrega al sistema de soldadura, reduciendo la necesidad de intervención manual y minimizando errores de alineación y otros errores humanos. Además, esta implementación contribuiría significativamente a la reducción de los tiempos muertos dentro del proceso productivo, mejorando tanto la demanda como la oferta asegurando un flujo de trabajo más continuo y preciso.

- En caso de requerir la fabricación de mallas más grandes, con diferente paso, diferente calibre de alambre, y al mismo tiempo reducir el tiempo de producción, es necesario rediseñar los pisadores y adaptar un molde que permita la fabricación de dos o más tipos de mallas según la demanda. Esto permitiendo una mayor flexibilidad en la producción, reduciendo tiempos del proceso.

Además, se recomienda ajustar los parámetros del transformador, determinando la potencia y la corriente necesarias para la junta, así como adecuar la cantidad de pisadores requeridos a usar, también implementar ya sea un sistema de operación simultánea o secuencial, según las necesidades del proceso y la carga del transformador.

- El diseño de la maquina soldadora tipo spot welding no contempla un sistema de adquisición de datos, por lo que, se recomienda que para mejorar el control de soldadura se sugiere la adaptación de sensores de temperatura, corriente y presión, esto permitiría realizar un monitoreo en tiempo real del proceso de soldadura, garantizando la calidad de los puntos de la unión y evitando sobrecalentamiento que pueda afectar la vida útil de los electrodos, además considerar un sensor ultrasónico con el fin de colaborar la distancia recorrida de los motores paso a paso.

Referencias Bibliográficas

- Abad F. & Bisbe J. (2009). Manual de soldadura por resistencia.
- Arango J & Forero F. (1987a). Diseño y construcción de un soldador de punto.
- Ashby, M., Shercliff, H., & Cebon D. (2007). Materials: engineering, science, processing and design. [https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/tdg/TEKNOLOGI%20REKAYASA%20MATERIAL%20PERTAHANA%20N/Materials_%20Engineering,%20Science,%20Processing%20and%20Design%20\(%20PDFDrive%20\).pdf](https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/tdg/TEKNOLOGI%20REKAYASA%20MATERIAL%20PERTAHANA%20N/Materials_%20Engineering,%20Science,%20Processing%20and%20Design%20(%20PDFDrive%20).pdf)
- Chapman, S. (2012). Máquinas eléctricas.
- Cobyma. (2022). Materiales para electrodos, cobre aleado, tungsteno, cobre-tungsteno y molibdeno. <https://fundicion-cobre-bronce.com/materiales-para-electrodos.html>
- E. N. Flórez, E. E. Espinel &, & J. E. Barbosa. (2019). Desarrollo de un soldador por puntos para el laboratorio de proceso de manufactura de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. *Revista Ingenio*, 16(1), 30–35. <https://doi.org/10.22463/2011642x.2389>
- Jawad, S., Abdul, M., Kent, B., Torbjörn, C., & Nazar, U. I. (2012, enero). Nugget Formation During Resistance Spot Welding Using Finite Element Model. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:536150/FULLTEXT01.pdf>
- Jeffus, L. (2012). Welding and Metal Fabrication. [https://dl.ojocv.gov.et/admin_/book/Welding%20and%20Metal%20Fabrication%20\(%20PDFDrive%20\).pdf](https://dl.ojocv.gov.et/admin_/book/Welding%20and%20Metal%20Fabrication%20(%20PDFDrive%20).pdf)

Juárez M, D. (2016). La electrónica aplicada en el proceso de soldadura por resistencia. Tesis de grado, 96, 8–12.

López Cortez, V. H. (2005). Inspección no destructiva por ultrasonido en soldaduras De puntos por resistencia (rsw) en aceros al carbono para Partes manufacturadas en la industria automotriz.

Montserrat Rodriguez Torres, J., Reta, C., Javier Ibarra Villegas, F., & Lomas, L. (2024). Review of non-destructive methods for the evaluation of resistance spot welding in the automotive industry. *Revista de Ciencias Tecnológicas (RECIT)*. <https://doi.org/10.37636/recit.v7n3e353>

Montenegro, G., & Yaguachi, M. (2020). Diseño, construcción y control de un prototipo de brazo robótico antropomórfico para la soldadura por punto de diferentes figuras, mediante el uso de cinemática inversa.

Peña Isabel Noemi Moya Rodríguez, J. P. T. M., & Navarrete López Luis Miguel Sc, I. M. (2024). Diseño y construcción de un módulo de control para una soldadura de resistencia por puntos.

Pinilla, L. (2024). Integridad y confiabilidad.

Pujota Dario & Chulga Edwin. (2019). Diseño y construcción de una máquina para fabricar malla de alambre de forma romboidal de 2m de alto y 10m de ancho con un eslabón de 50mm.

Raut, M., & Achwal, V. (2014). Optimización de parámetros de soldadura por puntos por resistencia para máxima tensión fortaleza. En *En t. J. Mech. Ing. y Rob. Res.* www.onlinedoctranslator.com

Apéndices

Apéndice A. Materiales Utilizados para los Electrodo

K.201 Cobre-Cromo: Es el más comúnmente utilizado para la soldadura por puntos y especialmente en electrodos de forma.

K.202 Cobre-Cromo-Circonio: Se utiliza para roldanas y electrodos rectos o ligeramente curvados en la soldadura por puntos de chapa de acero dulce, y en general para aceros recubiertos.

K.204 Cobre-Cadmio: Se utiliza para la soldadura por resistencia de aluminio y aleaciones ligeras.

K.302 Cobre-Cobalto-Berilio: Para la soldadura por puntos y por roldanas de acero inoxidable y acero refractario, así como, en general, para la soldadura por protuberancias y a tope.

K.304 Cobre-Berilio-Cobalto: Para ciertas mordazas de soldadura a tope y electrodos que soporten grandes presiones.

KW.11 Sinterizado de Cobre-Tungsteno: Para revestimientos de electrodos de soldadura por protuberancias.

KW.12 Sinterizado de Cobre-Tungsteno: Para mordazas de soldadura a tope y por chisporroteo.

KW.13 Tungsteno: Para la soldadura fuerte por resistencia y por puntos de cobre y materiales de alta conductividad.

Tabla A.1

Propiedades de los materiales utilizados para los electrodos

	Peso específico (Kg/dm³)	Conductividad eléctrica (% IACS)	Dureza Rockwell	Resistencia a la tracción (Kg/mm³)	Límite elástico	Temperatura a ablandamiento
K-201	8.9	80	70 – 80 B	53	48	500
K-202	8.9	75	70 – 80 B	53	48	525
K-204	8.9	80	45 – 65 B	47	39	250
K-302	8.9	45	89 – 97 B	69	62	500
K-304	8.26	23	38 – 42 C	116	102	300
KW-10	14.6	30	95 B	63		Aprox. 1.000
KW-11	14.8	27 - 31	97 B	64.5		Aprox. 1.000
KW-12	15.1	27 - 30	98 B	67.5		Aprox. 1.000
KW-13	19.0	30	50 C	34		Aprox. 1.000
KW-14	10.0	30	85 B	34		Aprox. 1.000
KWC	12.0	20 - 24	30 C	58.5		Aprox. 1.000

Nota. Adaptado de <https://fundicion>

[cobrebronce.com/materialesparaelectrodos.html#:~:text=K.,especialmente%20en%20electrodos%20de%20forma.](https://fundicioncobrebronce.com/materialesparaelectrodos.html#:~:text=K.,especialmente%20en%20electrodos%20de%20forma.)

Apéndice B. Diseño del Electrodo

Para llevar a cabo el proceso de soldadura por puntos, es necesario diseñar un electrodo que transmita el calor generado hacia un punto específico en la malla de alambre de acero galvanizado que se va a soldar. Por esta razón, debe estar fabricado con un material que posea las propiedades adecuadas que fue seleccionado en la tabla A.1, permitiéndole conducir y soportar altas temperaturas sin fundirse durante el proceso.

Siempre es conveniente utilizar electrodos tipo estándar de los que se encuentra mucha oferta y plazos de entrega cortos y dentro de esas formas estándar el más usado, con mucha diferencia sobre los demás, es el troncocónico.

La tabla B.1 presentada resume las variables de entrada y salida utilizadas en el diseño del electrodo para el proceso de soldadura por puntos. Se consideraron parámetros clave como la densidad del material, el volumen del electrodo, el espesor de las piezas a soldar y el diámetro de la cara activa del electrodo (D_{ca}). El cálculo del D_{ca} se basa en la relación entre el espesor del material y un valor constante, siguiendo criterios establecidos para asegurar una transmisión de calor eficiente durante la soldadura. Además, se definieron dimensiones, como el diámetro exterior del electrodo (D_e), ajustado a 20 mm de acuerdo con manuales técnicos de soldadura por resistencia, y la distancia mínima entre puntos (L_p), que garantiza la integridad estructural y evita problemas de derivación de corriente durante el proceso. Ver tabla A.1. (Abad F & Bisbe J, 2009).

Tabla B.1

Cálculo diseño electrodo

Cálculo diseño electrodo			
$m = \rho * V$		$D_{ca} = 2 * e + 3$	$L_p = 2 * 1.3 * D_{ca}$
$V = \pi * r^2 * L$		$D_e = 20 \text{ mm}$	
Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
ρ	7850	Kg/m^3	Densidad
V	3.14×10^{-6}	m^3	Volumen de acuerdo con el diámetro del electrodo
r	0.01	m	Radio del electrodo
L	0.01	m	Suma de espesores que se van a soldar
e	5	mm	Espesor del material a soldar
Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
m	0.02	Kg	Masa
V	3.14×10^{-6}	m^3	Volumen que se va a fundir en el proceso
D_{ca}	13	mm	Diámetro de la cara activa del electrodo
D_e	20	mm	Diámetro exterior del electrodo
L_p	34	mm	Distancia mínima entre puntos

Nota. Elaboración propia.

Apéndice B.1 Cálculo Tasa de Transferencia de Calor

La cantidad de calor que se genera en el proceso de soldadura depende tres factores, la corriente I, la resistencia de contacto y el material a soldar R medida en Ohmios y por último del tiempo t en el cual, se está aplicando la soldadura.

Según (Arango J & Forero F, 1987), el tiempo necesario para soldar en función del espesor es 1/60 de segundo por cada 0.25 mm de espesor de metal a soldar, por lo que para 10 mm de espesor se obtiene un tiempo de 0.6 segundos. En la tabla B.2 se evidencia el calor necesario para lograr el punto de soldadura.

Tabla B.2

Cálculo generación de calor

Cálculo tasa de transferencia de calor			
$Q = I^2 * R * t$			
$R_s = \frac{V_s}{I_s}$			
Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
I_s	7400	A	Corriente embobinado secundario
t	0.6	s	Tiempo de soldadura
V_s	6	V	Voltaje embobinado primario
Variables de Salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
Q	26.6	Kj	Calor generado en 0.6 segundos
R	8.1×10^{-4}	Ω	Resistencia total

Nota. Elaboración propia.

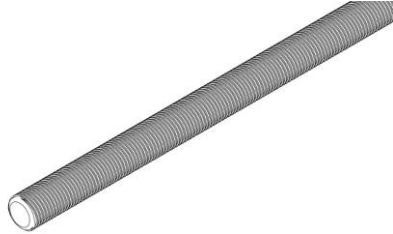
Apéndice C. Cálculo Tornillo Sin Fin

El dimensionamiento y cálculo del tornillo sin fin se representa en la siguiente tabla C.1.

Tabla C.1

Dimensionamiento del tornillo sin fin

Dimensionamiento tornillo sin fin			
$P = \pi M$	$c = \frac{P}{2}$	$F = P$	
$h = 2.167M$	$I = M$	$r = 0.05P$	
$Dp = 8 * M$	$\beta = 14^\circ$	$\delta = 29^\circ$	
$De = Dp + 2M$	$T = \left(P * \frac{\cot(\beta)}{4} - I \right) * (2 * Tg(\beta))$		
$D = De - 2h$	$N = LR * P$		
$\alpha = tg^{-1} \left(\frac{M * n}{dp} \right)$			






Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
M	1.6	-	Módulo
N	199	-	Número de espiras
β	14	Grados	Beta filete normal
δ	29	Grados	Delta ángulo total entre flancos
LR	1000	mm	Longitud roscada
n	2	-	Número de entradas

Variables de salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
P	5.02	mm	Paso de la rosca
h	3.46	mm	Altura del diente
Dp	12.80	mm	Diámetro primitivo
De	16	mm	Diámetro exterior
D	12.53	mm	Diámetro interior
α	14.03	Grados	Ángulo del filete
c	2.50	mm	Espacio entre filete
I	1.60	mm	Altura pie del diente
T	1.70	mm	Ancho del fondo de filete
r	0.25	mm	Redondeo del filete

Nota. Elaboración propia.

Apéndice D. Matriz PUGH para la Selección del Motor

Matriz PUGH							
Motor desplazamiento mesa de soldado	Prioridad	Motor paso a paso		Servomotores		Motor de corriente continua	
							
		Nota	Ponderado	Nota	Ponderado	Nota	Ponderado
Mayor precisión	6	5	30	9	54	3	18
Menor costo	5	9	45	1	5	5	25
Facilidad de control	4	9	36	5	20	3	12
Torque	3	5	15	9	27	5	15
Velocidad de operación	2	5	10	5	10	5	10
Bajo costo de mantenimiento	1	9	9	3	3	3	3
Total			145		119	83	

Apéndice E. Propiedades Físicas del Acero

Tabla E.1

Propiedades físicas de algunos materiales

Tabla B-1 Propiedades físicas de algunos materiales de ingeniería

Datos de varias fuentes.* Estas propiedades son similares para todas las aleaciones del material específico

Material	Módulo de elasticidad E		Módulo de rigidez G		Relación de Poisson ν	Densidad de peso γ lb/pulg ³	Densidad de masa ρ Mg/m ³	Gravedad específica
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa				
Aleaciones de aluminio	10.4	71.7	3.9	26.8	0.34	0.10	2.8	2.8
Cobre al berilio	18.5	127.6	7.2	49.4	0.29	0.30	8.3	8.3
Latón, bronce	16.0	110.3	6.0	41.5	0.33	0.31	8.6	8.6
Cobre	17.5	120.7	6.5	44.7	0.35	0.32	8.9	8.9
Hierro fundido gris	15.0	103.4	5.9	40.4	0.28	0.26	7.2	7.2
Hierro fundido dúctil	24.5	168.9	9.4	65.0	0.30	0.25	6.9	6.9
Hierro fundido maleable	25.0	172.4	9.6	66.3	0.30	0.26	7.3	7.3
Aleaciones de magnesio	6.5	44.8	2.4	16.8	0.33	0.07	1.8	1.8
Aleaciones de níquel	30.0	206.8	11.5	79.6	0.30	0.30	8.3	8.3
Acero al carbón	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Acero, aleaciones	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Acero inoxidable	27.5	189.6	10.7	74.1	0.28	0.28	7.8	7.8
Aleaciones de titanio	16.5	113.8	6.2	42.4	0.34	0.16	4.4	4.4
Aleaciones de zinc	12.0	82.7	4.5	31.1	0.33	0.24	6.6	6.6

* Propiedades de algunos metales y aleaciones, International Nickel Co., Inc., NY. Metals Handbook, American Society for Metals, Materials Park, OH

Nota. Adaptado de <https://ingemecanica.com/tutoriales/materiales.html>.

Además, se debe obtener la longitud característica de Euler, este depende de la instalación del cilindro en este caso se escogió el caso número 8 de pandeo del vástago que se puede evidenciar en la figura E.2.

Figura E.2

Casos de pandeo del vástago

PANDEO DEL VASTAGO (III)

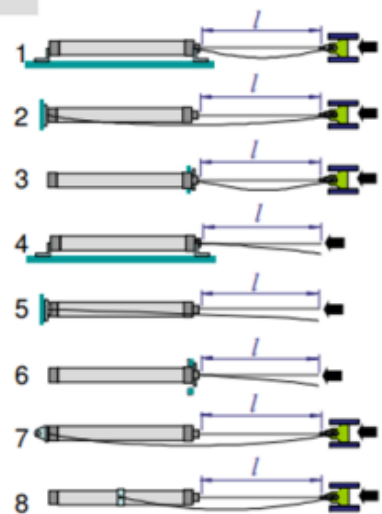
- 1, 2 y 3: un vástago gastado con cojinete permitirá un pandeo inicial si el vástago está articulado

Asumir $l_p = l$ (caso Euler 2)

- 4, 5 y 6: el extremo del vástago está libre lateralmente

Asumir $l_p = 2l$ (caso Euler 1)

- 7: caso especial. $l_p < 2l$
- 8: caso especial. $l_p < 1,5l$



Nota. Tomado de <https://es.scribd.com/document/670436448/Manual-Automatizacion-Industrial>.

De acuerdo con lo anterior se calcula el diámetro mínimo que debe tener el vástago del cilindro para que no falle por pandeo en la tabla 13.

Apéndice F. Cálculo de Densidad Eléctrica del Transformador

Es la relación entre la intensidad de corriente que fluye por el conductor y la sección transversal del mismo conductor, de acuerdo como se muestra en la tabla F.1.

Tabla F.1

Cálculo densidad eléctrica

Cálculo densidad eléctrica			
$\rho_{eléctrica} = \frac{I_s}{Dca^2 * \frac{\pi}{4}}$			
Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
I_s	7400	A	Corriente embobinado secundario
Dca	13	mm	Diámetro de la cara activa del electrodo
Variables de Salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
$\rho_{eléctrica}$	55.75	$\frac{A}{mm^2}$	Densidad eléctrica

Nota. Elaboración propia.

Apéndice G. Parámetros de un Transformador

Según (Arango J. & Arango F, 1987) el embobinado primario consta de varias vueltas mientras que el embobinado secundario usualmente tiene entre uno a tres vueltas, para este caso se utiliza dos vueltas para el diseño del transformador.

En la figura G.1 se muestra los parámetros de entrada para el diseño del transformador para un cruce de dos alambres de 10 mm de espesor total de alambre.

Figura G.1

Corriente necesaria dependiendo del espesor

Diámetro, mm.	Esfuerzo, daN.	Corriente, A.	Tiempo, per.
1.6	45	600	4
2	48	750	5
2.5	52	1200	6
3.15	56	1800	8
4	110	2500	11
5	190	3400	15
6.3	260	4500	19
8	415	6200	25
10	495	7400	33
12.5	765	10300	50

Nota. Adaptado de Manual de soldadura por resistencia, Abad Francisco y Bisbe Jose, 2009, <https://trabajoyprevencion.jcyl.es/web/jcyl/TrabajoYPrevencion/es/Plantilla100DetalleFeed/1253860466245/Publicacion/1260365801122/>

Apéndice H. Selección del Transformador

Considerando los datos obtenidos del cálculo del transformador, se procede a seleccionar un transformador con las mismas características, mediante el catálogo de transformadores de ELESA TRANSFORMY ENERGY, se encuentra que el transformador con una potencia de 63 KVA se ajusta a los requerimientos, como se observa en la figura H.1.

Figura H.1

Selección del transformador monofásico

Sn (50%) KVA	I _{2n} (50%) KA	V _{SEC} (U20) V	Dimensiones (mm)	Peso Kg	Impedancia (μΩ) aprox.
25	6.9	2.5 - 3.6	184 x 235 x 350	53	50
40	8.0	3.6 - 5.0	184 x 235 x 400	68	50
63	8.9	5.0 - 7.1	184 x 235 x 450	84	60
75	9.3	5.7 - 8.1	184 x 235 x 490	90	60
100	10.0	7.1 - 10.0	184 x 235 x 560	113	65
125	11.3	8.0 - 11.1	184 x 235 x 610	125	60
150	11.5	10.0 - 13.1	184 x 235 x 670	150	65
180	10	9 - 12.6	184 x 235 x 745	147	70
180	11.8	10.9 - 15.2	184 x 235 x 750	165	65

Nota. Adaptado de ELESA TRANSFORMY ENERGY, <https://www.elesa-trafocore.com/productos/soldadura-resistencia-fichas/maquinas-estacionarias/frecuencia-principal/>.

Apéndice I. Selección del Compresor

En el diseño de la máquina soldadora de punto es importante tener en cuenta el dimensionamiento de un compresor, para la red neumática de la cual podemos disponer de

aire comprimido. Para iniciar con el dimensionamiento del compresor debemos calcular el consumo de aire de los actuadores neumáticos. Ver tabla I.1.

Tabla I.1

Cálculo selección del compresor

Selección del compresor

$$Q = \frac{\pi}{4} * d^2 * c * n * P * N * 10^{-6}$$



Variables de entrada			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
d	33.63	mm	Diámetro del cilindro
c	100	mm	Carrera del cilindro
n	31	-	Número de ciclos por minuto
P	6	bares	Presión absoluta
N	2	-	Número de efectos del cilindro
Variables de Salida			
Parámetro	Magnitud	Unidades	Descripción
Q	33.63	l/min	Consumo de aire l/min para un cilindro
QT	99.13	l/min	Consumo total de aire l/min para los tres cilindros
QT	3.5	CFM	Consumo total de aire l/min para los tres cilindros

Nota. Elaboración propia.

Figura I.1

Compresor ELITE CA2042



Compresor 2 Hp 42 Lts 125 Psi Elite Ca2042

DESCRIPCIÓN

EL COMPRESOR ELITE 2HP 42LTS 125PSI REF CA2042,
Uth: 43700235

- Marca: Elite
- Ref: CA2042
- Color: Azul
- Presostato de alta precisión.
- Acople rápido en salida.
- Camisa de pistón reforzada en hierro.
- Manija en U para fácil transporte.

Características:

- Tipo: Acople Directo - Caudal Máximo: 6.5 CFM - Motor: 2.0 Hp -
Presión Máxima: 125 PSI - Capacidad Tanque Litros: 42 Litros - Corriente
de Entrada: 110V - 60Hz - USO PROFESIONAL.

Nota. Adaptado de https://www.casaferretera.com/compresor-elite-2hp_1_piston_82lts_ca20821-aceit125psi/p?srsId=AfmBOoqES8U8K0NWIUhr-cP2bJrgDb7ruZ1Ue7gOU8337PhTT55lz61.

Apéndice J. Resultados del Análisis Estático y Modal (Frecuencias Naturales)

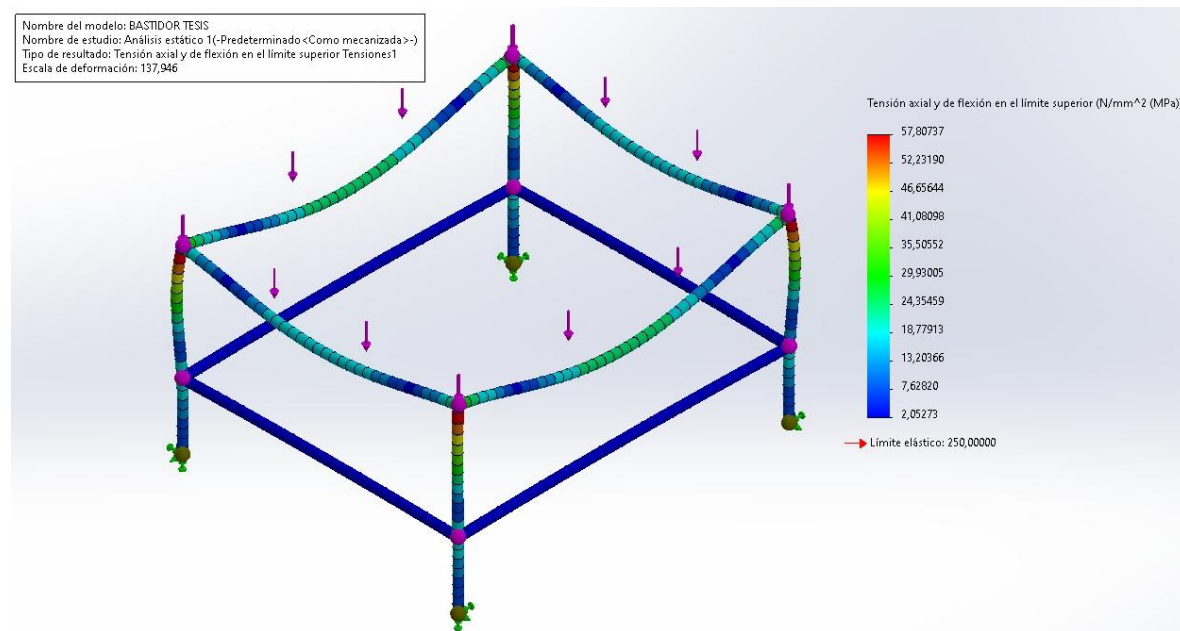
A continuación, se presentan los resultados de los análisis estructurales realizados sobre la mesa de soldado y el bastidor de la estructura de la máquina soldadora tipo spot welding mediante el módulo de simulación de SolidWorks. Se evaluaron distintos comportamientos mecánicos bajo cargas estáticas, garantizando que el diseño cumple con los criterios de resistencia, rigidez y seguridad estructural.

Apéndice J.1. Análisis Estático – Tensión Nodal

Se aplicaron las cargas equivalentes al peso de los componentes y esfuerzos externos. El análisis demostró que las tensiones generadas se encuentran por debajo del límite elástico del material (Acero ASTM A-36, $S_y = 250$ MPa), lo cual muestra un comportamiento estructural seguro.

Figura J.1

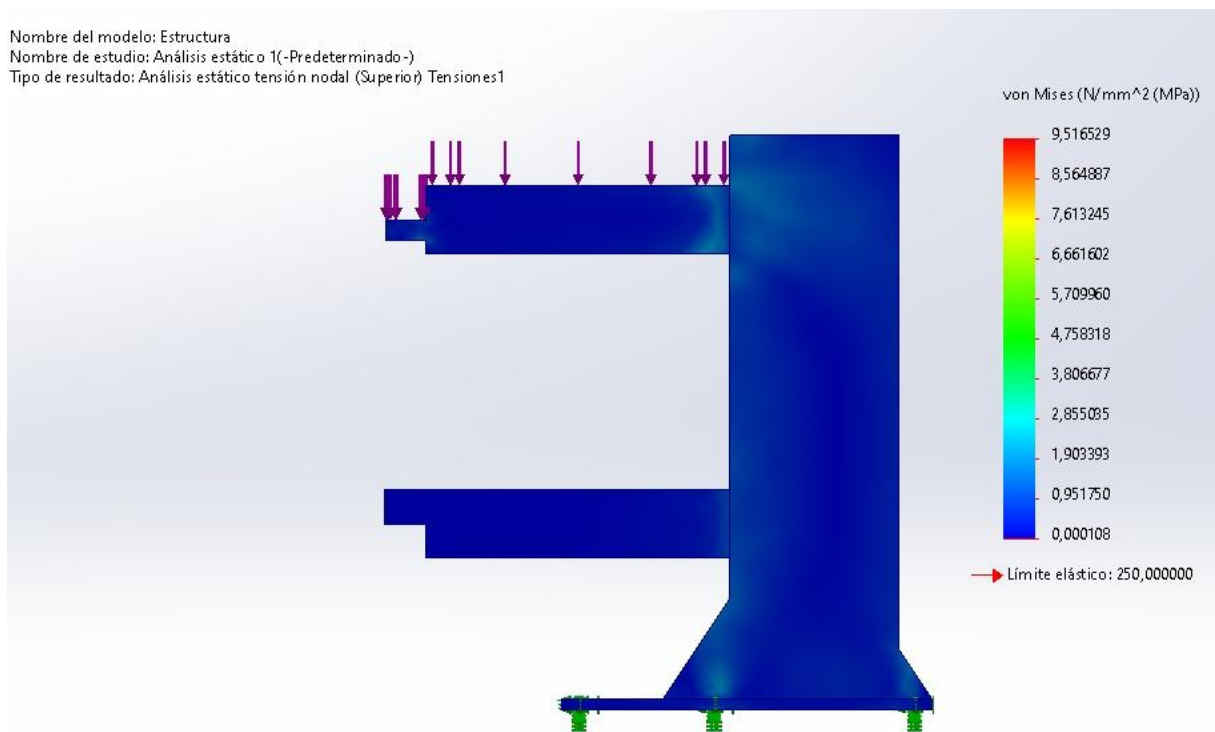
Análisis estático de tensiones, (Von Mises) mesa de soldado



Nota. Se puede evidenciar en la figura el ajuste de tensiones en el bastidor de la mesa de soldado el cual presenta las cargas aplicadas en sus diferentes puntos de sujeción y soporte. Su resultado es bueno ya que no refleja regiones en los cuales supere el límite elástico del material del bastidor (acero ASTM A-36, 250 Mpa) o su esfuerzo último de tensión S_y . Significa que está trabajando de forma segura y no existen riesgos de deformación permanente o fatigas.

Figura J.2

Análisis estático de tensiones, (Von Mises) bastidor de la estructura máquina soldadora



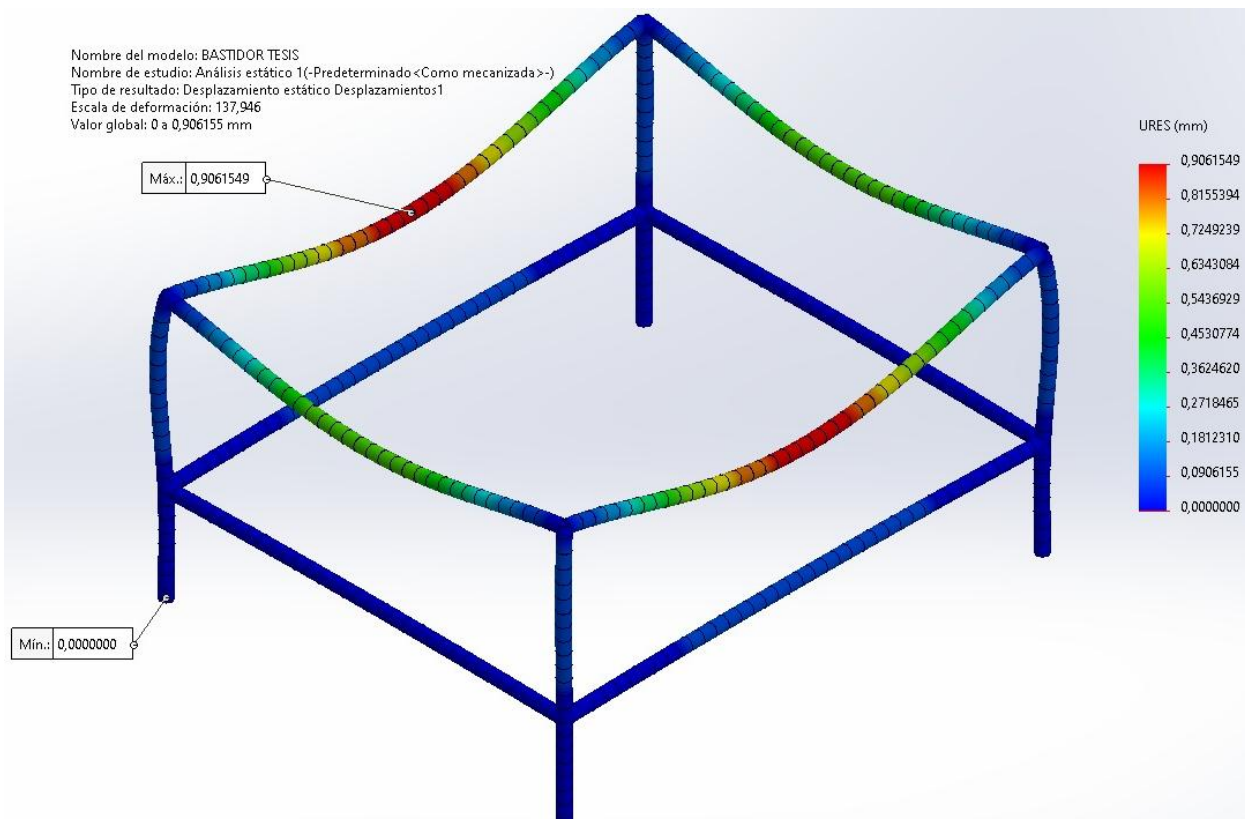
Nota. Su resultado es bueno ya que no refleja regiones en los cuales supere el límite elástico del material del bastidor (acero ASTM A-36, 250 Mpa) o su esfuerzo último de tensión S_y . Significa que está trabajando de forma segura y no existen riesgos de deformación permanente o fatigas.

Apéndice J.2. Análisis de Desplazamiento Estático

El buen resultado de análisis radica en que los movimientos de la mesa de soldado y el bastidor de la estructura en las aplicaciones de la carga están en niveles simultáneos y que se encuentren dentro del rango de tolerancia definido por el modelado del diseño. Es decir, que estos componentes muestren la rigidez requerida para permanecer sin alteraciones en su geometría y garantizar maniobrabilidad estable. En las siguientes figuras J.3 y J.4 se observan los resultados del análisis.

Figura J.3

Análisis estructural de desplazamiento estático mesa de soldado

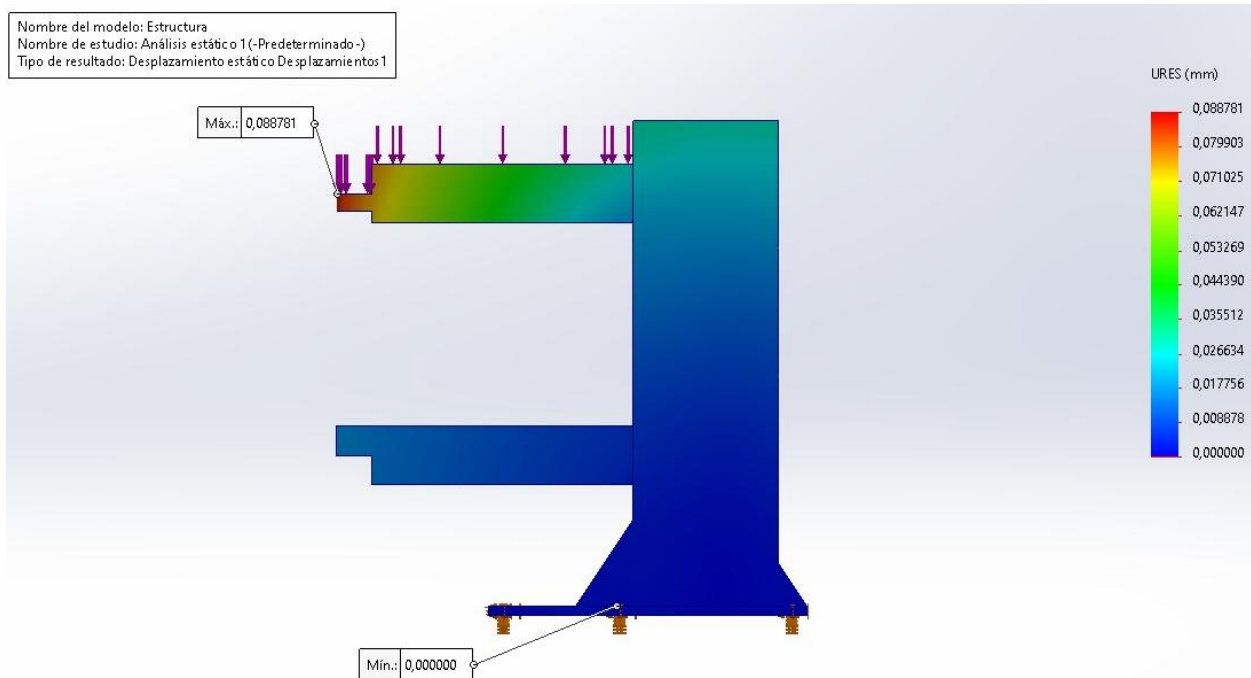


Nota. Se observa un desplazamiento máximo de 0,906 mm, localizado en la parte superior de los largueros laterales del bastidor, bajo la carga de trabajo simulada. Este valor se encuentra dentro

de los límites admisibles, asegurando la rigidez estructural necesaria para el correcto funcionamiento del sistema.

Figura J.4

Análisis estructural de desplazamiento estático bastidor estructura



Nota. El análisis muestra un desplazamiento máximo de 0,088 mm en la parte superior del brazo horizontal donde se aplican las cargas, mientras que la base permanece completamente fija (0,000 mm). Este comportamiento indica una adecuada rigidez estructural, asegurando estabilidad durante el proceso de soldadura.

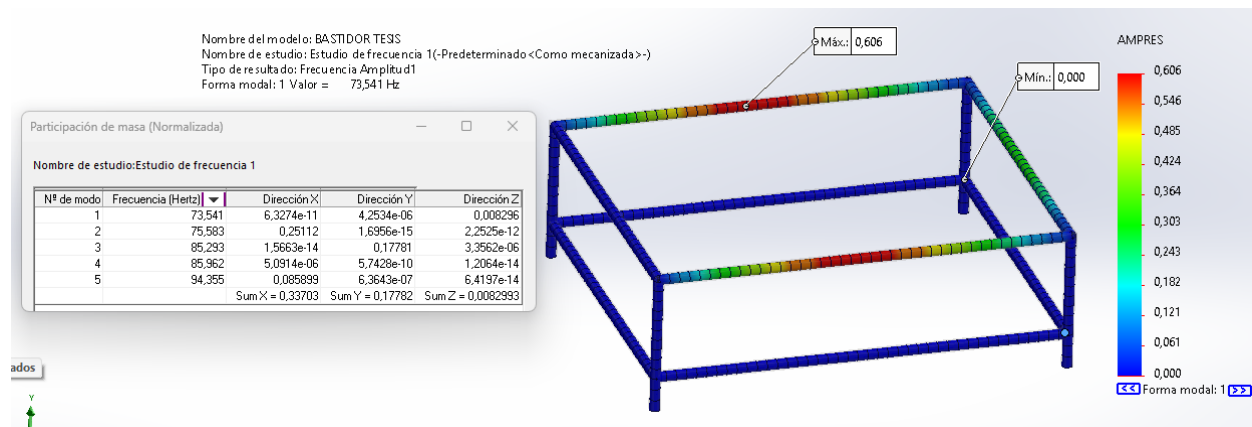
Apéndice J.3. Análisis de Frecuencias Naturales de la Mesa de Soldado y el Bastidor Estructural.

Este tipo de análisis dinámico estructural se realiza con el fin de determinar las frecuencias naturales y los modos de vibración de las estructuras. Si las estructuras presentan grandes

amplitudes de su frecuencia debido a las vibraciones, podría presentar problemas y fallas estructurales.

Figura J.5

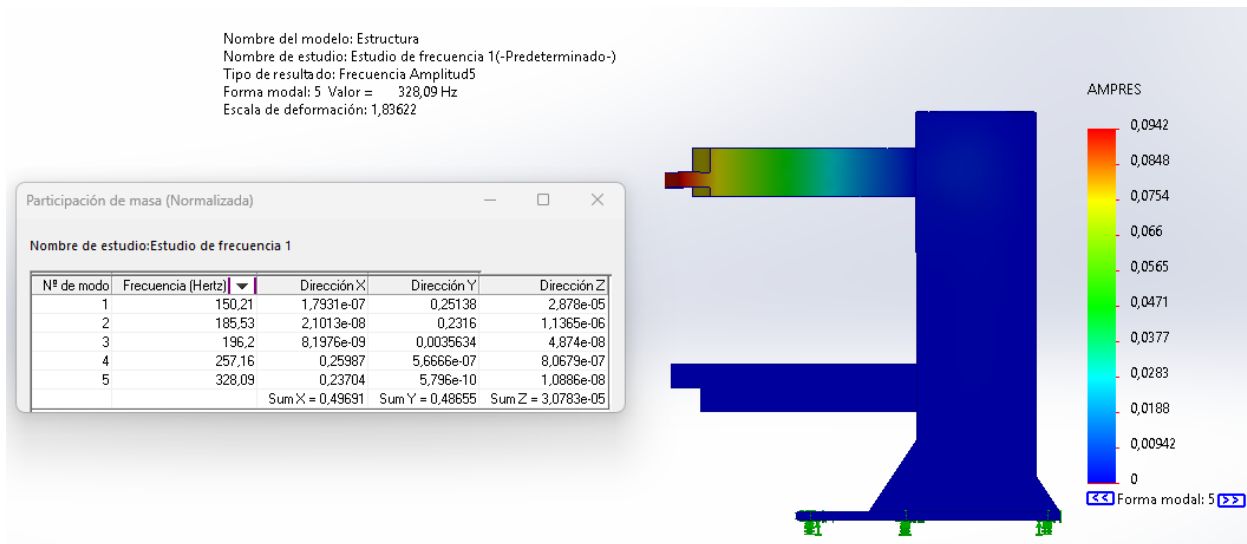
Análisis de frecuencia natural de la mesa de soldado



Nota. Se presenta la primera forma modal con una frecuencia natural de 73,54 Hz, correspondiente a un modo de vibración en las direcciones X e Y, como lo indica la tabla de participación de masa. Las frecuencias naturales de los primeros cinco modos se encuentran entre 73,54 Hz y 106,53 Hz, lo que indica que la estructura posee una buena rigidez dinámica. Es importante que la máquina opere lejos de estas frecuencias para evitar fenómenos de resonancia. Para el motor paso a paso, el rango de frecuencia operacional es de 50 Hz, lo que indicia que está muy por debajo del nivel crítico, eliminando así cualquier riesgo de resonancia directa.

Figura J.6

Análisis de frecuencia natural del bastidor estructural



Nota. Se presenta en la quinta forma modal con una frecuencia natural de 328,09 Hz, con una deformación localizada en el extremo del brazo superior de la estructura. Correspondiente a un modo de vibración en las direcciones X e Y, como lo indica la tabla de participación de masa. Las frecuencias naturales de los primeros cinco modos se encuentran entre 150,21 Hz y 328,09 Hz, lo con una distribución energética principalmente en la dirección Y (48,65 % del total), lo cual refleja el comportamiento dinámico dominante en esa dirección. Es importante que la máquina opere lejos de estas frecuencias para evitar fenómenos de resonancia. Para el transformador, el rango de frecuencia operacional es entre 50 Hz y 60 Hz, lo que indicia que está muy por debajo del nivel crítico, eliminando así cualquier riesgo de resonancia directa.

