



**UNIVERSITAT JAUME I**

**ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA I CIÈNCIES**

**EXPERIMENTALS**

**GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

***DISEÑO DE CELDA ROBÓTICA CON  
SISTEMA DE ASPIRACIÓN PARA LA  
MANIPULACIÓN DE PLACAS  
CERÁMICAS DE GRAN TAMAÑO***

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**AUTOR**

**Marc Batiste Ginés**

**DIRECTOR**

**José Luis Iserte Vilar**

Castellón, mayo de 2023

DISEÑO DE CELDA ROBÓTICA CON SISTEMA DE ASPIRACIÓN  
PARA LA MANIPULACIÓN DE PLACAS CERÁMICAS DE GRAN TAMAÑO

## RESUMEN

---

Este trabajo de fin de grado presenta el proceso de diseño de una celda robótica con sistema de aspiración para la manipulación de placas cerámicas de gran tamaño, el cual ha sido realizado junto a la empresa de robótica Robottions y bajo la supervisión de la Universidad Jaume I. La celda estará destinada a la línea de producción de RPC (Rectificados y Pulidos Cerámicos), una empresa del sector cerámico ubicada en La Pobla Tornesa.

Este proyecto busca automatizar la alimentación de placas cerámicas de una rectificadora y una pulidora para así poder satisfacer la necesidad del cliente de mejorar su proceso de producción. Se pretende reemplazar un proceso manual donde se requiere el uso de una grúa y varios operarios por un sistema completamente automático. Así pues, el objetivo de esta celda es reducir de manera notable la peligrosidad para el operario y aumentar la cadencia de producción.

Para el desarrollo del proyecto, en un primer lugar se llevará a cabo un análisis de mercado para evaluar las diferentes opciones disponibles de robots y marcas, con el fin de seleccionar el más apropiado para esta aplicación. Luego, se procederá a realizar una disposición inicial de la celda, optimizando la ubicación de cada elemento en relación con el robot seleccionado.

Después, se tratará el diseño de la pinza del robot industrial el cual se encargará de la manipulación de las placas cerámicas. Esta etapa se dividirá en tres partes: en primer lugar, se abordará el sistema de aspiración y la selección de las ventosas; en segundo lugar, se llevará a cabo el diseño de la estructura de la pinza, incluyendo los análisis estructurales correspondientes; y, por último, se considerarán los sensores a utilizar en el diseño y el motivo de cada uno.

En el último punto, se abordará nuevamente la disposición de todos los elementos de la celda y se describirá el proceso final que el robot llevará a cabo. Asimismo, se seleccionarán los elementos de seguridad a implementar en la misma. Además, se efectuará un análisis económico y ambiental para evaluar la viabilidad y el impacto ambiental de la celda construida.

Finalmente, se presentarán las conclusiones del proyecto, en las que se valorará el trabajo realizado y se identificarán los posibles puntos a desarrollar en el futuro para mejorar el diseño y rendimiento de la celda.

Es importante mencionar que no se tratará el desarrollo de la programación del robot ni la comunicación del mismo con los elementos externos. Estas tareas se consideran aspectos complementarios.

DISEÑO DE CELDA ROBÓTICA CON SISTEMA DE ASPIRACIÓN  
PARA LA MANIPULACIÓN DE PLACAS CERÁMICAS DE GRAN TAMAÑO

## INDICE GENERAL

---

I. Memoria.....	7
II. Anexos.....	79
III. Planos.....	90
IV. Presupuesto Final.....	110
V. Pliego de condiciones .....	116

DISEÑO DE CELDA ROBÓTICA CON SISTEMA DE ASPIRACIÓN  
PARA LA MANIPULACIÓN DE PLACAS CERÁMICAS DE GRAN TAMAÑO

# I. MEMORIA





## INDICE

---

1.	INTRODUCCIÓN.....	15
1.1.	ANTECEDENTES .....	15
1.2.	OBJETIVOS .....	16
1.3.	JUSTIFICACIÓN .....	17
1.4.	ALCANCE DEL PROYECTO .....	18
2.	LISTADO DE REQUERIMIENTOS.....	19
3.	SELECCIÓN DEL ROBOT INDUSTRIAL.....	21
3.1.	TIPOS DE ROBOTS INDUSTRIALES .....	21
3.2.	MERCADO ACTUAL DEL ROBOT INDUSTRIAL .....	24
3.3.	ELECCIÓN DEL BRAZO ROBOTICO.....	30
4.	DISTRIBUCIÓN DE LA CELDA.....	34
4.1.	ROBODK.....	34
4.2.	SIMULACIÓN INICIAL (RoboDK).....	35
4.3.	DISEÑO PEDESTAL ROBOT .....	37
4.3.1.	Simulación de esfuerzos .....	38
5.	ESTUDIO DE MERCADO .....	44
6.	DISEÑO DE LA PINZA .....	45
6.1.	SISTEMA DE ASPIRACIÓN .....	45
6.1.1.	Tipos de ventosas .....	47
6.1.2.	Elección de ventosas .....	49
6.2.	ESTRUCTURA DE LA PINZA .....	51

6.2.1. Simulación de esfuerzos .....	53
6.2.2. Resultado Final .....	56
6.3. SENSORES .....	57
7. MEDIDAS DE SEGURIDAD.....	61
8. FUNCIONAMIENTO FINAL DE LA CELDA.....	65
9. VIABILIDAD.....	66
9.1. VIABILIDAD TÉCNICA.....	66
9.2. VIABILIDAD ECONÓMICA .....	67
9.3. VIABILIDAD MEDIOAMBIENTAL.....	68
10. ANÁLISIS CRÍTICO Y MEJORAS .....	70
11. CONCLUSIÓN.....	72
12. BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA.....	73
12.1. BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA DE ILUSTRACIONES.....	75

## INDICE DE TABLAS

---

Tabla 1 Cuadro comparativo robots .....	29
Tabla 2- Datos técnicos del KR420 R3330 .....	33
Tabla 3-Tipos de sensores .....	58
Tabla 4-Resumen costes .....	67
Tabla 5- Importancia Matriz Leopold .....	68
Tabla 6-Matriz Leopold .....	69
Tabla 7-Tabla costes componentes y materiales .....	112
Tabla 8- Costes piezas fabricadas .....	113
Tabla 9-Costes personal .....	113
Tabla 10-Costes directos .....	114
Tabla 11-Costes totales .....	115

## INDICE ILUSTRACIONES

---

Ilustración 1-Logo empresa RPC .....	15
Ilustración 2 - Logo empresa Robottions .....	15
Ilustración 3-Proceso de la celda. ....	19
Ilustración 4-Elementos de la celda. Cajón y caballete. ....	19
Ilustración 5-Robot Cartesiano .....	21
Ilustración 6-Robot Delta .....	22
Ilustración 7-Robot cilíndrico .....	22
Ilustración 8- Robot Esférico .....	23
Ilustración 9-Robot SCARA .....	23
Ilustración 10-Robot Antropomorfo .....	24
Ilustración 11- Ejemplo robots Universal Robots .....	25
Ilustración 12- Ejemplo robots industriales Fanuc .....	26
Ilustración 13- Ejemplo robots industriales KUKA .....	26
Ilustración 14-ABB .....	27
Ilustración 15-Yaskawa .....	28
Ilustración 16- KUKA-KR420-R3330 .....	31
Ilustración 17-Diagrama de cargas del KR420-R3330 .....	31
Ilustración 18—Alcance KUKA KR420R3300 .....	32
Ilustración 19-Interfaz RoboDk .....	34
Ilustración 20-Simulación Inicial elementos de la Celda .....	36

Ilustración 21- Plano ensamblaje del pedestal .....	37
Ilustración 22-Esfuerzos y desplazamientos estudio 1 Pedestal .....	39
Ilustración 23- Estudio de tensión. Caso 1 .....	39
Ilustración 24- Estudio de flexión y deformación Caso 1 .....	40
Ilustración 25- Esfuerzos y desplazamientos estudio 2 Pedestal .....	41
Ilustración 26-Estudio de tensión flexión y deformación Caso 2 .....	43
Ilustración 27- Modelos de Pinzas .....	44
Ilustración 28-Disposición ventosas doble circuito de vacío .....	46
Ilustración 29-Esquema circuito de vacío. ....	46
Ilustración 30-Ejemplo ventosa plana .....	48
Ilustración 31-Ejemplo ventosas de fuelle. ....	48
Ilustración 32-Ejemplo ventosas metálicas. ....	49
Ilustración 33-Modelo 3D pinza. ....	52
Ilustración 34-Fuerzas y desplazamientos simulación pinza. ....	54
Ilustración 35-Resultados tensión, flexión y deformación estudio pinza .....	55
Ilustración 36- Pinza fabricada con elementos de vacío. ....	57
Ilustración 37- Posición de sensores ultrasónicos con indicación de alcance. ....	60
Ilustración 38- Detalle real de sensores utilizados. ....	61
Ilustración 39- Ejemplo vallado seguridad .....	62
Ilustración 40-Ejemplo balizas visual. ....	63
Ilustración 41-Ejemplo botoneras .....	64
Ilustración 42- Ejemplo Barreras de protección optoelectrónica .....	64

DISEÑO DE CELDA ROBÓTICA CON SISTEMA DE ASPIRACIÓN  
PARA LA MANIPULACIÓN DE PLACAS CERÁMICAS DE GRAN TAMAÑO

Ilustración 43-Disposición final celda.....	65
Ilustración 44- Fotos reales celda.....	70
Ilustración 45-Ejemplo track lineal.....	71

## 1. INTRODUCCIÓN

---

### 1.1. ANTECEDENTES

El presente Trabajo de Final de Grado consiste en el diseño de una celda robótica con sistema de aspiración para la manipulación de placas cerámicas de gran tamaño, con el objetivo de automatizar una línea de producción. Esta celda ha sido desarrollada para su implementación en la empresa RPC (Rectificados y Pulidos Cerámicos), una compañía del sector cerámico ubicada en La Pobra Tornesa, Castellón.