Apéndice K. Análisis Técnicoeconómico Máquina Soldadora Spot Welding

Tabla K.1

Costos por materiales subsistema mecánico

Lista de materiales					
Costos de materiales mecánicos					
Item	Descripción	Nota o dimensiones	Cantidad	Valor unitario (COP)	Total
1	Acero estructural HR A36	Lámina HR A36 4.5 mm 1.2x6m bastidor máquina	1	\$1.010.000,00	\$1.010.000,00
2	Guías lineales	módulo lineal de guía lineal SKR46 motorizado para etapa	1	\$2.000.000,00	\$2.000.000,00
3	Placas base	Aleación de cobre 42mm x 660mm	1	\$150.000,00	\$150.000,00
4	Electrodos de cobre electrolítico	Varilla de cobre electrolítico calibre 6 3 mts	1	\$230.000,00	\$230.000,00
5	Perfil cuadrado de acero	Perfil cuadrado HR A36 30X30X2.6 6mts	2	\$80.000,00	\$160.000,00
6	Perfiles de aluminio soportes del	Perfil estructural de aluminio Familia 8 de 40x40 E	8	\$248.349,00	\$1.986.792,00
7	Tornillo hexagonal M8x45	Tornillo Hexagonal Milimétrico DIN 933 Clase 8.8 Rosca	13	\$300,00	\$3.900,00
8	Tuerca hexagonal M8	Tuerca Milimétrica DIN 934 Clase 6 Bicromatizada	30	\$150,00	\$4.500,00
9	Tornillo hexagonal M8x12	Tornillo Hexagonal Milimétrico DIN 933 Clase 8.8 Rosca	18	\$200,00	\$3.600,00
10	Tornillo hexagonal M6x40	Tornillo Hexagonal Milimétrico DIN 933 Clase 8.8 Rosca	12	\$200,00	\$2.400,00
11	Tornillo allen M6X1.0X8	Tornillo Bristol Milimétrico DIN 912. Clase 8.8	74	\$100,00	\$7.400,00
12	Tuerca hexagonal M8	Tuerca Milimétrica DIN 934 Clase 6 Bicromatizada	10	\$50,00	\$500,00
13	Rodamiento 8x16x5	Rodamiento de contacto angular	8	\$4.583,00	\$36.664,00
14	Soportes de goma	Soporte De Base Antivibración Con 4 Pares De Pies De	4	\$9.173,50	\$36.694,00
15	Matriz malla acero A36	Fabricación de malla 1.00x0.80mts	1	\$140.000,00	\$140.000,00
				TOTAL	\$5.772.450,00

Nota. Elaboración propia.

Tabla K.2

Costos por materiales subsistema electrónico

Lista de materiales					
Costos de materiales electrónicos					
Item	Descripción	Nota o dimensiones	Cantidad	Valor unitario (COP)	Total
1	PLC SIEMENS S7 - 1200	SIMATIC S7-1200	1	\$1.765.000,00	\$1.765.000,00
2	Fuente de poder 24 V	Fuente de poder switching (Meanwell) 24V 4.5A 100W	1	\$90.000,00	\$90.000,00
3	Sensores de proximidad	Sensor de proximidad 24VDC con circuito acondicionado	2	\$50.000,00	\$100.000,00
4	Pulsadores	Pulsadores para la caja de control	5	\$25.000,00	\$125.000,00
5	Regulador de tensión 7805		1	\$2.000,00	\$2.000,00
6	Controladora TB6600	Driver TB6600 para motor paso a paso bipolar	2	\$55.000,00	\$110.000,00
7	Interruptor de llave	Interruptor selector de llave Ø 22mm, 2 posiciones, 1 NA	1	\$35.000,00	\$35.000,00
8	Parada de emergencia	Parada de emergencia XB4BS8444	1	\$114.102,00	\$114.102,00
9	Caja de control	Subsistema de control mesa automática 30X43cm	1	\$345.000,00	\$345.000,00
				TOTAL	\$2.686.102,00

Nota. Elaboración propia.

Tabla K.3

Costos por materiales subsistema eléctrico

Lista de materiales					
Costos de materiales eléctricos					
Item	Descripción	Nota o dimensiones	Cantidad	Valor unitario (COP)	Total
1	Transformador 220v 60hz pot 60		1	\$1.000.000,00	\$1.000.000,00
2	Cableado de alta capacidad		1	\$40.000,00	\$40.000,00
				TOTAL	\$1.040.000,00

Nota. Elaboración propia.

Tabla K.4*Costos por materiales subsistema neumático*

Lista de materiales					
Costos de materiales neumáticos					
Item	Descripción	Nota o dimensiones	Cantidad	Valor unitario (COP)	Total
1	Cilindros neumáticos FESTO	Cilindro normalizado DSBC-40-100-PPVA-N3	3	\$900.000	\$2.700.000
2	Electroválvulas 5/2 vias	FESTO/BLCH Electroválvula NAMUR 5/2	3	\$140.000	\$420.000
3	Unidad de mantenimiento	Unidad de mantenimiento MSB	1	\$430.000	\$430.000
4	Mangueras neumáticas	Manguera neumática 8mm 10 m	1	\$27.900	\$27.900
5	Brida de sujeción	Brida de fijacion FNC-32.	1	\$44.500	\$44.500
6	Compresor	Compresor 2 HP 42 lts 125 psi Elite CA2042	1	\$1.400.000	\$1.400.000
				TOTAL	\$5.022.400

Nota. Elaboración propia.

Tabla K.5*Flujo de caja proyectado primeros seis meses*

# Periodo (Mensual)	MES 0	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6
Inversión	\$22.000.000						
Pago		\$0,00	\$1.038.103,83	\$1.036.303,83	\$1.034.485,83	\$1.032.649,65	\$1.030.795,11
Capital			\$871.079,83	\$875.893,07	\$880.724,85	\$885.575,13	\$890.443,88
Saldo	\$22.000.000	\$22.000.000	\$21.128.920	\$20.253.027	\$19.372.302	\$18.486.727	\$17.596.283
Interés			\$167.024	\$160.411	\$153.761	\$147.075	\$140.351
Ingresos							
Ventas		\$18.525.000	\$18.525.000	\$18.525.000	\$18.525.000	\$18.525.000	\$18.525.000
Precio venta x UND		\$95.000,00	\$95.000,00	\$95.000,00	\$95.000,00	\$95.000,00	\$95.000,00
Egresos							
Mantenimiento							\$1.099.999,98
Salario operario		\$2.247.735,00	\$2.247.735,00	\$2.247.735,00	\$2.247.735,00	\$2.247.735,00	\$2.247.735,00
Costo energético		\$2.742.778,00	\$2.742.778,00	\$2.742.778,00	\$2.742.778,00	\$2.742.778,00	\$2.742.778,00
Gastos operativos		\$2.000.000,00	\$2.020.000,00	\$2.040.200,00	\$2.060.602,00	\$2.081.208,02	\$2.102.020,10
Flujo relacionado a la máquina		\$11.534.487	\$11.514.487	\$11.494.287	\$11.473.885	\$11.453.279	\$10.332.467
Saldo para la cuota (9%)		\$1.038.104	\$1.036.304	\$1.034.486	\$1.032.650	\$1.030.795	\$929.922
Flujo de caja	-\$22.000.000	\$5.952.409	\$5.974.209	\$5.996.227	\$6.018.465	\$6.040.926	\$7.262.611

Nota. Elaboración propia.

Tabla K.6*Flujo de caja proyectado segundos seis meses*

# Periodo (Mensual)	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12
Inversión						
Pago	\$929.922,02	\$1.027.030,20	\$1.025.119,47	\$1.023.189,62	\$1.021.240,48	\$1.019.271,85
Capital	\$796.331,04	\$899.484,97	\$904.403,12	\$909.339,51	\$914.294,07	\$919.266,76
Saldo	\$16.799.952	\$15.900.467	\$14.996.064	\$14.086.724	\$13.172.430	\$12.253.163
Interés	\$133.591	\$127.545	\$120.716	\$113.850	\$106.946	\$100.005
Ingresos						
Ventas	\$18.525.000	\$18.525.000	\$18.525.000	\$18.525.000	\$18.525.000	\$18.525.000
Precio venta x UND	\$95.000,00	\$95.000,00	\$95.000,00	\$95.000,00	\$95.000,00	\$95.000,00
Egresos						
Mantenimiento						\$1.099.999,98
Salario operario	\$2.247.735,00	\$2.247.735,00	\$2.247.735,00	\$2.247.735,00	\$2.247.735,00	\$2.247.735,00
Costo energético	\$2.742.778,00	\$2.742.778,00	\$2.742.778,00	\$2.742.778,00	\$2.742.778,00	\$2.742.778,00
Gastos operativos	\$2.123.040,30	\$2.144.270,70	\$2.165.713,41	\$2.187.370,55	\$2.209.244,25	\$2.231.336,69
Flujo relacionado a la máquina	\$11.411.447	\$11.390.216	\$11.368.774	\$11.347.116	\$11.325.243	\$10.203.150
Saldo para la cuota (9%)	\$1.027.030	\$1.025.119	\$1.023.190	\$1.021.240	\$1.019.272	\$918.284
Flujo de caja	\$6.086.523	\$6.109.664	\$6.133.037	\$6.156.643	\$6.180.485	\$7.403.566

Nota. Elaboración propia.**Tabla K.7***Flujo de caja proyectado terceros seis meses*

# Período (Mensual)	MES 13	MES 14	MES 15	MES 16	MES 17	MES 18
Inversión						
Pago	\$918.283,53	\$1.065.083,76	\$1.063.055,47	\$1.061.006,90	\$1.058.937,85	\$1.056.848,10
Capital	\$825.257,51	\$978.323,09	\$983.722,24	\$989.142,09	\$994.582,60	\$1.000.043,73
Saldo	\$11.427.906	\$10.449.583	\$9.465.861	\$8.476.718	\$7.482.136	\$6.482.092
Interés	\$93.026	\$86.761	\$79.333	\$71.865	\$64.355	\$56.804
Ingresos						
Ventas	\$19.154.850	\$19.154.850	\$19.154.850	\$19.154.850	\$19.154.850	\$19.154.850
Precio venta x UND	\$98.230,00	\$98.230,00	\$98.230,00	\$98.230,00	\$98.230,00	\$98.230,00
Egresos						
Mantenimiento						\$1.099.999,98
Salario operario	\$2.324.157,99	\$2.324.157,99	\$2.324.157,99	\$2.324.157,99	\$2.324.157,99	\$2.324.157,99
Costo energético	\$2.742.778,00	\$2.742.778,00	\$2.742.778,00	\$2.742.778,00	\$2.742.778,00	\$2.742.778,00
Gastos operativos	\$2.253.650,06	\$2.276.186,56	\$2.298.948,43	\$2.321.937,91	\$2.345.157,29	\$2.368.608,86
Flujo relacionado a la máquina	\$11.834.264	\$11.811.727	\$11.788.966	\$11.765.976	\$11.742.757	\$10.619.305
Saldo para la cuota (9%)	\$1.065.084	\$1.063.055	\$1.061.007	\$1.058.938	\$1.056.848	\$955.737
Flujo de caja	\$6.255.502	\$6.280.067	\$6.304.878	\$6.329.936	\$6.355.245	\$7.579.807

Nota. Elaboración propia.

Tabla K.8

Flujo de caja proyectado cuarto seis meses

# Periodo (Mensual)	MES 19	MES 20	MES 21	MES 22	MES 23	MES 24
Inversión						
Pago	\$955.737,47	\$1.052.605,72	\$1.050.452,65	\$1.048.278,05	\$1.046.081,71	\$1.043.863,41
Capital	\$906.525,42	\$1.010.276,01	\$1.015.792,96	\$1.021.330,27	\$1.026.887,86	\$1.032.465,69
Saldo	\$5.575.567	\$4.565.291	\$3.549.498	\$2.528.167	\$1.501.280	\$468.814
Interés	\$49.212	\$42.330	\$34.660	\$26.948	\$19.194	\$11.398
Ingresos						
Ventas	\$19.154.850	\$19.154.850	\$19.154.850	\$19.154.850	\$19.154.850	\$19.154.850
Precio venta x UND	\$98.230,00	\$98.230,00	\$98.230,00	\$98.230,00	\$98.230,00	\$98.230,00
Egresos						
Mantenimiento						\$1.099.999,98
Salario operario	\$2.324.157,99	\$2.324.157,99	\$2.324.157,99	\$2.324.157,99	\$2.324.157,99	\$2.324.157,99
Costo energético	\$2.742.778,00	\$2.742.778,00	\$2.742.778,00	\$2.742.778,00	\$2.742.778,00	\$2.742.778,00
Gastos operativos	\$2.392.294,95	\$2.416.217,90	\$2.440.380,08	\$2.464.783,88	\$2.489.431,72	\$2.514.326,04
Flujo relacionado a la máquina	\$11.695.619	\$11.671.696	\$11.647.534	\$11.623.130	\$11.598.482	\$10.473.588
Saldo para la cuota (9%)	\$1.052.606	\$1.050.453	\$1.048.278	\$1.046.082	\$1.043.863	\$942.623
Flujo de caja	\$6.406.625	\$6.432.701	\$6.459.038	\$6.485.638	\$6.512.504	\$7.738.639

Nota. Elaboración propia.

Tabla K.9

Salario del operario de la máquina soldadora tipo spot welding

CONCEPTO	APORTE DEL EMPLEADOR
APORTE A PENSIÓN (12%)	\$ 170.820
APORTE A SALUD (8,5%)	\$ 120.998
APORTE A RIESGOS LABORALES (MÍNIMO 0.522%)	\$ 7.431
APORTES PARAFISCALES (9%)	\$ 128.115
AUXILIO DE CESANTÍAS	\$ 118.578
INTERESES A LAS CESANTÍAS (1%)	\$ 14.235
PRIMA DE SERVICIOS	\$ 118.578
VACACIONES	\$ 59.360
SALARIO	\$ 1'423.500
AUXILIO DE TRANSPORTE	\$ 200.000
SUBTOTAL	\$ 2'361.615
APORTE DEL TRABAJADOR PENSIÓN Y SALUD (8%)	- \$ 113.880
TOTAL	\$ 2'247.735

Nota. Elaboración propia.

Figura K.1

Tarifas de energía ESSA 2025

ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A. ESP.								
INFORMA A SUS USUARIOS DEL SISTEMA DE ENERGIA ELECTRICA DEL DEPARTAMENTO DE SANTANDER, NORTE DE SANTANDER, SUR DEL CESAR, BOLIVAR Y BOYACA, Y LAS TARIFAS DEL MERCADO REGULADO DE ENERO DE 2025								
Teniendo en cuenta las resoluciones 119/07, 180/14, 191/14 y 015/16, 015/18, 019/18, 158/19, 103/19, 129/19, 036/19, 199/19, 104/20, 174/21, 101 002/22, 501 023/22, 101 028/23 expedidas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG, que permiten establecer los costos de la prestación del servicio a usuarios regulados.								
TARIFAS RESIDENCIALES								
ESTRATO		1		2		3		4
PROPIEDAD ACTIVOS	NIVEL MEDIDA	% SUBSIDIO	TARIFA \$/kWh	% SUBSIDIO	TARIFA \$/kWh	% SUBSIDIO	TARIFA \$/kWh	TARIFA \$/kWh
ESSA	I	-59.1972%	401.77	-48.9965%	502.21	-15.00%	836.96	984.65
CLIENTE		-59.0498%	368.60	-48.8122%	460.75	-15.00%	765.10	900.12
COMPARTIDA		-59.1268%	385.18	-48.9085%	481.48	-15.00%	801.03	942.39
ESSA sin COT	I	-57.6658%	399.81	-47.0822%	499.76	-15.00%	802.75	944.41
CLIENTE sin COT		-57.6347%	364.29	-47.0434%	455.36	-15.00%	730.89	859.88
COMPARTIDA sin COT		-57.4858%	383.54	-46.8572%	479.42	-15.00%	766.82	902.14
Nota: El subsidio es aplicado hasta el consumo de subsistencia.								
TARIFAS RESIDENCIALES				TARIFAS NO RESIDENCIALES				
ESTRATO		5 y 6		COMERCIAL / INDUSTRIAL		ACUEDUCTOS. ESP		OFICIAL
PROPIEDAD ACTIVOS	NIVEL MEDIDA	% CONTRIB.	TARIFA \$/kWh	CONTRIB. 20%	TARIFA \$/kWh	CONTRIB. 10%	TARIFA \$/kWh	TARIFA \$/kWh
ESSA	I	20.00%	1181.58	196.93	1181.58	98.47	1083.12	984.65
CLIENTE		20.00%	1080.14	180.02	1080.14	90.01	990.13	900.12
COMPARTIDA		20.00%	1130.86	188.48	1130.86	94.24	1036.63	942.39
	II			161.74	970.42	80.87	889.55	808.68
	III			140.81	844.85	70.40	774.44	704.04
	IV			123.41	740.44	61.70	678.74	617.03
ESSA sin COT	I	20.00%	1133.29	188.88	1133.29	94.44	1038.85	944.41
CLIENTE sin COT	I	20.00%	1031.85	171.98	1031.85	85.99	945.86	859.88
COMPARTIDA sin COT	I	20.00%	1082.57	180.43	1082.57	90.21	992.36	902.14
	II sin COT			156.90	941.41	78.45	862.96	784.51
	III sin COT			135.66	813.99	67.83	746.16	678.32
	IV sin COT			123.41	740.44	61.70	678.74	617.03
COMPONENTES DEL COSTO UNITARIO VARIABLE Y FLUJO DE PRESTACION DEL SERVICIO (CU) según Res. CREG 119/2007								
Conforme con las resoluciones CREG 180/14, 015/16 y 019/18 el valor (Cfm,j) que aplica para el mes de Enero de 2025 es 9574.62 \$/factura								

Nota. Adaptado de la ESSA. Consultar tarifas. (s. f.). <https://www.essa.com.co/site/mi-factura/formula-tarifaria-y-tarifas/consultar-tarifas>

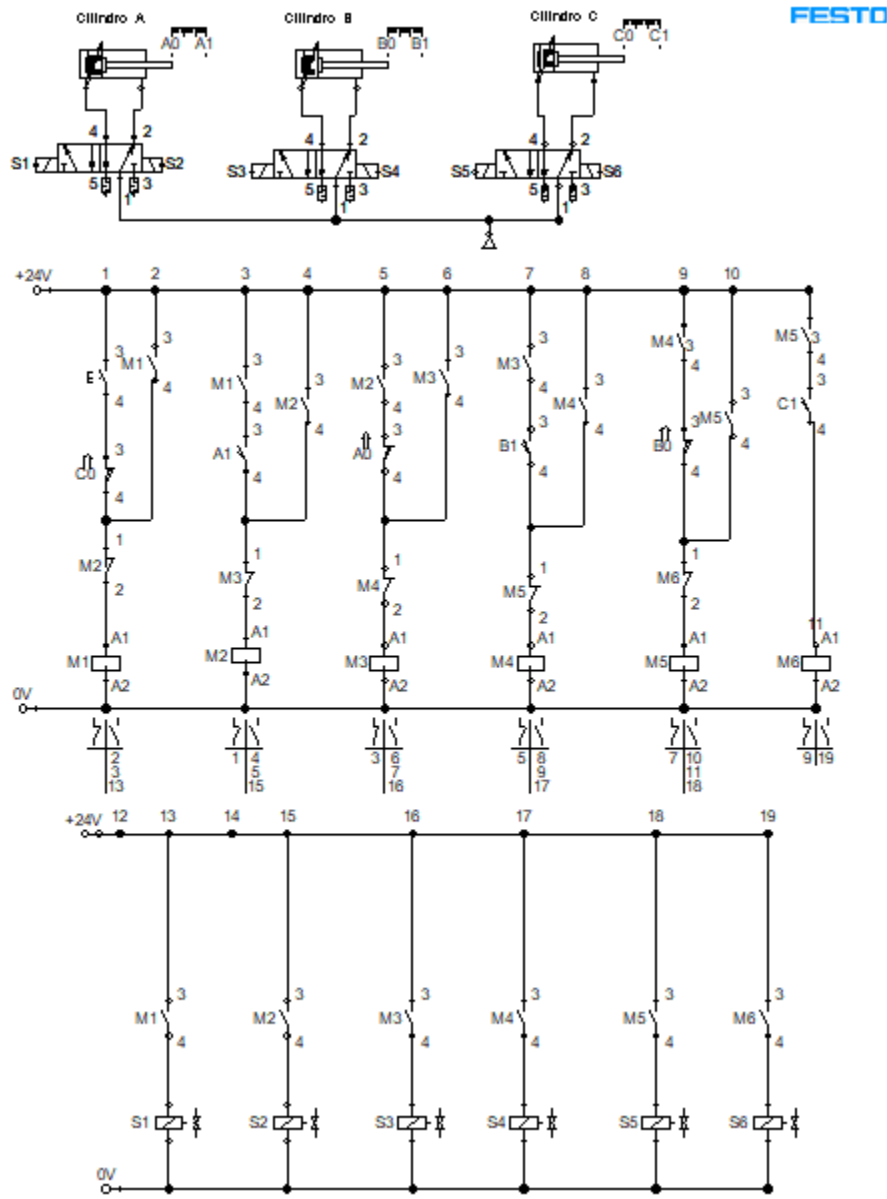
Tabla K.10

Costo por consumo de energía generado por la máquina soldadora tipo spot welding.

Costo de energía/mensual	
Consumo eléctrico	
Valor KWH\$ ESSA 2025	\$ 1.181,58
Consumo de máquina (KWH) por día	89,28
Valor consumo por día	\$ 105.491,46
Nºhoras/día	\$ 3
Días de operación	26
Total costo de energía/mensual	\$ 2.742.778,02

Nota. Elaboración propia.

Apéndice L. Circuito Completo de la Secuencia Neumática de FluidSIM FESTO



Nota. Elaboración propia.

Apéndice L.1. Selección Cilindro Neumático

De acuerdo con los cálculos obtenidos de las tablas 12 y 13 se selecciona un cilindro neumático que se ajuste a los parámetros calculados. Mediante el uso del catálogo de cilindros

normalizados según la norma 15552 de FESTO, se encuentra que el actuador DSBC-40-100-PPVA-N3, se ajusta a los requerimientos. Ver figura L.1.

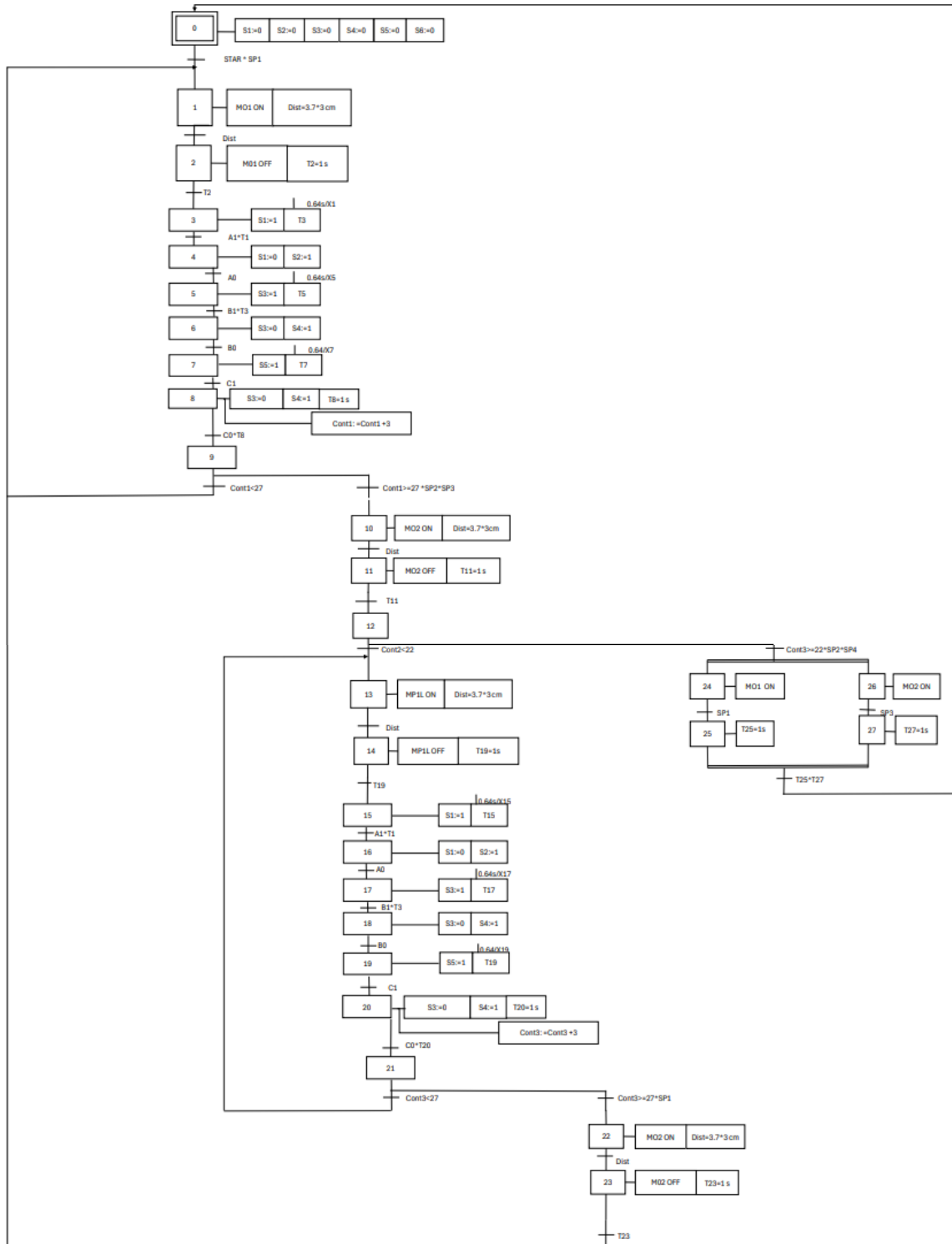
Figura L.1

Cilindro neumático seleccionado para el equipo de soldadura

Referencias de pedido			
Diámetro del émbolo [mm]	Carrera [mm]	Con amortiguación neumática ajustable	
		N.º art.	Código de producto
40	20	★ 2123166	DSBC-40-20-PPVA-N3
	25	★ 1376656	DSBC-40-25-PPVA-N3
	30	★ 2123167	DSBC-40-30-PPVA-N3
	40	★ 1376657	DSBC-40-40-PPVA-N3
	50	★ 1376658	DSBC-40-50-PPVA-N3
	60	★ 2123224	DSBC-40-60-PPVA-N3
	70	★ 2123225	DSBC-40-70-PPVA-N3
	80	★ 1376659	DSBC-40-80-PPVA-N3
	100	★ 1376660	DSBC-40-100-PPVA-N3
	125	★ 1376661	DSBC-40-125-PPVA-N3
	150	★ 2123226	DSBC-40-150-PPVA-N3
160	★ 1376662	DSBC-40-160-PPVA-N3	

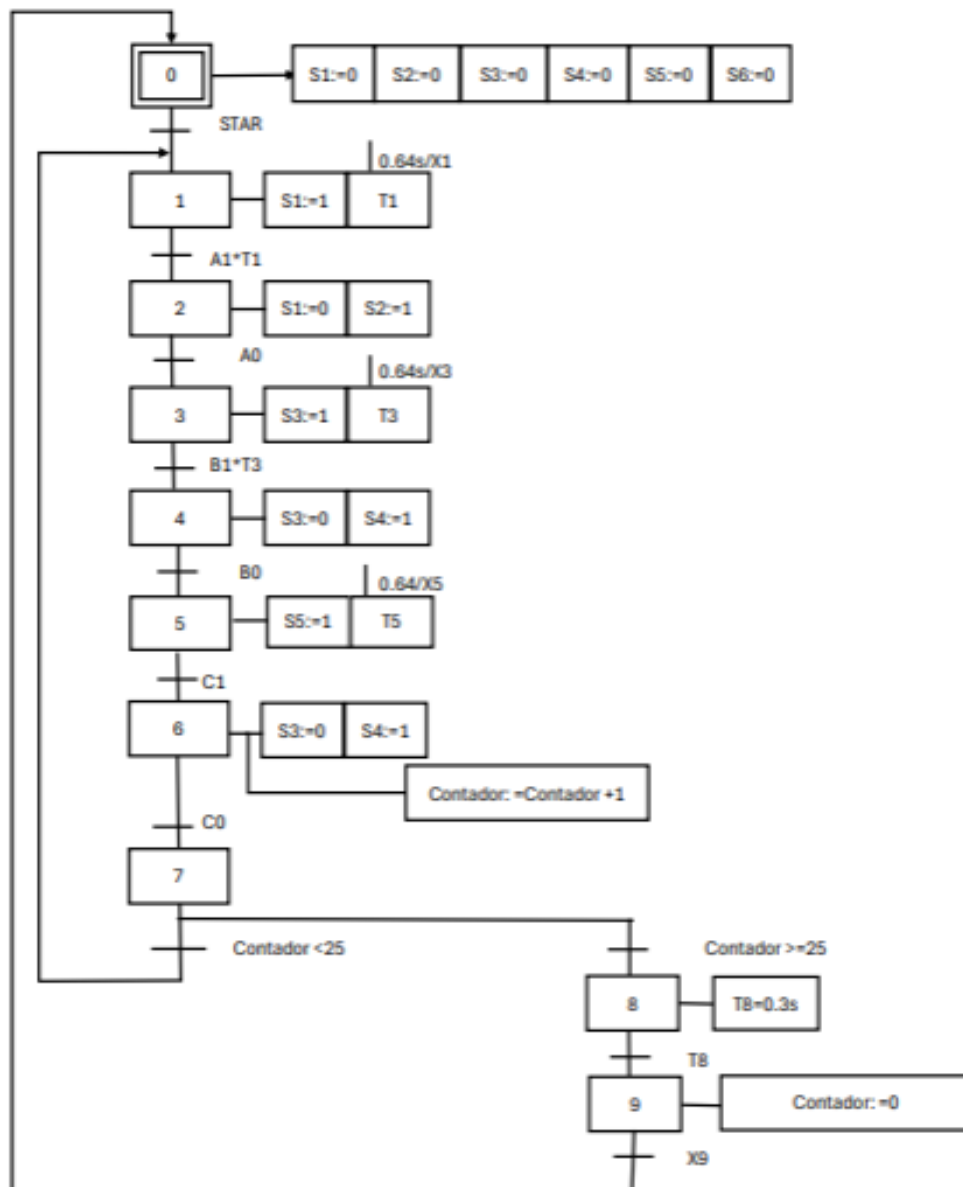
Nota. Adaptado de https://www.festo.com/media/catalog/205676_documentation.pdf.

Apéndice M. Grafset Funcionamiento Máquina de Soldadura Spot Welding



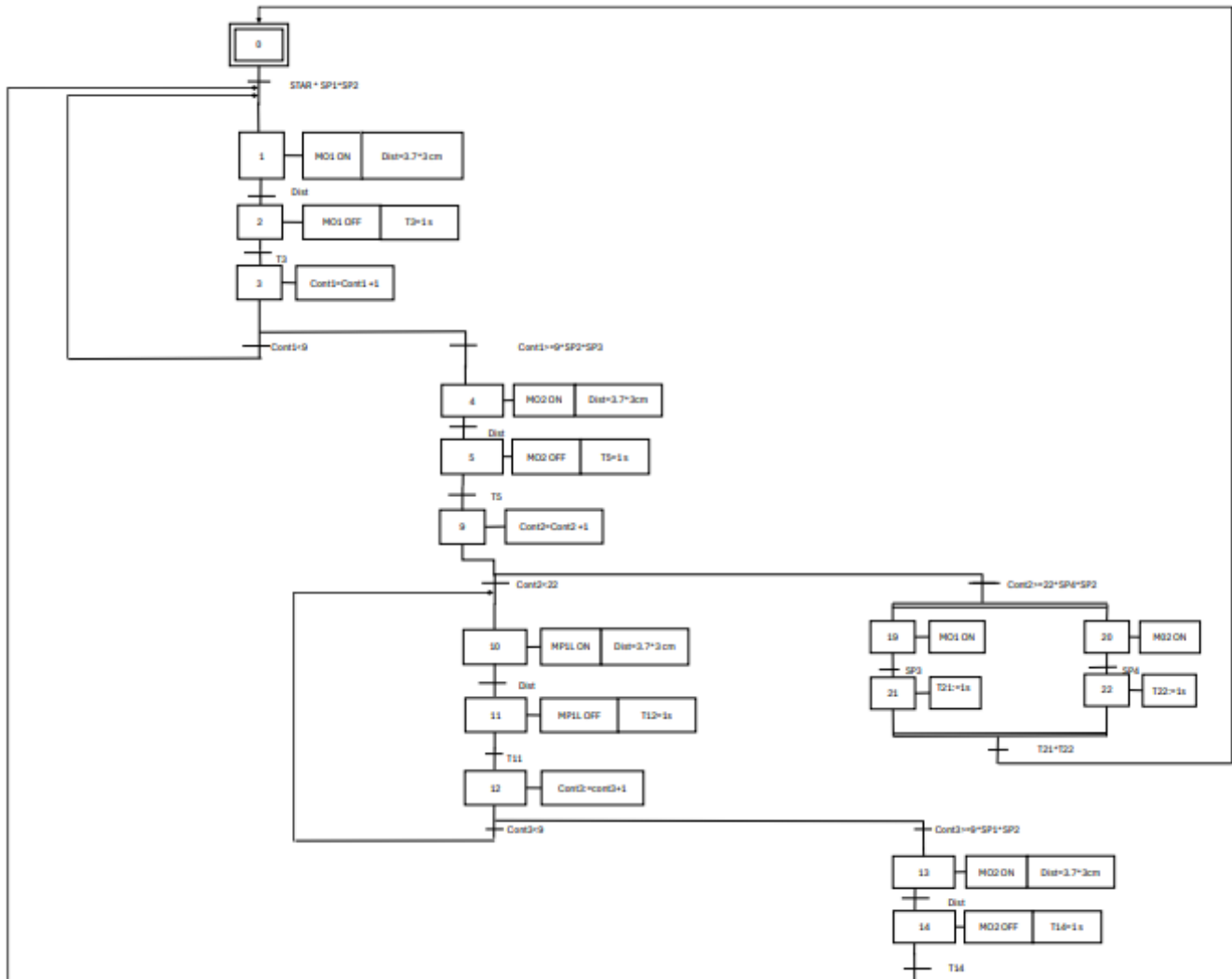
Nota. Elaboración propia.

Apéndice M.1. Grafset Secuencia Cilindro Neumático



Nota. Elaboración propia.

Apéndice M.2. Graficet Secuencia Motor Paso a Paso



Nota. Elaboración propia.

Apéndice N. Código Validación del Sistema Soldador por Software de Arduino

```
// Librerias
```

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
```

```
// Dirección I2C de la pantalla (normalmente 0x27 o 0x3F)
```

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
```

```
#include <AccelStepper.h>
```

```
#include <MultiStepper.h>
```

```
//Variables
```

```
int LED1 = 10;
```

```
int LED2 = 9;
```

```
int LED3 = 8;
```

```
int LED4 = 13;
```

```
int LED5 = 12;
```

```
int LED6 = 11;
```

```
int LED7 = 6;
```

```
int pulsador = 7;
```

```
int contador1=0;
```

```
int posicion=0;
```

```
bool iniciarSecuencia = false; // Variable para controlar el inicio del proceso
```

```
// Configuración de los motores paso a paso
```

```
constexpr int motorInterfaceType = 1;
```

```
constexpr int stepPin1 = 4;
```

```
constexpr int dirPin1 = 5;
```

```
constexpr int stepPin2 = 2;
```

```
constexpr int dirPin2 = 3;

AccelStepper stepper1(motorInterfaceType, stepPin1, dirPin1);

AccelStepper stepper2(motorInterfaceType, stepPin2, dirPin2);

// Configuración de pasos y distancias

constexpr float stepsPerMm = 200 / 5.0;

constexpr int distanciaMotor1 = 40;

constexpr int distanciaMotor2 = 40;

constexpr int movimientosX = 20;

constexpr int movimientosZ = 25;

// Función de log

void log(const String &nivel, const String &mensaje) {

Serial.print "[" + nivel + " ] ";

Serial.println(mensaje);

}

void setup() {

//pantalla LCD

lcd.init(); // Inicializa la pantalla LCD

lcd.backlight(); // Enciende la retroiluminación

lcd.setCursor(0, 0); // Posiciona el cursor en la primera fila
```

```
lcd.print("Ciclo:" + String(contador1) + " PY:" + String(posicion)); // Muestra el mensaje

lcd.setCursor(0, 1); // Posiciona el cursor en la primera fila

lcd.print("PX:" + String(posicion));

//salidas y entradas

pinMode(LED1, OUTPUT);

pinMode(LED2, OUTPUT);

pinMode(LED3, OUTPUT);

pinMode(LED4, OUTPUT);

pinMode(LED5, OUTPUT);

pinMode(LED6, OUTPUT);

pinMode(LED7, OUTPUT);

pinMode(pulsador, INPUT_PULLUP); // Se usa INPUT_PULLUP para evitar resistencias
externas

digitalWrite(LED1, LOW);

digitalWrite(LED2, LOW);

digitalWrite(LED3, LOW);

digitalWrite(LED4, HIGH);

digitalWrite(LED6, HIGH);

stepper1.setMaxSpeed(200);
```

```
stepper1.setAcceleration(200);

stepper1.setCurrentPosition(0);

stepper2.setMaxSpeed(200);

stepper2.setAcceleration(200);

stepper2.setCurrentPosition(0);

Serial.begin(9600);

log("INFO", "Sistema iniciado. Esperando pulsación...");

}

void loop() {

if (digitalRead(pulsador) == HIGH) { // Se activa cuando el botón se presiona (LOW por
INPUT_PULLUP)

delay(200); // Pequeño retraso para evitar rebotes

if (digitalRead(pulsador) ==HIGH) { // Confirmación de pulsación

log("INFO", "Pulsador presionado. Iniciando proceso...");

iniciarSecuencia = true;

digitalWrite(LED4,LOW);

}

}

if (iniciarSecuencia) {
```

```
realizarCiclos();

regresarMotores();

detenerSistema();

}

}

// Ejecutar todos los ciclos

void realizarCiclos() {

for (int ciclo = 0; ciclo < movimientosZ; ciclo++) {

log("INFO", "Iniciando ciclo " + String(ciclo + 1));

contador1++;

// Mover motor 1 adelante

for (int i = 1; i <= movimientosX; i++) {

moverMotorConValvula(stepper1, i * distanciaMotor1, "Motor 1 adelante");

if(i*distanciaMotor1==1000 ){

digitalWrite(LED5,HIGH);

}

if(i*distanciaMotor1==1000 ){

digitalWrite(LED6,LOW);

}

}
```

```
}  
  
// Mover motor 2 adelante  
  
moverMotor(stepper2, ((2*ciclo)+1) * distanciaMotor2, "Motor 2 adelante");  
  
    if(contador1==20){  
  
digitalWrite(LED7,HIGH);  
  
    }  
  
delay(1000);  
  
log("INFO", "Activando válvula...");  
  
digitalWrite(LED1, HIGH);  
  
delay(640);  
  
digitalWrite(LED1, LOW);  
  
digitalWrite(LED2, HIGH);  
  
delay(640);  
  
digitalWrite(LED2, LOW);  
  
digitalWrite(LED3, HIGH);  
  
delay(640);  
  
digitalWrite(LED3, LOW);  
  
log("INFO", "Válvula desactivada.");  
  
delay(1000);
```

```
digitalWrite(LED5,LOW);

// Mover motor 1 atrás

for (int i = movimientosX; i >= 1; i--) {

moverMotorConValvula(stepper1, (i - 1) * distanciaMotor1, "Motor 1 atrás");

if(((i - 1) * distanciaMotor1) ==0 ){

digitalWrite(LED4,HIGH);

}

}

// Mover motor 2 adelante si no es el último ciclo

if (ciclo < movimientosZ-1 ) {

moverMotor(stepper2, (2*(ciclo+1)) * distanciaMotor2, "Motor 2 adelante");

delay(1000);

log("INFO", "Activando válvula...");

digitalWrite(LED1, HIGH);

delay(640);

digitalWrite(LED1, LOW);

digitalWrite(LED2, HIGH);

delay(640);

digitalWrite(LED2, LOW);
```

```
digitalWrite(LED3, HIGH);

delay(640);

digitalWrite(LED3, LOW);

log("INFO", "Válvula desactivada.");

delay(1000);

digitalWrite(LED4,LOW);

}

}

digitalWrite(LED7,LOW);

}

// Regresar motores a la posición inicial

void regresarMotores() {

log("INFO", "Regresando motores a la posición inicial...");

moverMotor(stepper1, 0, "Motor 1 regresando a posición inicial");

moverMotor(stepper2, 0, "Motor 2 regresando a posición inicial");

log("INFO", "Motores regresaron a la posición inicial.");

}

// Detener el sistema

void detenerSistema() {
```

```
log("INFO", "Proceso terminado. Deteniendo sistema...");

iniciarSecuencia = false; // Reiniciar variable para poder volver a presionar el botón

}

// Mover un motor a una posición específica

void moverMotor(AccelStepper &motor, int posicion, const String &mensaje) {

motor.moveTo(posicion * stepsPerMm);

motor.runToPosition();

log("DEBUG", mensaje + " a posición " + String(posicion));

lcd.setCursor(0, 0);

lcd.print("Ciclo:" + String(contador1) + " PY:" + String(posicion*12));

}

// Mover motor 1 y activar la válvula

void moverMotorConValvula(AccelStepper &motor, int posicion, const String &mensaje) {

motor.moveTo(posicion * stepsPerMm);

motor.runToPosition();

log("DEBUG", mensaje + " a posición " + String(posicion));

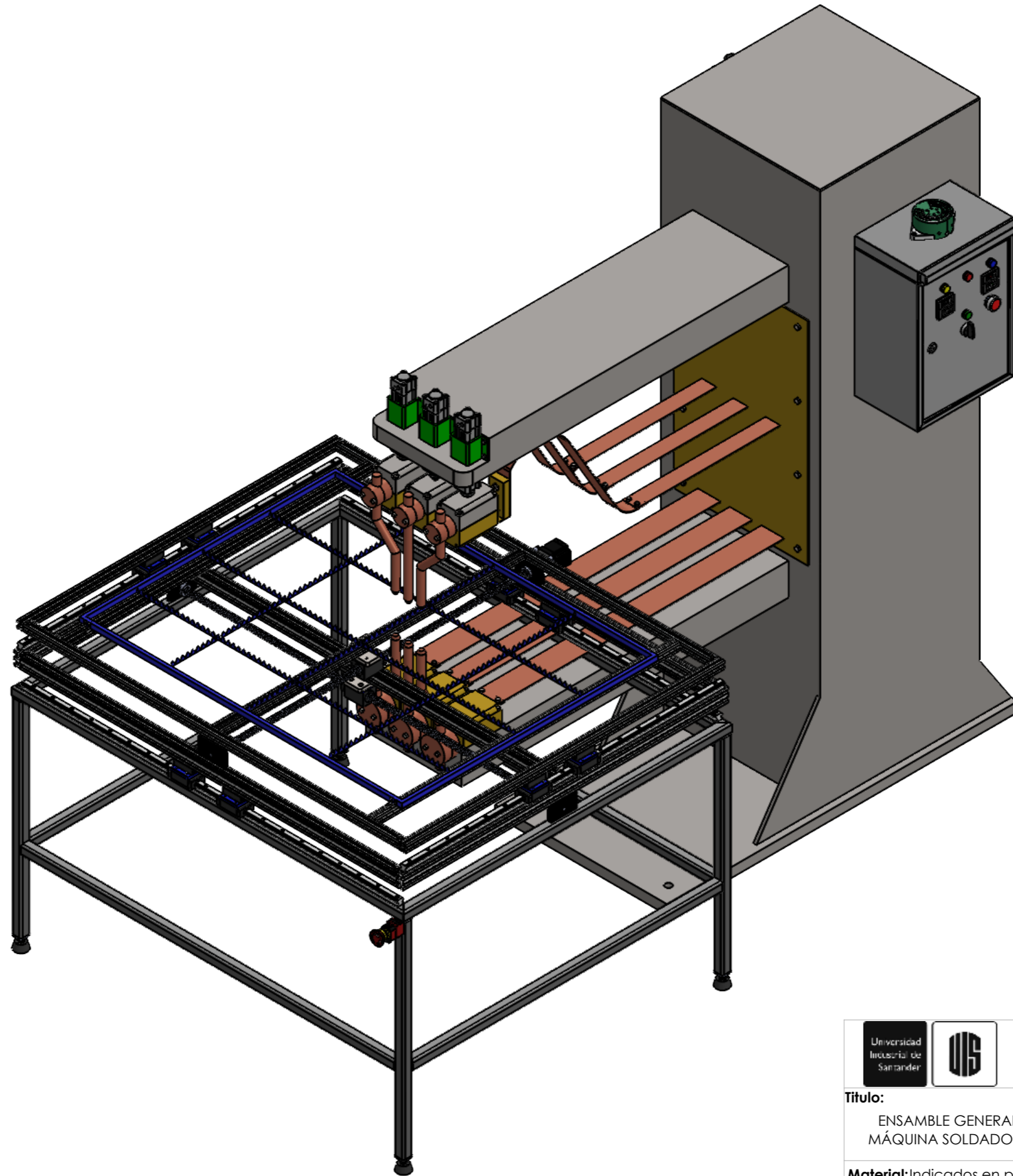
activarValvula();

lcd.setCursor(0, 1); // Posiciona el cursor en la primera fila

lcd.print("PX:" +String(posicion));
```

```
}  
  
// Activar y desactivar la válvula  
  
void activarValvula() {  
  
    delay(1000);  
  
    log("INFO", "Activando válvula...");  
  
    digitalWrite(LED1, HIGH);  
  
    delay(640);  
  
    digitalWrite(LED1, LOW);  
  
    digitalWrite(LED2, HIGH);  
  
    delay(640);  
  
    digitalWrite(LED2, LOW);  
  
    digitalWrite(LED3, HIGH);  
  
    delay(640);  
  
    digitalWrite(LED3, LOW);  
  
    log("INFO", "Válvula desactivada.");  
  
    delay(1000);  
  
}
```