*Ilustración 1-Logo empresa RPC*

El proyecto se lleva a cabo durante el periodo de prácticas dentro de la empresa de robótica Human-Robots Solutions SL, o más conocida como Robottions. Esta sociedad forma parte del grupo empresarial Orbel grupo y está especializada en soluciones robóticas personalizadas para problemas de logística y de producción. Además, ofrece software a medida y brinda formación en robótica industrial a sus clientes para asegurar un uso fluido de las soluciones implementadas.



*Ilustración 2 - Logo empresa Robottions*

## 1.2. OBJETIVOS

La elaboración del proyecto nace de la necesidad de mejorar el proceso de alimentación de una rectificadora y una pulidora con placas cerámicas de gran tamaño. El proceso de manipulación de las placas cerámicas se llevaba a cabo de forma completamente manual, con la colaboración de varios operarios que utilizaban una grúa para mover las placas. De esta manera, los operarios guiaban la placa cuidadosamente hasta colocarla sobre la rectificadora o la pulidora.

Por lo tanto este proyecto tiene como objetivo diseñar e instalar una celda robotizada que automatice y optimice el proceso, lo que resultará en una mejora de productividad y de flujo de trabajo.

Teniendo en cuenta que la pulidora y la rectificadora están ya en funcionamiento dentro de la fábrica, el diseño de la celda se centrará en seleccionar un robot industrial apropiado e idear una pinza adecuada para que el robot pueda manipular las placas con facilidad. Asimismo, se prestará atención a la disposición de la celda y la inclusión de elementos de seguridad necesarios



### 1.3. JUSTIFICACIÓN

La automatización industrial de este proceso ofrece varias ventajas en comparación con los procesos manuales:

- **Aumenta** de manera notable la **productividad**, ya que los elementos automatizados trabajan a velocidades más altas, lo que se traduce en una mejora de eficiencia.
- **Aumenta la seguridad laboral** al evitar la participación directa del ser humano en actividades peligrosas.
- **Optimiza el tiempo de actividad**, ya que los sistemas automatizados pueden funcionar de forma continua y sin interrupciones, lo que reduce significativamente los periodos de inactividad.
- **Disminuye los costos de producción** si bien la automatización puede requerir una inversión inicial a largo plazo resulta más rentable. . Esto se debe a que los sistemas automatizados pueden operar con mayor eficiencia energética, reducir el desperdicio de materiales.
- **Mejora la calidad de los productos** al disminuir la posibilidad de errores y defectos de procedencia humana.
- **Proporciona información del proceso en tiempo real**
- **Incremento en ventas** al aumentar la producción
- **Incremento del valor percibido**

## 1.4. ALCANCE DEL PROYECTO

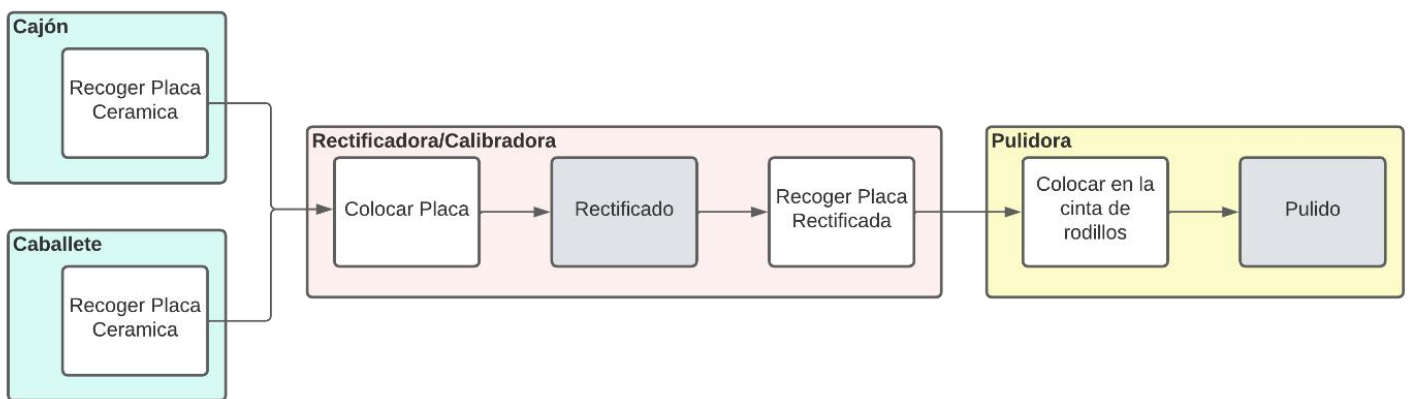
El alcance del proyecto queda definido por los aspectos siguientes:

- Análisis de los tipos de robots industriales.
- Distribución de la celda robótica
- Diseño de una pinza para el robot industrial.
  - Estudio y elección de los componentes de vacío.
  - Diseño de la estructura de la pinza.
  - Elección de los Sensores.
- Diseño de pedestal/base para el robot.
- Estudio de esfuerzos tanto de la pedestal como la estructura de la pinza.
- Análisis de los elementos de seguridad.
- Simulación del movimiento del robot.
- Análisis de los costes de fabricación.
- Valoración de resultados.

Es importante mencionar que dentro de este trabajo de fin de grado no se tratará el desarrollo de la programación del robot ni la comunicación de este con los elementos externos (Elementos de seguridad, Sistema de aspiración, Sensores...). Todas estas tareas se consideran aspectos complementarios.

## 2. LISTADO DE REQUERIMIENTOS

Para poder lograr un buen diseño de la celda, en primer lugar, se debe considerar el proceso industrial que se llevará a cabo para lograr un funcionamiento óptimo del mismo. Este proceso implica la manipulación de placas cerámicas, las cuales estarán ubicadas ya sea en un cajón o un caballete donde se recogerán para ser transportadas a una rectificadora. Posteriormente, tras haber modificado las placas, el robot industrial las recuperará y las depositará en una cinta de rodillos que automáticamente las llevará hacia la pulidora.



*Ilustración 3-Proceso de la celda.*



*Ilustración 4-Elementos de la celda. Cajón y caballete.*

Así pues, los elementos que deben componer la celda son los siguientes:

- Un Robot Industrial
- Rectificadora/Calibradora (ReCal) (Ya en funcionamiento en la empresa de RPC)
- Pulidora (Ya en funcionamiento en la empresa de RPC)
- Elementos de seguridad

Otro punto importante que se debe tener en cuenta son las características de las placas a mover dentro de la celda. Las dimensiones de estas son las siguientes:

- Máximas teóricas: 3700x1700mm
- Máximas Reales: 3240x1240mm
- Mínimas: 2400x1240mm

El peso máximo se estima alrededor de los 270kgf con 20mm de espesor.

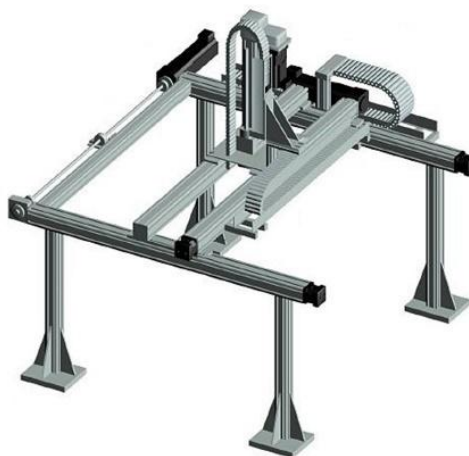
## 3. SELECCIÓN DEL ROBOT INDUSTRIAL

---

Antes de iniciar el diseño de la celda, es fundamental realizar un análisis de los distintos tipos de robots industriales que existen en el mercado y las marcas que los ofrecen, con el fin de poder seleccionar el que mejor se adapte a las necesidades de esta aplicación. Para elegir el robot industrial adecuado, es necesario evaluar detenidamente la carga útil, el alcance, la velocidad y la precisión, y compararlos con las especificaciones técnicas de los diferentes modelos disponibles. Asimismo, es importante tener en cuenta la facilidad de programación y la fiabilidad de la marca al momento de tomar la decisión final.

### 3.1. TIPOS DE ROBOTS INDUSTRIALES

- El **Robot Cartesiano** es un tipo de robot industrial que utiliza tres ejes lineales: X, Y y Z para moverse en un espacio tridimensional. Cada uno de estos ejes corresponde a un brazo del robot que se mueve en ambas direcciones a lo largo del eje. Los brazos están dispuestos en ángulo recto entre sí, lo que permite al robot utilizar los movimientos de los tres brazos para alcanzar cualquier punto en el espacio tridimensional. El tamaño de los brazos del Robot Cartesiano puede variar enormemente dependiendo de la finalidad del robot y las necesidades específicas de la tarea que se está realizando.



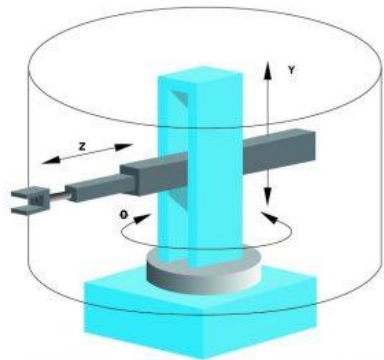
*Ilustración 5-Robot Cartesiano*

- El **Robot Delta** es un tipo de robot industrial que se distingue por su estructura triangular compuesta por tres brazos articulados que convergen en un punto central. Esta configuración le permite moverse con rapidez y precisión en su área de trabajo, por lo que es una opción ideal para tareas que exigen movimientos repetitivos y veloces, tales como la selección y empaquetado de piezas pequeñas en una línea de producción.



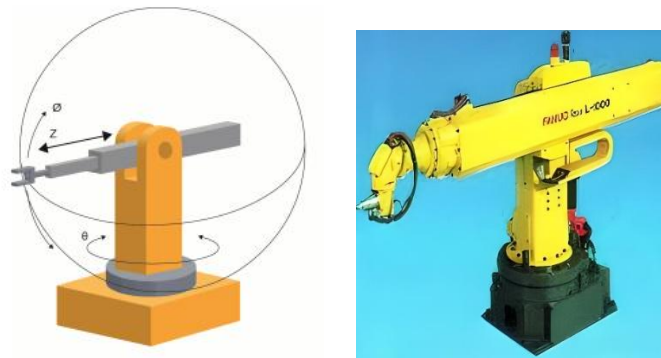
*Ilustración 6-Robot Delta*

- El **Robot Cilíndrico** es un tipo de robot industrial que se caracteriza por su capacidad de movimiento en forma de cilindro. Este robot se distingue por tener un sistema de coordenadas de círculos concéntricos, el cual se logra gracias a su estructura compuesta por una articulación de revolución y dos articulaciones prismáticas. El eje cilíndrico se encuentra en la base del robot, permitiendo la rotación de los eslabones alrededor del eje del robot. Por su parte, las dos articulaciones prismáticas se utilizan para ajustar el radio y la altura del área de trabajo cilíndrico.



*Ilustración 7-Robot cilíndrico*

- El **Robot Esférico**, también conocido como Robot Polar, destaca por utilizar un sistema de coordenadas polares tridimensionales  $r$ ,  $\theta$ ,  $\phi$ . Gracias a su configuración compuesta por dos ejes rotacionales perpendiculares y uno lineal, este tipo de robots tiene un alcance esférico con un radio igual a la longitud del enlace que conecta el EOAT (“End of Arm Tooling”, traducido como “fin del brazo”) y la articulación de revolución más cercana. Este robot es ideal para aplicaciones de carga de máquinas que no precisen movimientos complejos, procesos de soldadura y fundición.



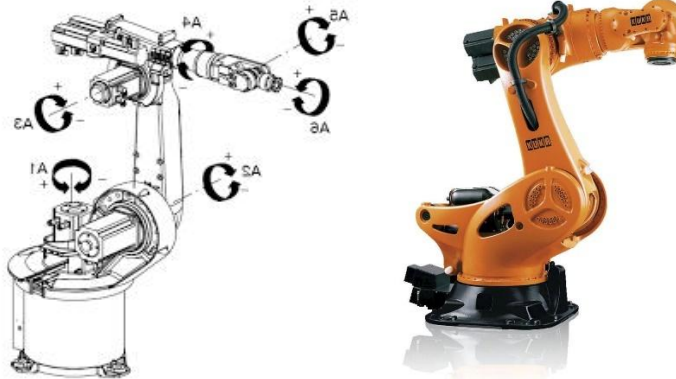
*Ilustración 8- Robot Esférico*

- El **Robot SCARA** (“Selective Compliance Assembly Robot Arm”) es un tipo de robot industrial utilizado en el ensamblaje de productos, paletización y aplicaciones biomédicas. Principalmente se caracteriza por su diseño de brazo articulado el cual permite moverse en dos planos horizontales y gira en un tercer eje vertical. La zona de trabajo resultante tiene forma toroidal y su aplicación es similar a la de un robot cilíndrico.



*Ilustración 9-Robot SCARA*

- El **Robot Antropomorfo** se distingue por emular los movimientos de un brazo humano mediante la incorporación de tres articulaciones. El primer eje representa el brazo, el segundo el antebrazo y el tercero la muñeca. Dispone de 6 grados de libertad, de los cuales tres son para la posición y los otros tres para la orientación. Estos robots son altamente versátiles y se aplican en diversas tareas como soldadura, ensamblaje y pintura.



*Ilustración 10-Robot Antropomorfo*

### 3.2. MERCADO ACTUAL DEL ROBOT INDUSTRIAL

Actualmente, la robótica industrial experimenta un crecimiento significativo y presenta un potencial impresionante, lo que impulsa continuas innovaciones en el campo. Como resultado, existen una gran cantidad de marcas comprometidas con el desarrollo del sector y la fabricación de robots, lo que genera una intensa competencia. Esta rivalidad promueve una mejora constante y una actualización continua para mantenerse al día en el mercado.

La industria de la robótica cuenta con la presencia de múltiples marcas distintas, cada una con su propio toque distintivo en términos de diseño, fabricación y funcionalidad. Estas características únicas tienen un impacto directo en el precio de los robots, ya que cada marca busca diferenciarse y agregar valor a su producto para competir en un mercado altamente competitivo.

A continuación, se presentan los fabricantes de robots industriales más reconocidos, así como los robots que podrían ser utilizados para esta aplicación:



- **Universal Robots:** Empresa danesa que produce robots colaborativos, también conocidos como cobots. Los cobots son robots industriales de menor tamaño que, gracias a sus limitaciones de fuerza y velocidad, permiten el trabajo junto con los humanos compartiendo el espacio de manera segura. Estos robots antropomórficos se encargan de las tareas repetitivas permitiendo a los trabajadores realizar las tareas de mayor valor.

Actualmente, el modelo más grande disponible es el UR20 a pesar de ello, no corresponde con las características necesarias para este proyecto.



*Ilustración 11- Ejemplo robots Universal Robots*

- **Fanuc:** Empresa japonesa líder en la fabricación de robots industriales y sistemas de automatización. Desde su fundación en 1956, Fanuc ha desarrollado una amplia gama de robots industriales, los cuales están especialmente indicados para soldadura por arco y pintura. Además, la compañía también ofrece soluciones de control numérico y software de programación para la automatización de procesos industriales.

El modelo M-1000iA es el robot que más destaca entre todas las opciones disponibles para la aplicación de este proyecto.



*Ilustración 12- Ejemplo robots industriales Fanuc*

- **KUKA:** Empresa alemana, fundada en 1898, especializada principalmente en la fabricación de robots industriales y sistemas de automatización para diversas aplicaciones. Sus soluciones robóticas destacan por ser unas de las más precisa del mercado tanto en procesos de soldadura con gas, corte laser, ensamblaje y paletización y manipulación de materiales. Gracias a su larga trayectoria y el enfoque en la innovación, KUKA se ha consolidado como líder en el sector de la automatización y puede ser considerada como una de las compañías más reconocidas a nivel mundial por su tecnología avanzada.

Entre la gran variedad de productos que posee KUKA, el robot industrial KUKA KR420 R3330 puede ser la opción más destacada y apropiada para este proyecto en particular.



*Ilustración 13- Ejemplo robots industriales KUKA*

- **ABB:** Empresa multinacional de origen suizo que se dedica a la fabricación de equipos, sistemas de automatización industrial y energía eléctrica. Fundada en 1988, ABB ha desarrollado una amplia gama de productos y soluciones para diversas aplicaciones, desde la robótica y la automatización de procesos industriales hasta la gestión de energía y la electrificación de edificios. La compañía es reconocida a nivel mundial por su tecnología avanzada y su capacidad para brindar soluciones innovadoras a sus clientes en todo el mundo. ABB también destaca en la fabricación de robots industriales, con una amplia gama de modelos que abarcan desde pequeños robots colaborativos hasta grandes robots antropomórfico para aplicaciones más específicas.