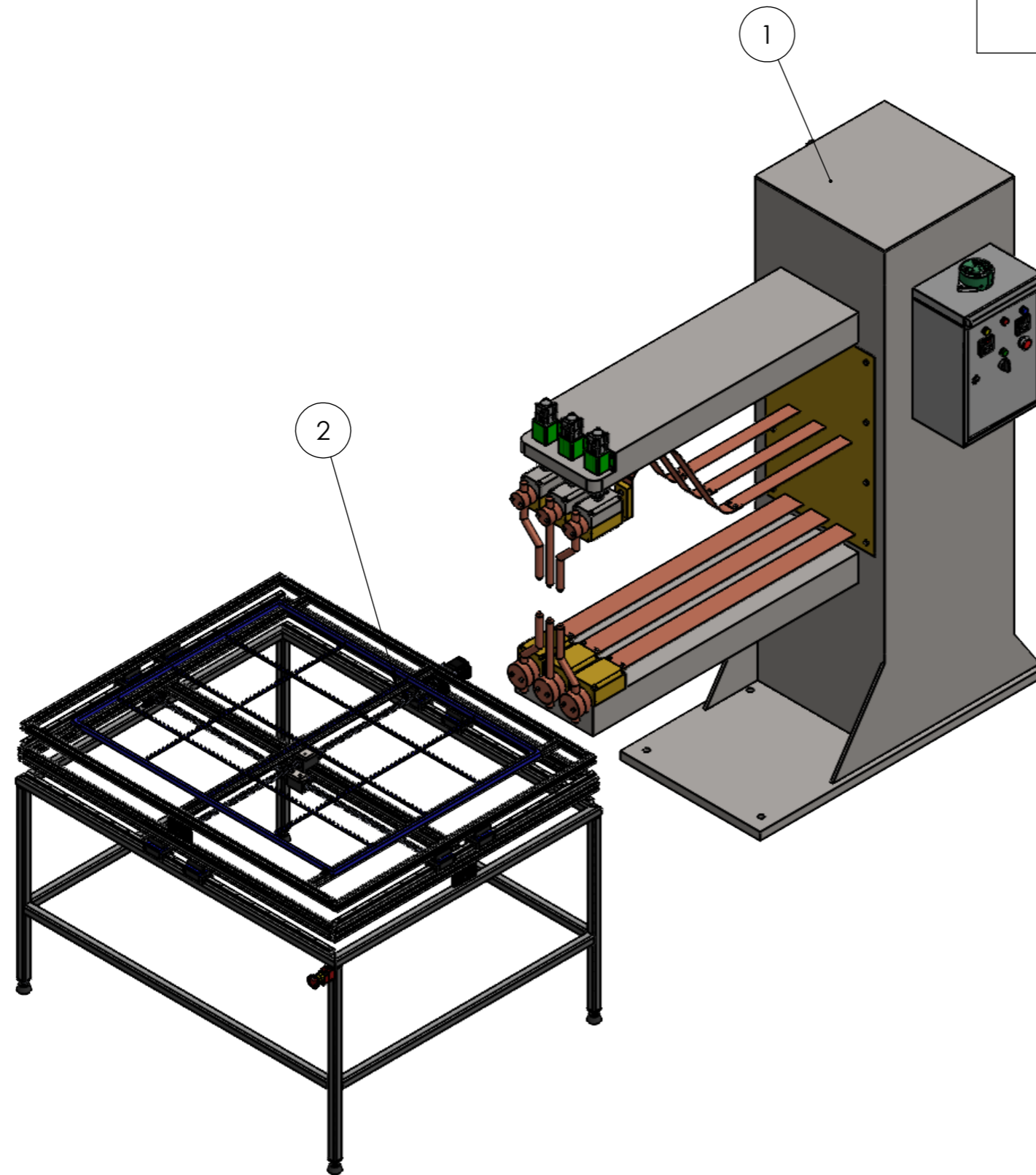
Apéndice Ñ. Planos de Fabricación de la Máquina Soldadora Tipo Spot Welding Multipunto



Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm

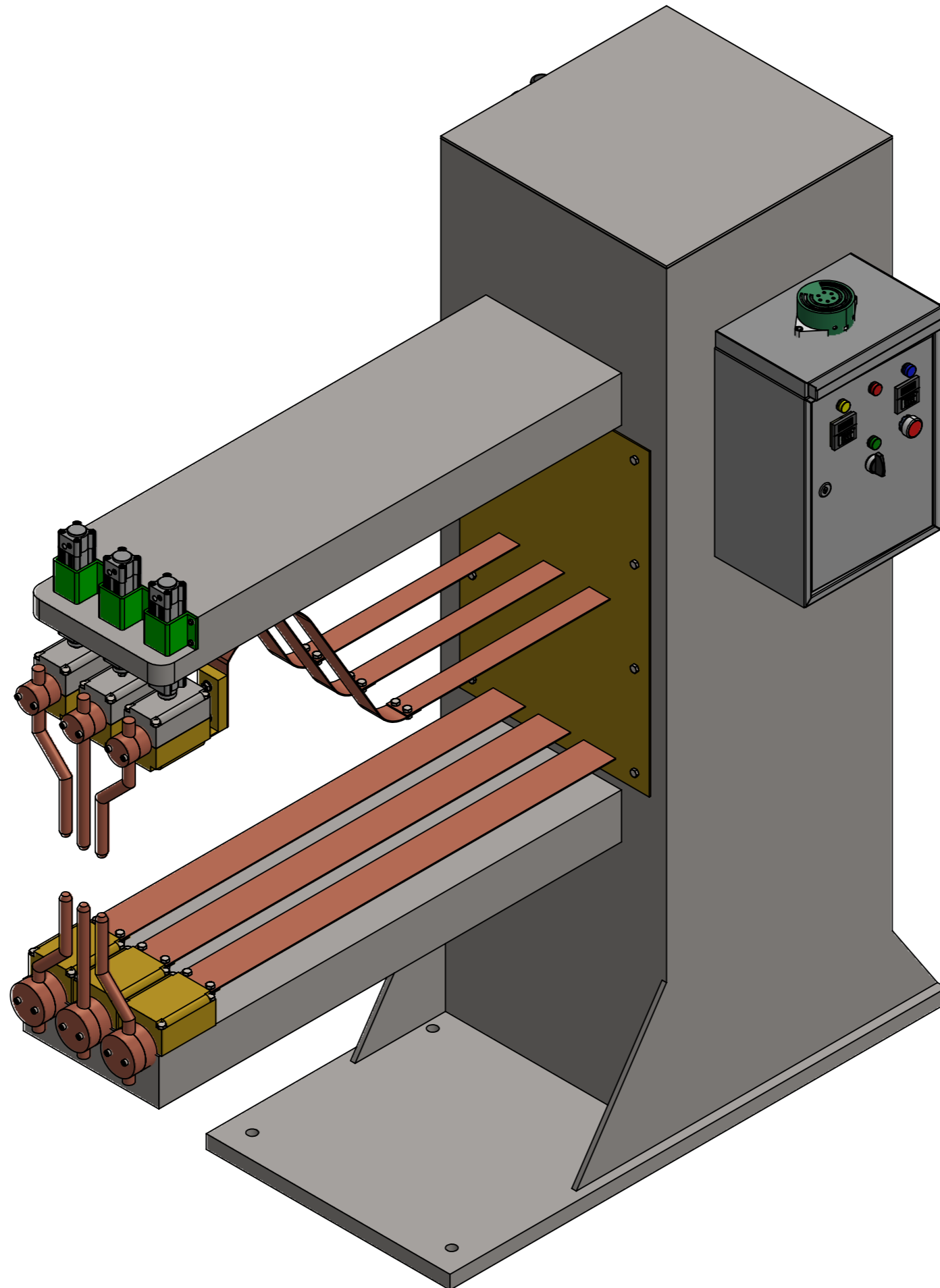
 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
Título: ENSAMBLE GENERAL MÁQUINA SOLDADORA	N.º del dibujo: Máquina soldadora spot welding multipunto	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3	
		Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Rev. A	
Material: Indicados en planos Especificaciones:	Tipo: Plano ensamble	Código: H1-1	Escala: 1:10	Hoja: 1/49	

ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Estructura soldador	Ensamble general	1
2	Mesa de soldado	Ensamble general	1



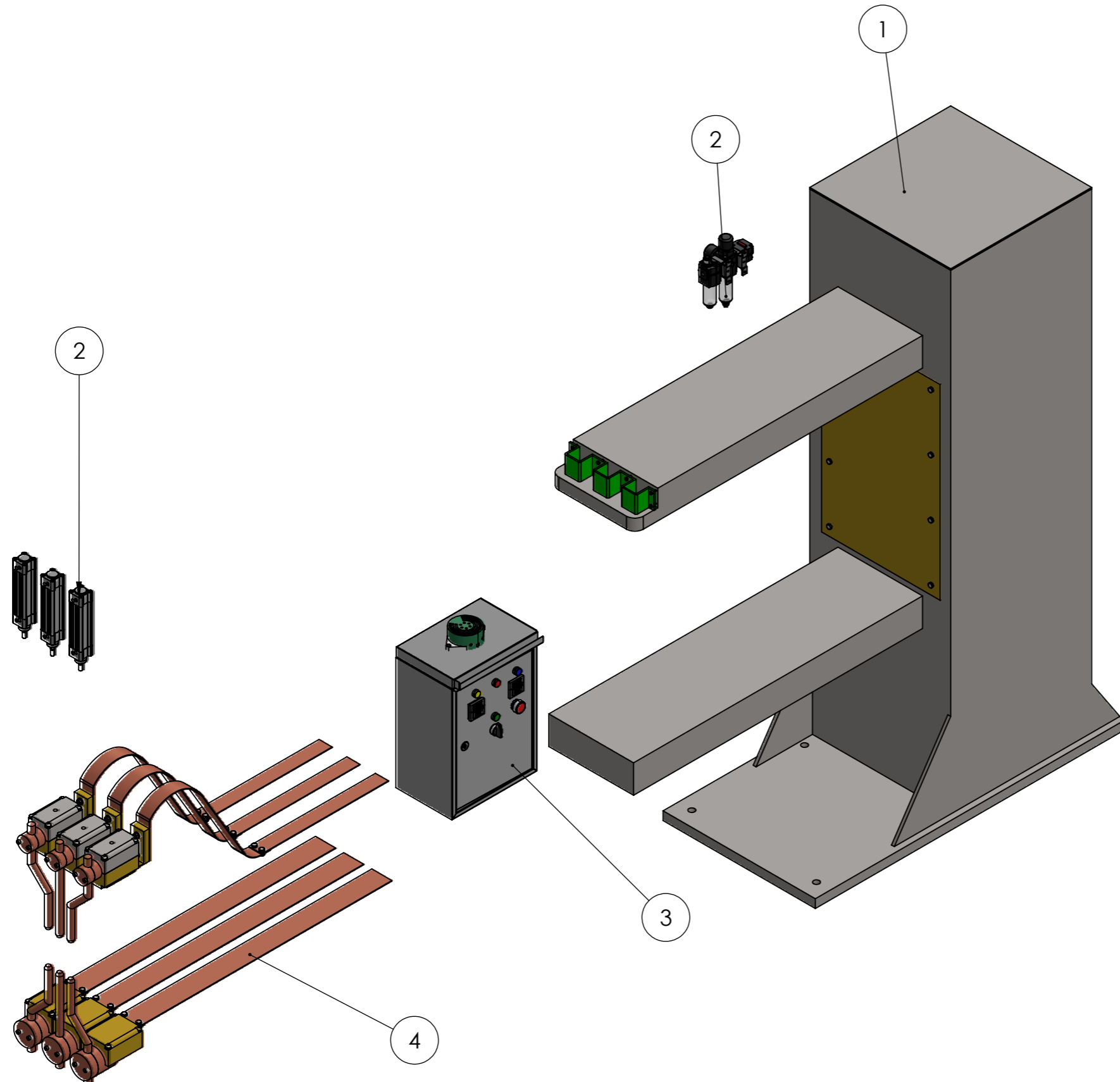
 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
Título: ENSAMBLE GENERAL MÁQUINA SOLDADORA	N.º del dibujo: Máquina soldadora spot welding	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3	Rev. A
Material: Indicados en planos	Tipo: Plano ensamble	Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025		
Especificaciones:		Código: H 1 - 2	Escala: 1:15		

Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm



Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm

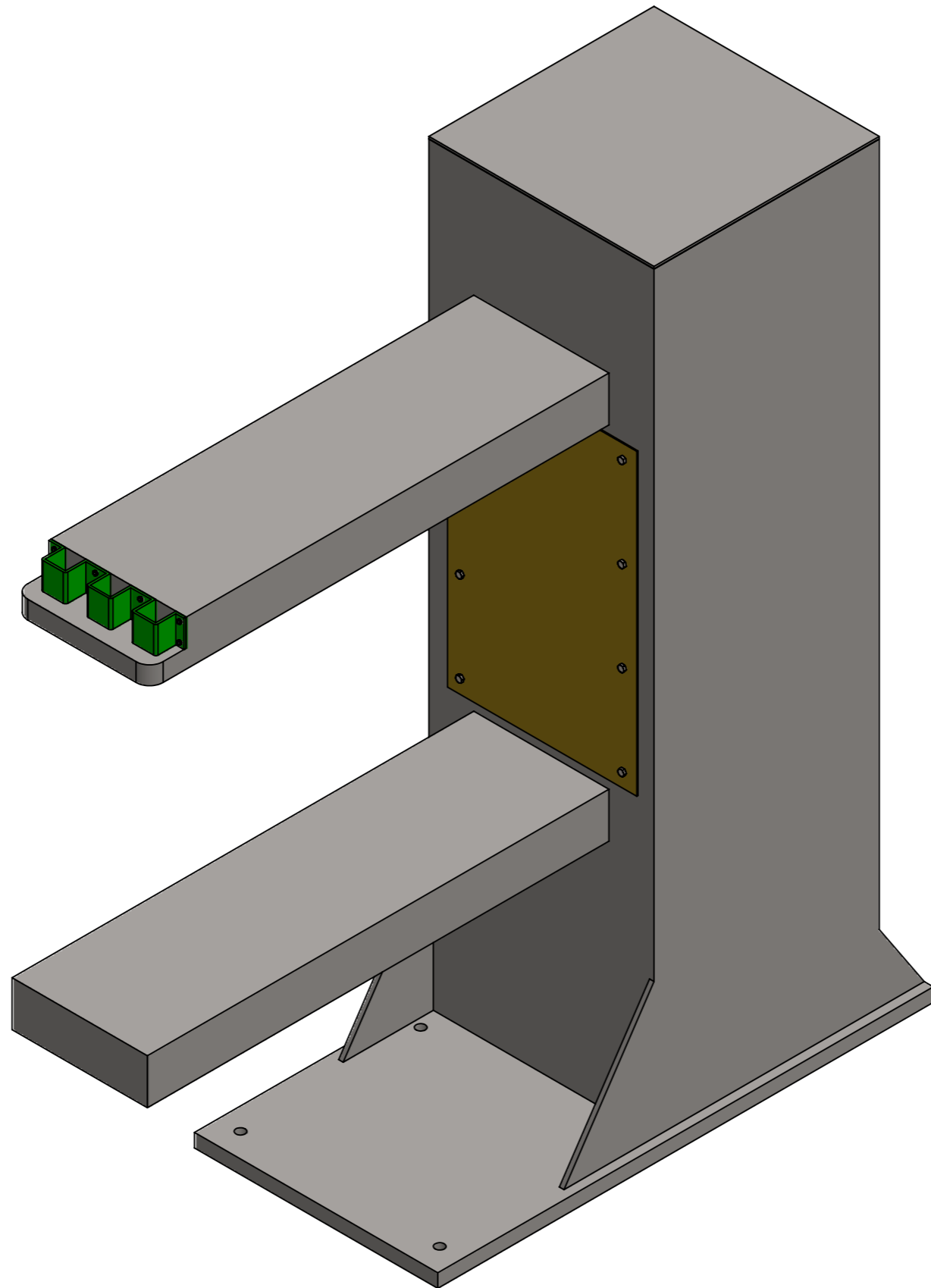
 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		
Título: ENSAMBLE GENERAL MÁQUINA SOLDADORA	N.º del dibujo: Máquina soldadora spot welding	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3
Material: Indicados en planos Especificaciones:		Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Rev. A
		Código: H 2-1	Escala: 1:8	Hoja: 3/49



ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Estructura	HR A36	1
2	Subsistema neumático		1
3	Subsistema caja de control		1
4	Subsistema soldadura		1

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		
Título: ENSAMBLE GENERAL MÁQUINA SOLDADORA	N.º del dibujo: Sistema soldador	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3
		Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Rev. A
Material: Indicados en planos		Tipo: Plano explosionado	Código: H 2-2	Hoja: 4/49
Especificaciones:				

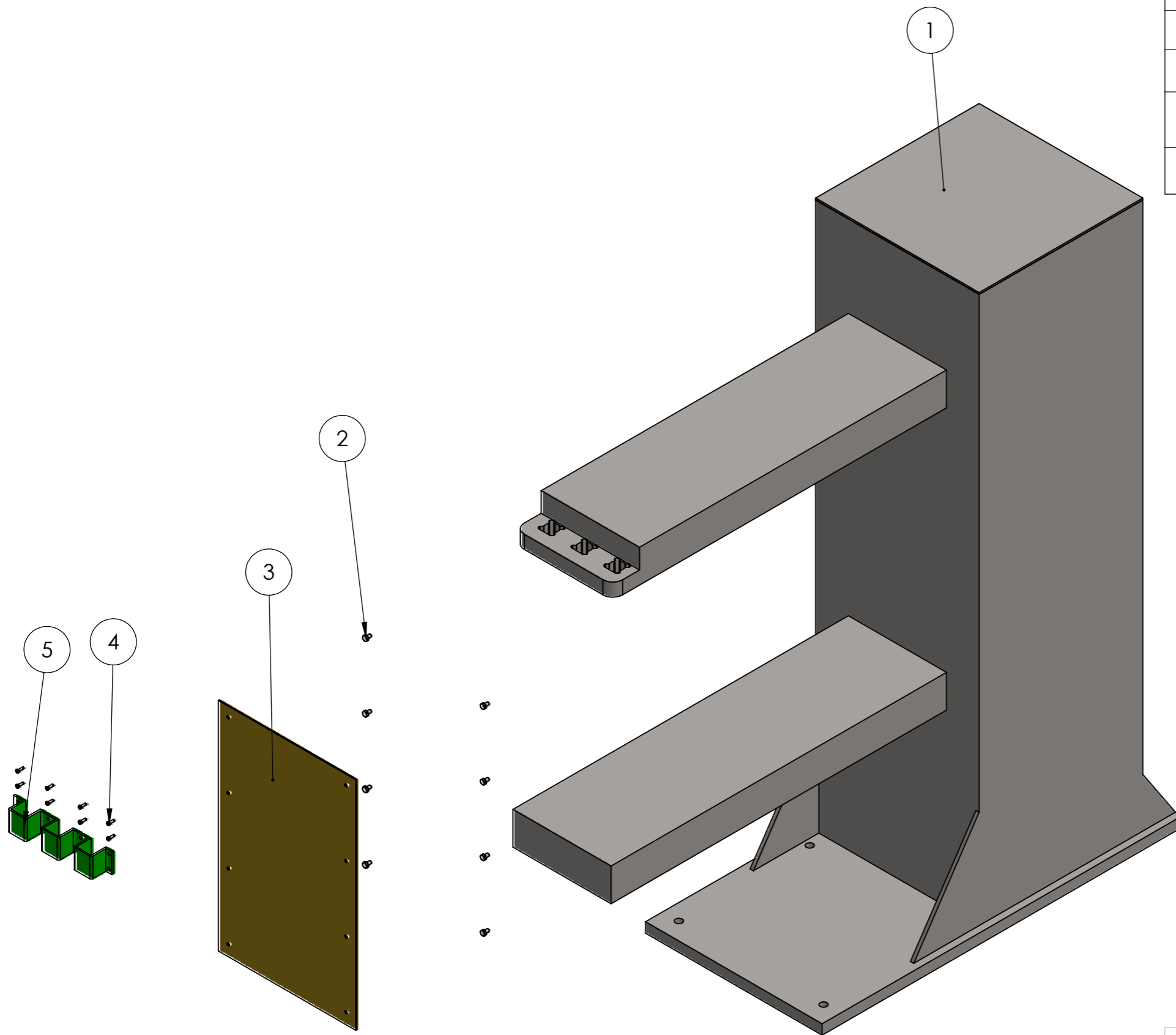
Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm



 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
Título: Subsistema estructura máquina soldadora	N.º del dibujo: Bastidor soldador	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3	
		Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025		Rev. A
Material: Indicados en planos		Tipo: Plano ensamble	Código: H 2-3	Escala: 1:9	Hoja: 5/49

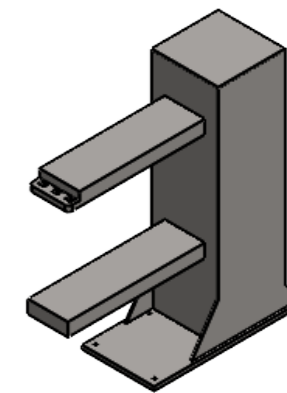
Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm

ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Bastidor	HR A36 1500X500	1
2	Tornillo hexagonal	Tornillo M8X12	8
3	Lámina placa base	Aleación de cobre 2.0490 (CuZn31Si1)	1
4	Tornillo autorroscante	Tornillo autorroscado cabeza hexagonal M6X12	8
5	Sujetador del actuador lineal	HR A36	1

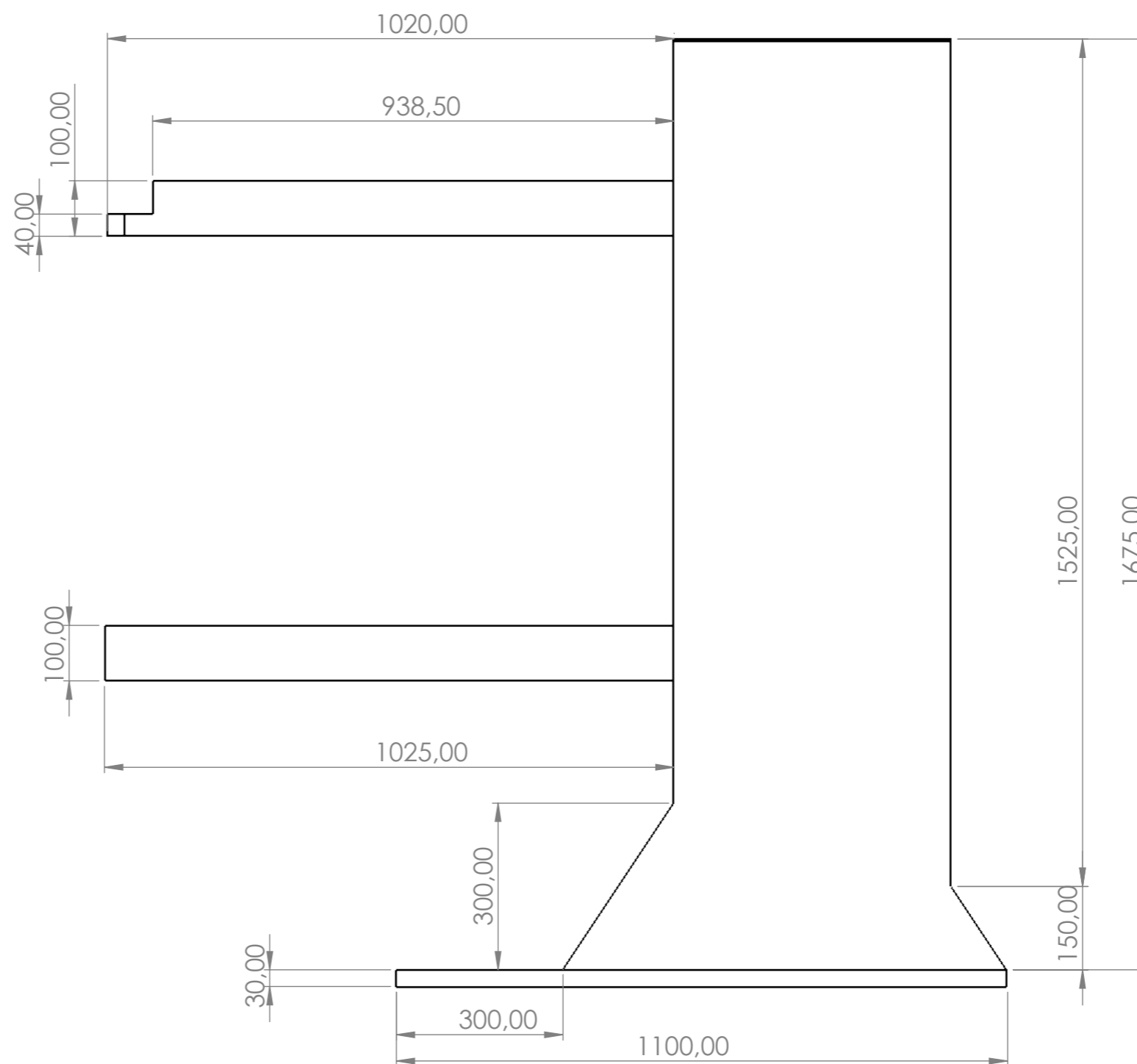
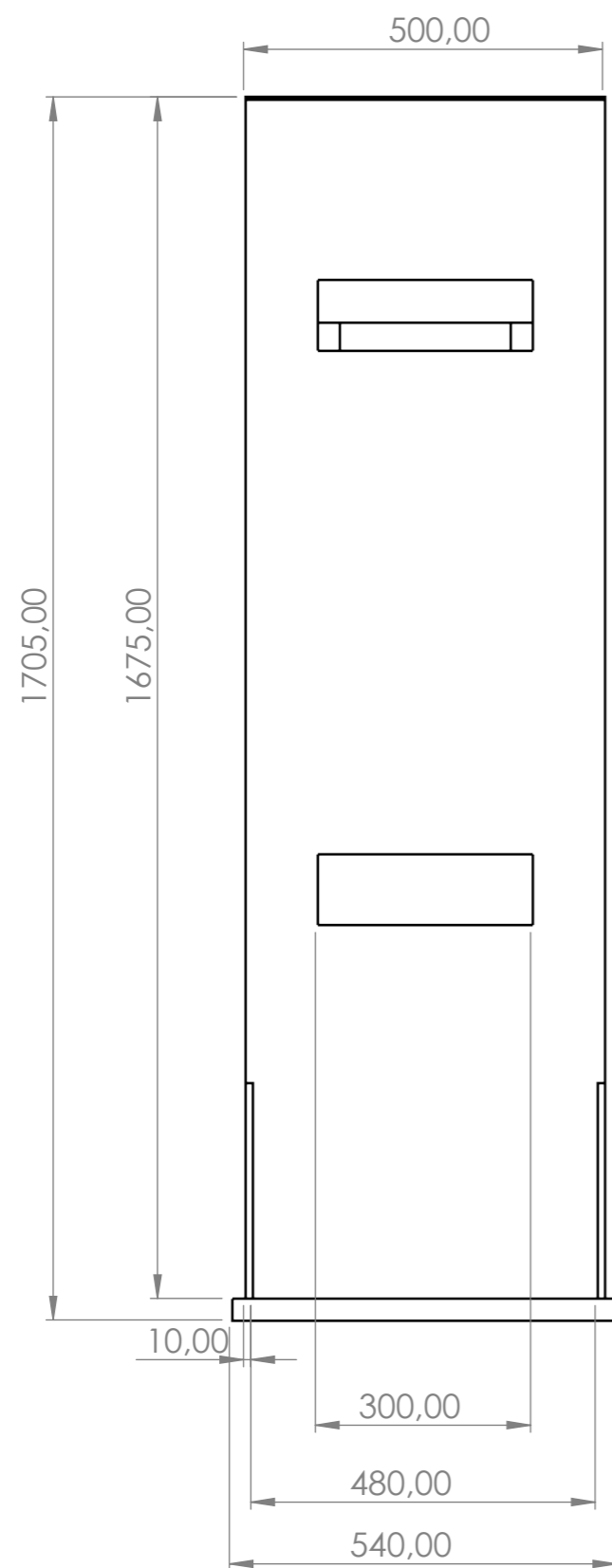


		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		
Título: ENSAMBLE ESTRUCTURA SOLDADOR	N.º del dibujo: bastidor soldador	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3
		Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Rev. A
Material: Indicados en planos Especificaciones:	Tipo: Plano explosionado	Código: H 2-4	Escala: 1:10	Hoja: 6/49

Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm

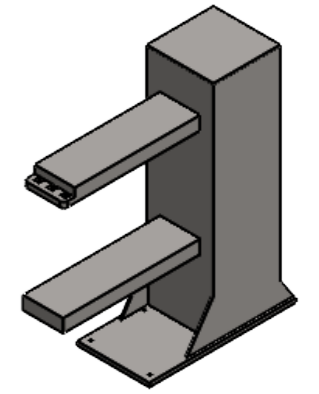
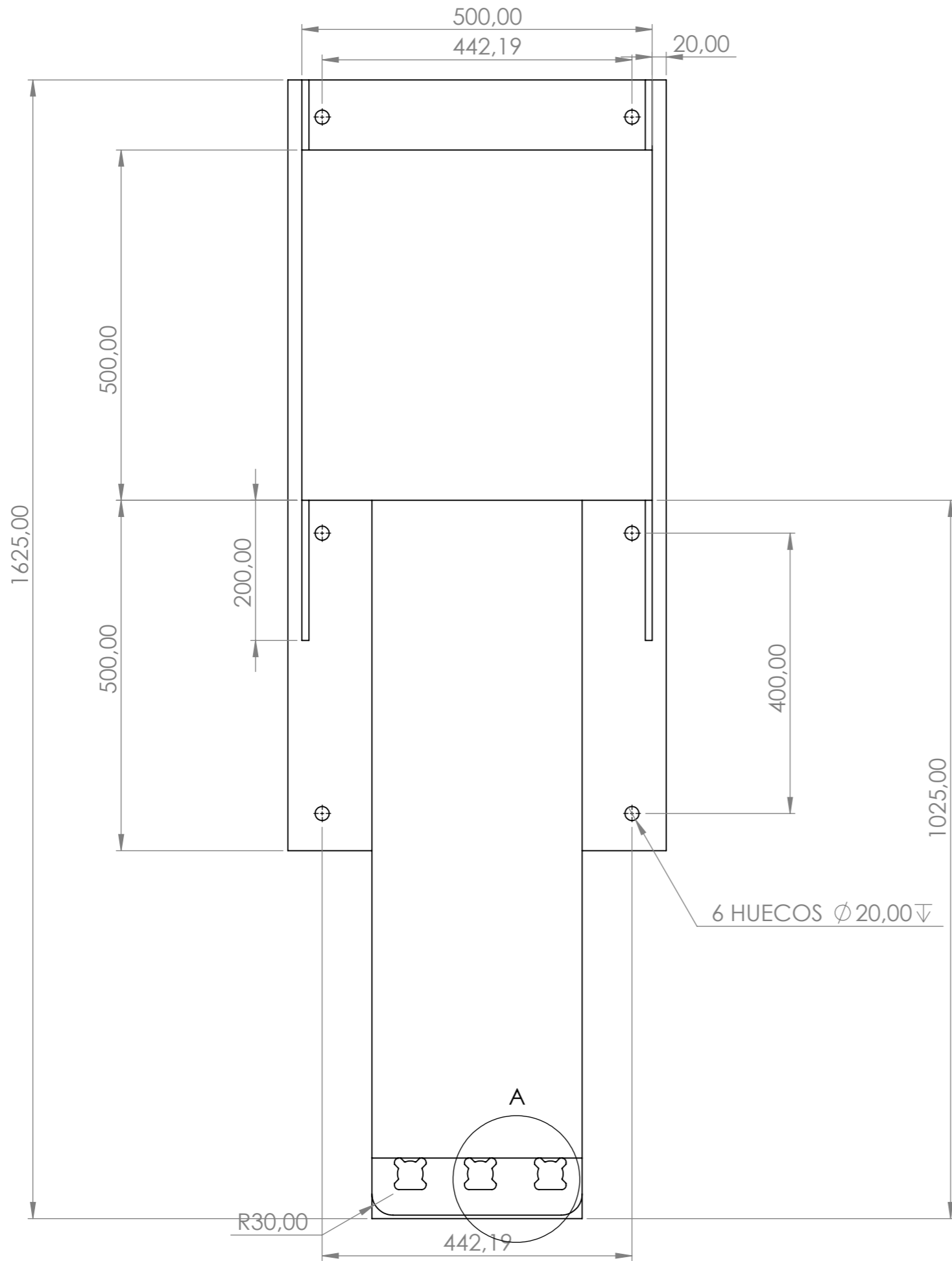


ESCALA: 1:40

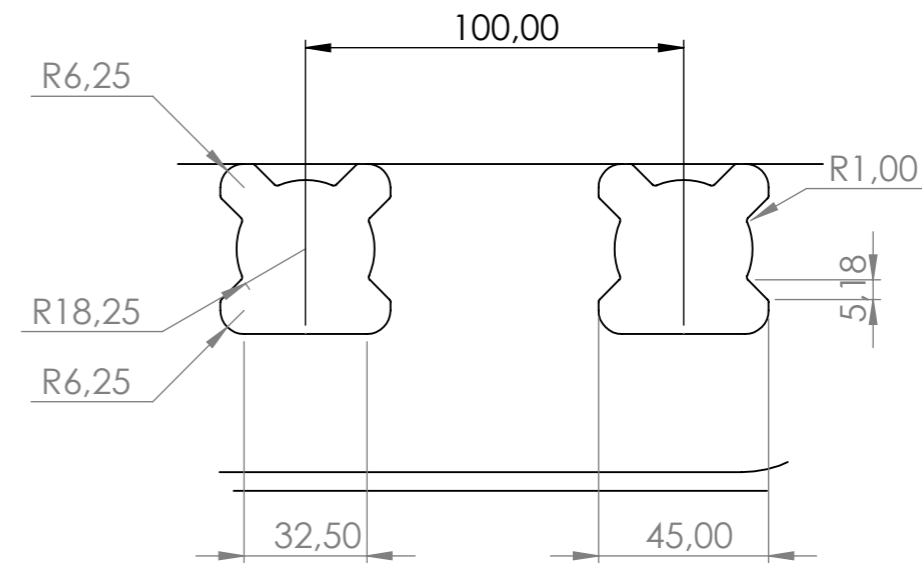


 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER				
Título: ENSAMBLE ESTRUCTURA SOLDADOR	N.º del dibujo: Bastidor	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3
Material: Indicados en planos Especificaciones:	Tipo: Plano pieza	Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Rev.: A
		Código: H 2-5	Escala: 1:10	Hoja: 7/49

Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm



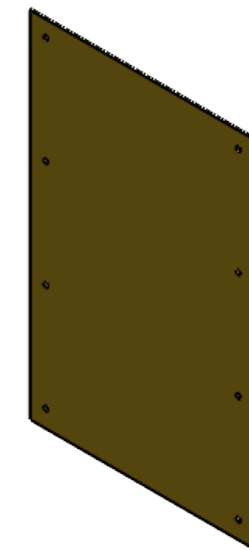
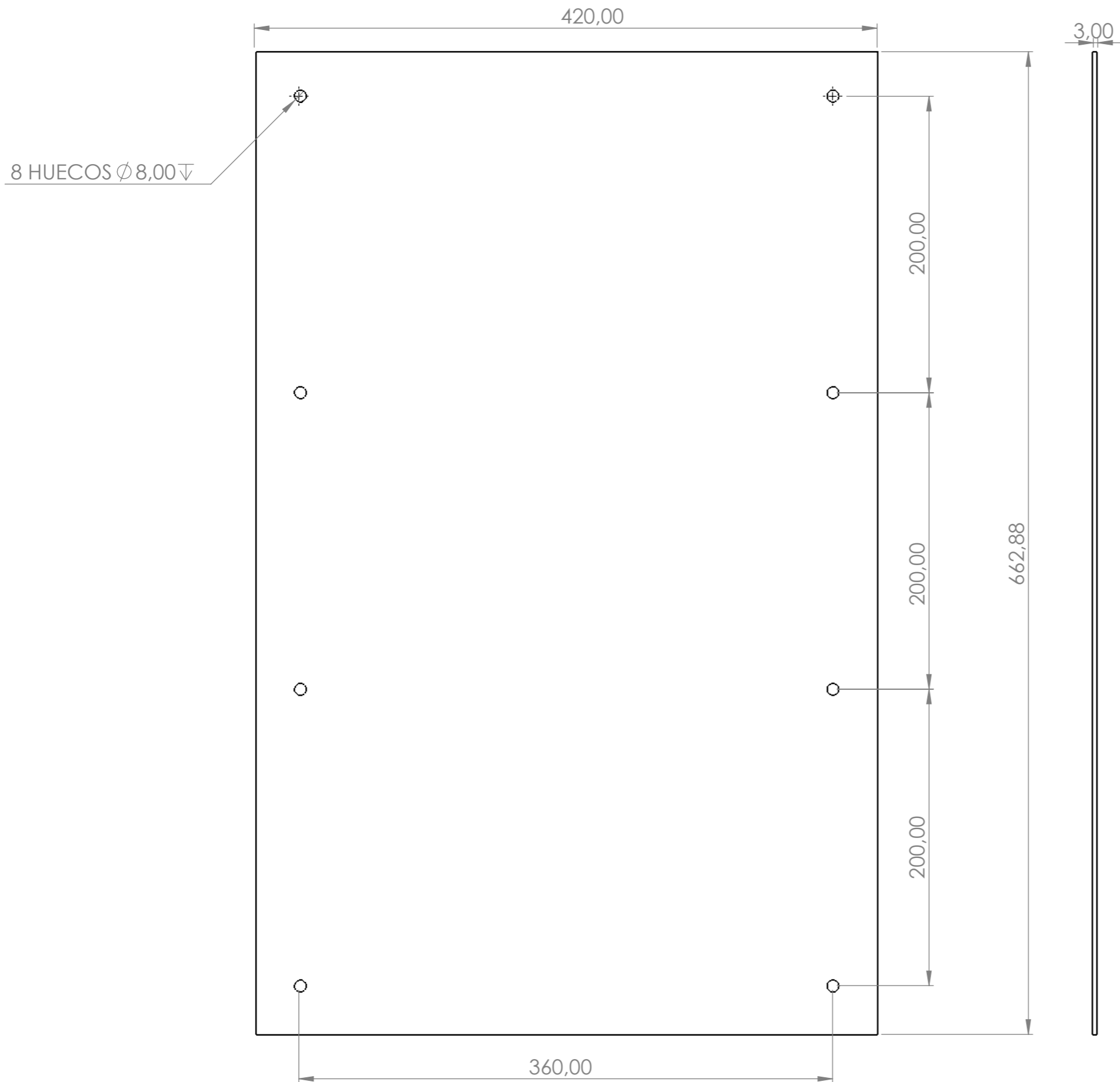
ESCALA: 1:40