Entre todas las opciones disponibles, el modelo IRB6700 es el robot que mejor puede cumplir para la aplicación de manipular azulejos.



*Ilustración 14-ABB*

- **Yaskawa:** Los robots industriales de Yaskawa Electric Corporation son conocidos por su alta calidad y precisión en tareas como soldadura, pintura y paletizado. Yaskawa ha sido pionera en la tecnología de robots industriales desde que lanzó su primer robot en 1977. Desde entonces, ha seguido desarrollando robots de alta calidad y eficiencia para satisfacer las necesidades de sus clientes en una variedad de industrias. Los robots industriales de Yaskawa se utilizan en todo el mundo en una amplia gama de aplicaciones, desde la fabricación de automóviles hasta la producción de alimentos y bebidas.

DISEÑO DE CELDA ROBÓTICA CON SISTEMA DE ASPIRACIÓN  
PARA LA MANIPULACIÓN DE PLACAS CERÁMICAS DE GRAN TAMAÑO

El modelo GP400 resalta entre todas las opciones disponibles dentro de la marca Yaskawa para cubrir las necesidades específicas de esta aplicación en particular.



*Ilustración 15-Yaskawa*

Tras este análisis de las características principales de cada marca, se realiza una tabla a modo de resumen con los robots industriales seleccionados de cada empresa de automatización. Además, se comparan las dos características fundamentales para un robot antropomórfico: su alcance y su capacidad de carga útil.

CUADRO COMPARATIVO DE ROBOTS					
Modelo	UR20	M-1000IA	KR420 R3330	IRB6700	GP400
Marca					
Alcance (mm)	1750	3253	3330	2700	2942
Carga útil (kgf)	20	1000	420	300	400
Imagen					

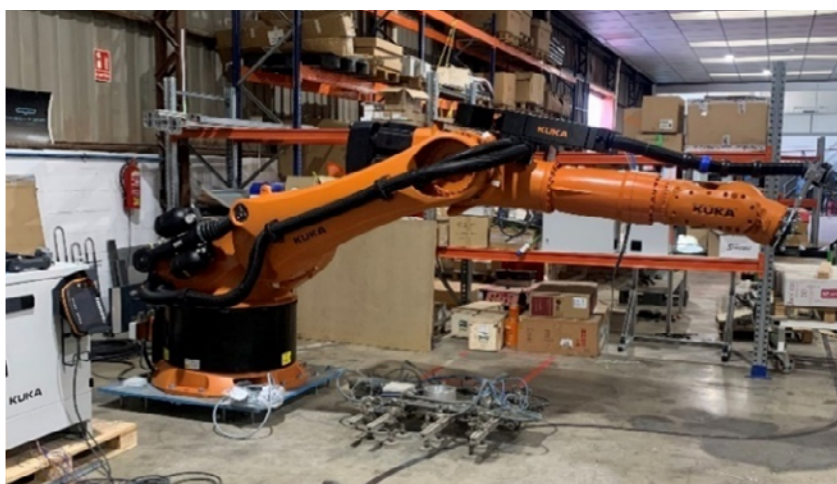
Tabla 1 Cuadro comparativo robots

### 3.3. ELECCIÓN DEL BRAZO ROBOTICO

Tras analizar todos los tipos de robots existentes, se concluye que el robot antropomórfico de 6 ejes es la opción más apropiada para llevar a cabo los movimientos requeridos para esta celda. Esta elección se fundamenta en varias razones, tales como su alta movilidad gracias a sus múltiples ejes los cuales permiten moverse en múltiples direcciones y acceder a posiciones difíciles de alcanzar. Además, estos robots tienen una mayor capacidad para soportar cargas pesadas en comparación con otros tipos de robots, como puede ser los robots delta o SCARA entre otros.

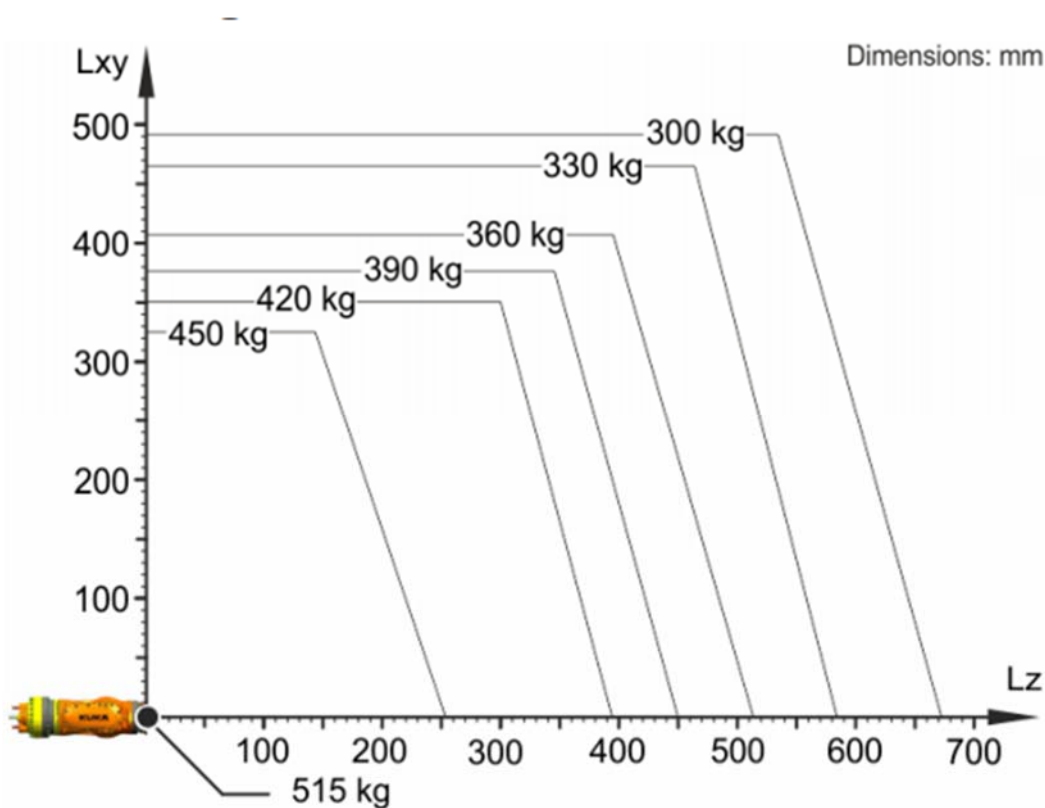
Asimismo, otras características que hacen de este robot una opción ideal para esta aplicación son su gran adaptabilidad, es decir, los robots antropomórficos pueden ser programados de manera sencilla para realizar una amplia variedad de tareas. Por último, es importante destacar que la estructura antropomórfica de estos robots les permite realizar movimientos precisos y repetitivos a alta velocidad, lo que resulta fundamental para la manipulación de los azulejos.

Por lo tanto, el robot elegido entre todas las marcas para el proyecto es el robot antropomórfico KUKA KR420 R3330 equipado con un controlador KRC4. Esta elección se debe al amplio rango de alcance que posee respecto a sus competidores, característica imprescindible para poder manipular las placas de 3700x1700mm desde su centro. Otro punto que fundamenta su elección es que posee la carga útil necesaria dado que el robot fanuc M-1000iA dispone de un alcance muy similar pero estaría muy sobredimensionado para el peso a transportar.



*Ilustración 16- KUKA-KR420-R3330*

Este modelo de brazo articulado de la marca KUKA resulta ser de mayor tamaño respecto a los robots antropomórficos de 6 ejes más comunes utilizados en las industrias. Debido a su tamaño, este tiene una mayor capacidad de carga. Como se puede observar dentro de la ficha técnica (Consultar [II. Anexos](#)) y dentro de la gráfica 15 el robot KR420 está configurado para trabajar de manera óptima con una carga de 420kgf, aunque posee una capacidad máxima de carga de 515kgf. La capacidad del robot está ligada al centro de masa de la carga, lo que significa que cuanto más lejos esté el centro de masa del extremo del brazo en los ejes X, Y y Z, menor será la capacidad del robot para soportar dicha carga. Es importante destacar que la carga que soporta el robot resulta la suma del peso de la placa y el de la pinza.



*Ilustración 17-Diagrama de cargas del KR420-R3330*

Otro aspecto destacable es el gran alcance de este robot. Tal como se evidencia en la ilustración 18, este es capaz de cubrir una distancia de 3326mm. Este amplio rango de operación posibilitará que el robot alcance todos los puntos críticos de la celda para la manipulación de los azulejos de forma eficiente.