DETALLE A
ESCALA 1 : 2

Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm

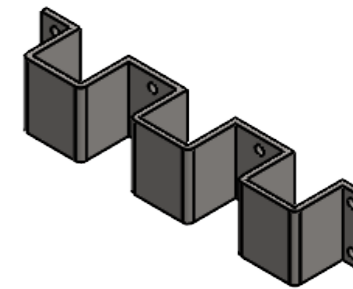
		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		
Título: ENSAMBLE ESTRUCTURA SOLDADOR	N.º del dibujo: Bastidor	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3
Material: Indicados en planos	Tipo: Plano pieza	Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Rev.: A
Especificaciones:		Código: H 2-5	Escala: 1:7	Hoja: 8/49



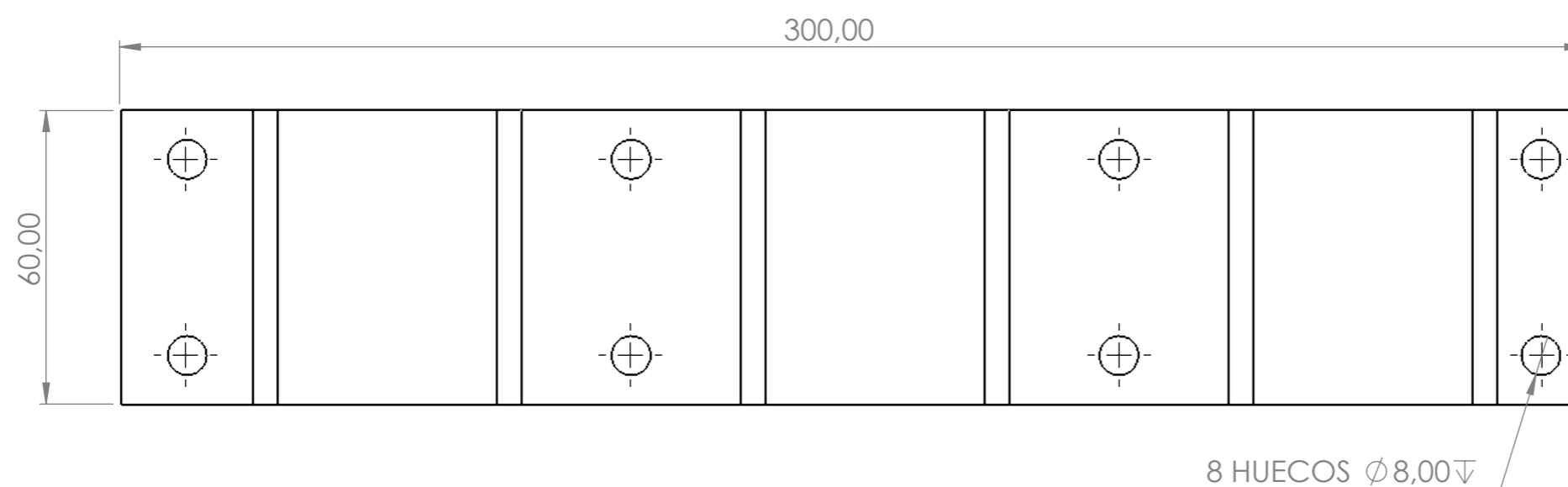
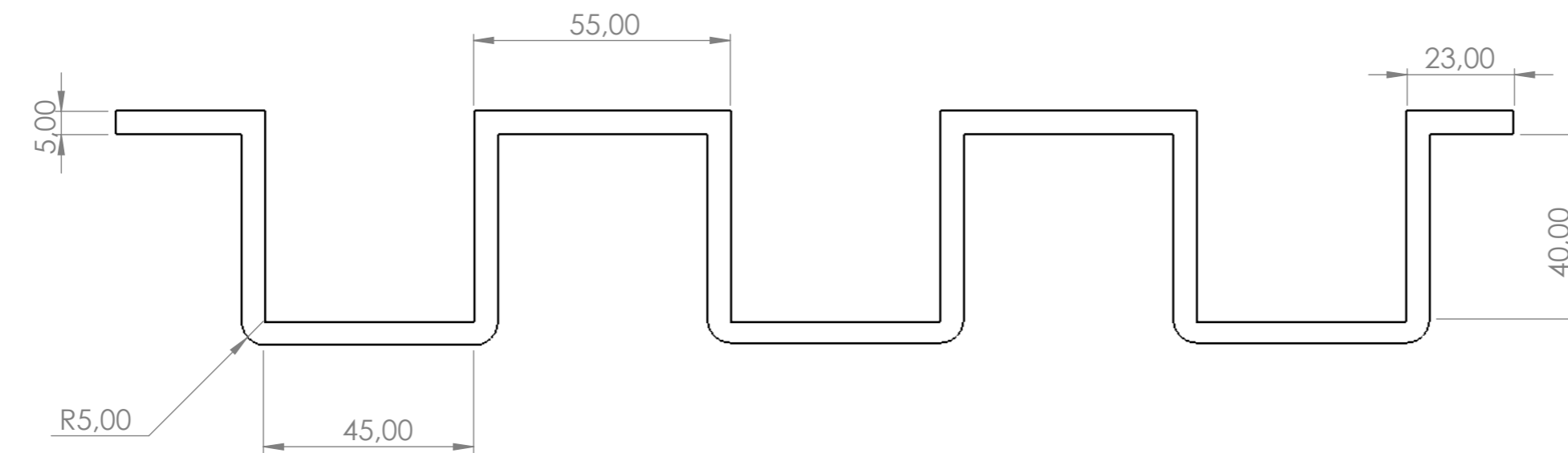
ESCALA: 1:10

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		
Título: ENSAMBLE ESTRUCTURA SOLDADOR	N.º del dibujo: Lámina placa base	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3
		Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Rev. A
Material: Indicados en planos	Tipo: Plano pieza	Código: H 2-7	Escala: 1:3	Hoja: 9/49
Especificaciones:				

Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm

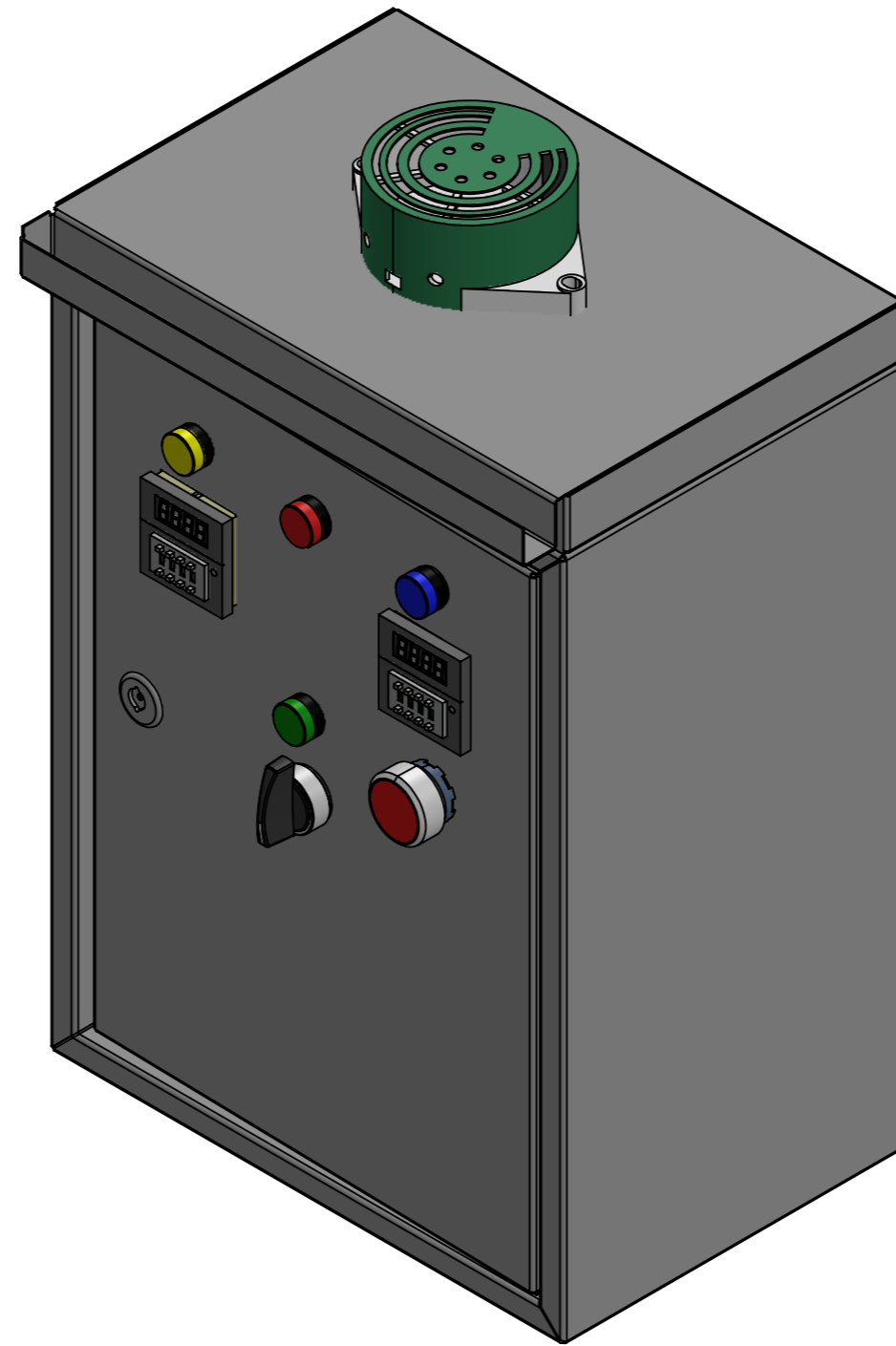


ESCALA:1:5



		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		
Título: ENSAMBLE ESTRUCTURA SOLDADOR	N.º del dibujo: Sujetador del actuador lineal	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3
		Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	
Material: Indicados en planos	Tipo: Plano pieza	Código: H 2-8	Escala: 1:1,3	Hoja: 10/49
Especificaciones:				

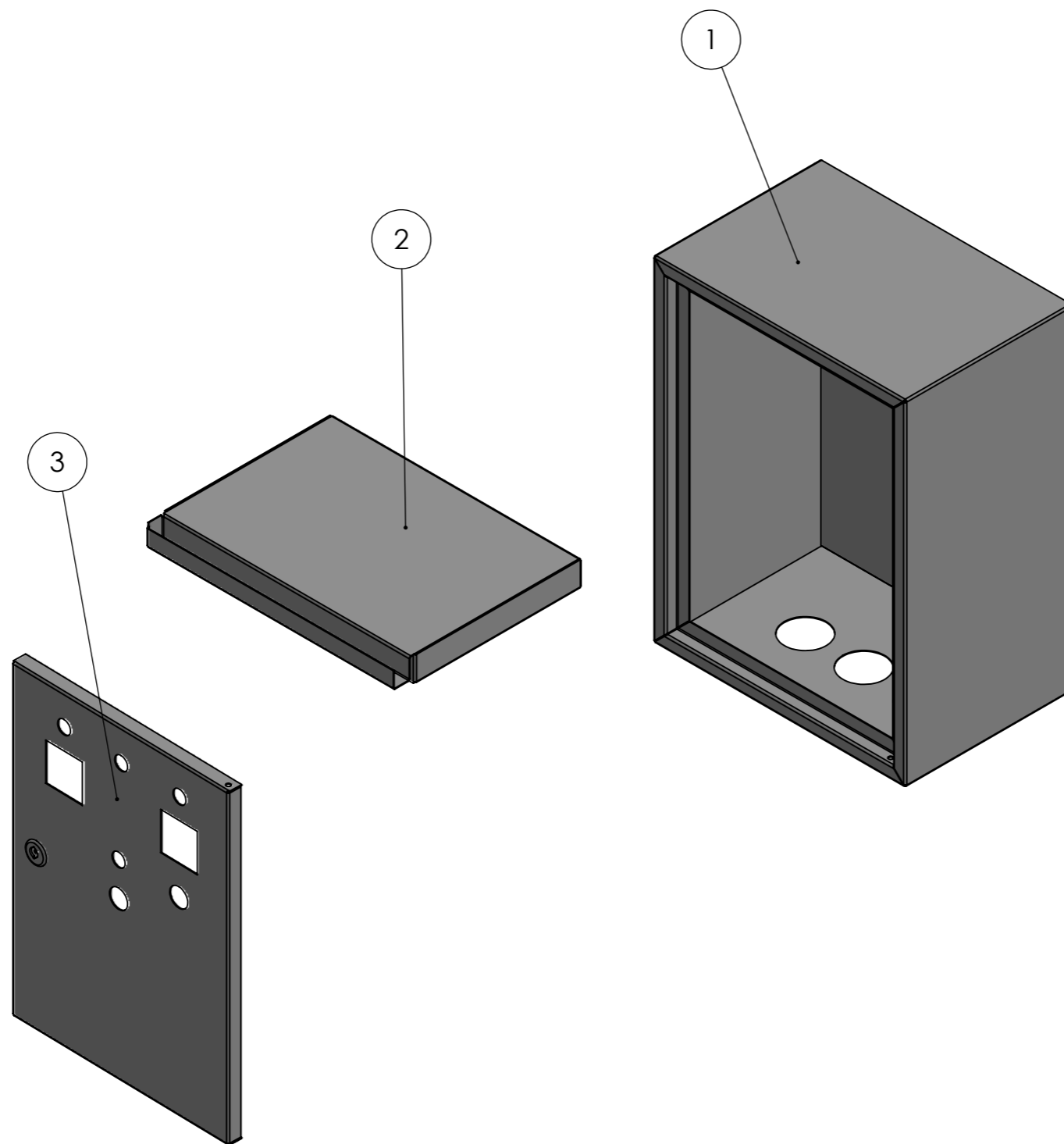
Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm



Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm

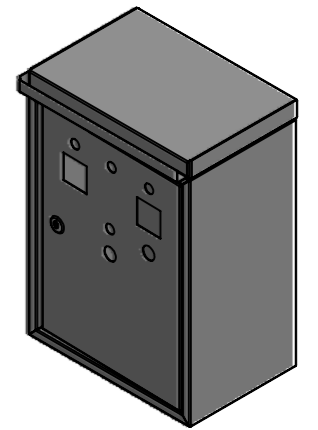
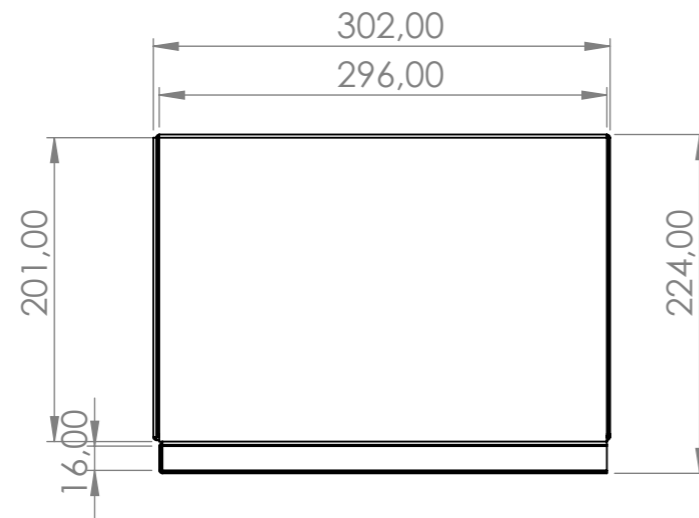
 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
Título: ENSAMBLE SUBSISTEMA DE CONTROL	N.º del dibujo: Caja de control máquina soldadora spot welding	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3	
		Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025		Rev.: A
Material: Indicados en planos	Tipo: Plano ensamble	Código: H 2-9	Escala: 1:3	Hoja: 11/49	
Especificaciones:					

ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Lámina caja control	HR A36	1
2	Lámina superior	HR A36	1
3	Lámina compuerta	HR A36	1

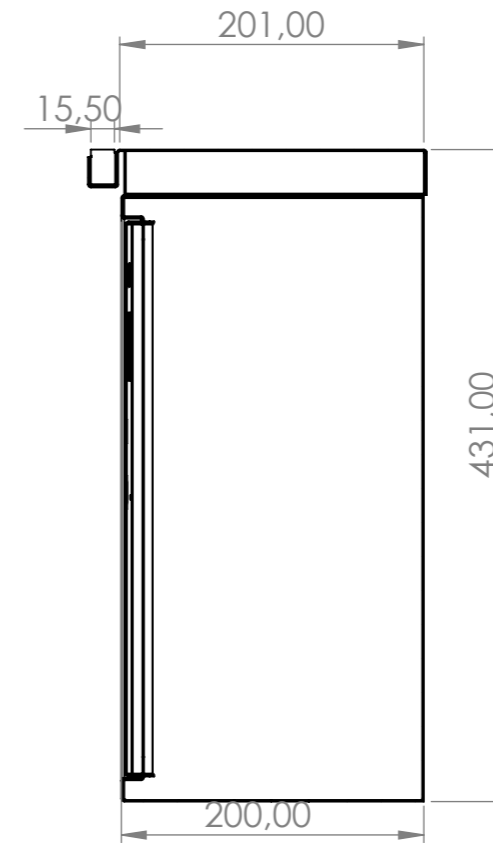
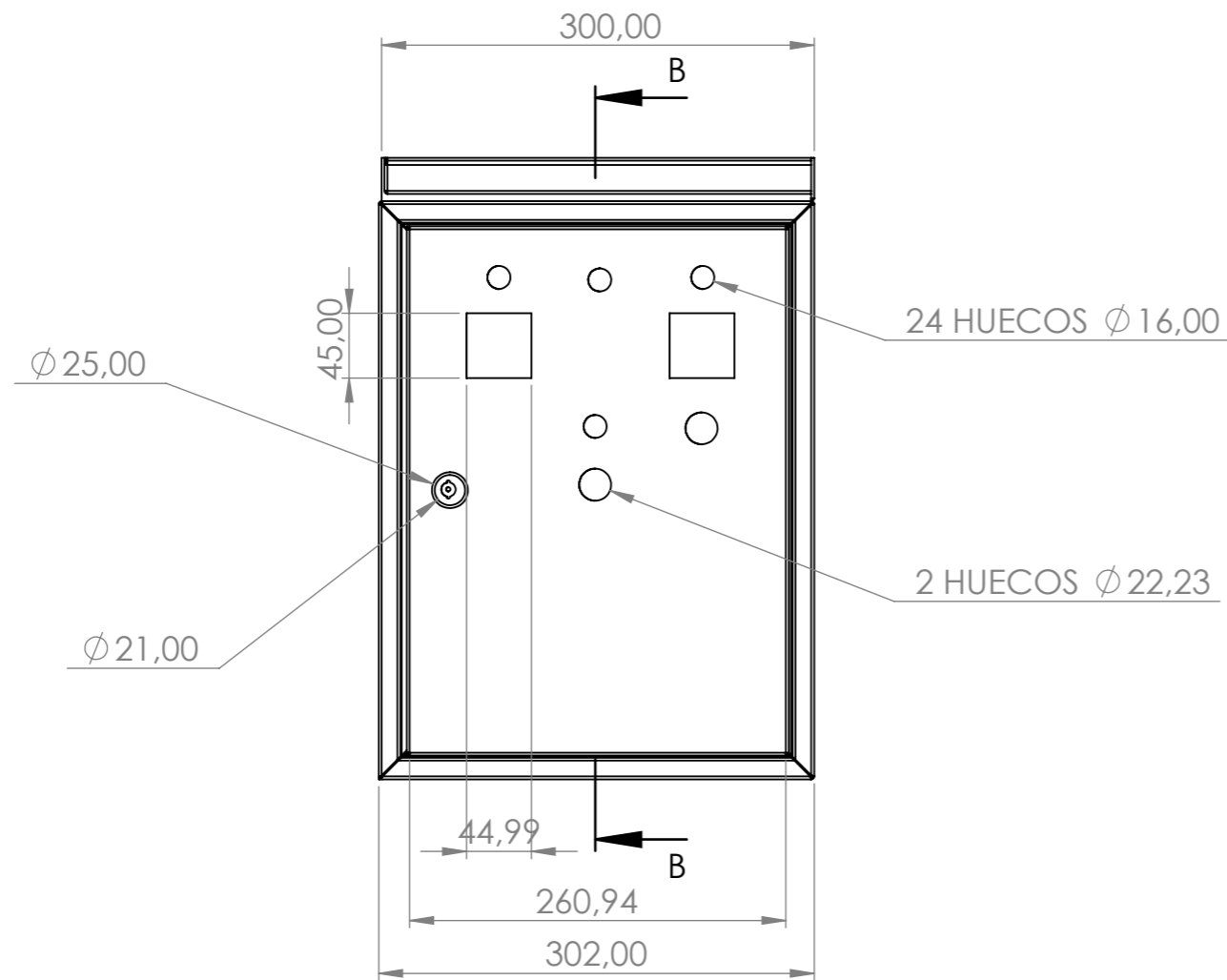


 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
Título: ENSAMBLE SUBSISTEMA DE CONTROL	N.º del dibujo: Caja de control	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3	
		Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025		Rev. A
Material: Indicados en planos		Tipo: Plano explosionado	Código: H 2-10	Escala: 1:5	Hoja: 12/49

Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm



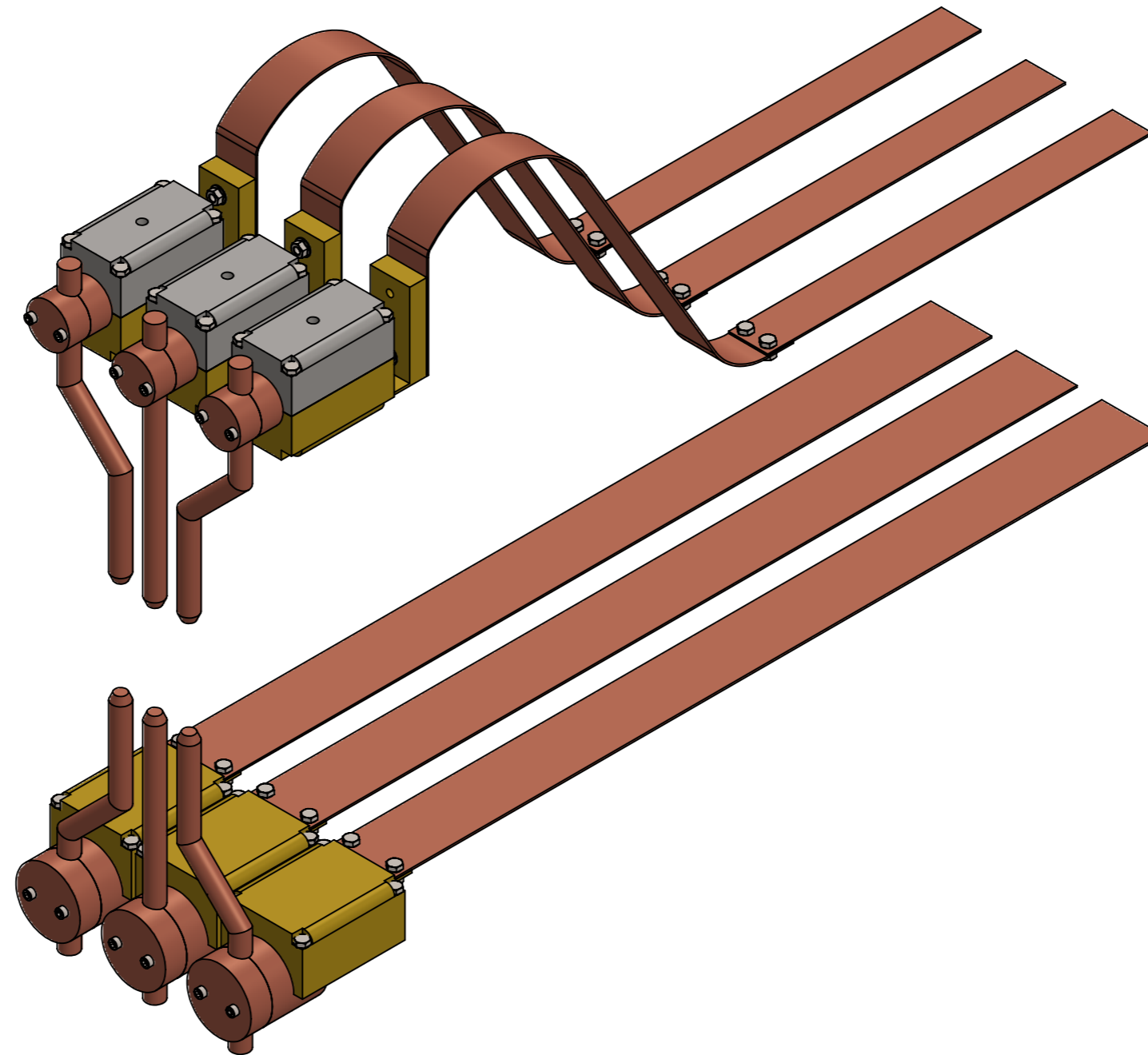
ESCALA:1:10



SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 5

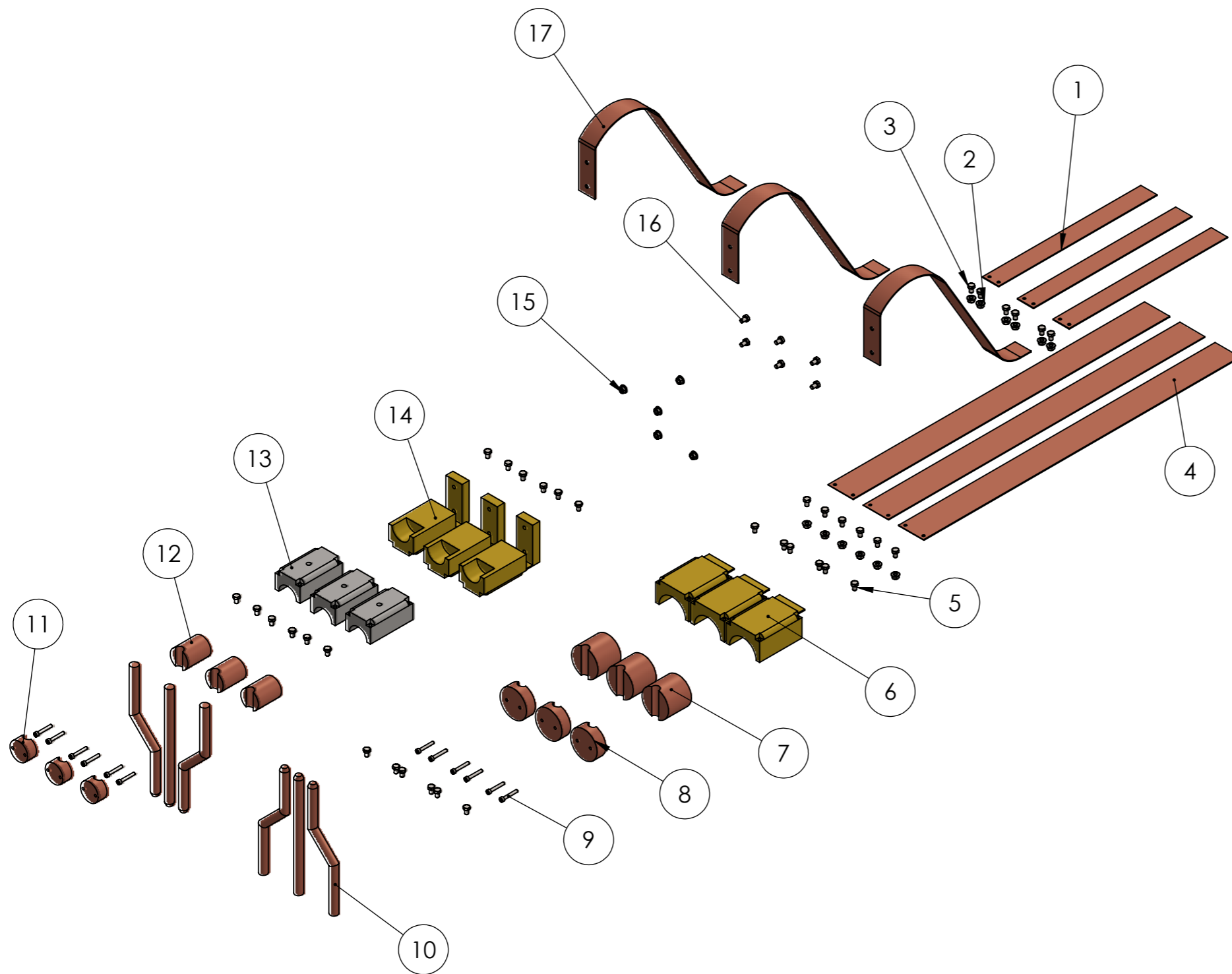
		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
Título: ENSAMBLE SUBSISTEMA DE CONTROL	N.º del dibujo: Caja de control máquina soldadora spot welding	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3	
		Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025		Rev. A
Material: Indicados en planos	Tipo: Plano ensamble	Código: H 2-11	Escala: 1:5	Hoja: 13/49	

Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm



Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm

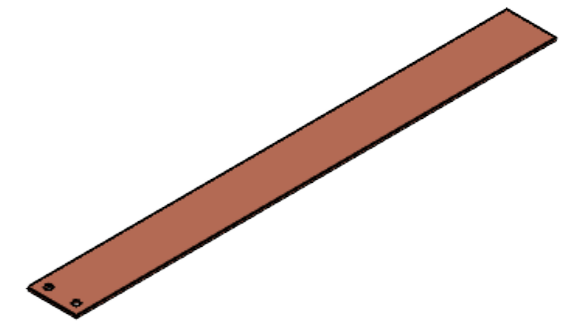
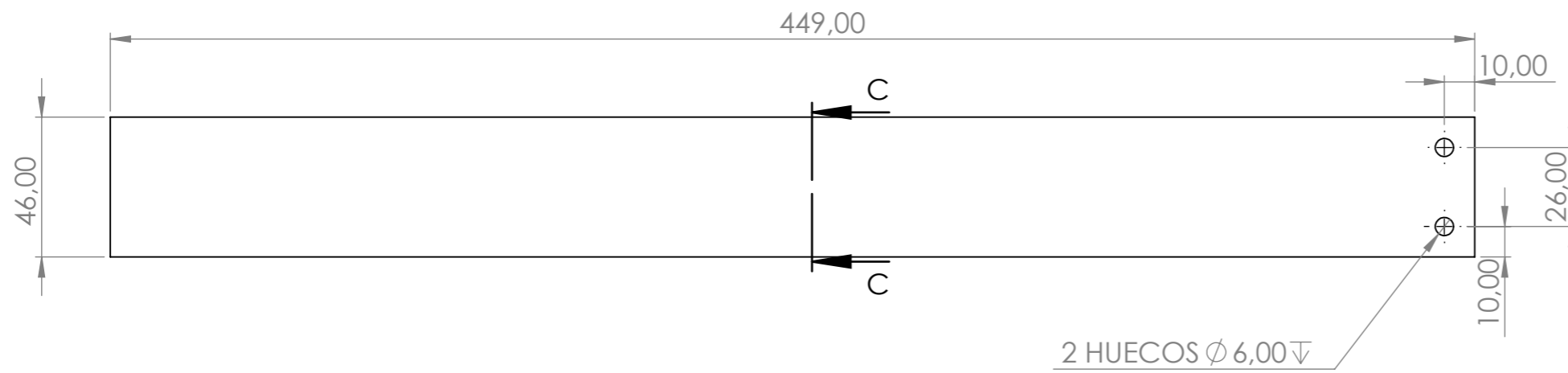
 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
Título: ENSAMBLE SISTEMA SOLDADO	N.º del dibujo: Sistema de esfuerzo	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3	
		Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025		Rev. A
Material: Indicados en planos Especificaciones:	Tipo: Plano ensamble	Código: H 2-12	Escala: 1:5	Hoja: 14/49	



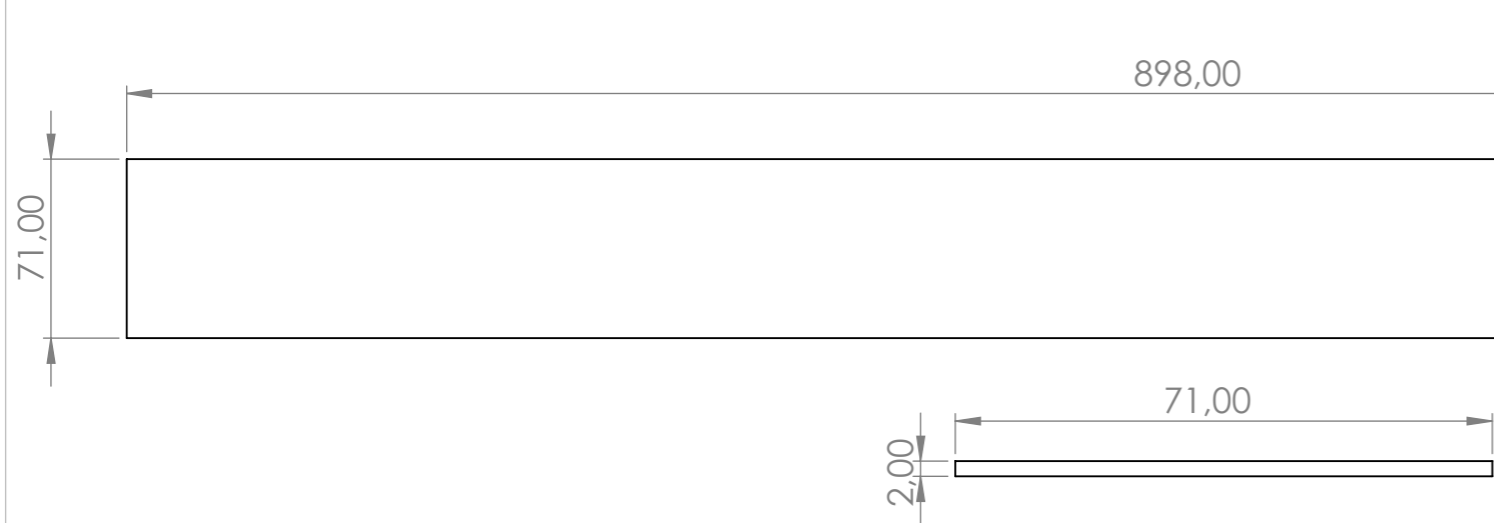
ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Lámina conductora	HR cobre electrolítico	3
2	Tuerca hexagonal	Tuerca M8	12
3	Tornillo cabeza hexagonal	Tornillo M8X12	12
4	Lámina conductora	HR cobre electrolítico	3
5	Tornillo cabeza hexagonal	Tornillo M8X45	12
6	Portaelectrodo superior-inferior	Aleación de cobre	3
7	Base electrodo	Cobre electrolítico	3
8	Tapa base electrodo	Cobre electrolítico	3
9	Tornillo allen	Tornillo M6X40	12
10	Electrodos	Cobre electrolítico	6
11	Base electrodo	Cobre electrolítico	3
12	Tapa base electrodo	Cobre electrolítico	3
13	Portaelectrodo superior- arriba	Acero A36	3
14	Portaelectrodo inferior- abajo	Aleación de cobre	3
15	Tuerca hexagonal	Tuerca M8	6
16	Tornillo cabeza hexagonal	M8X16	6
17	Banda conductora	Cobre electrolítico	3

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		
Título: ENSAMBLE SISTEMA SOLDADO	N.º del dibujo: Sistema de esfuerzo	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3
Material: Indicados en planos Especificaciones:		Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Rev.: A
		Código: H 2-13	Escala: 1:10	Hoja: 15/49

Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm

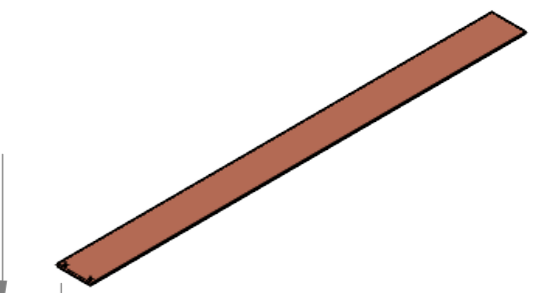


ESCALA: 1:5



2 HUECOS Ø 6,00

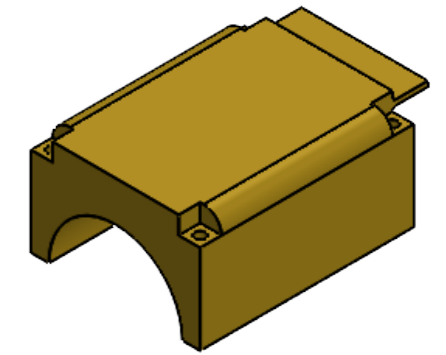
REDONDEO R 2,00



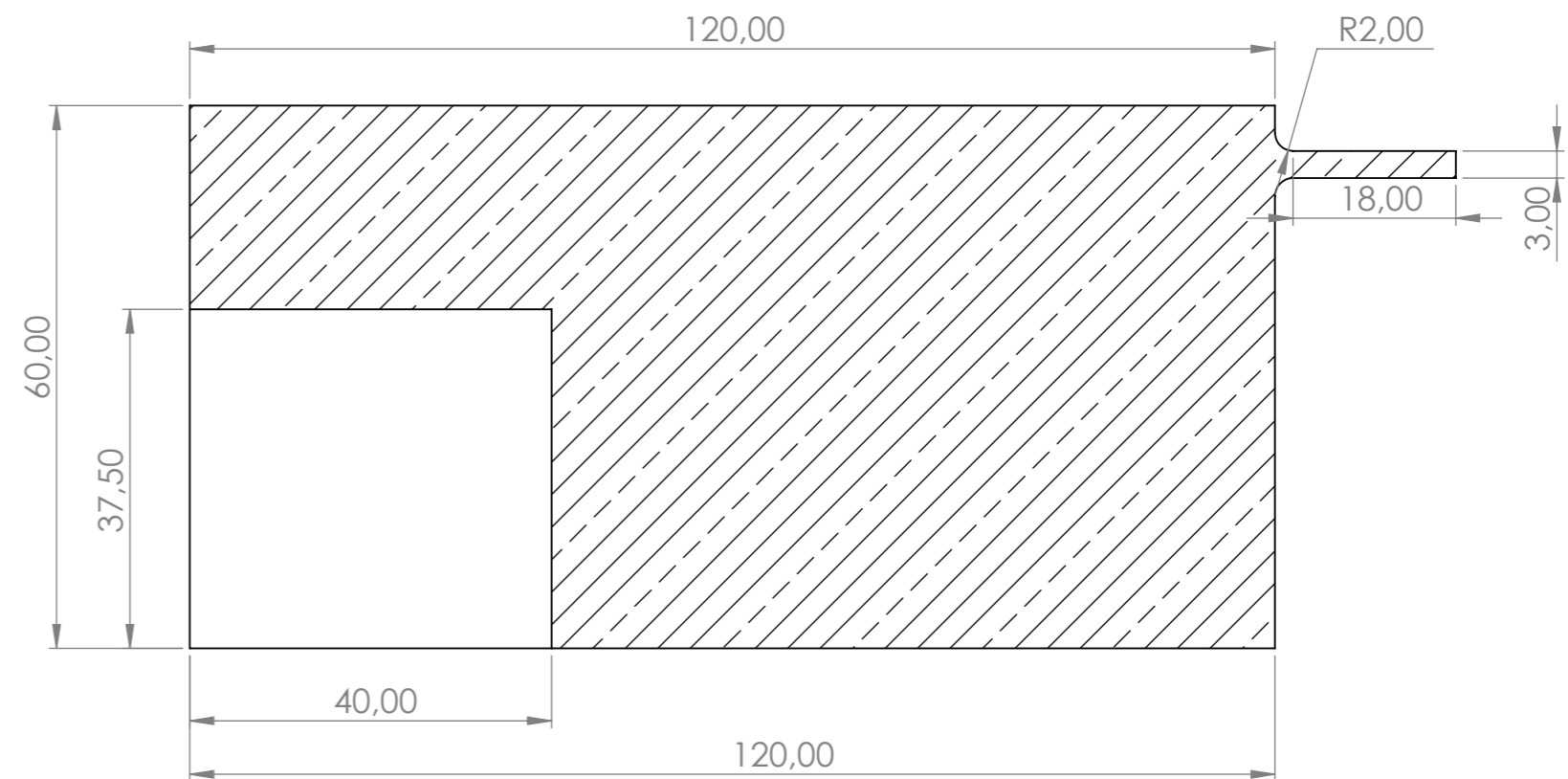
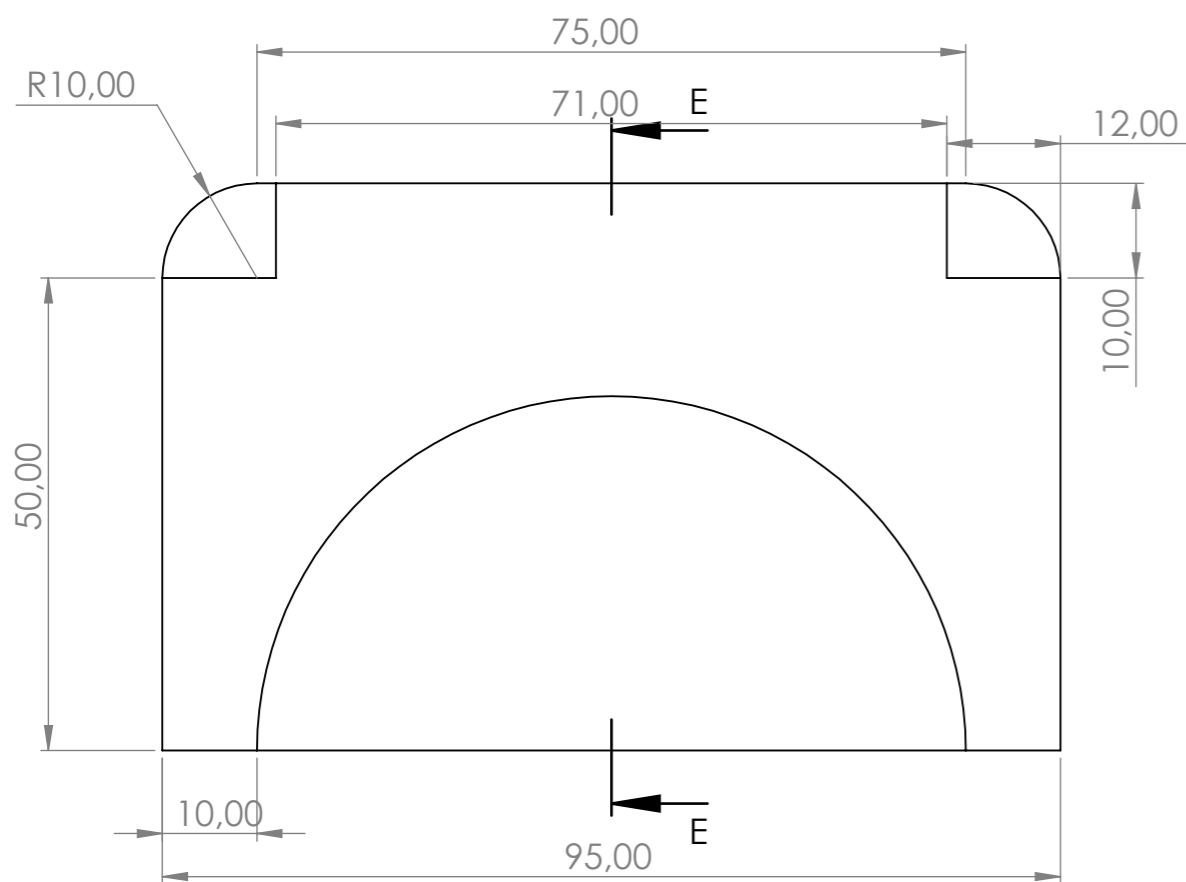
ESCALA: 1:10

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
Título: SUBSISTEMA SISTEMA SOLDADO	N.º del dibujo: Lámina conductora	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3	
Material: Indicados en planos Especificaciones:	Tipo: Plano pieza	Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Rev.: A	
		Código: H 2-14	Escala:	Hoja: 16/49	

Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm



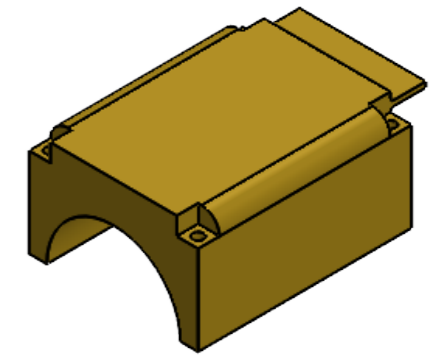
ESCALA: 1:3.



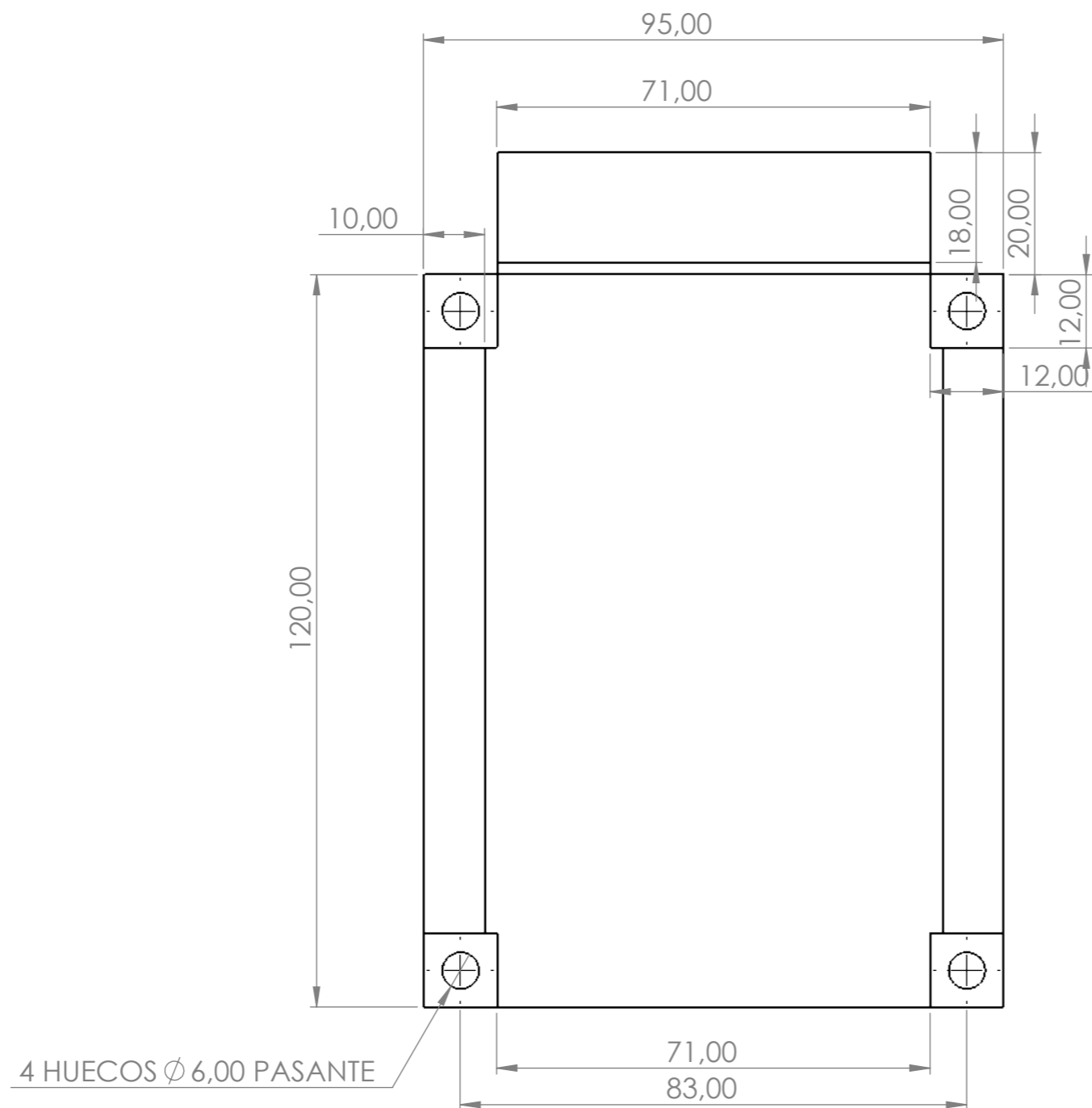
SECCIÓN E-E
ESCALA 1 : 0.8

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
Título: SUBSISTEMA SISTEMA SOLDADO	N.º del dibujo: Portaelectrodo superior-inferior	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3	Rev. A
Material: Indicados en planos Especificaciones:	Tipo: Plano pieza	Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Código: H 2-15	Hoja: 17/49

Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm

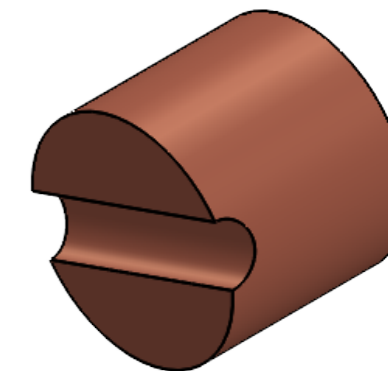
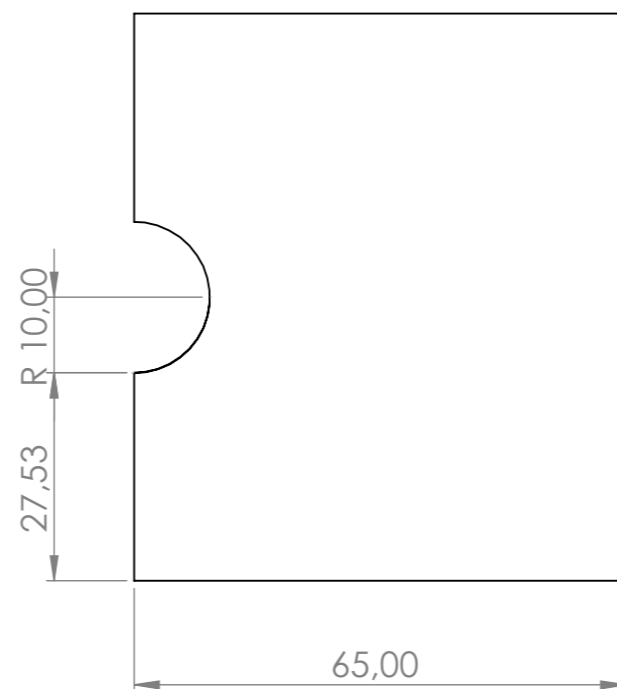
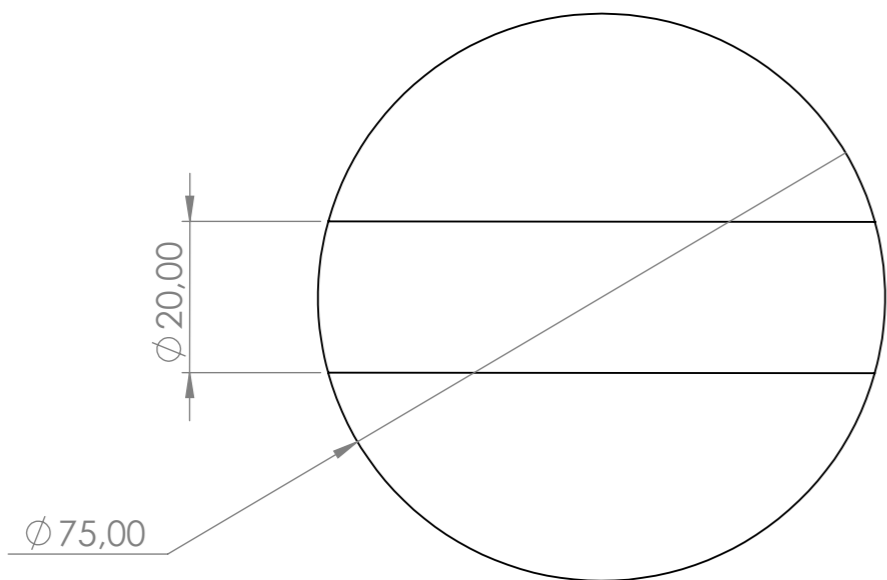


ESCALA: 1:3

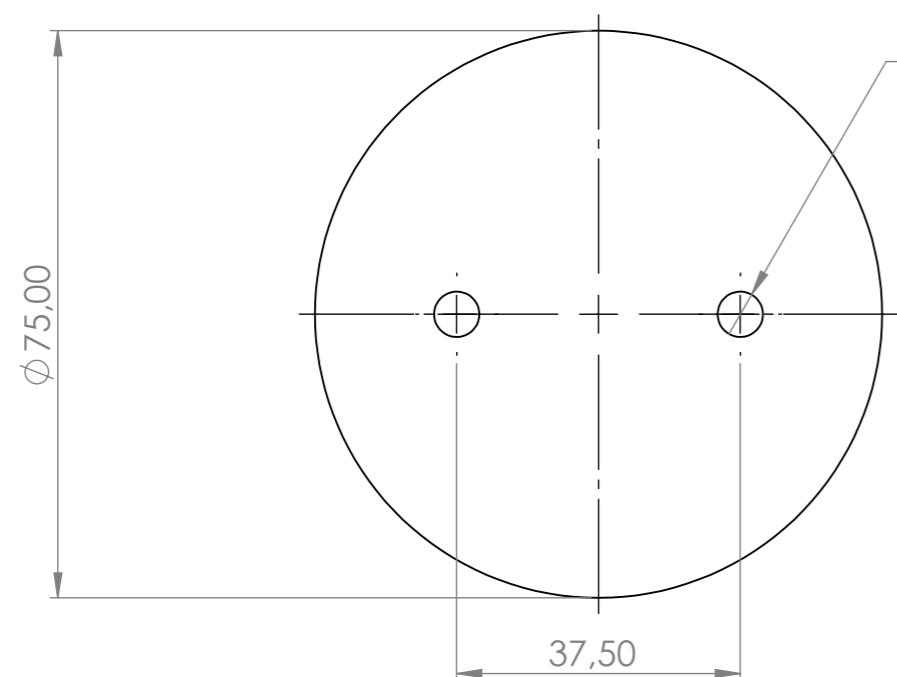


 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		
Título: SUBSISTEMA SISTEMA SOLDADO	N.º del dibujo: Portaelectrodo superior-inferior	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3
		Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	
Material: Indicados en planos	Tipo: Plano pieza	Código: H 2-16	Escala: 1:1	Hoja: 18/49
Especificaciones:				

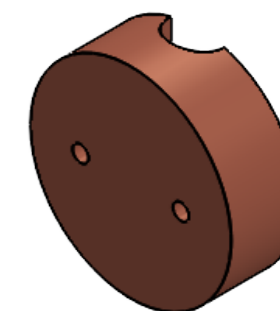
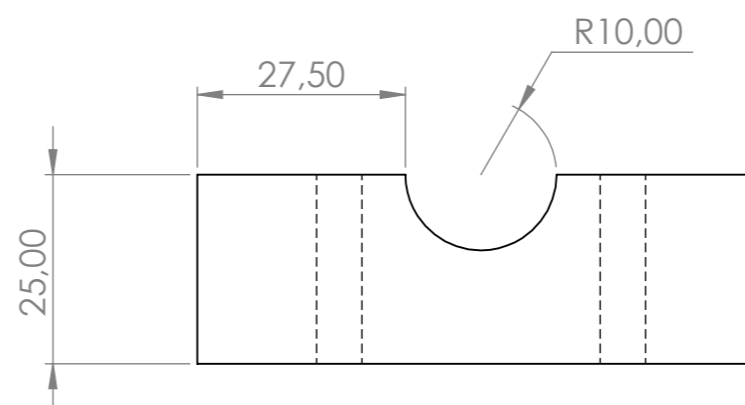
Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm



ESCALA: 1:2



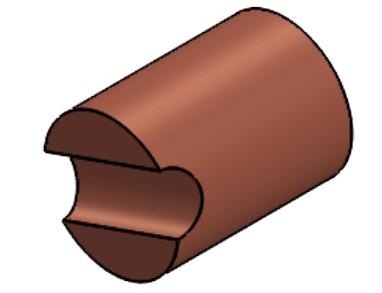
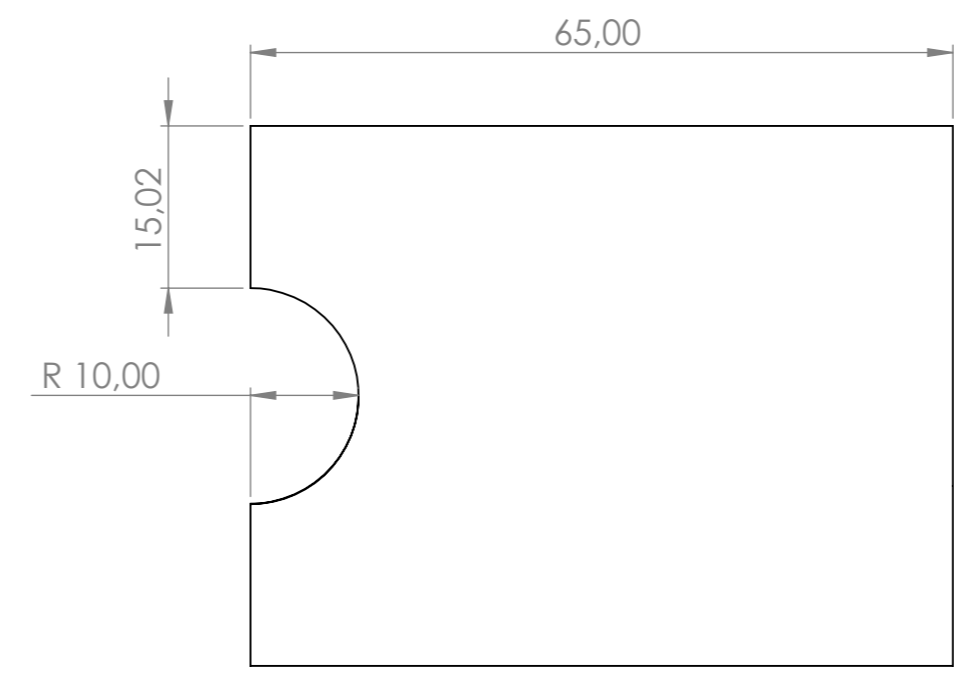
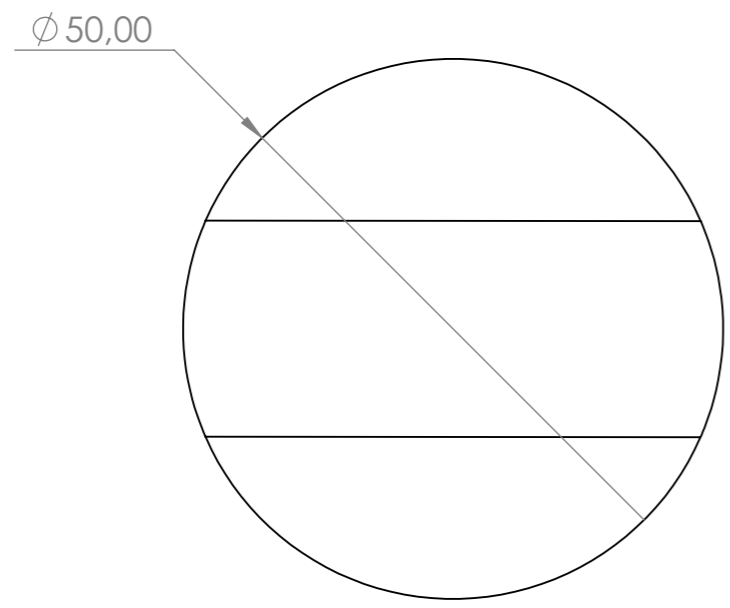
2 HUECOS $\phi 6,00$ PASANTES



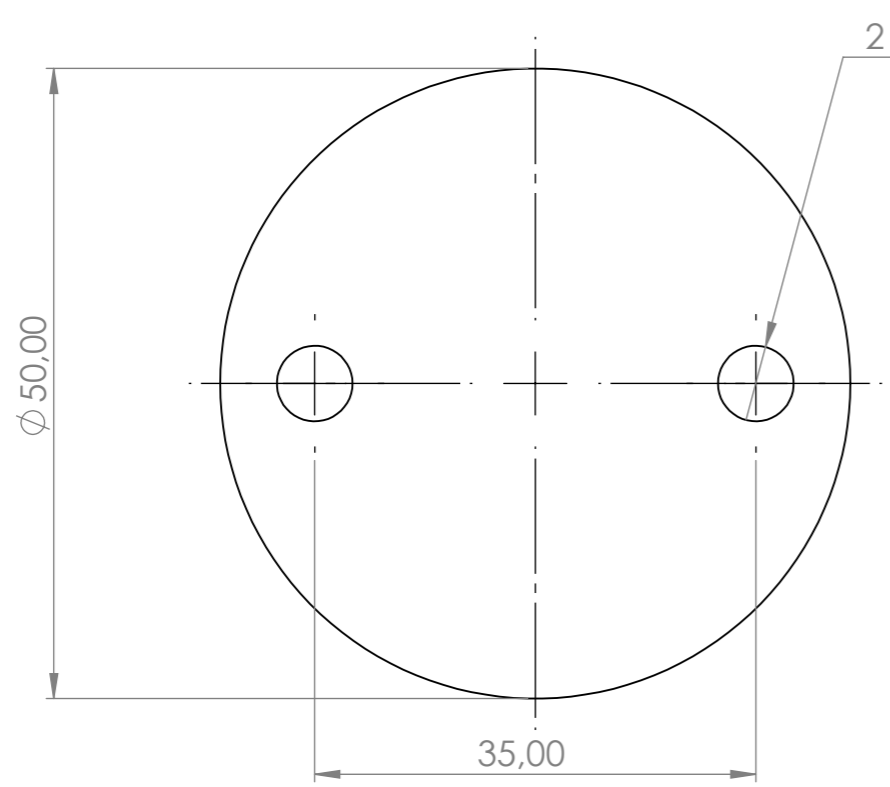
ESCALA: 1:2

 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER				
Título: SUBSISTEMA SISTEMA SOLDADO	N.º del dibujo: Sujeción electrodo	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3
Material: Indicados en planos	Tipo: Plano pieza	Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Rev.: A
Especificaciones:		Código: H 2-17	Escala:	Hoja: 19/49

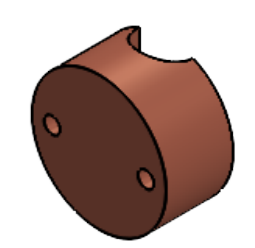
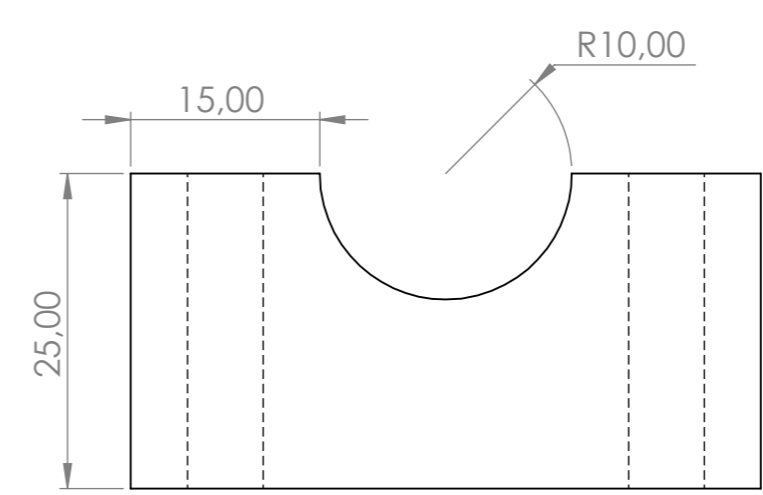
Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm



ESCALA: 1:2



2 HUECOS ϕ 6,00 PASANTES



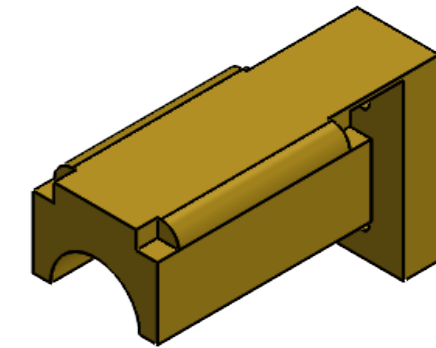
ESCALA: 1:2



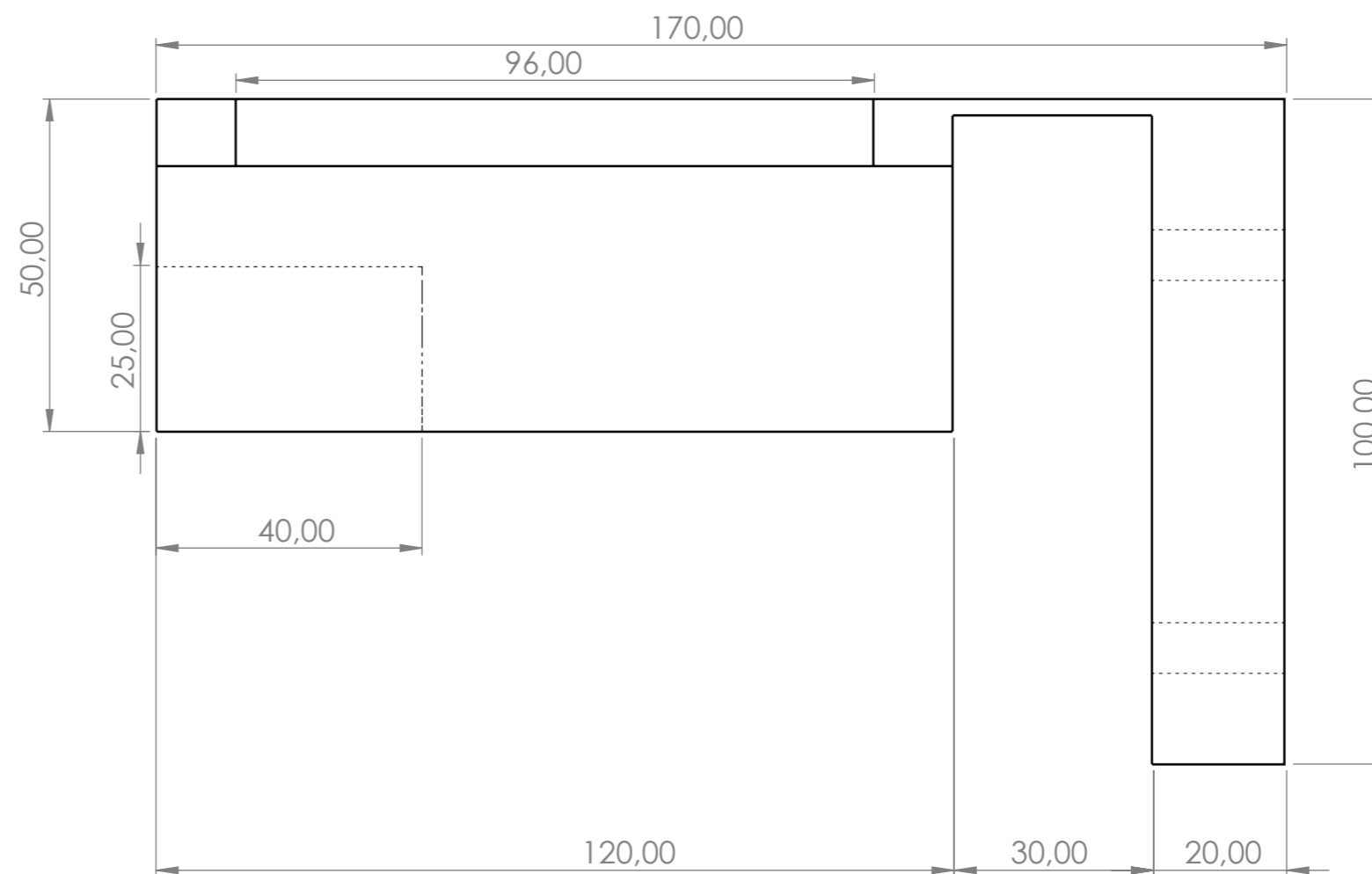
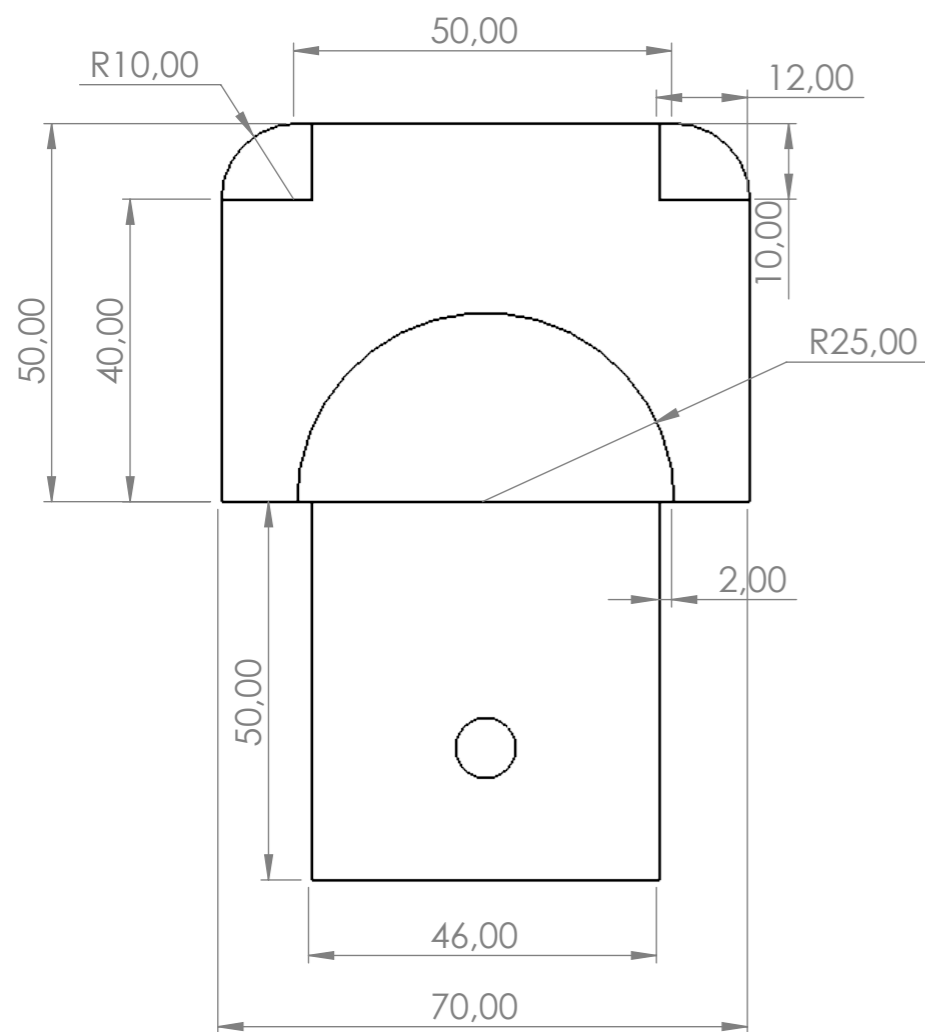
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

Título: SUBSISTEMA SISTEMA SOLDADO	N.º del dibujo: Base y tapa sujeción electrodo	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025		A3
Material: Indicados en planos	Tipo: Plano pieza	Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Rev. A	
Especificaciones:		Código: H 2-18	Escala:	Hoja: 20/49	

Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm

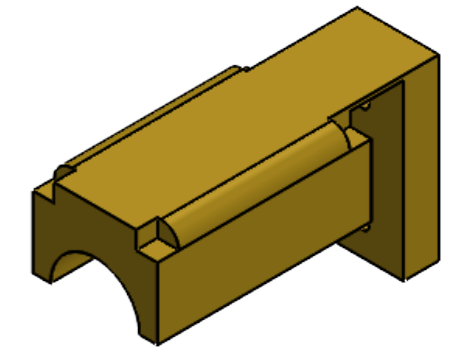


ESCALA: 1:3

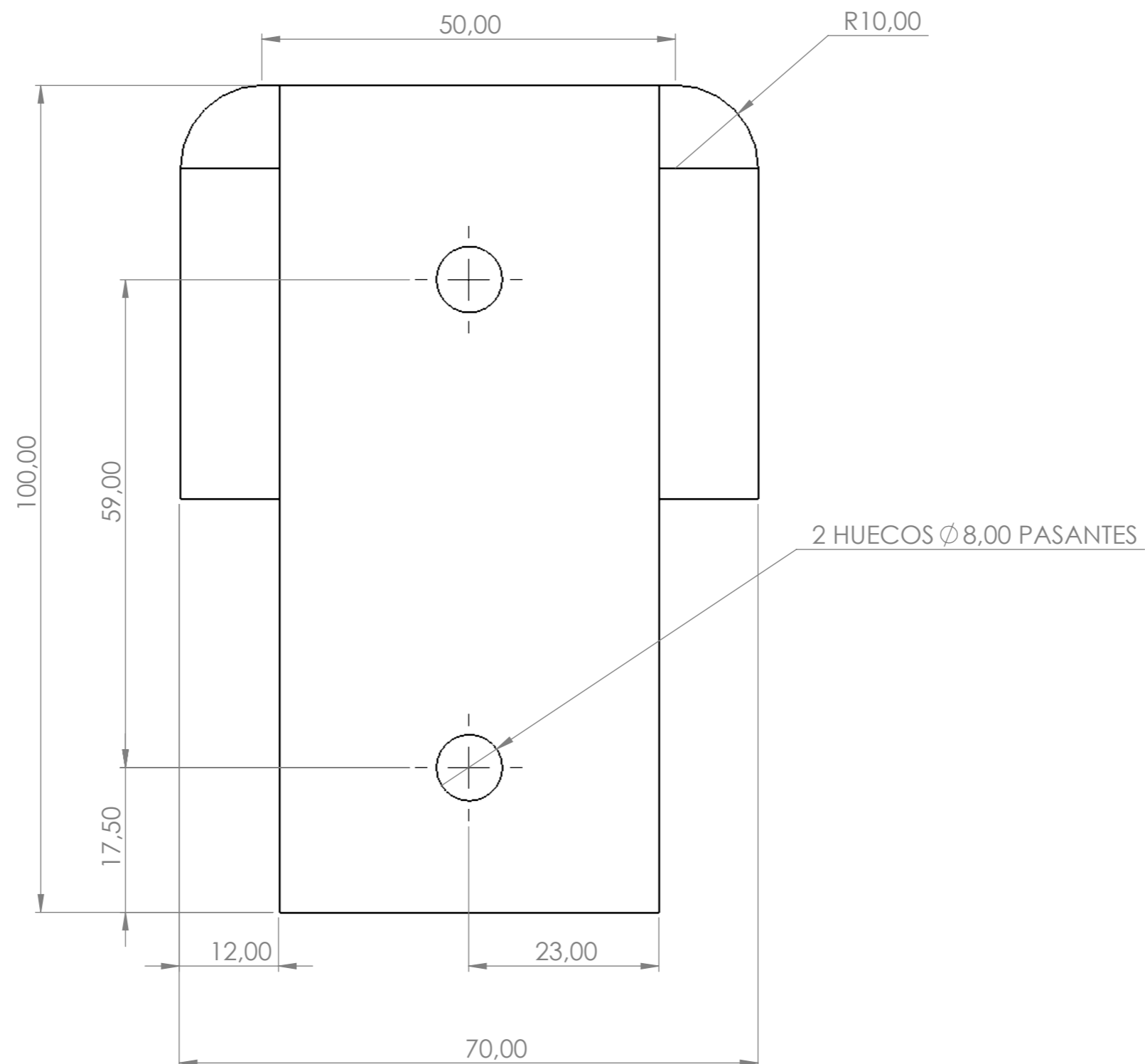


		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
Título: SUBSISTEMA SISTEMA SOLDADO	N.º del dibujo: Portaelectrodo inferior- abajo	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3	
		Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Rev. A	
Material: Indicados en planos	Tipo: Plano pieza	Código: H 2-19	Escala: 1:1	Hoja: 21/49	

Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm

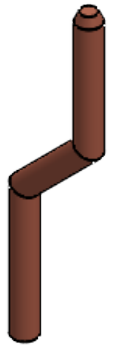
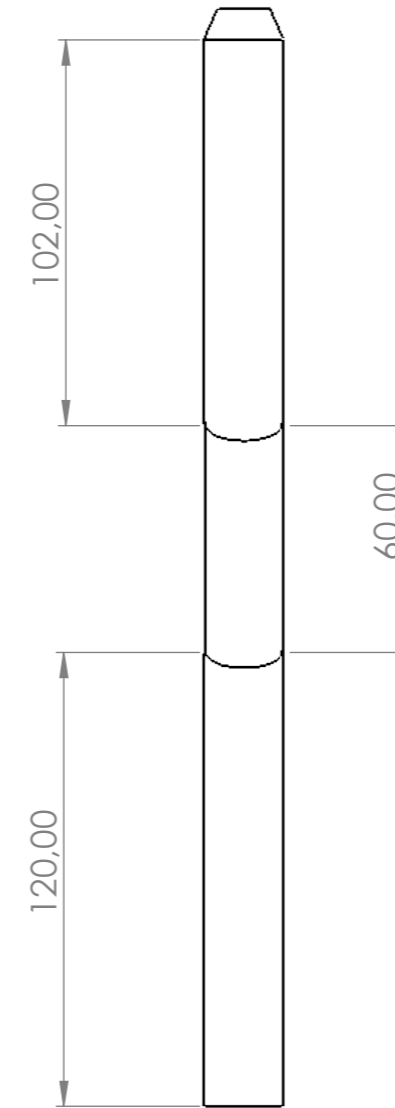
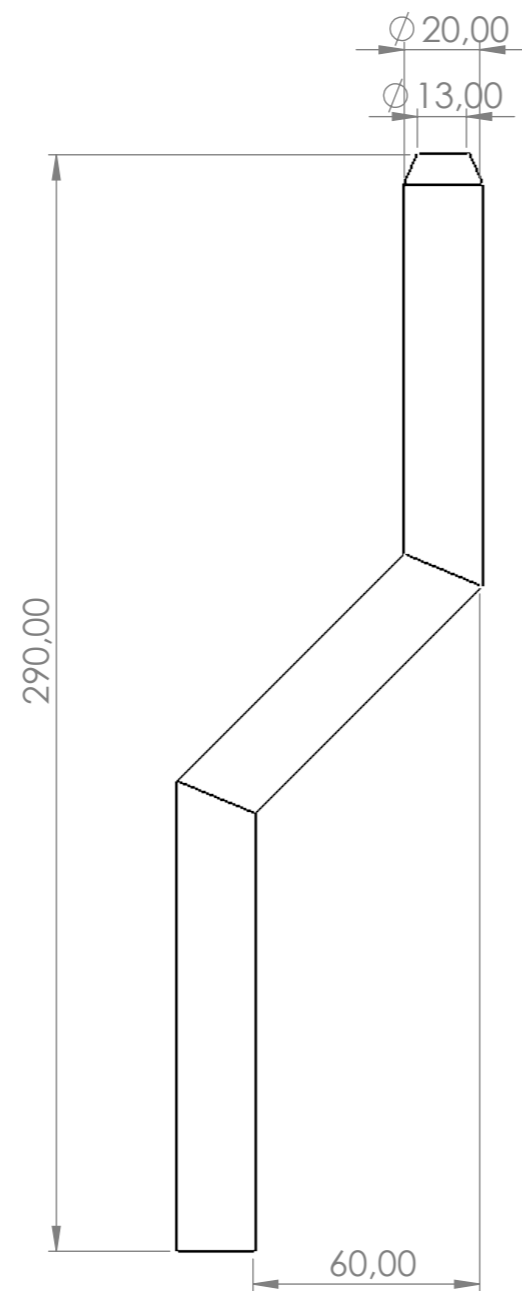


ESCALA: 1:3



		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
Título: SUBSISTEMA SISTEMA SOLDADO	N.º del dibujo: Portaelectrodo inferior- abajo	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3	
		Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025		Rev. A
Material: Indicados en planos Especificaciones:		Tipo: Plano pieza	Código: H 2-20	Escala: 2:1.3	Hoja: 22/49

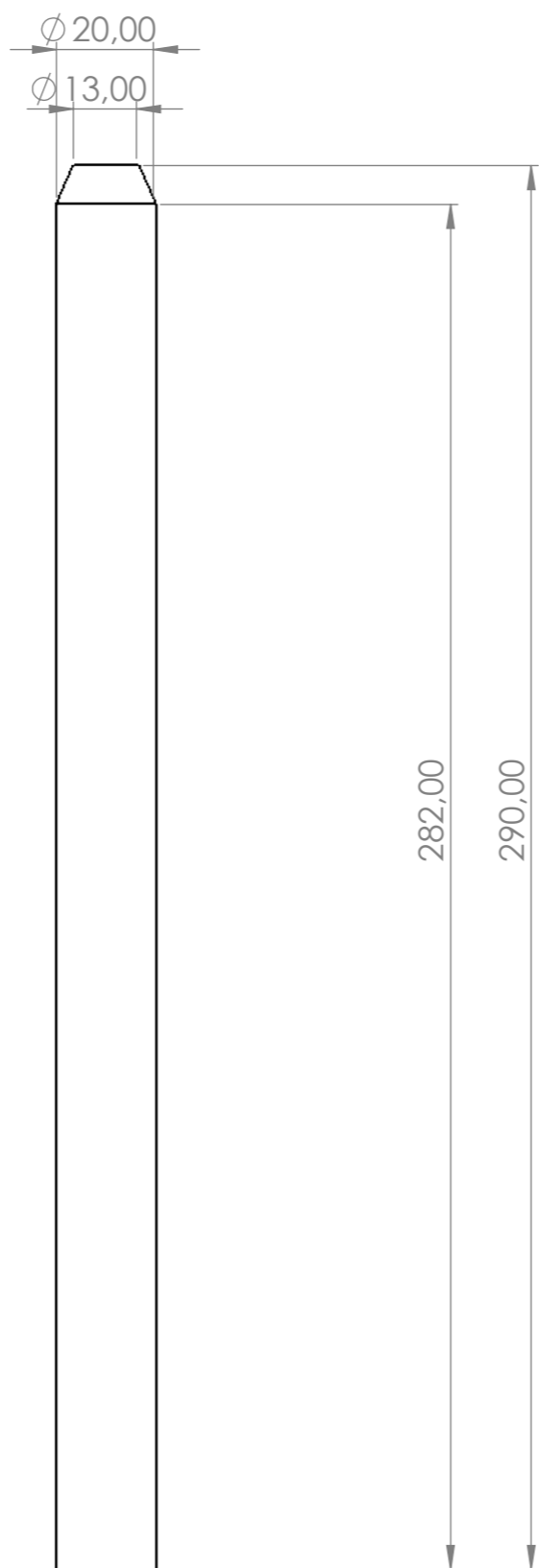
Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm



ESCALA: 1:5

 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
Título: SUBSISTEMA SISTEMA SOLDADO	N.º del dibujo: Electrodo electrolítico	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3	Rev. A
		Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025		
Material: Indicados en planos		Tipo: Plano pieza	Código: H 2-21	Escala: 1:2	Hoja: 23/49
Especificaciones:					

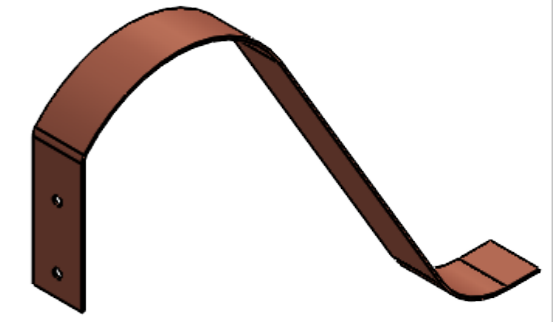
Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm



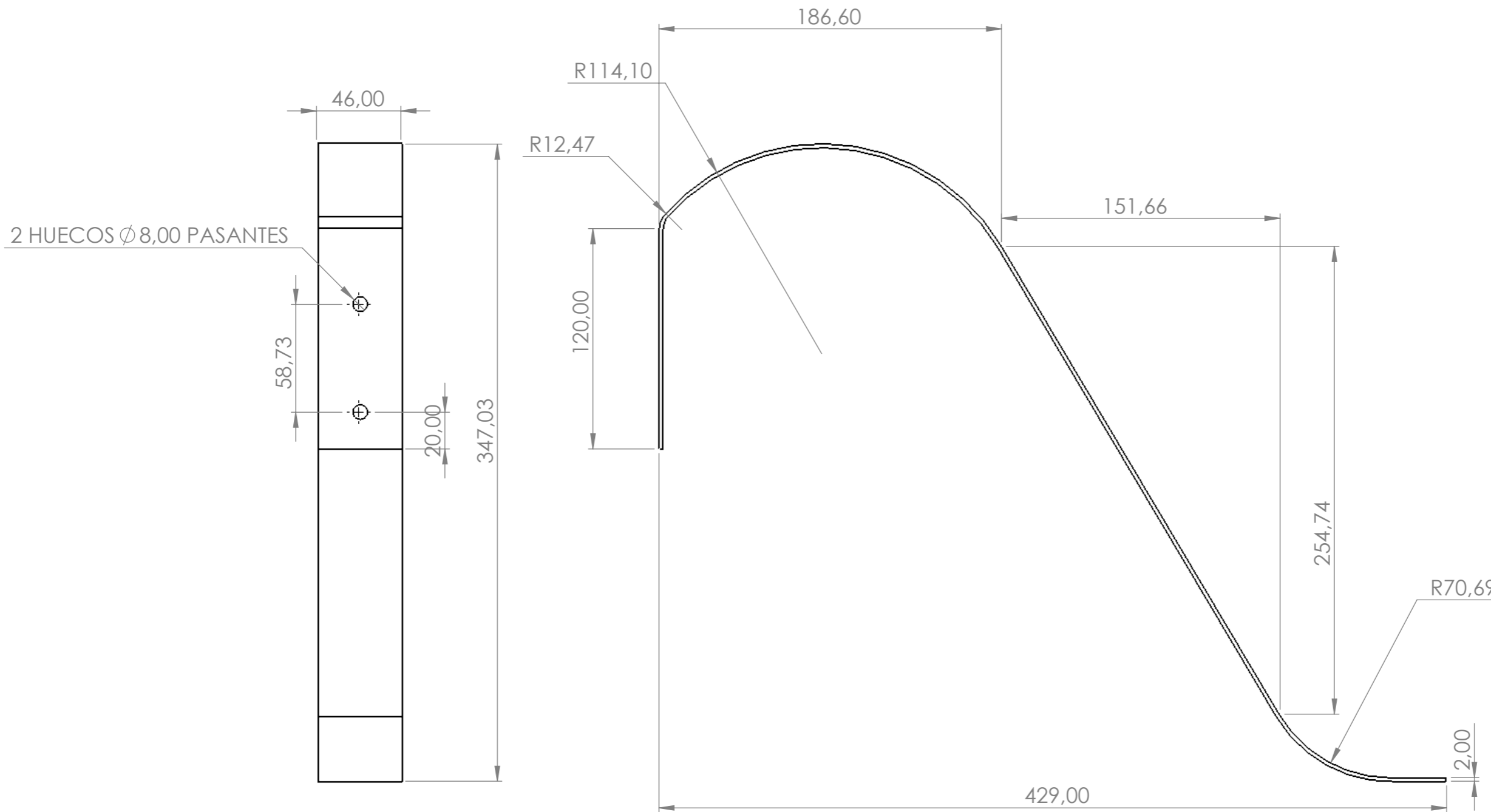
ESCALA: 1:5

 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER				
Título: SUBSISTEMA SISTEMA SOLDADO		N.º del dibujo: Electrodos electrolítico recto		Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3
				Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Rev. A
Material: Indicados en planos		Tipo: Plano pieza		Código: H 2-23	Escala: 1:2	Hoja: 24/49
Especificaciones:						

Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm



ESCALA: 1:5



2 HUECOS ϕ 8,00 PASANTES

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
Título: SUBSISTEMA SISTEMA SOLDADO	N.º del dibujo: Banda conductora	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3	
		Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Rev. A	
Material: Indicados en planos Especificaciones:	Tipo: Plano pieza	Código: H 2-25	Escala: 1:2.5	Hoja: 25/49	

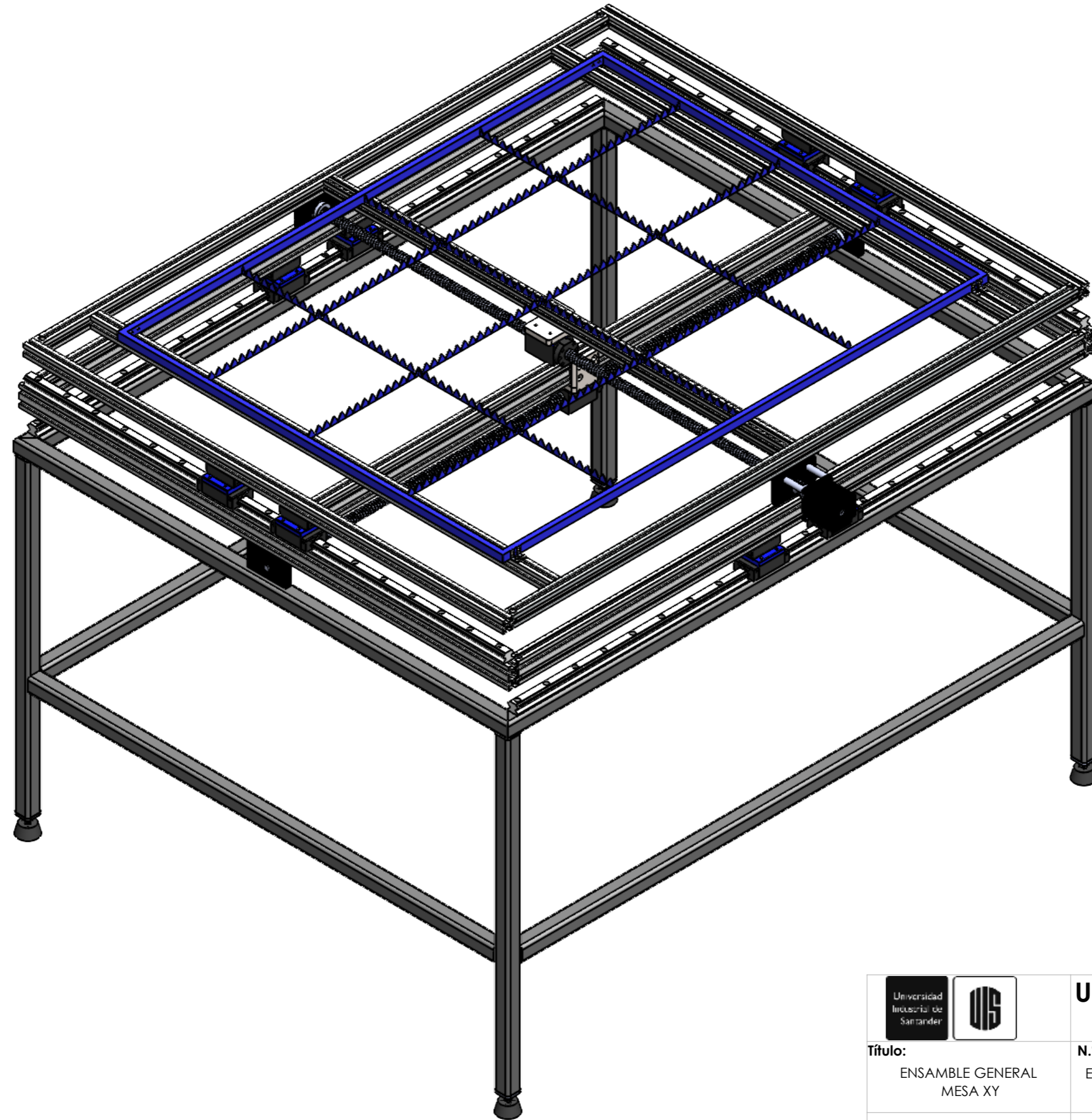
Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm



ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Cuerpo cilindro neumático	Cilindro normalizado DSBC - 40-100-PPVA-N3 ISO 15552	3

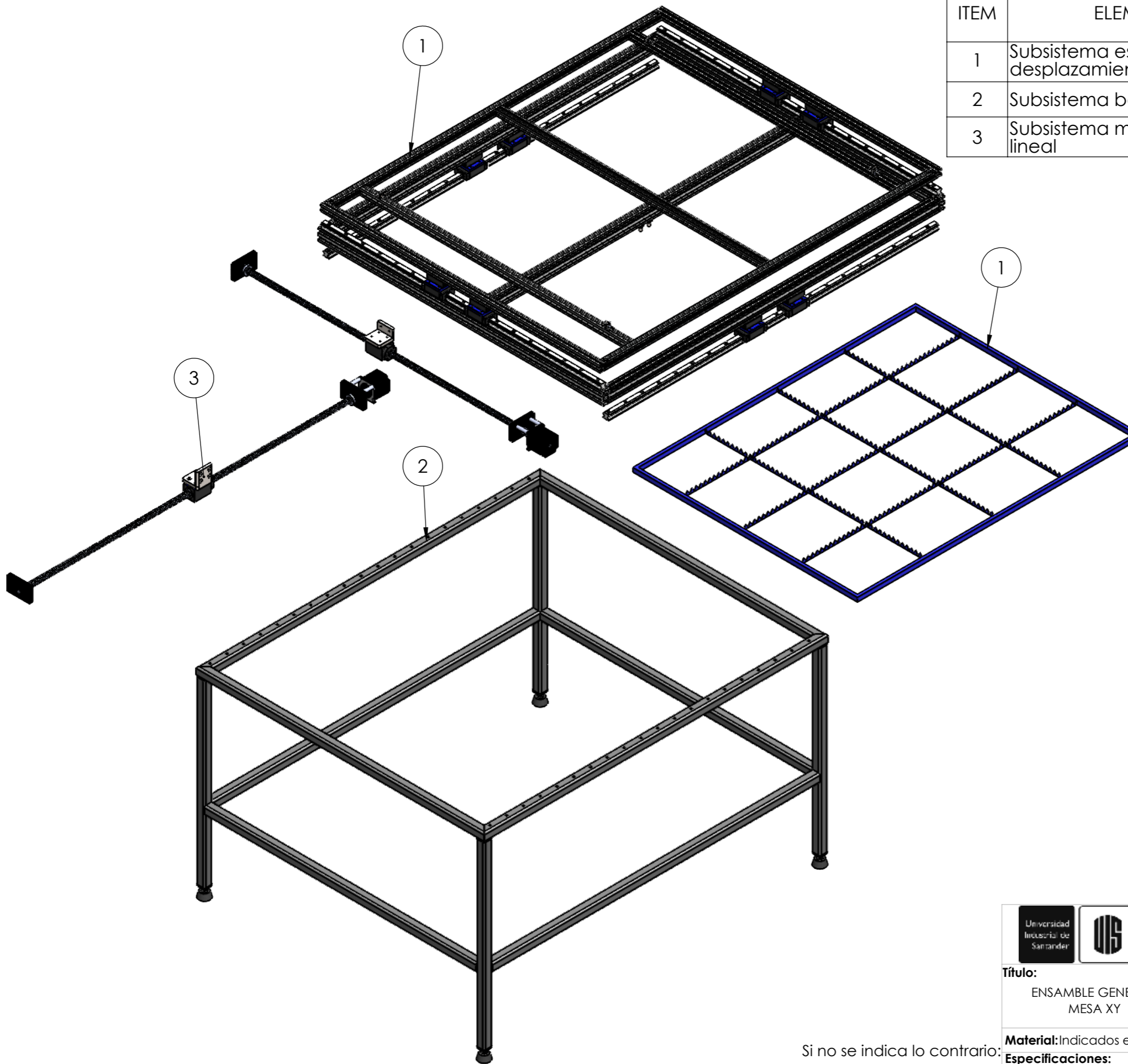
 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		
Título:	N.º del dibujo:	Dibujó:	Fecha:	 A3
SUBSISTEMA NEUMÁTICO	Actuador lineal	CSHV	21/02/2025	
		Aprobó:	Fecha:	Rev.
		ADPC	23/02/2025	A
Material: Indicados en planos	Tipo: Plano ensamble	Código:	Escala:	Hoja:
Especificaciones:		H- 2-24	1:1	26/49

Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm



Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm

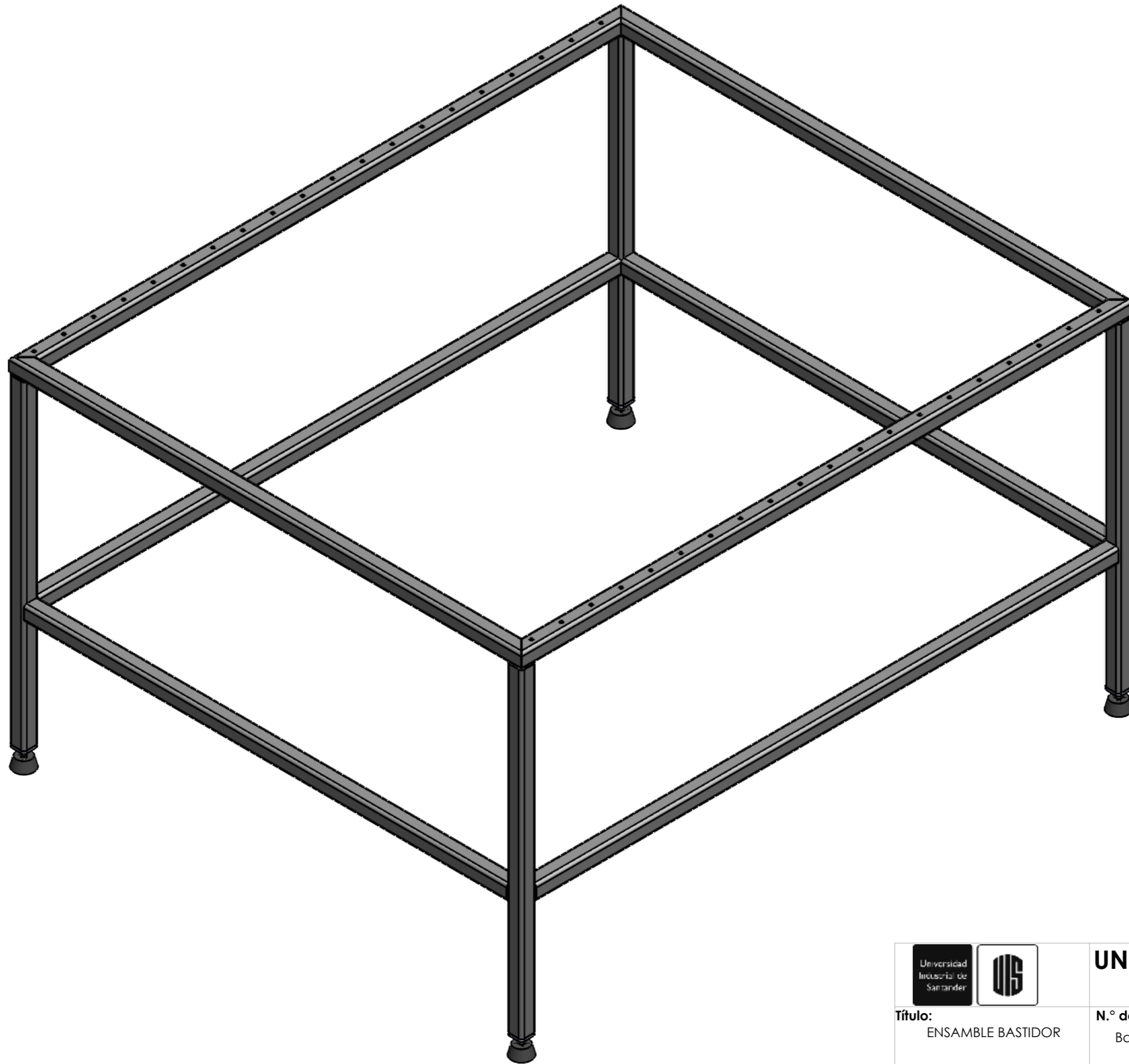
 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
Título: ENSAMBLE GENERAL MESA XY	N.º del dibujo: Estación movimiento lineal XY	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3	
		Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Rev. A	
Material: Indicados en planos Especificaciones:	Tipo: Plano ensamble	Código: H 3 - 1	Escala: 1:7	Hoja: 27/49	



ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Subsistema estructura desplazamiento XY		1
2	Subsistema bastidor		1
3	Subsistema movimiento lineal		2

 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
Título: ENSAMBLE GENERAL MESA XY		N.º del dibujo: Estación movimiento lineal XY		Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025
				Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025
				Código: H 3 - 2	Escala: 1:10
				Rev. A	Hoja: 28/49
Material: Indicados en planos Especificaciones:		Tipo: Plano explosionado			

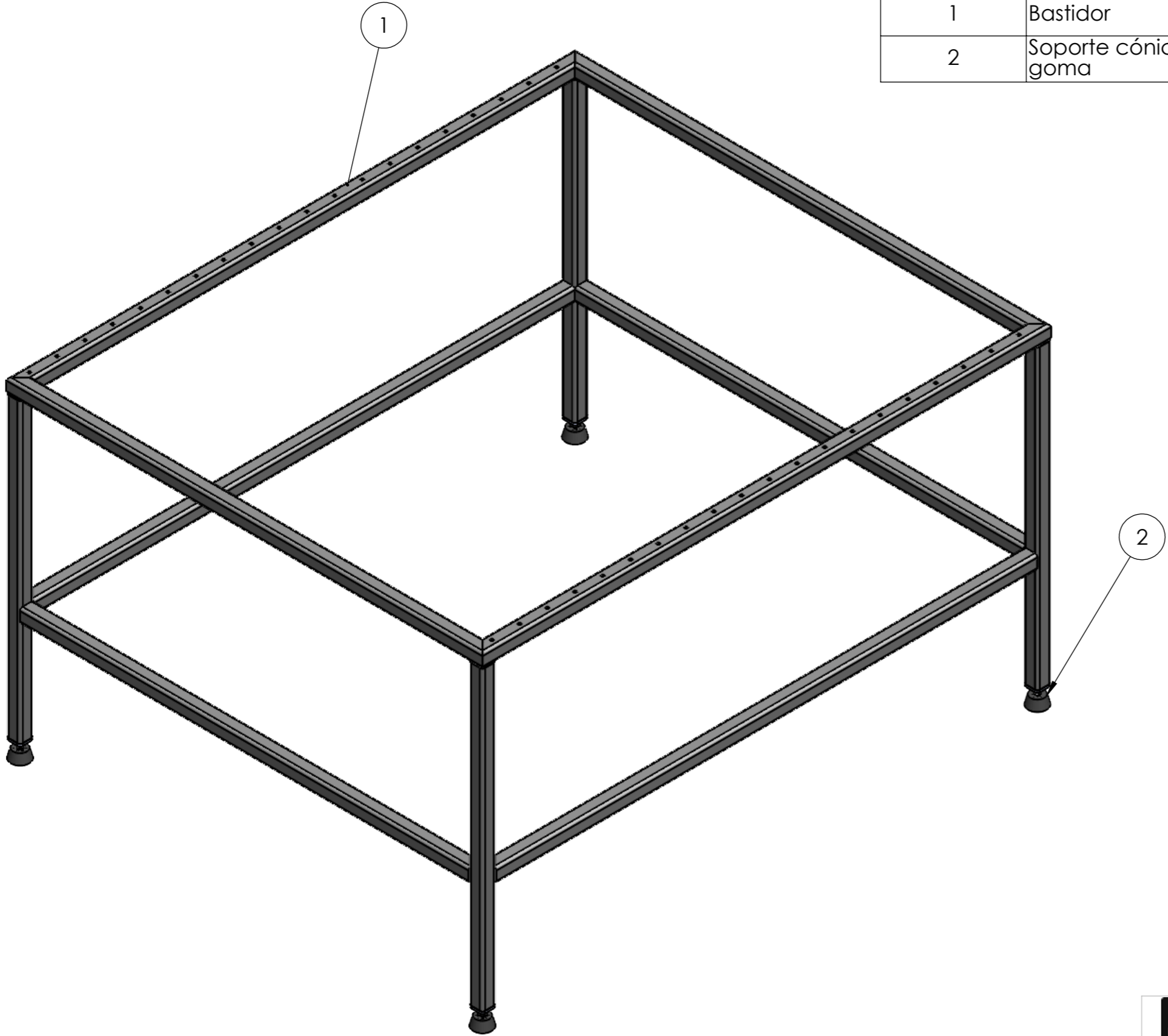
Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm



 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
Título: ENSAMBLE BASTIDOR		N.º del dibujo: Bastidor mesa de soldado		Dibujó: CSHV Fecha: 21/02/2025  A3	
Material: Indicados en planos Especificaciones:		Tipo: Plano ensamble		Aprobó: ADPC Fecha: 23/02/2025 Rev.: A	
		Código: H 3 - 3		Escala: 1:7 Hoja: 29/49	

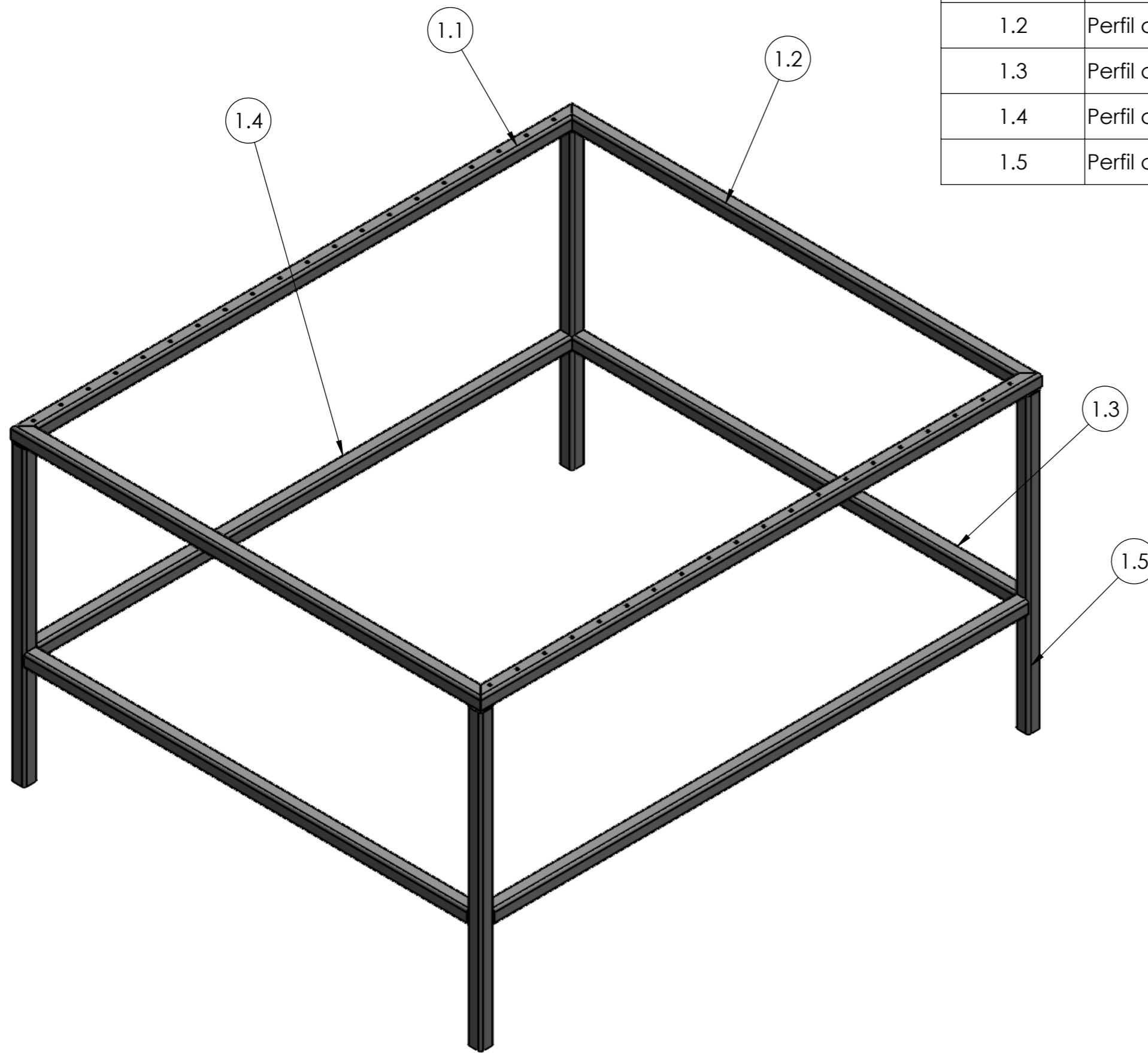
Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm

ITEMS	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Bastidor	Perfil cuadrado HR A36 30X30X2.6	1
2	Soporte cónico de goma	Soporte cónico ref. 1300.SC30	4



 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		
Título: ENSAMBLE BASTIDOR	N.º del dibujo: Bastidor mesa deslizante	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	A3
		Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Rev. A
Material: Indicados en planos	Tipo: Plano ensamble	Código: H 3 - 4	Escala: 1:7	Hoja: 30/49

Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm

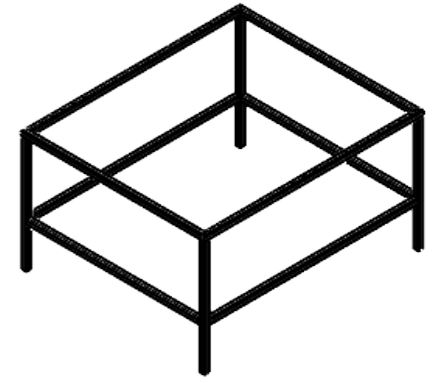


ITEMS	DESCRIPCIÓN	LONGITUD	CANTIDAD
1.1	Perfil cuadrado HR A36 30X30X2.6	1230	2
1.2	Perfil cuadrado HR A36 30X30X2.6	1030	2
1.3	Perfil cuadrado HR A36 30X30X2.6	970	2
1.4	Perfil cuadrado HR A36 30X30X2.6	1170	2
1.5	Perfil cuadrado HR A36 30X30X2.6	640.5	4

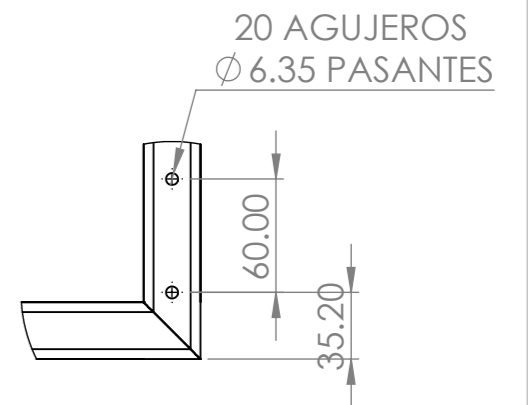
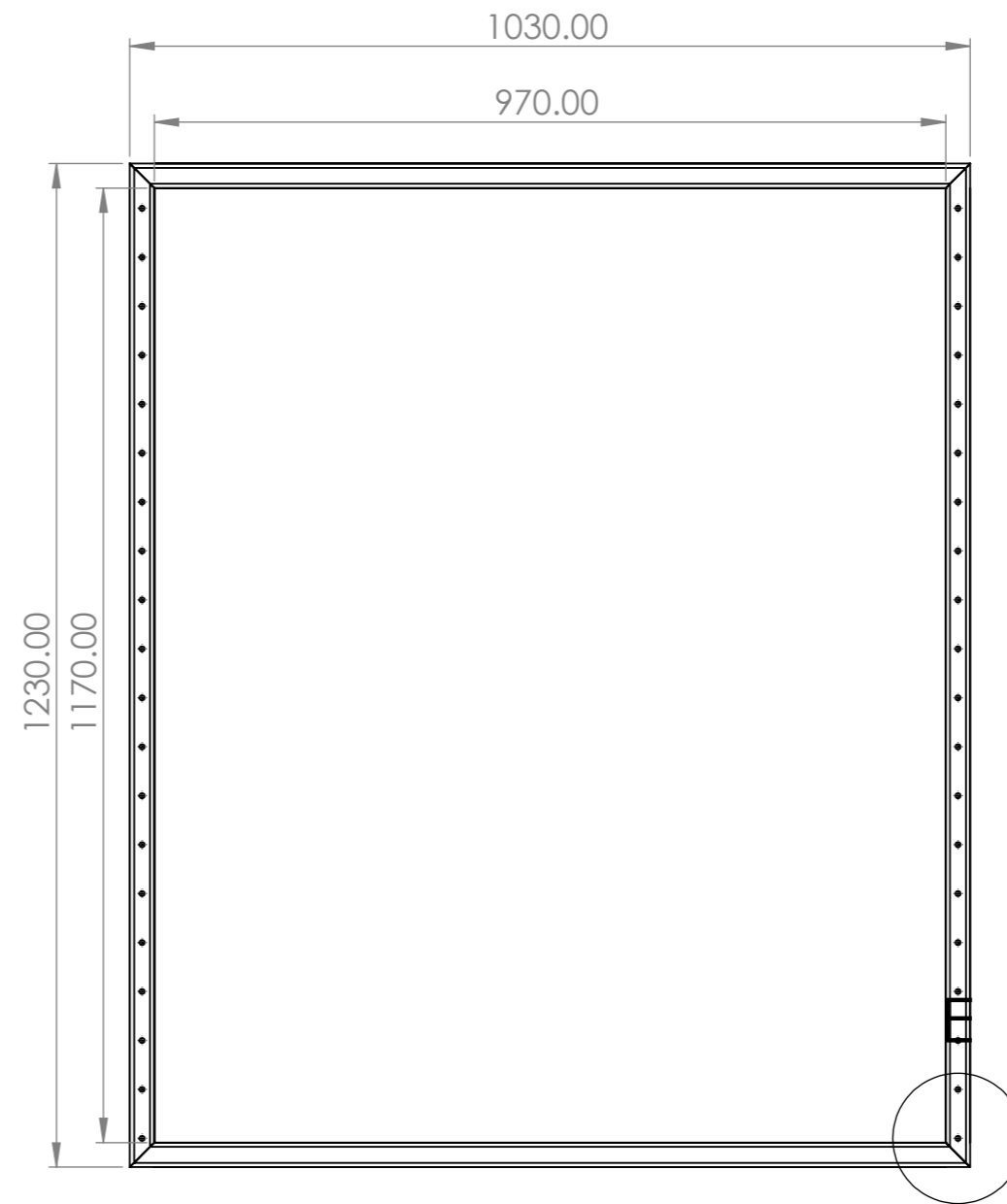
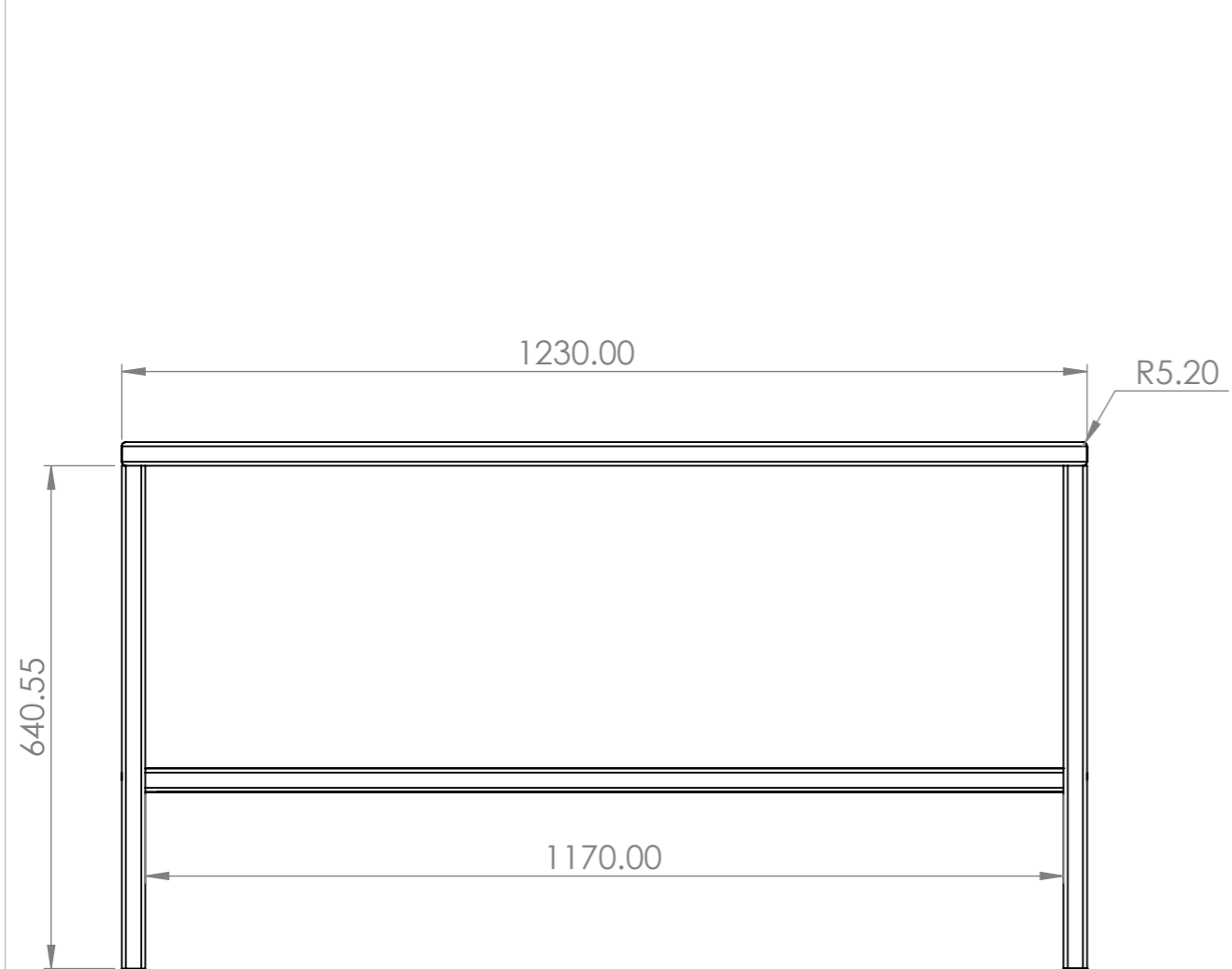
 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		
Título: ENSAMBLE BASTIDOR	N.º del dibujo: Bastidor mesa de soldado	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3
		Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Rev. A
Material: Indicados en planos	Tipo: Plano ensamblaje	Código: H 3 - 5	Escala: 1:7	Hoja: 31/49

Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm

Perfil cuadrado HR A36 30X30X2.26
 Material: Acero estructural
 Peso: 23 Kg



ESCALA: 1: 30

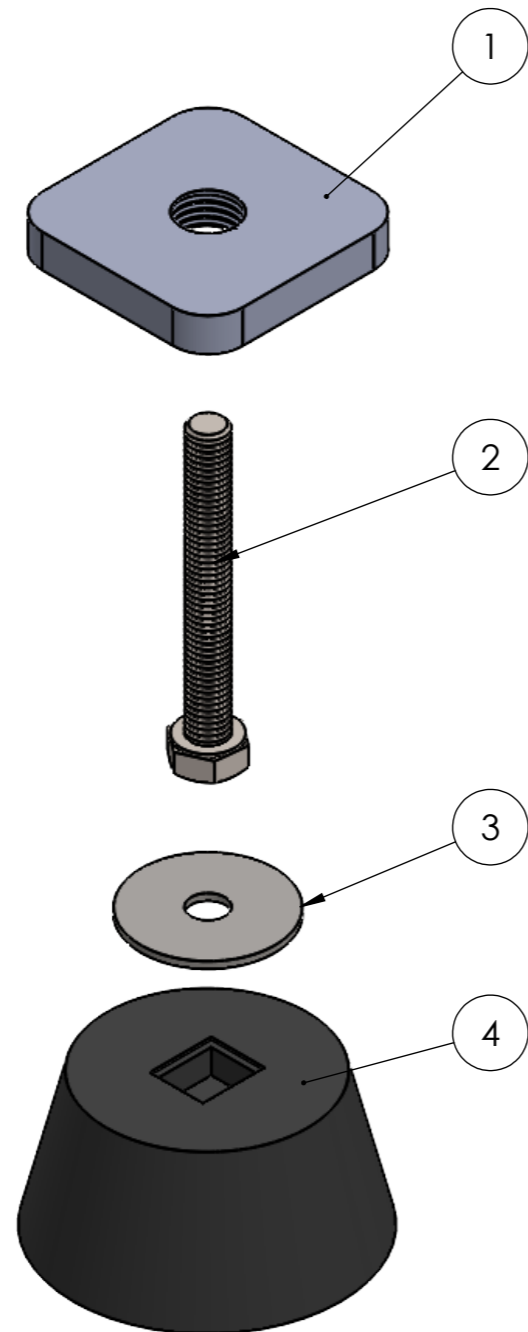


DETALLE E
 ESCALA 1 : 4

 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER				
Título: SUBSISTEMA BASTIDOR	N.º del dibujo: Bastidor	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3
Material: Indicados en planos Especificaciones:	Tipo: Plano pieza	Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Rev.: A
		Código: H 3 - 6	Escala: 1:9	Hoja: 32/49

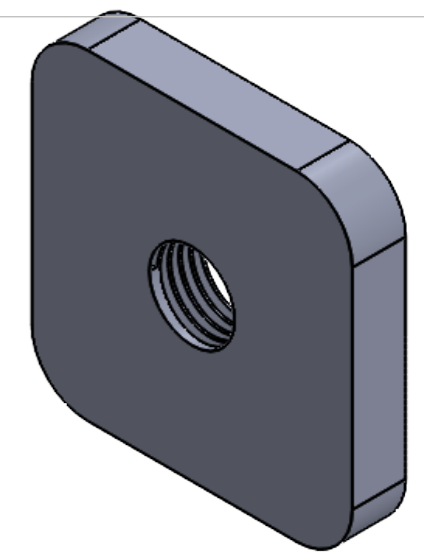
Si no se indica lo contrario:
 Las cotas se expresan en mm

ITEMS	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Placa	Lámina HR A36 30X30	4
2	Tornillo hexagonal	Tornillo cabeza hexagonal M8x1.25x45	4
3	Arandela	Arandela simple para paso M8 de 5/8"	4
4	Soporte de goma cónico		4

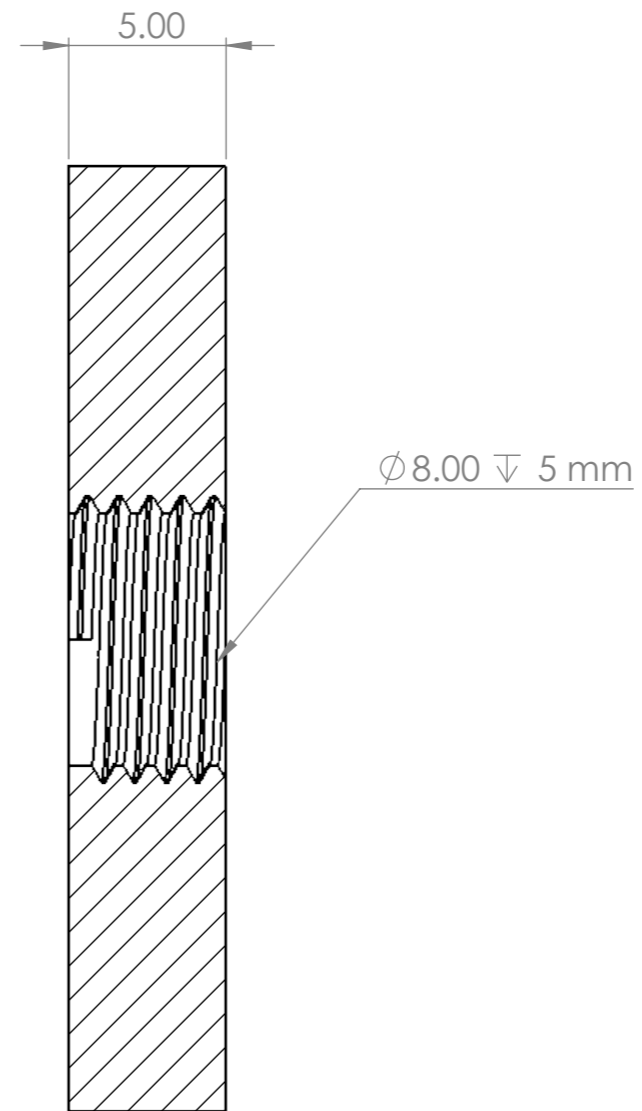
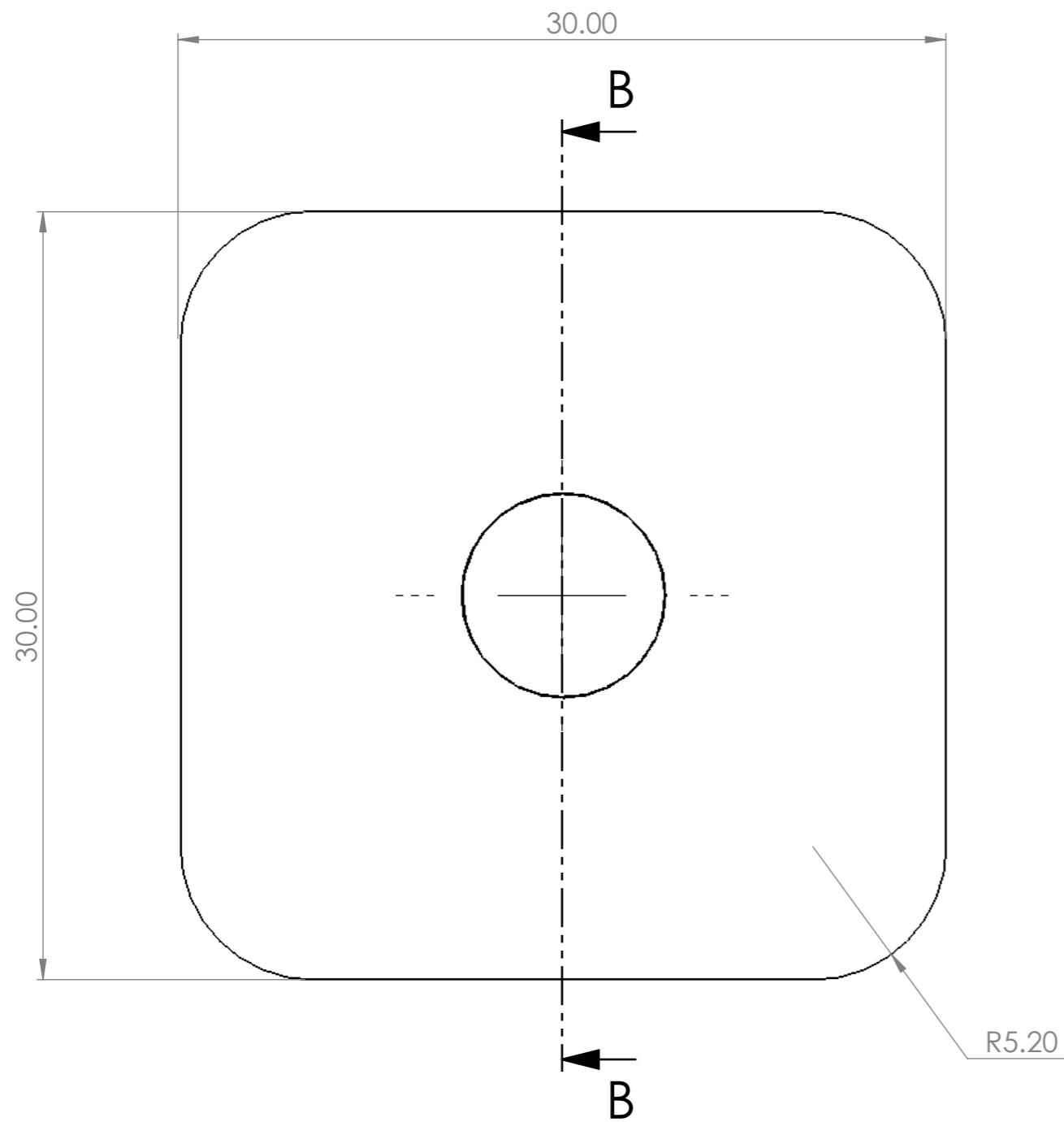