Dimensions: mm

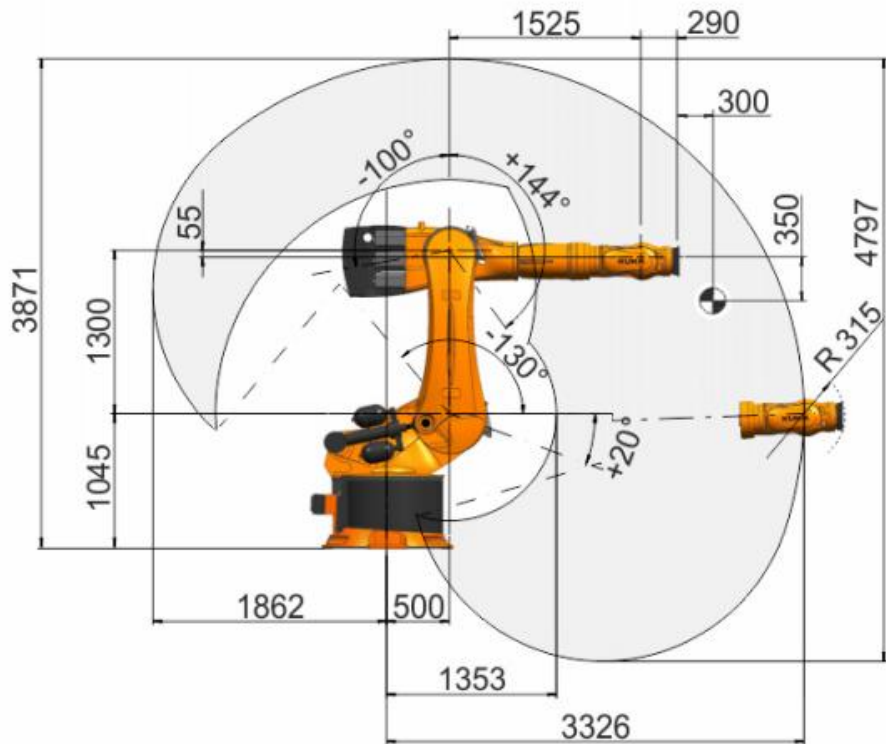


Ilustración 18—Alcance KUKA KR420R3300

Principales datos técnicos del KR420 R3330			
<b>Alcance máximo</b>	3326	<b>Peso</b>	2686kgf
<b>Carga nominal</b>	420	<b>Posición de montaje</b>	Suelo
<b>Carga máxima</b>	512	<b>Superficie de colocación</b>	1050mmx1050mm
<b>Repetibilidad de posición</b>	± 0.08mm	<b>Unidad de control</b>	KR C4; KR C5
<b>Numero de ejes</b>	6	-	-



<b>Datos de los ejes</b>			
<b>Rango de desplazamiento</b>		<b>Velocidad con carga nominal</b>	
<b>A1</b>	$\pm 185^\circ$	<b>A1</b>	80 °/s
<b>A2</b>	$-130^\circ / 20^\circ$	<b>A2</b>	75 °/s
<b>A3</b>	$-100^\circ / 144^\circ$	<b>A3</b>	70 °/s
<b>A4</b>	$\pm 350^\circ$	<b>A4</b>	70 °/s
<b>A5</b>	$\pm 120^\circ$	<b>A5</b>	70 °/s
<b>A6</b>	$\pm 350^\circ$	<b>A6</b>	110 °/s

*Tabla 2- Datos técnicos del KR420 R3330*

## 4. DISTRIBUCIÓN DE LA CELDA

Tras conocer el modelo del robot escogido, se procede a realizar una primera simulación con RoboDK para posicionar todos los elementos con respecto al alcance del brazo antropomórfico y analizar los movimientos que puede realizar el robot.

### 4.1. ROBODK

RoboDK es una potente herramienta de programación offline y simulación para robots industriales. Con este software, es posible crear, simular y optimizar programas de robots para una amplia gama de aplicaciones industriales, como soldadura, pick-and-place y pintura, todo ello sin la necesidad de contar con robots físicos o estar conectado al robot real.

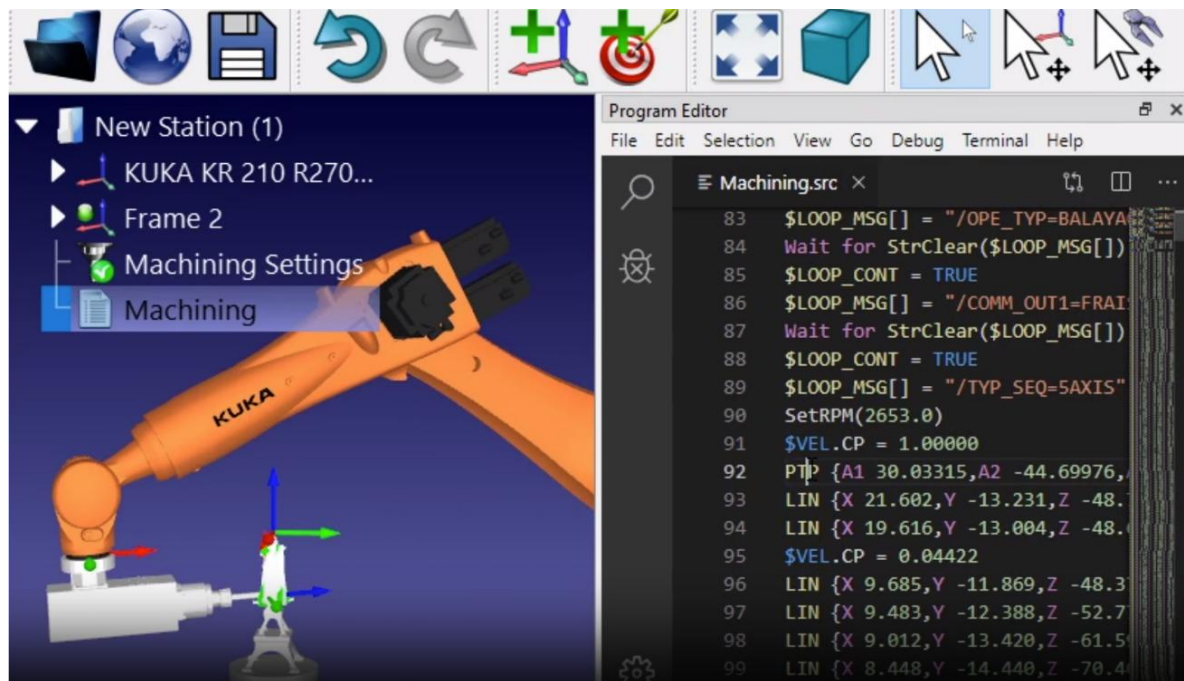


Ilustración 19-Interfaz RoboDk

Este programa brinda una interfaz fácil de usar compatible con una amplia gama de fabricantes. Además, cuenta con una completa biblioteca de modelos de robot, herramientas y accesorios, lo que facilita la creación de programas de manera rápida y eficiente.

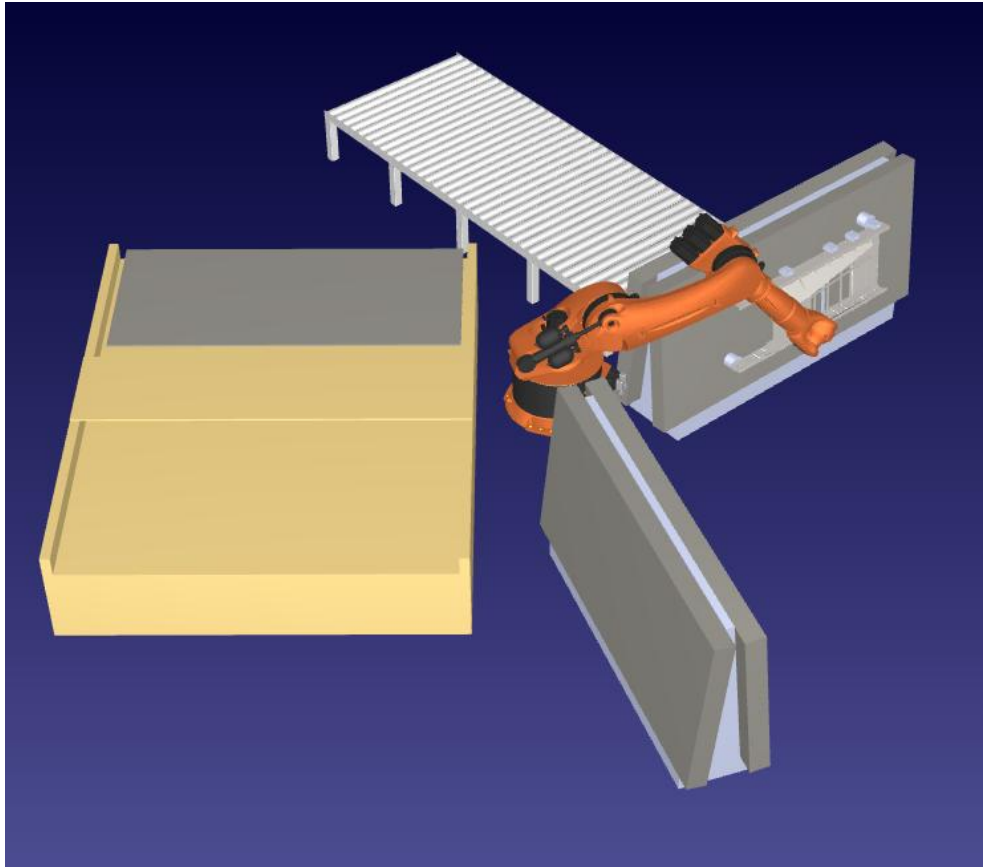
Unos de los puntos más destacables de RoboDK es la simulación en 3d precisa del robot y del entorno de trabajo permitiendo estudiar diferentes escenarios de una celda robotizada antes de instalarla dentro de la línea de producción evitando a tiempo errores que pueden surgir en un futuro.