 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		
Título: SUBSISTEMA BASTIDOR	N.º del dibujo: Soporte de cónico goma mesa de soldado	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3
		Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Rev. A
Material: Indicados en planos Especificaciones:	Tipo: Plano explosionado	Código: H 3 - 7	Escala: 1:0.8	Hoja: 33/49

Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm



Escala: 1:0.5

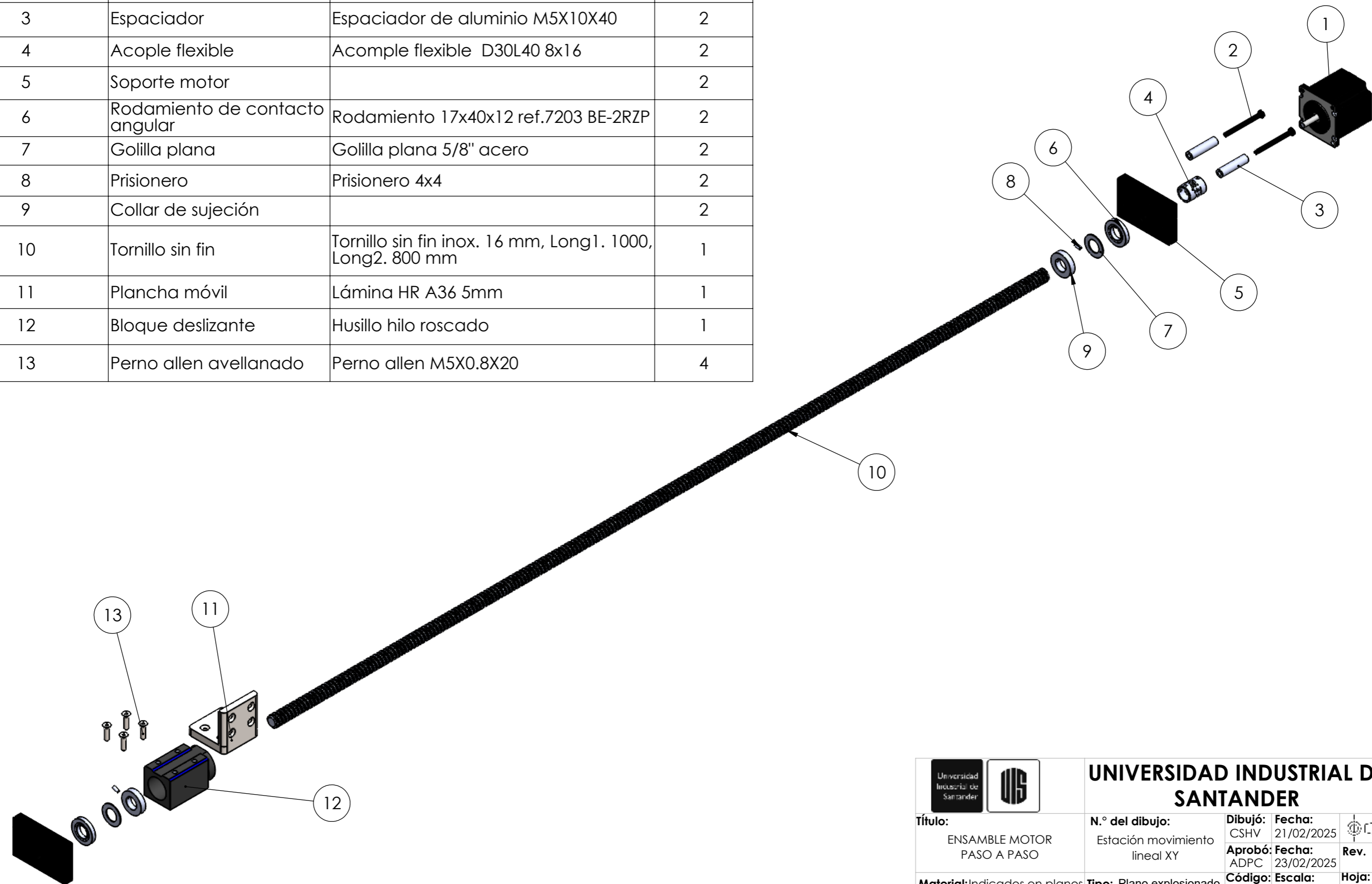


SECCIÓN B-B
ESCALA 5 : 1.2

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		
Título: SUBSISTEMA BASTIDOR	N.º del dibujo: Placa base soporte de goma	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3
		Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Rev. A
Material: Indicados en planos Especificaciones:	Tipo: Plano pieza	Código: H 3 - 8	Escala: 5:1.2	Hoja: 34/49

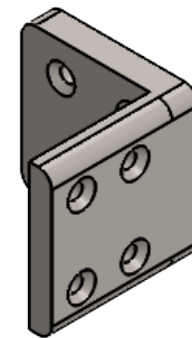
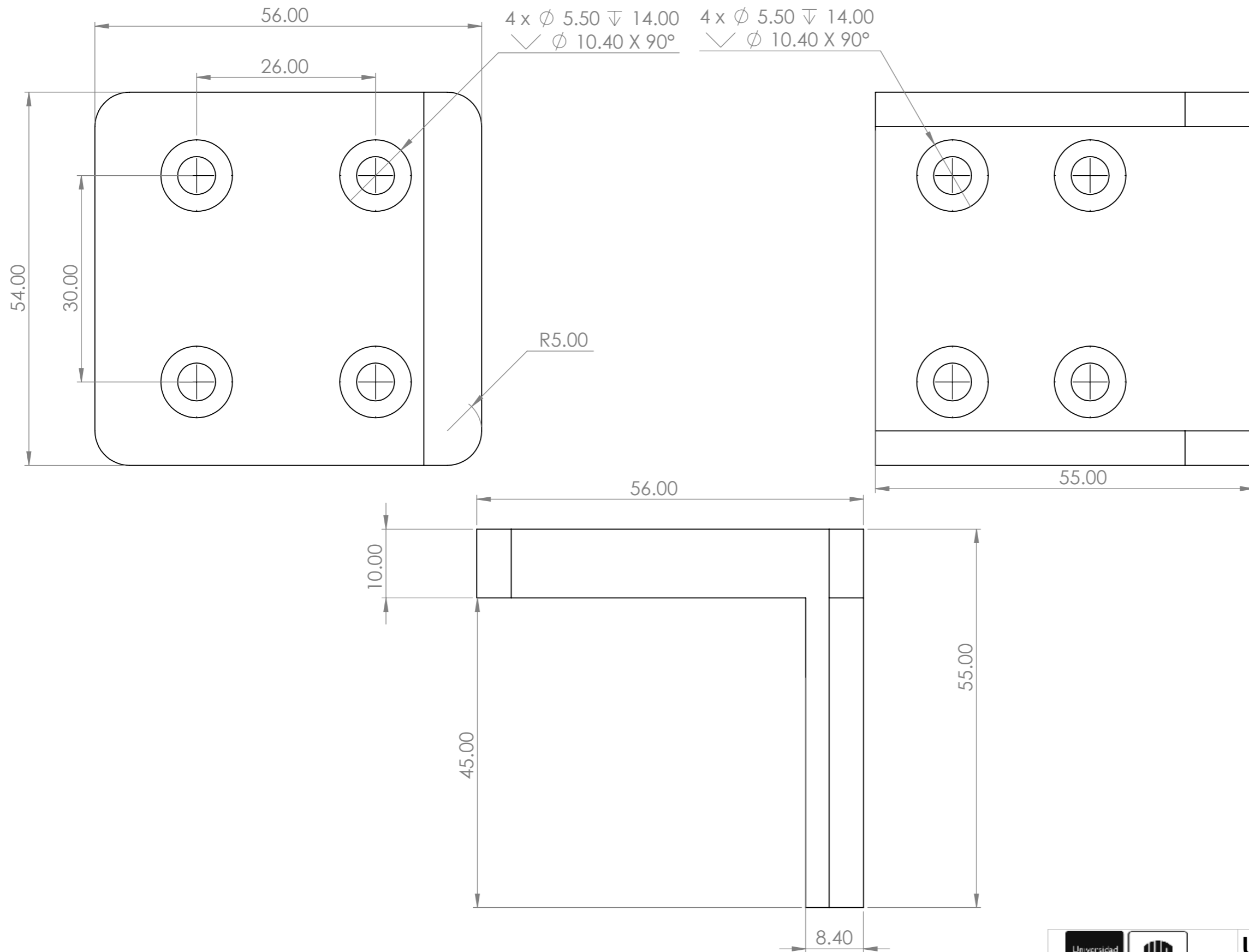
Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm

ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Motor paso a paso	Motor Nema 23	1
2	Perno allen	Perno allen M5X55	2
3	Espaciador	Espaciador de aluminio M5X10X40	2
4	Acople flexible	Acomple flexible D30L40 8x16	2
5	Soporte motor		2
6	Rodamiento de contacto angular	Rodamiento 17x40x12 ref.7203 BE-2RZP	2
7	Golilla plana	Golilla plana 5/8" acero	2
8	Prisionero	Prisionero 4x4	2
9	Collar de sujeción		2
10	Tornillo sin fin	Tornillo sin fin inox. 16 mm, Long1. 1000, Long2. 800 mm	1
11	Plancha móvil	Lámina HR A36 5mm	1
12	Bloque deslizante	Husillo hilo roscado	1
13	Perno allen avellanado	Perno allen M5X0.8X20	4



Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm

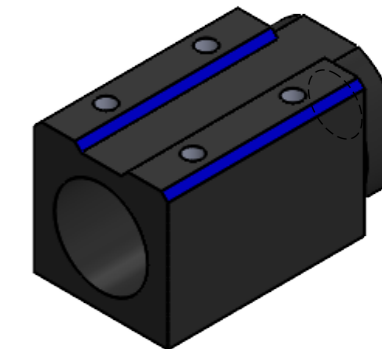
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER				
Título: ENSAMBLE MOTOR PASO A PASO	N.º del dibujo: Estación movimiento lineal XY	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3
Material: Indicados en planos	Tipo: Plano explosionado	Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Rev.: A
Especificaciones:		Código: H 3 - 9	Escala: 1:4	Hoja: 35/49



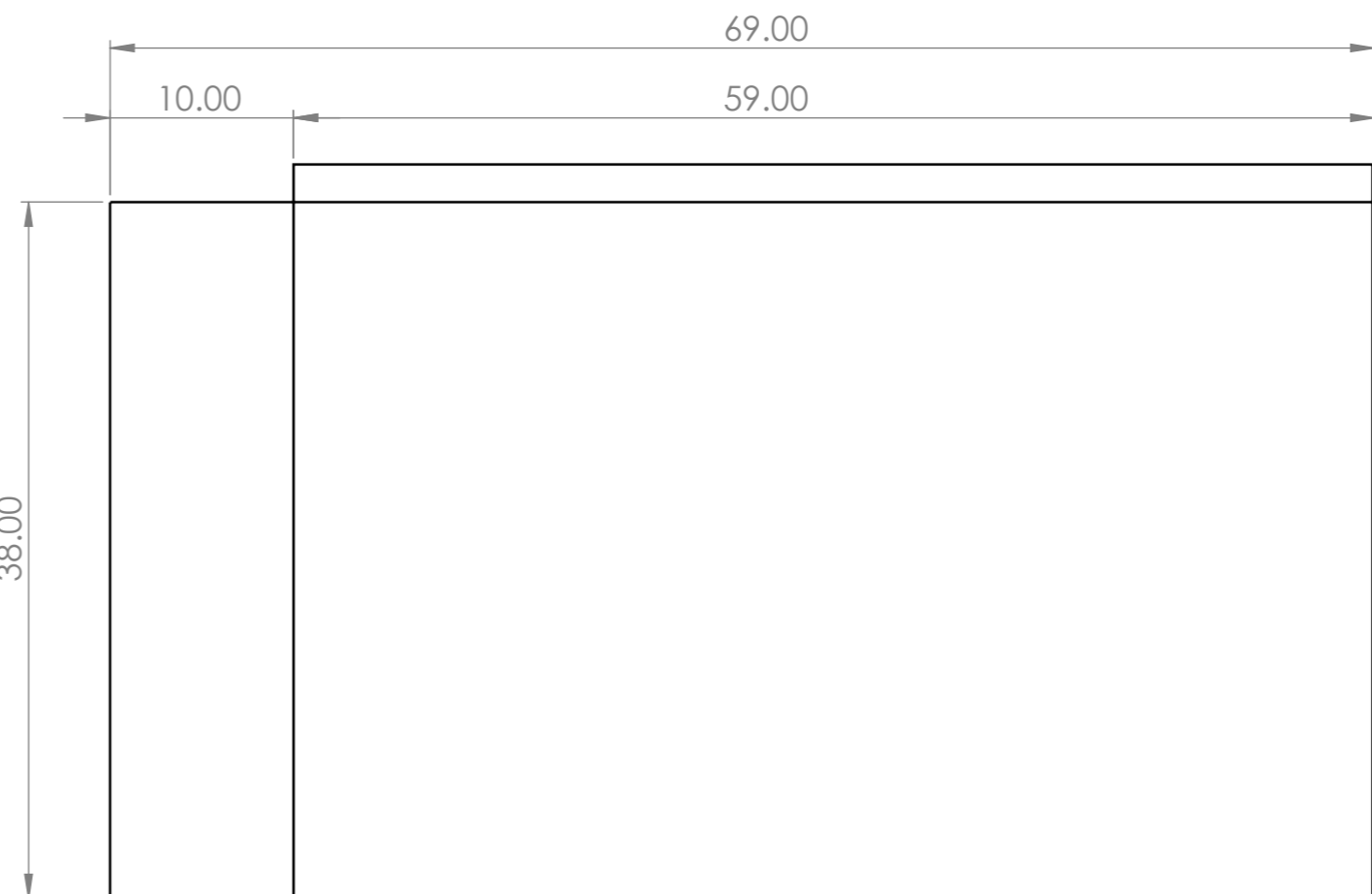
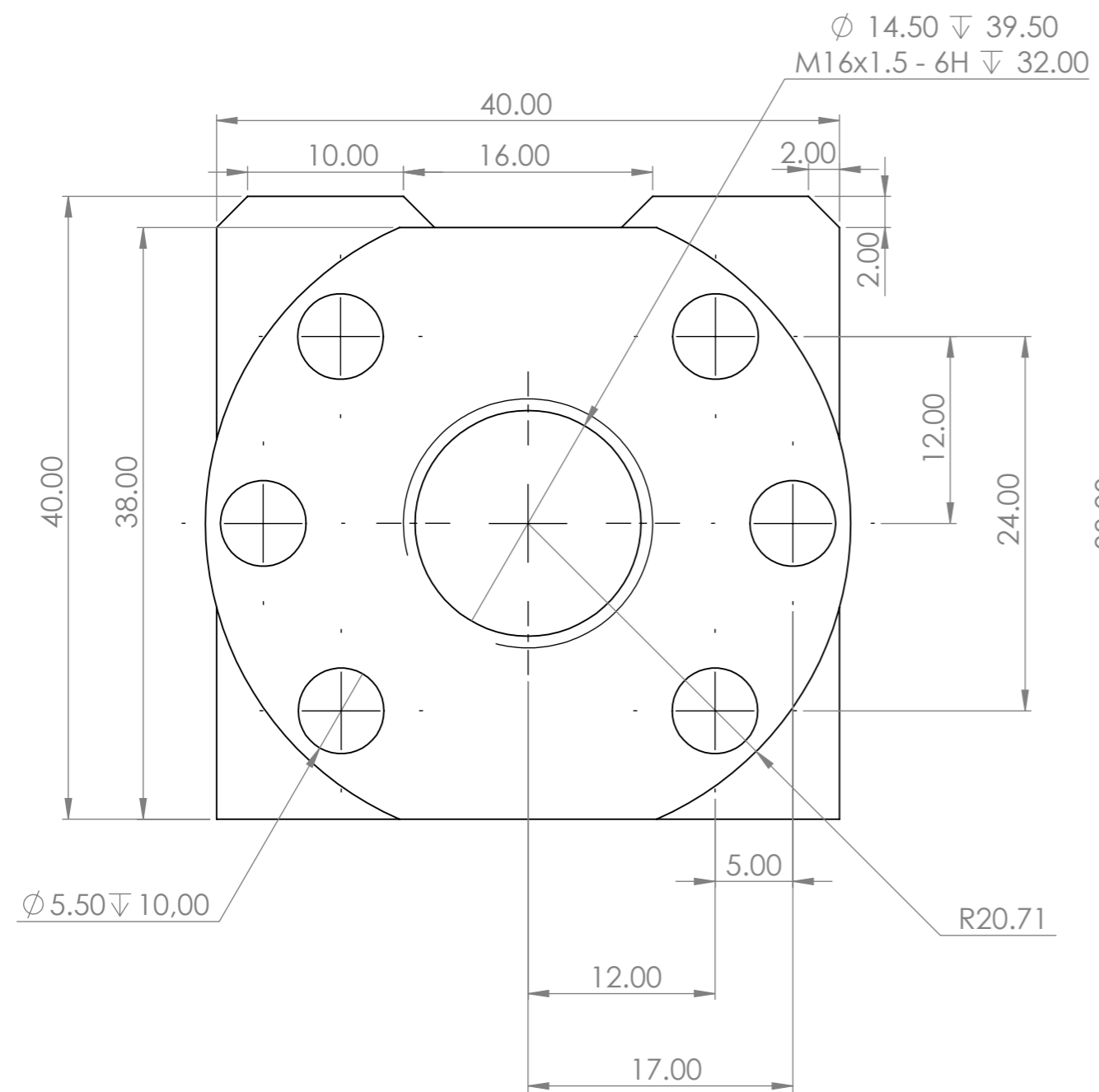
ESCALA:1:2

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		
Título: ENSAMBLE GENERAL MESA XY	N.º del dibujo: Plancha móvil	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3
		Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Rev. A
Material: Indicados en planos Especificaciones:		Tipo: Plano pieza	Código: H 3 - 10	Hoja: 36/49

Si no se indica lo contrario:
 Las cotas se expresan en mm

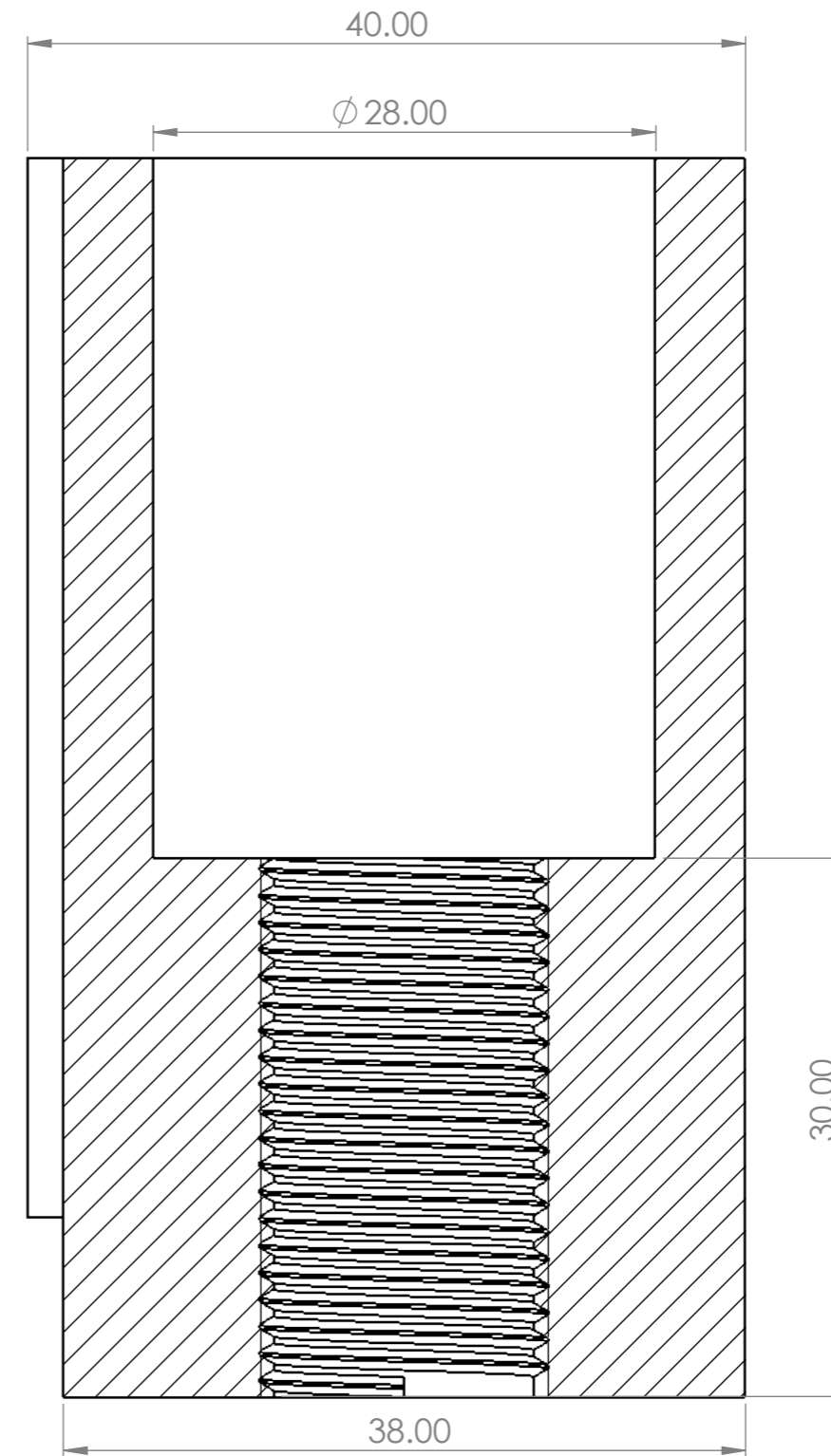
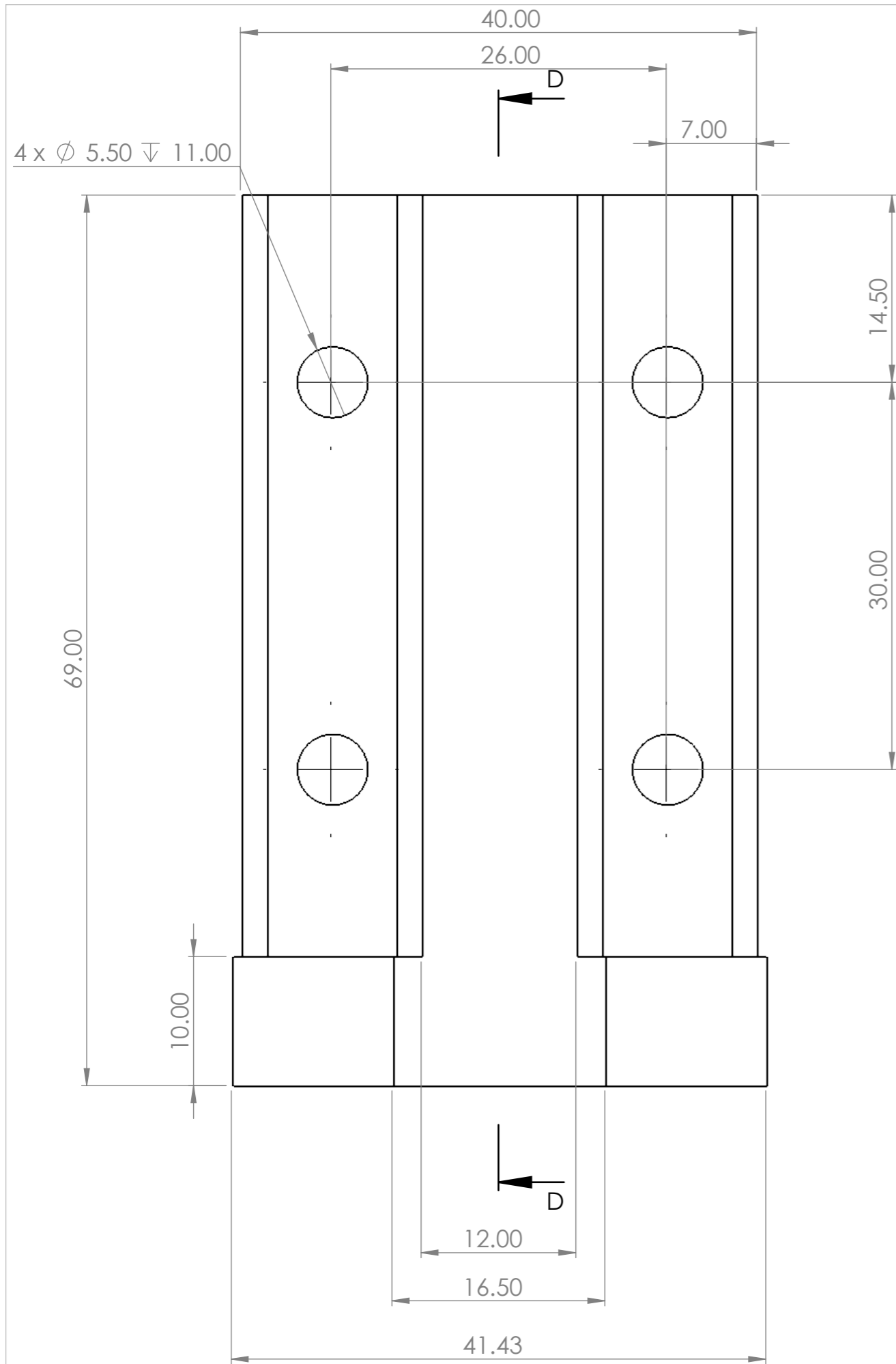


ESCALA: 1:1.6

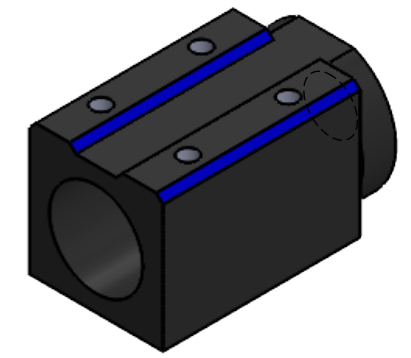


 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER				
Título: ENSAMBLE GENERAL MESA XY	N.º del dibujo: Bloque deslizante husillo roscado	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3
Material: Indicados en planos	Tipo: Plano pieza	Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Rev.: A
Especificaciones:	Código: H 3 - 11	Escala: 1:0.4	Hoja: 37/49	

Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm



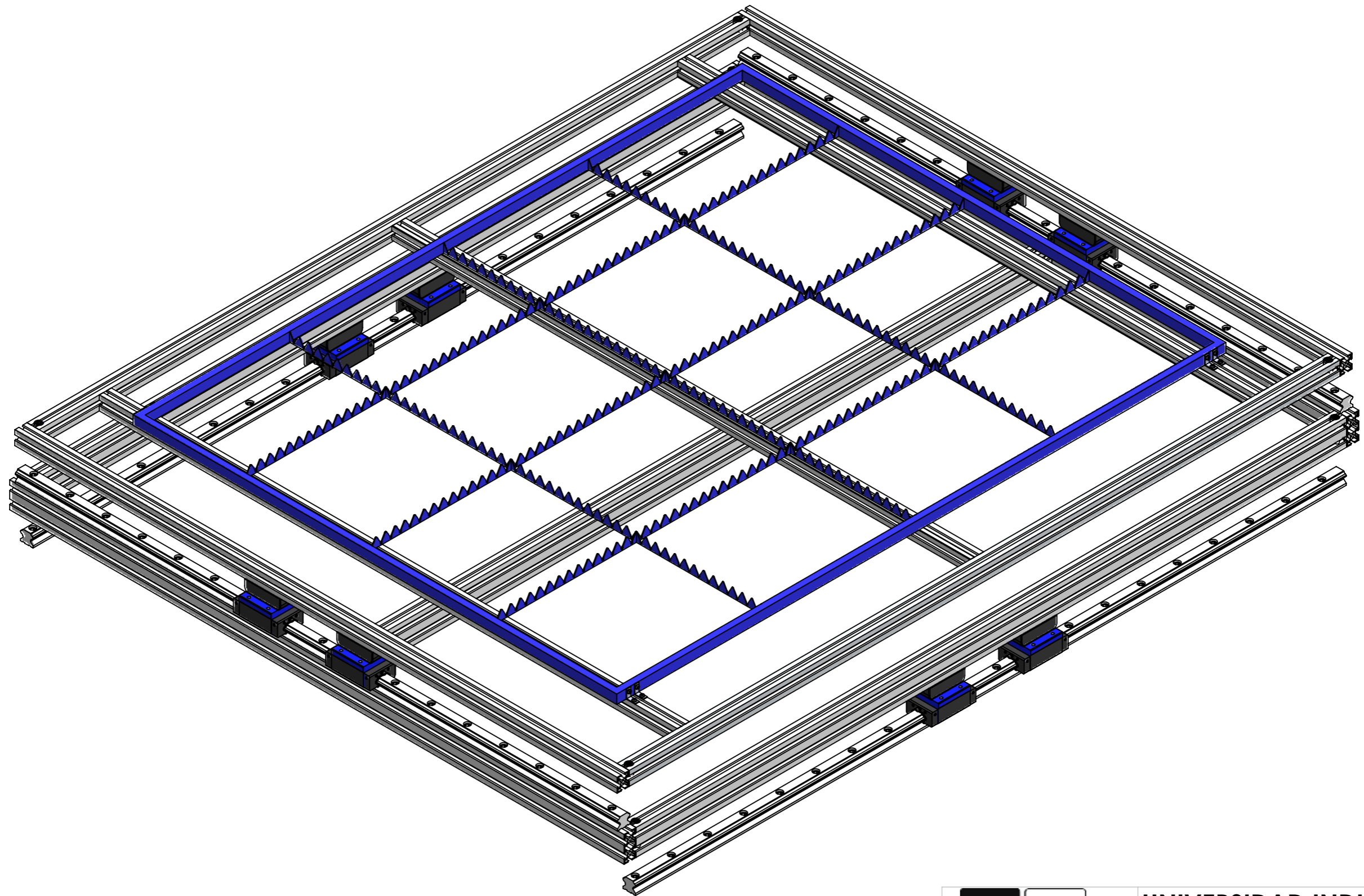
SECCIÓN D-D
ESCALA 1 : 0.4



ESCALA: 1:1.6

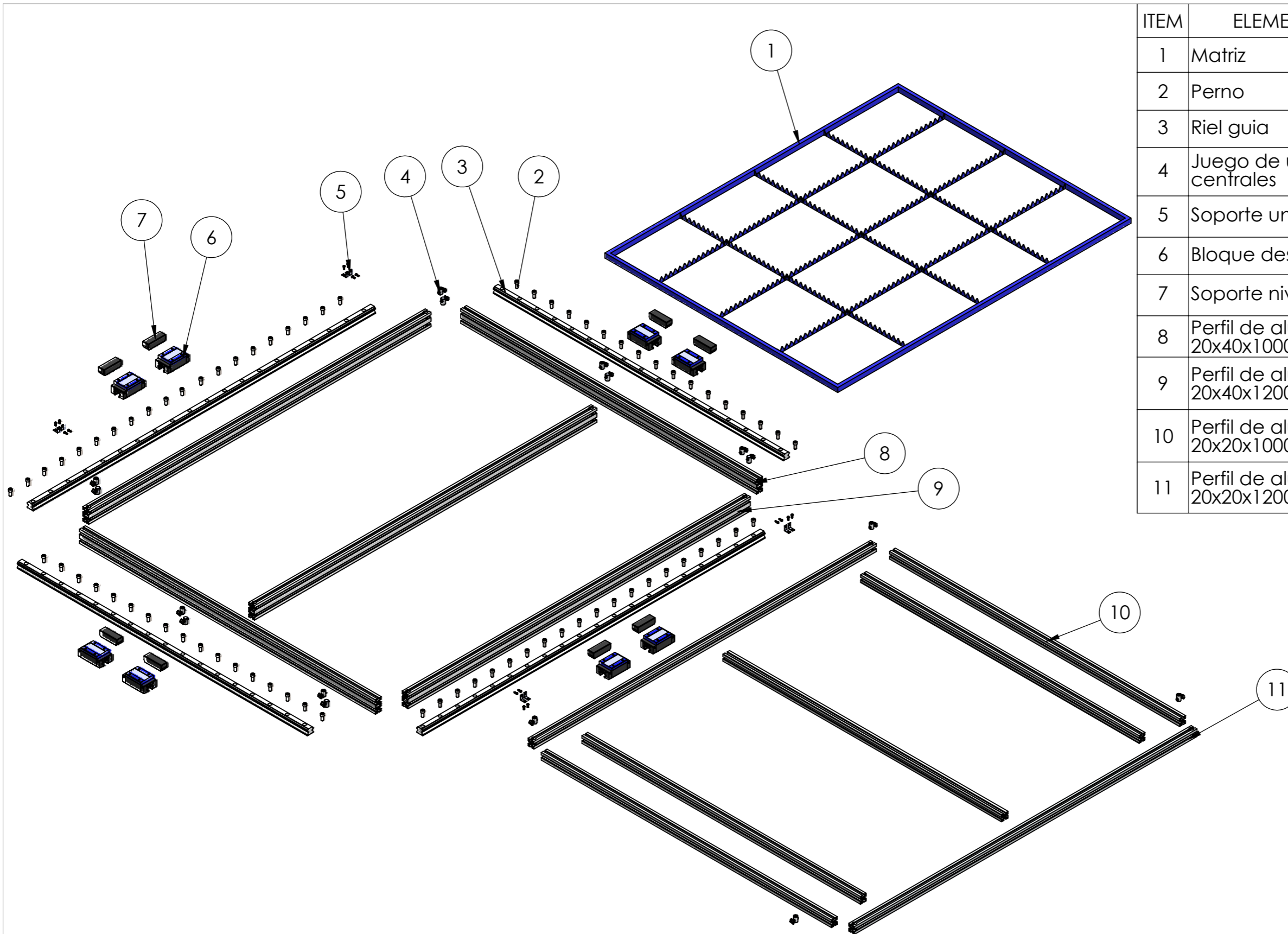
Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		
Título: ENSAMBLE GENERAL MESA XY	N.º del dibujo: Plancha móvil husillo roscado	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3
Material: Indicados en planos Especificaciones:	Tipo: Plano pieza	Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Rev.: A
		Código: H 3 - 12	Escala: 1:0.4	Hoja: 38/49



Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm

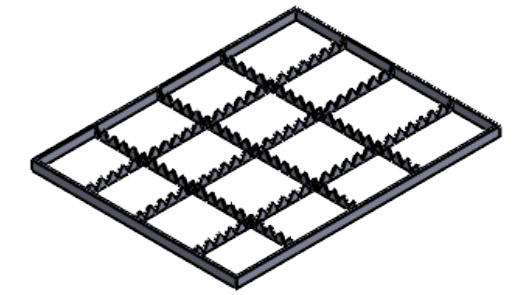
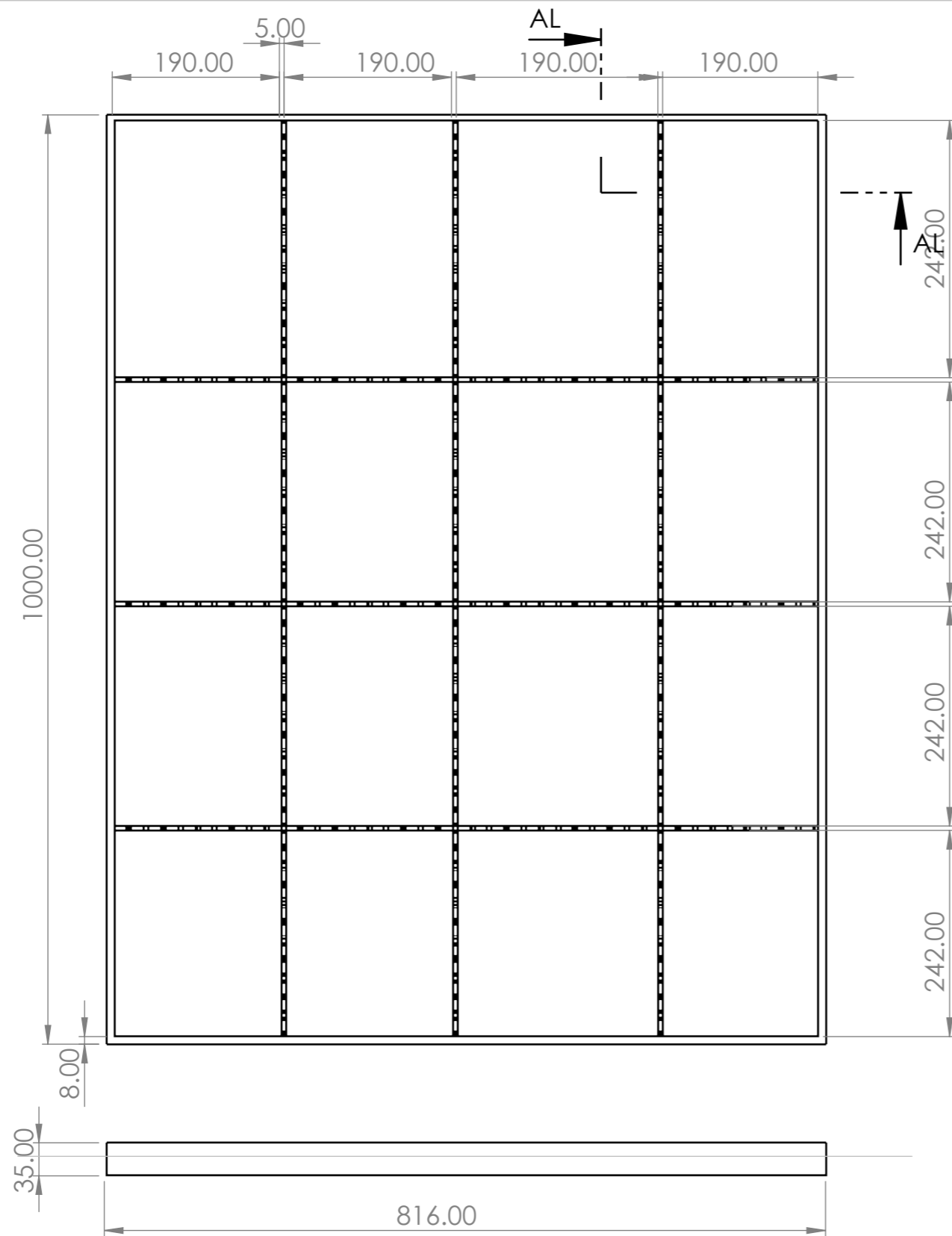
 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
Título: ENSAMBLE GENERAL MESA XY	N.º del dibujo: Estación movimiento lineal XY	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3	Rev. A
Material: Indicados en planos Especificaciones:	Tipo: Plano ensamble	Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Código: H 3 - 13	Hoja: 39/49
		Escala: 1:5			



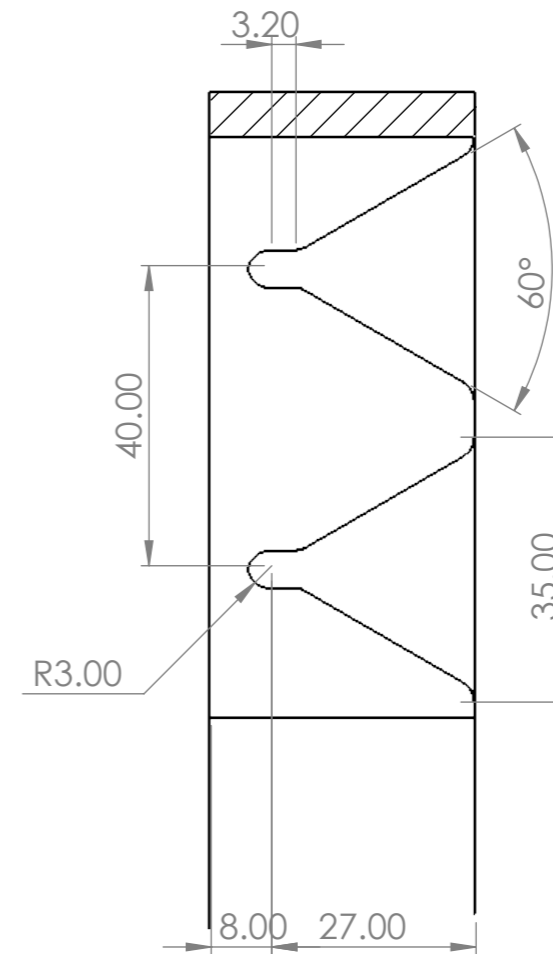
ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Matriz	HR A36 1000X800	1
2	Perno	Allen M6X1.0x8	74
3	Riel guía	Riel EGR30R M6X20	2
4	Juego de unión centrales	Conectores tipo b en acero cincado	16
5	Soporte unión en L	Bracket en L acero A36	4
6	Bloque deslizante	Guía lineal ref. HGH20CA	8
7	Soporte nivelador	Nivelador bloque deslizante	8
8	Perfil de aluminio 20x40x1000	Aleación aluminio 6063-T5 20X20	2
9	Perfil de aluminio 20x40x1200	Aleación aluminio 6063-T5 20X40	3
10	Perfil de aluminio 20x20x1000	Aleación aluminio 6063-T5 20X20	5
11	Perfil de aluminio 20x20x1200	Aleación aluminio 6063-T5 20X20	2

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		
Título: ENSAMBLE MESA XY	N.º del dibujo: Estación movimiento lineal XY	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3
		Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Rev.: A
Material: Indicados en planos Especificaciones:		Tipo: Plano explosionado	Código: H 3 - 14	Hoja: 40/49

Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm



ESCALA: 1: 20

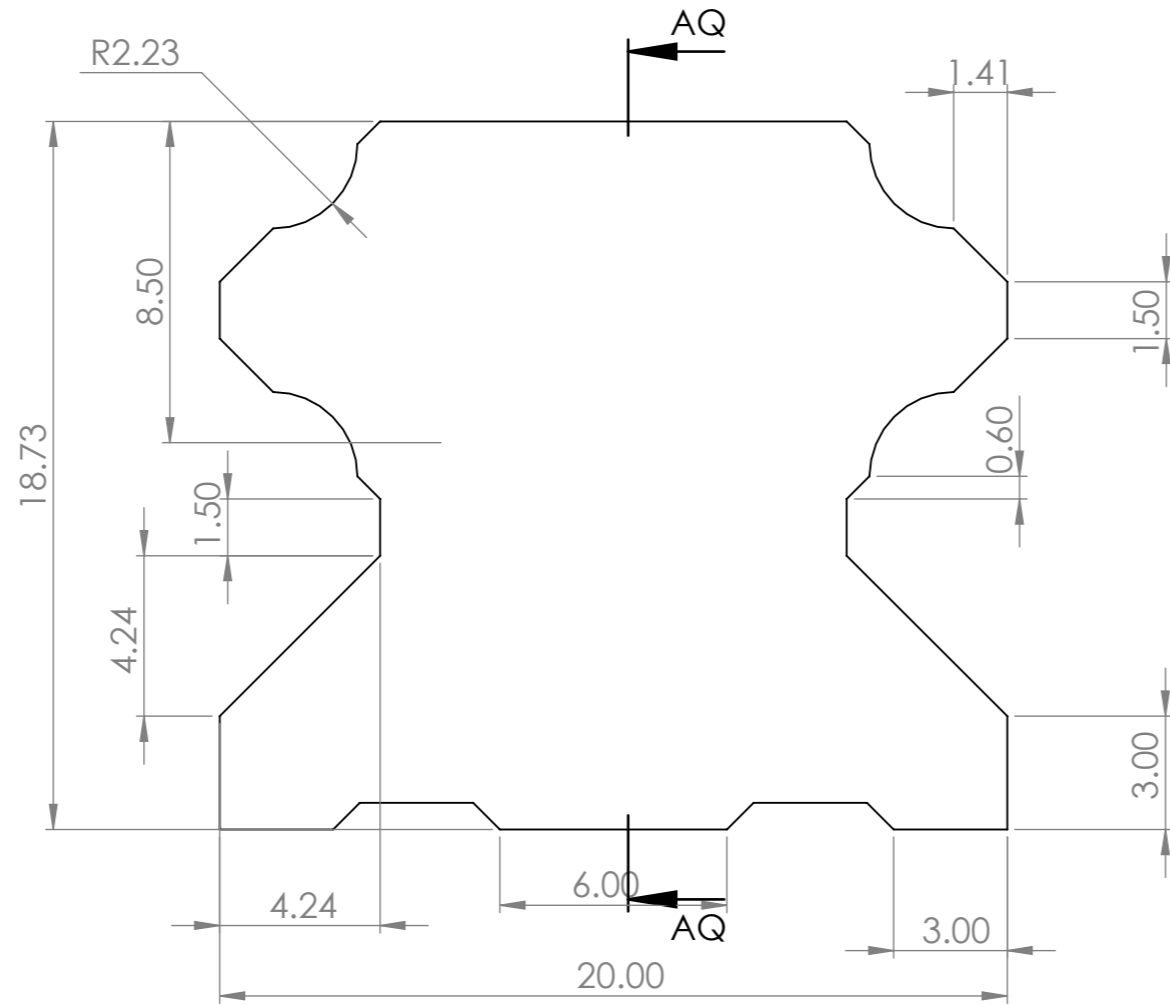


DETALLE AM
ESCALA 1 : 1

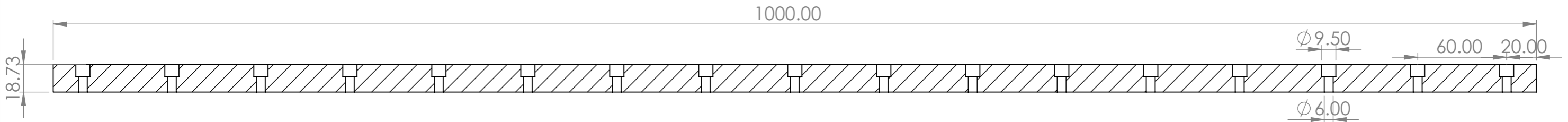
Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
Título:	N.º del dibujo:	Dibujó:	Fecha:	 A3	
MATRIZ MALLA ALAMBRADA	Matriz malla 1000x800	CSHV	21/02/2025		
Material: Indicados en planos	Tipo: Plano pieza	Aprobó:	Fecha:	Rev.	 A
Especificaciones:		ADPC	23/02/2025	A	
		Código:	Escala:	Hoja:	
		H 3 - 15	1:6	41/49	

Riel lineal desplazamiento mesa automática
 material: acero al carbono (S55C)
 Long: 1000 mm



ESCALA: 1:23

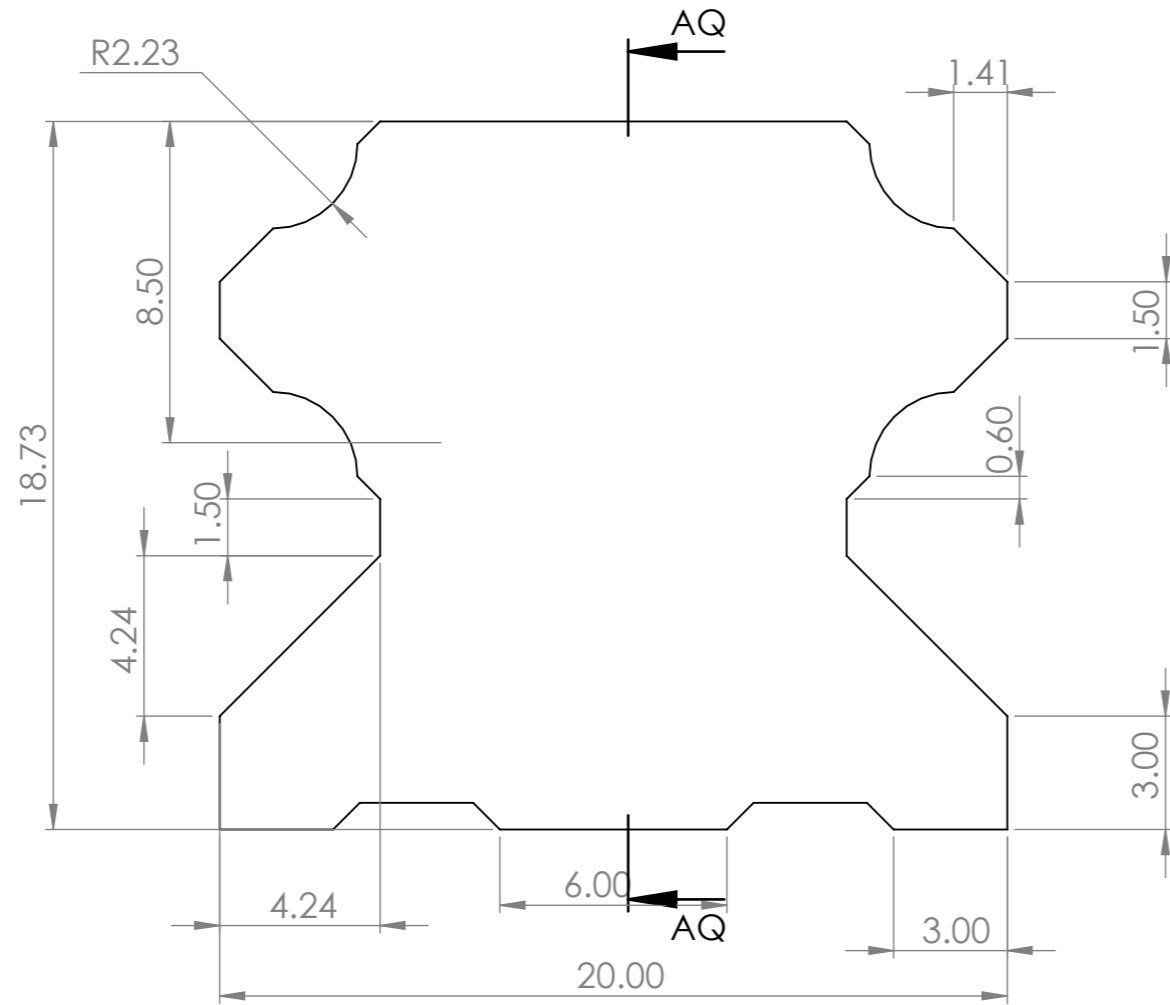


SECCIÓN AQ-AQ
 ESCALA 1 : 2.7

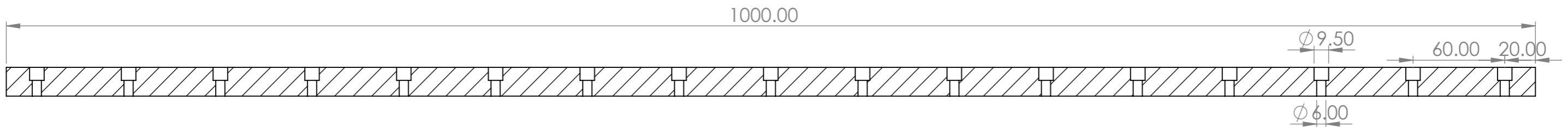
		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
Título: RIEL LINEAL	N.º del dibujo: Riel lineal desplazamiento mesa automática	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3	
		Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025		Rev. A
Material: Indicados en planos		Tipo: Plano pieza	Código: H 3 - 16	Escales: 5:1	Hoja: 42/49
Especificaciones:					

Si no se indica lo contrario:
 Las cotas se expresan en mm

Riel lineal desplazamiento mesa automática
 material: acero al carbono (S55C)
 Long: 800 mm



ESCALA: 1:23

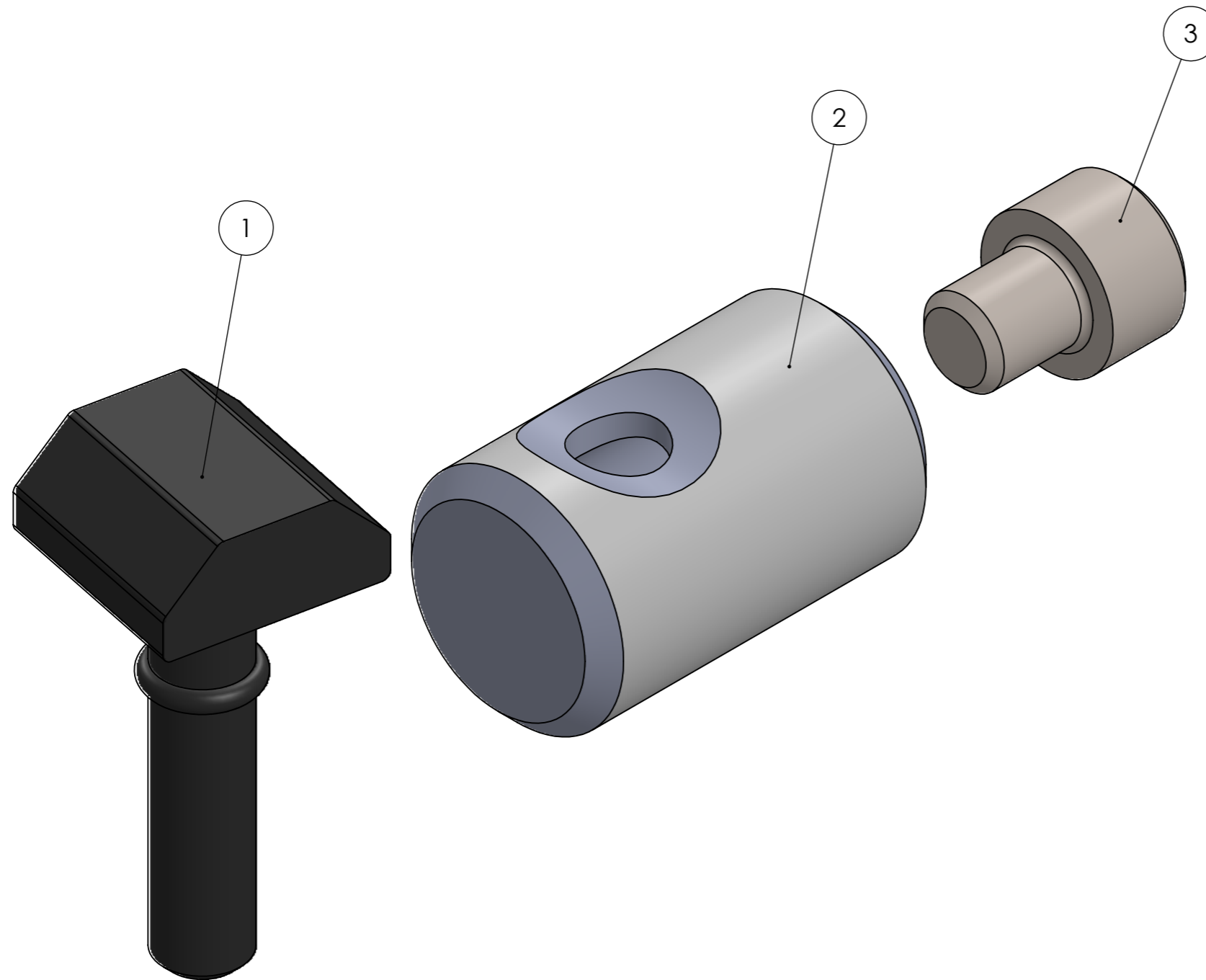


SECCIÓN AQ-AQ
 ESCALA 1 : 2.7

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		
Título: RIEL LINEAL	N.º del dibujo: Riel lineal mesa automática 800 mm	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3
Material: Indicados en planos Especificaciones:	Tipo: Plano pieza	Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Rev.: A
		Código: H 3 - 17	Escala: 5:1	Hoja: 43/49

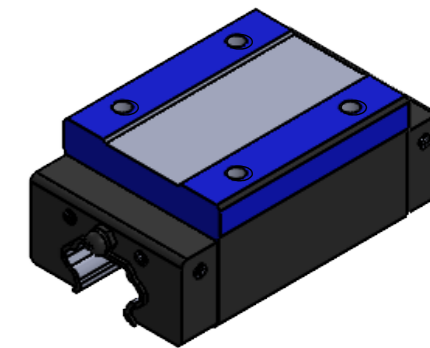
Si no se indica lo contrario:
 Las cotas se expresan en mm

ITEM	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Perno	Allen M4X0.7X6	1
2	Sujetador tubo	Acero cincado	1
3	Pasador excentrico	Acero cincado	1

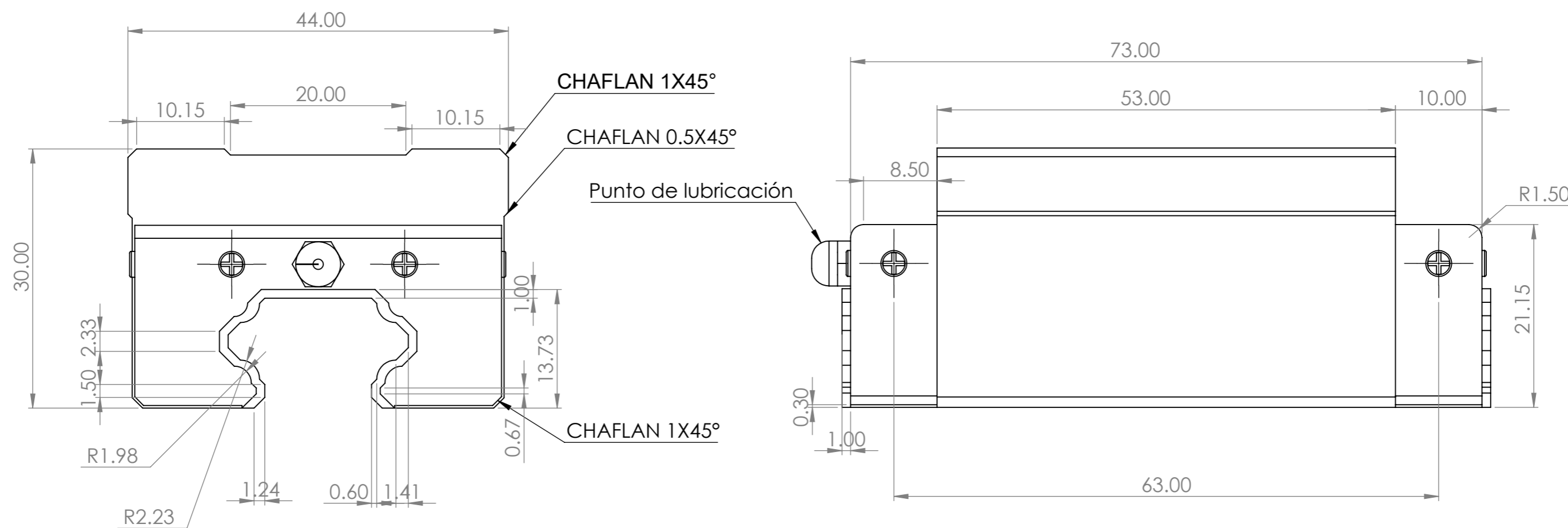


		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		
Título: JUEGO DE UNIÓN CENTRAL	N.º del dibujo: Conector central	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3
		Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Rev. A
Material: Indicados en planos Especificaciones:		Tipo: Plano explosionado	Código: H 3 - 18	Hoja: 44/49

Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm

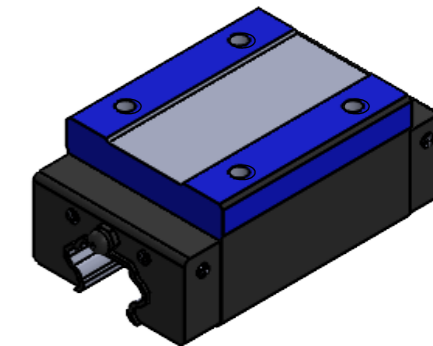


ESCALA: 1:1.5

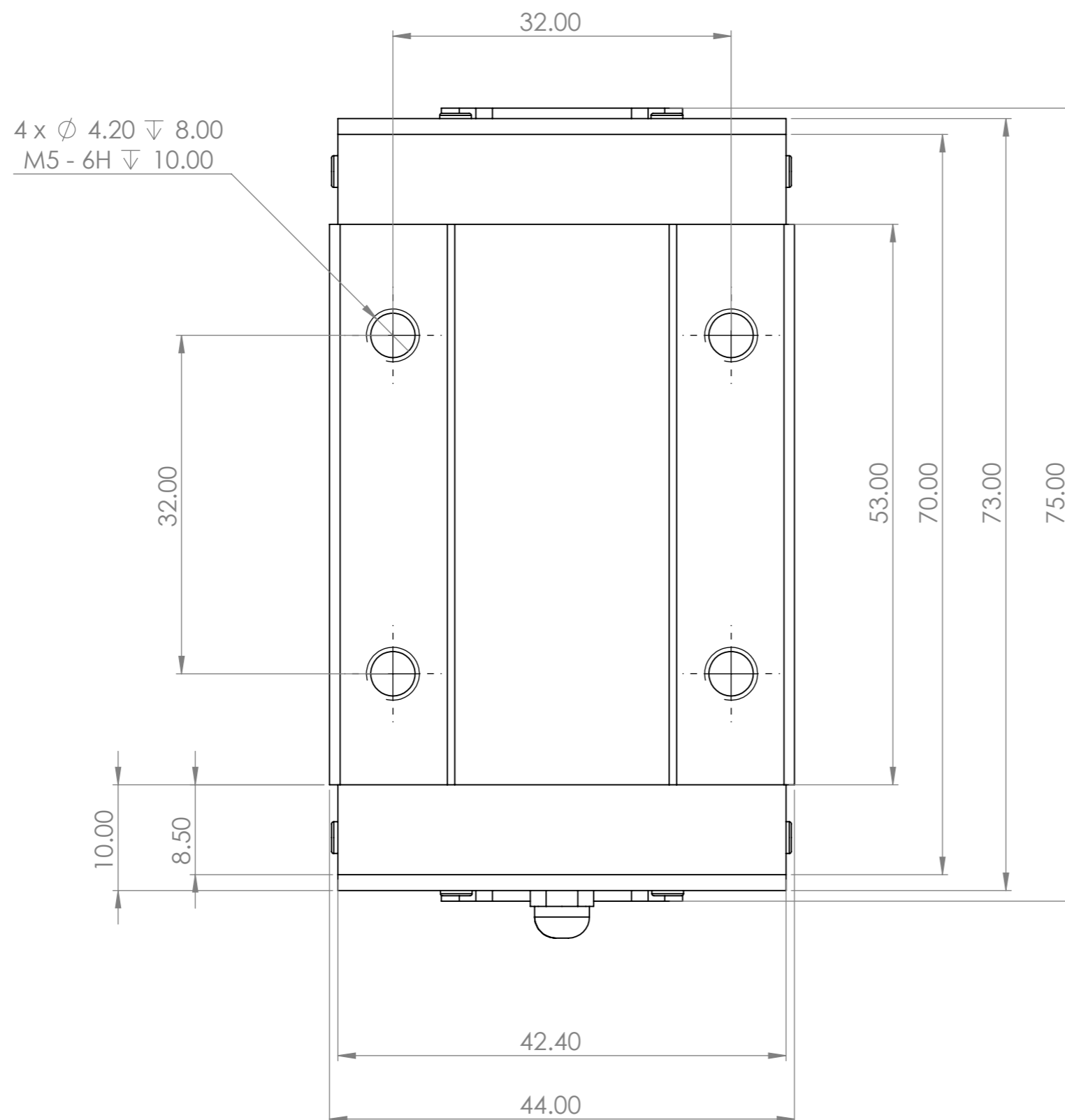


		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		
Título: BLOQUE DESLIZANTE	N.º del dibujo: Guía lineal ref HGH20CA	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3
		Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Rev. A
Material: Indicados en planos	Tipo: Plano pieza	Código: H 3 - 19	Escala: 2:1	Hoja: 45/49

Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm

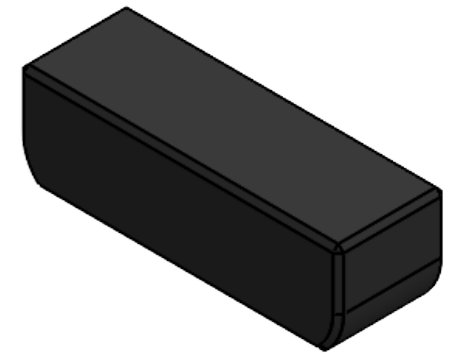


ESCALA: 1:1.5

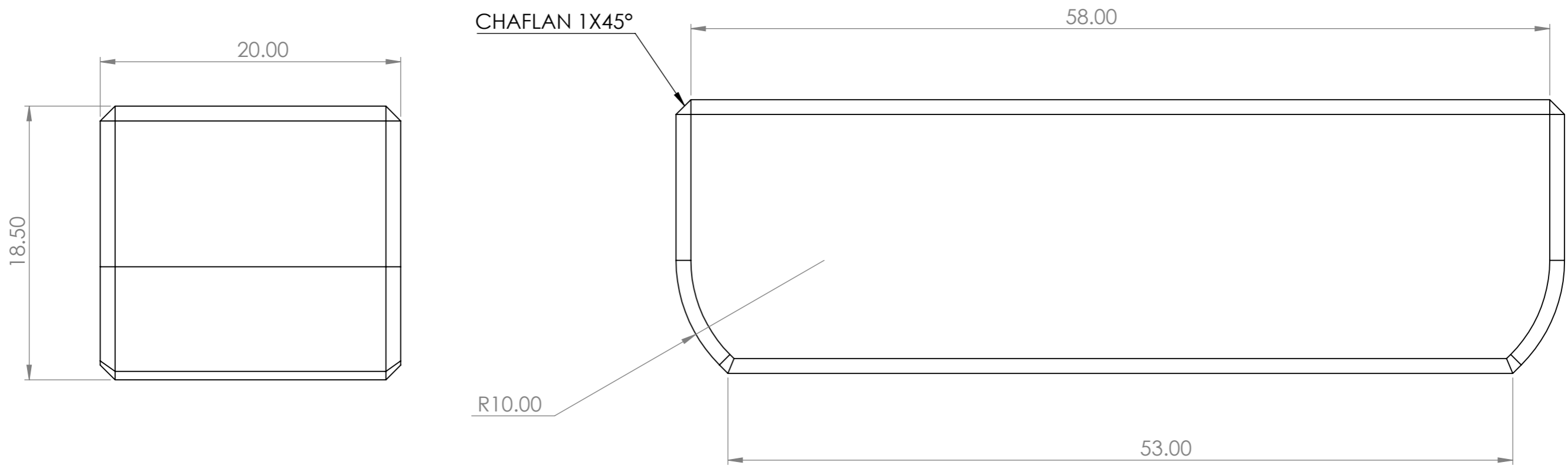


 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
Título: BLOQUE DESLIZANTE	N.º del dibujo: Guía lineal ref HGH20CA	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3	Rev. A
		Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025		
Material: Indicados en planos		Tipo: Plano pieza	Código: H 3 - 20	Escala: 2:1	Hoja: 46/49
Especificaciones:					

Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm



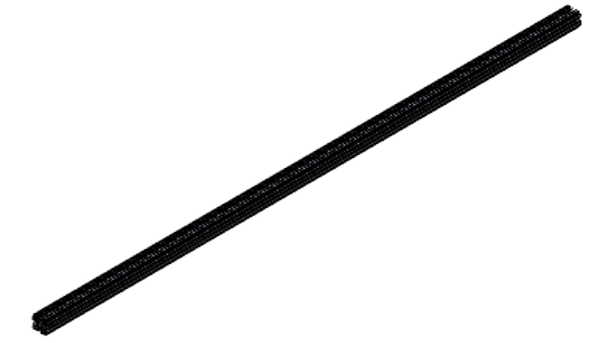
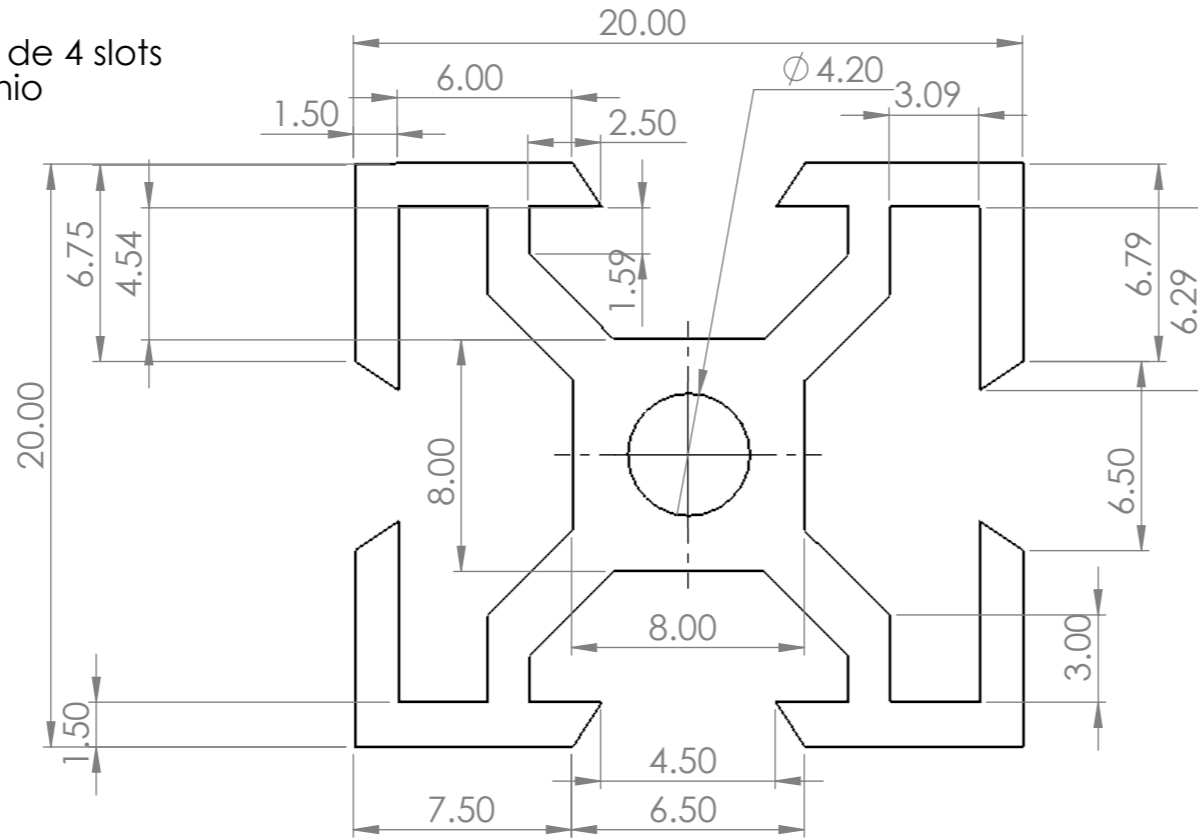
ESCALA: 1: 1



		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
Título: SOPORTE NIVELADOR	N.º del dibujo: Nivelador bloque deslizante	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3	
		Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025		Rev.: A
Material: Indicados en planos		Tipo: Plano pieza	Código: H 3 - 21	Escala: 1:0.3	Hoja: 47/49
Especificaciones:					

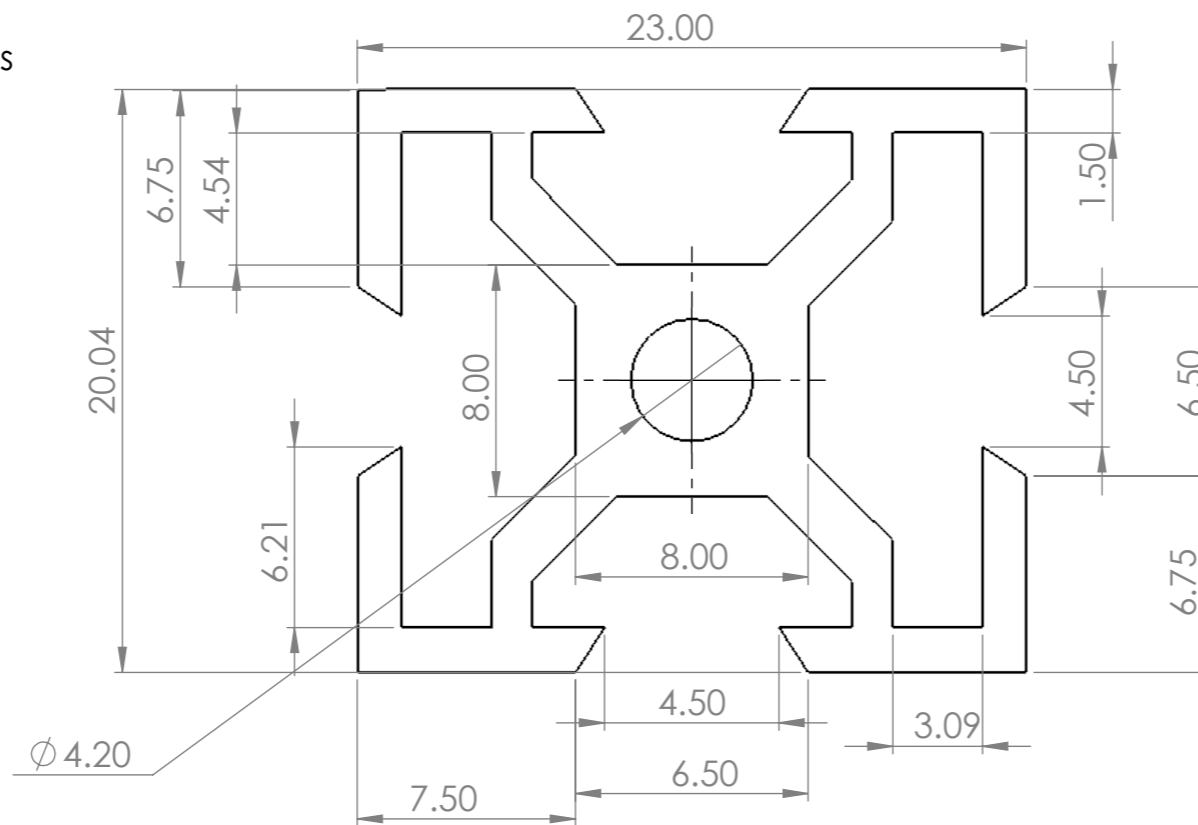
Si no se indica lo contrario:
Las cotas se expresan en mm

Perfil de aluminio estructural de 4 slots
 Material: Aleación de aluminio
 Long: 1000 mm



ESCALA: 1: 10

Perfil de aluminio estructural de 4 slots
 Material: Aleación de aluminio
 Long: 1200 mm

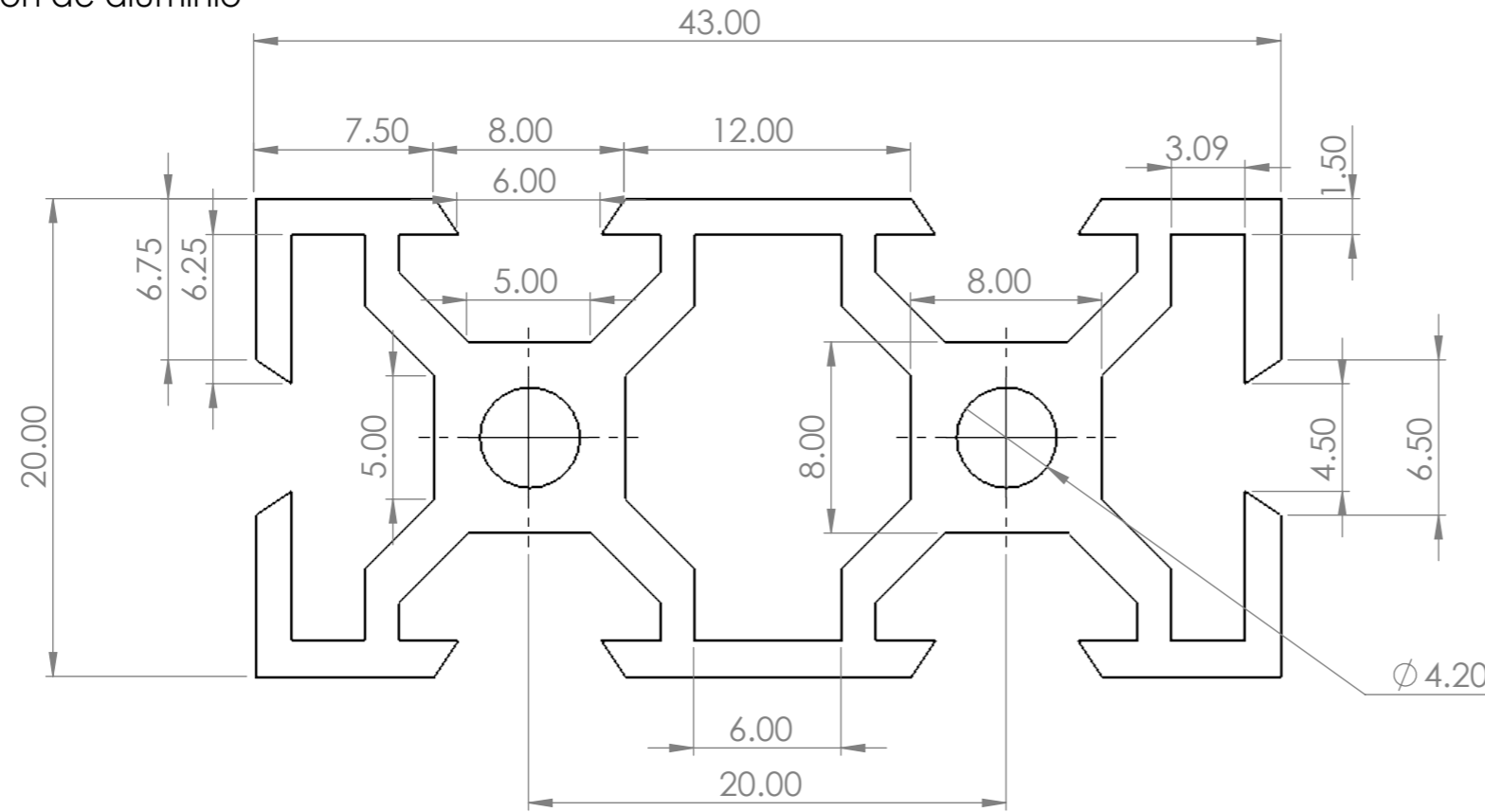


ESCALA: 1: 10

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		
Título: PERFIL ALUMINIO MESA	N.º del dibujo: Perfil de aluminio estructural de 4 slots	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3
Material: Indicados en planos Especificaciones:	Tipo: Plano pieza	Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Rev.: A
		Código: H 3 - 22	Escala: 5:1.3	Hoja: 48/49

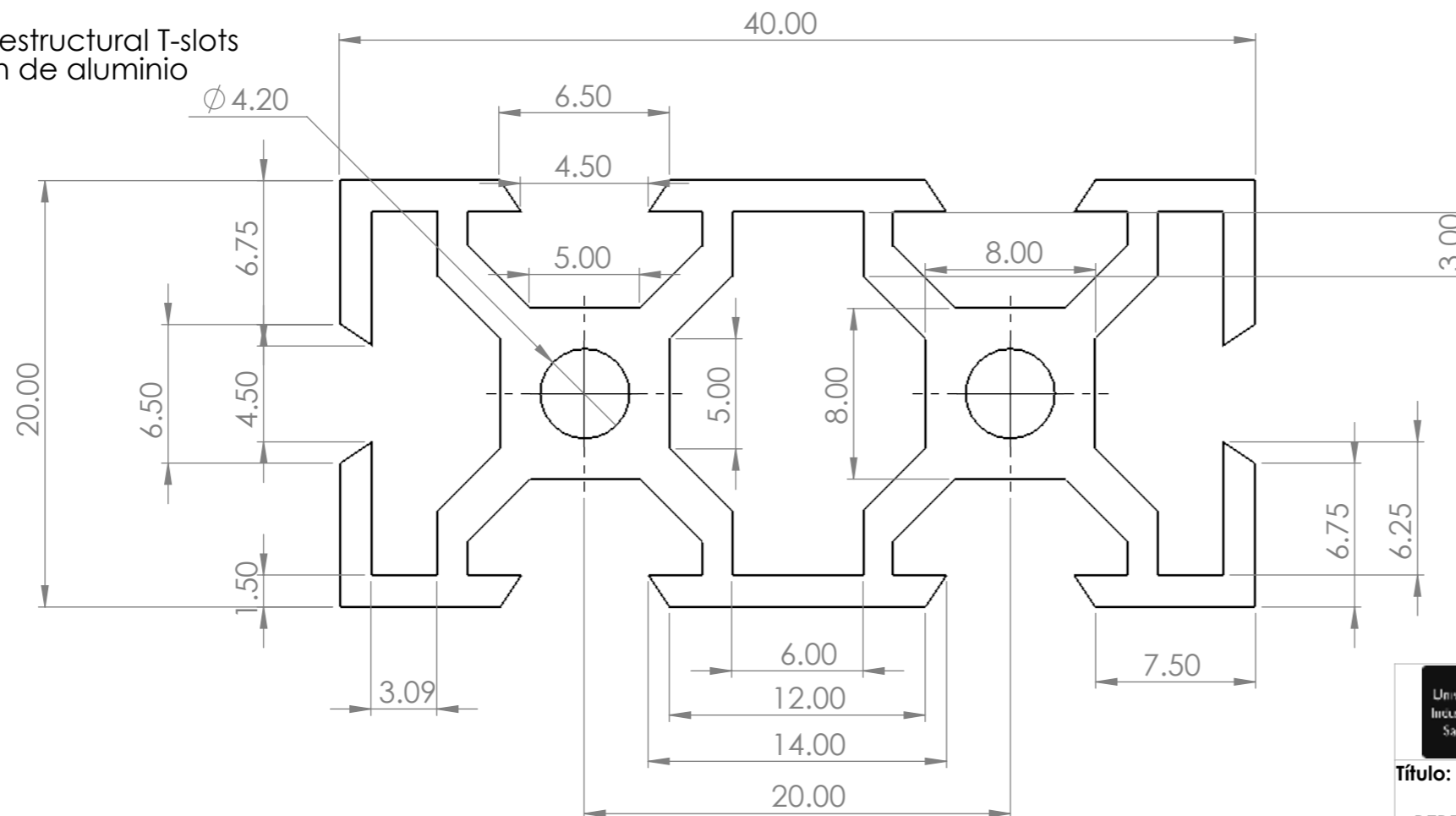
Si no se indica lo contrario:
 Las cotas se expresan en mm

Perfil de aluminio estructural T-slots
 Material: Aleación de aluminio
 Long: 1200 mm



ESCALA: 1:10

Perfil de aluminio estructural T-slots
 Material: Aleación de aluminio
 Long: 1000 mm



ESCALA: 1:10

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		
Título: PERFIL DE ALUMINIO MESA	N.º del dibujo: Perfil de aluminio estructural de 1000 - 2000	Dibujó: CSHV	Fecha: 21/02/2025	 A3
Material: Indicados en planos Especificaciones:	Tipo: Plano pieza	Aprobó: ADPC	Fecha: 23/02/2025	Rev.: A
		Código: H 3 - 23	Escala: 1:0.3	Hoja: 49/49

Si no se indica lo contrario:
 Las cotas se expresan en mm