Otro punto importante es la capacidad de realizar programación offline a través de la creación de trayectorias y programas de robot en un entorno virtual. Esto permite reducir el tiempo de inactividad en la línea de producción, ya que no sería necesario programar y probar el programa in situ en la misma línea. Al mismo tiempo evita que se puedan producir errores que podrían resultar en costos adicionales, como dañar elementos de la celda o el propio robot. El programa permite generar automáticamente el código del robot en lenguajes de programación populares como por ejemplo KRL (Lenguaje para los robots KUKA), RAPID o Python.

Asimismo, admite la posibilidad de validar programas de un robot antes de implementarlos en el mundo real para una mayor automatización del flujo de trabajo en la programación de robots industriales. RoboDK es utilizado en una amplia gama de aplicaciones y sectores industriales, incluyendo la automoción, aeroespacial, electrónica, manufactura y más.

## **4.2. SIMULACIÓN INICIAL (RoboDK)**

El simulador RoboDK es esencial a lo largo de todo el proyecto. En un primer momento permite obtener la posición de todos los componentes de la celda (Cajones, Recal, Cinta...) teniendo en cuenta tanto el alcance del robot seleccionado como sus movimientos.



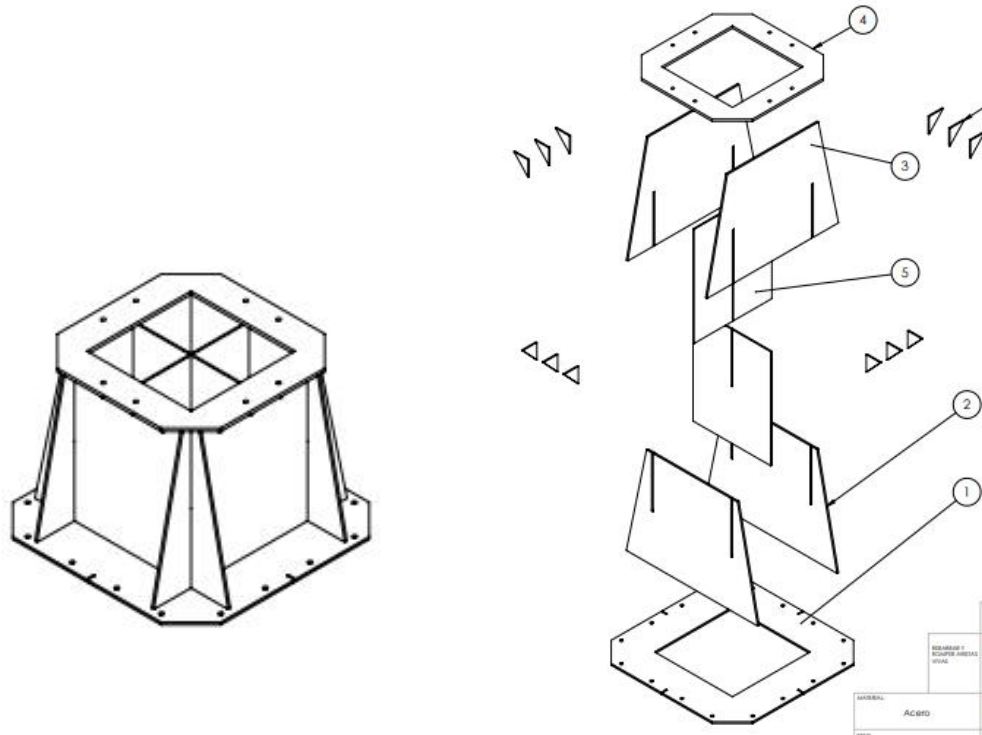
*Ilustración 20-Simulación Inicial elementos de la Celda*

Como suele ser habitual, el robot se situará en el centro de todos los elementos de la celda para poder recoger las placas en todos los puntos. La zona de colocación y recogida de la rectificadora estará a 800mm del suelo, mientras que la zona de colocación de la cinta transportadora estará a 900mm del suelo. Con el objetivo de maximizar el alcance del robot y llegar a la rectificadora, la cual es el elemento más alejado, se debe elevar el robot unos 1000mm con ayuda de un pedestal.

Además de la base, también será necesario desarrollar una pinza excéntrica para asegurar la buena recogida de las placas tanto de la ReCal como del Caballete. Sin embargo, este tema será abordado más adelante en el apartado 6: Diseño de la Pinza.

### 4.3. DISEÑO PEDESTAL ROBOT

Como ya se ha anticipado en el apartado anterior, para el buen funcionamiento de la celda se ha tenido que diseñar un pedestal para el robot KUKA KR420 R3330 con la finalidad de permitir al robot tener un mejor posicionamiento.



*Ilustración 21- Plano ensamblaje del pedestal*

El pedestal consta de dos placas octogonales, una placa superior donde se atornillará el robot, y una placa inferior de mayor tamaño que asegurará la fijación de la estructura al suelo mediante tornillos. Cabe señalar que la placa inferior cuenta con cuatro muescas que ayudarán con el posicionamiento del pedestal y facilitarán su instalación. Además, cuatro paredes encajadas entre sí sostendrán la estructura junto con dos placas interiores que proporcionarán mayor consistencia al conjunto.

Asimismo, se soldarán 12 nervios (3 en cada lateral) al pedestal a fin de evitar la flexión de la placa superior cuando el robot se incline en busca de una placa. Los planos del pedestal se encuentran en el apartado III. Planos

Todos estos elementos estarán fabricados en acero y serán soldados entre sí para aumentar la resistencia del conjunto. Por otro lado, con objeto de prevenir la corrosión, se aplicará una capa de pintura anticorrosión para asegurar la durabilidad y evitar la oxidación.

#### 4.3.1. Simulación de esfuerzos

Antes de proceder con la fabricación del pedestal, se lleva a cabo un análisis estructural con el fin de verificar que esta pieza puede soportar el peso del robot sin problemas. De esta manera se garantiza que la estructura sea lo suficientemente resistente y segura para su uso, evitando así cualquier fallo estructural.

Para realizar el estudio estructural de este pedestal, se han distinguido dos situaciones diferentes. El primer caso se tratará de un simple análisis donde se simulará que el robot esté parado encima de la peana, mientras que el segundo se realizará una simulación de la situación donde el brazo está totalmente extendido, cogiendo una placa, ya que este punto resulta un momento crítico para el pedestal debido al momento generado.

- Primer Caso

En esta primera simulación, se realiza un análisis estático donde se añade un empotramiento en la parte inferior de la base puesto que estará atornillada al suelo y no tendrá desplazamiento. Luego, se agrega una fuerza en perpendicular al plano de la placa donde se instalará el robot simulando el peso del brazo antropomórfico. El valor de la fuerza implementada será:

$$F = 3000kg(\text{Peso del robot}) \cdot 2 (\text{Coef. de seguridad}) \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} (\text{Aceleración de la gravedad})$$

$$F = 58860N$$

Asumiendo el valor de la fuerza en dirección descendiente y considerando que el material de la bancada es acero S275 con limite elástico 275MPa se realizará análisis de tensión, flexión y deformación.

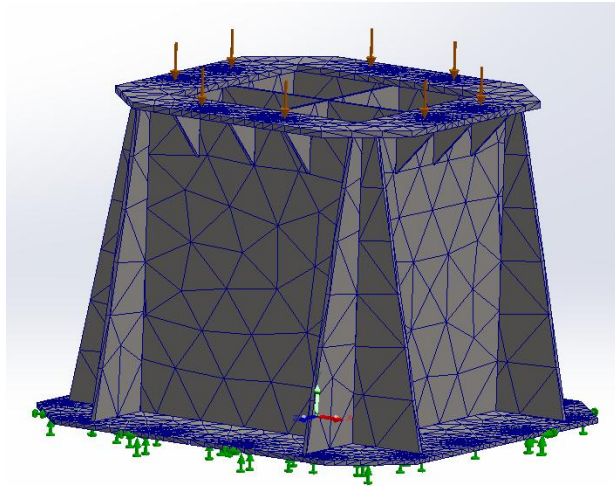


Ilustración 22-Esfuerzos y desplazamientos estudio 1 Pedestal

○ Estudio de Tensión

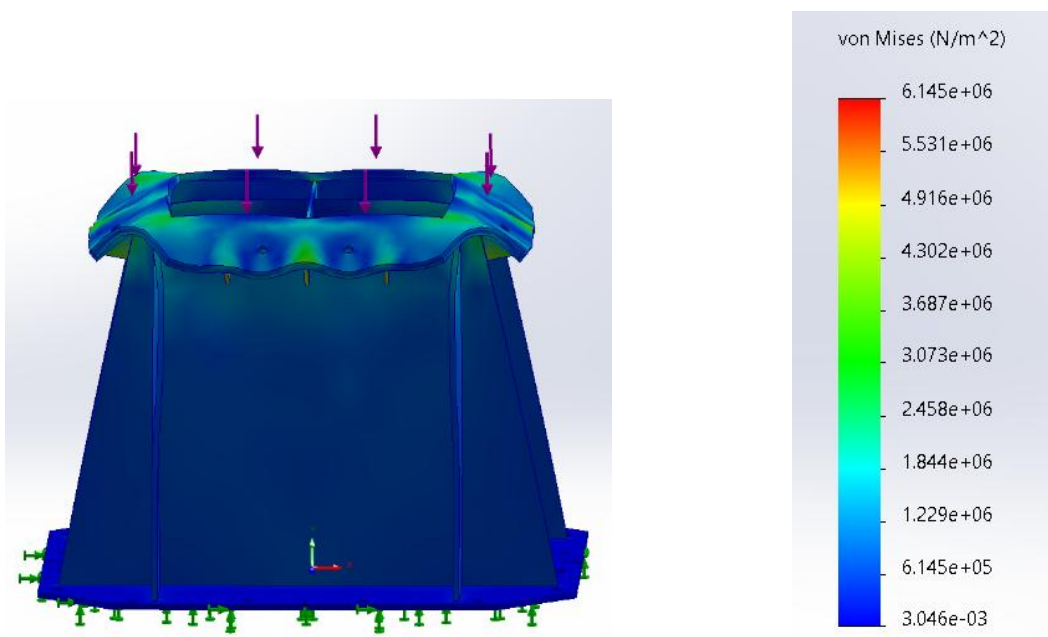


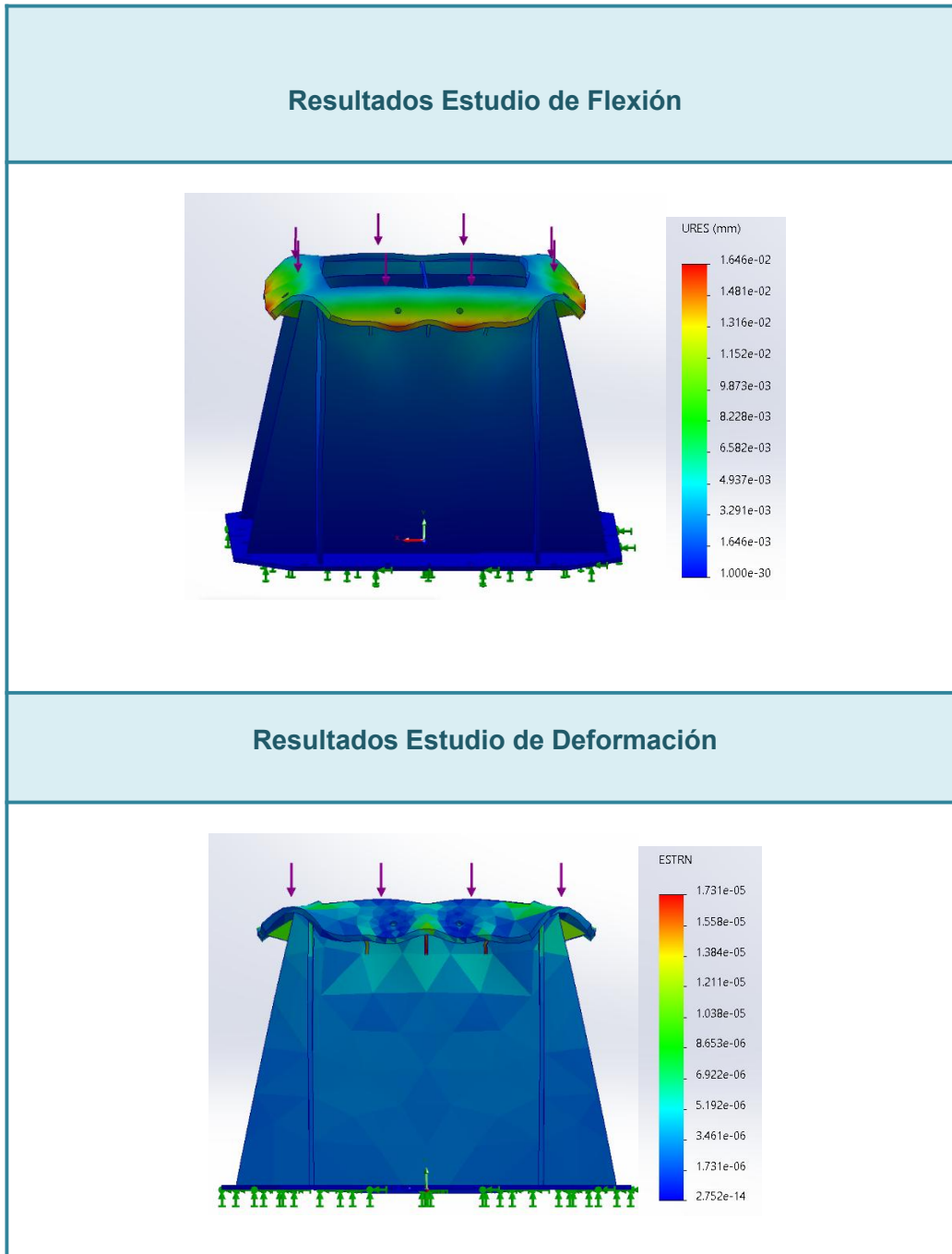
Ilustración 23- Estudio de tensión. Caso 1

El resultado de tensión revela que en la estructura no existe un punto crítico en específico, ya que las tensiones están ampliamente repartidas a lo largo de la placa superior y los nervios que la sostienen.

Además la tensión máxima de Von Mises encontrada en la estructura es ampliamente inferior al límite elástico del acero escogido, es decir  $4,916 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2} =$

4,916MPa (*Tension maxima VM*)  $\ll$  275MPa (*Limite elástico*) . De esta manera se puede afirmar que la estructura resistirá de manera segura el peso del robot sin riesgo de deformación plástica.

○ Estudio de flexión & deformación



*Ilustración 24- Estudio de flexión y deformación Caso 1*



Después de analizar el resultado de flexión de la estructura, se puede concluir que la flecha máxima de valor 0.0164mm resulta insignificante con respecto al tamaño del pedestal (1000mm), es decir la deflexión máxima representa solo el 0.00164% del tamaño del pedestal. De este modo, la flexión de la placa superior no tendrá ningún efecto sobre el movimiento del robot ni la seguridad del conjunto.

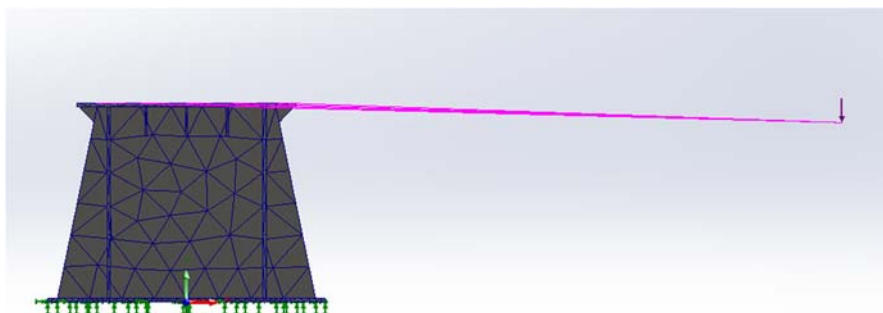
Asimismo, los elementos que reciben mayor deformación son los nervios situados bajo de la placa superior. Sin embargo, los valores de deformación son tan pequeños que resultan imperceptibles. y además forma parte de la deformación elástica, en otras palabras, se trata de una deformación reversible.

- **Segundo Caso**

En la segunda simulación, se representa la situación en la que el brazo antropomórfico se estira al máximo para alcanzar una placa. Al igual que en el primer caso, se introduce un empotramiento en la parte inferior del pedestal. En lo referente a la fuerza descendente, se posiciona a máximo rango del robot, 3330mm con respecto al centro del pedestal. Con respecto al valor de la Fuerza, se estima la suma del peso de la pinza y la placa más grande (350kgf), junto con la mitad del peso del robot (1500kgf). También, se aplica un coeficiente de seguridad de 2.

$$F = (350 + 1500)kgf(\text{Peso total}) \cdot 2 (\text{Coef. de seguridad}) \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}$$

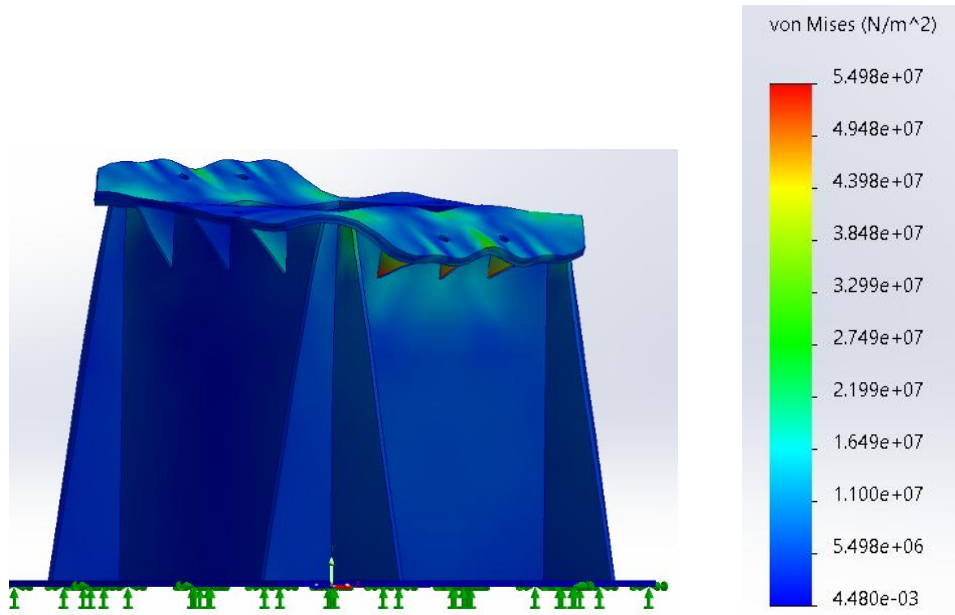
$$F = 32863.5N$$



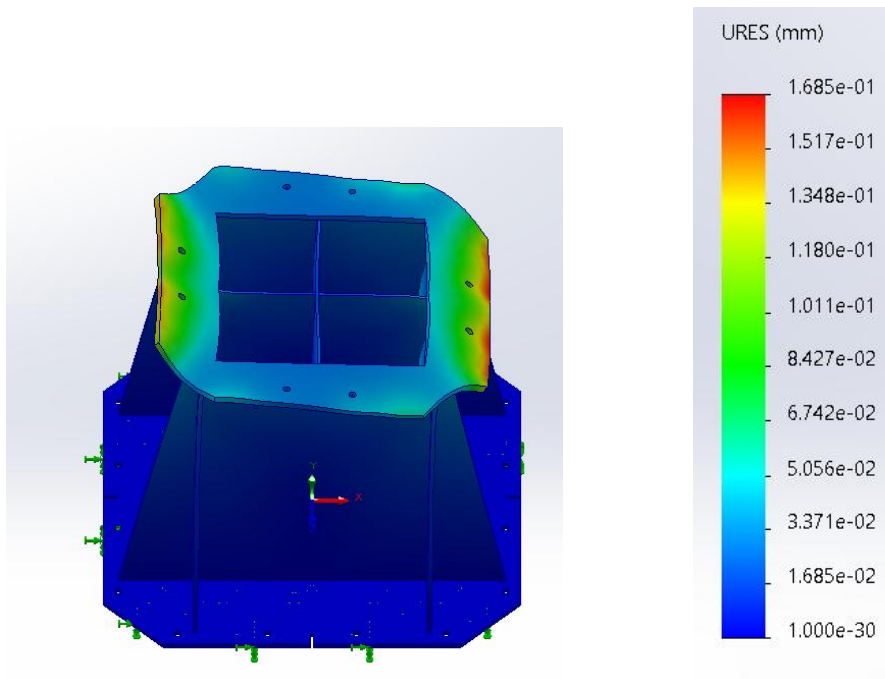
*Ilustración 25- Esfuerzos y desplazamientos estudio 2 Pedestal*

○ Estudio de tensión, flexión & deformación

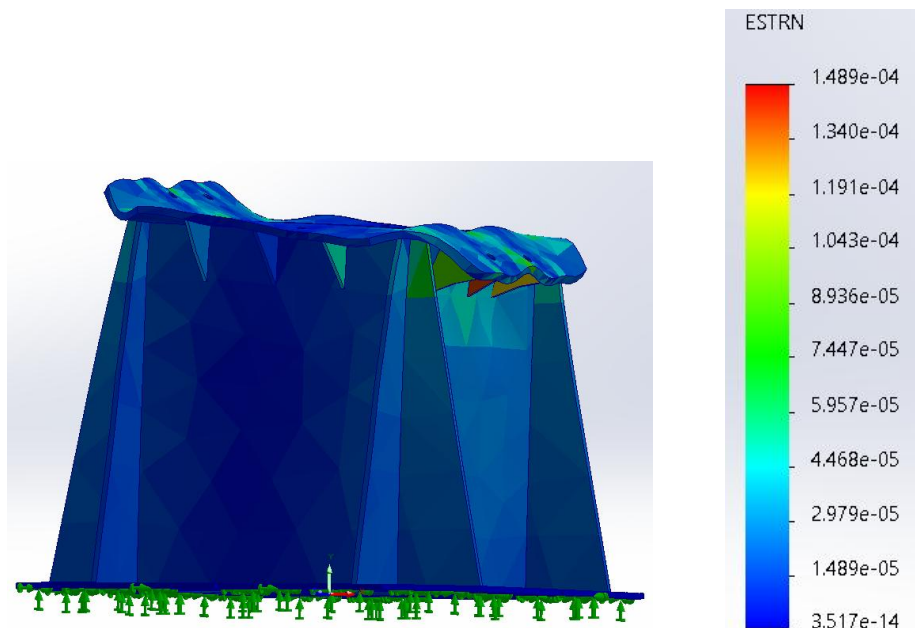
Resultado Estudio de Tensión



Resultado Estudio de Flexión



## Resultado Estudio de Deformación



*Ilustración 26-Estudio de tensión flexión y deformación Caso 2*

Los resultados de este segundo análisis resultan bastante favorables. En primer lugar, el elemento donde se encuentra la mayor tensión de Von Mises es en los nervios, lo cual es coherente debido a que estos elementos soportan el momento generado por el brazo estirado, siendo este el punto más crítico.

No obstante, el valor máximo de tensión de la estructura resulta  $5,498 \cdot 10^7 \frac{N}{m^2} = 54.98MPa \ll 275MPa$  (*Limite elástico*), es decir no sobrepasa el límite elástico siendo seguro para su implementación en la celda.

De la misma manera, se estudia tanto la flexión como la deformación. La flexión máxima resulta en 0.17mm siendo un 0.017% de los 1000mm que mide el pedestal siendo este un valor ínfimo. Del mismo modo, la deformación máxima resulta irrisoria para tener un efecto en la resistencia de la estructura.

Concluyendo el análisis estructural de ambos casos, se permite la fabricación del pedestal debido a que los resultados son altamente favorables y los cálculos cuentan con un coeficiente de seguridad de 2, lo que garantiza de manera muy confiable que resulta una estructura resistente y firme para soportar el robot sin problema.

## 5. ESTUDIO DE MERCADO

Para el diseño de la pinza, es esencial realizar un análisis exhaustivo del mercado existente combinando las investigaciones en línea con modelos propios de la empresa Robottions.

La pinza con sistema de aspiración se ha desarrollado utilizando como referencia una amplia variedad de pinzas tanto del sector cerámico, alimenticia y automovilístico.

Entre todos los conceptos se destacan los tres sistemas siguientes:

<b>Schmalz - Vacuum Technology for Handling Automotive Glass</b>	<b>Schmalz – Lightweight Gripping Systems SLG</b>
	
<b>Serema – Palonnier à Ventouses</b>	
	

*Ilustración 27- Modelos de Pinzas*

Estos tres conceptos tienen el mismo principio de funcionamiento donde utilizan un sistema de ventosas, pero la aplicación es totalmente diferente. La primera pinza del fabricante Schmalz se utiliza para manipular vidrios en la industria de la automoción. Esta estructura con perfiles de aluminio es la más común en el mercado para cargas no muy pesadas.

El segundo sistema, Lightweight Gripping System del mismo fabricante, Schmalz, destaca la gran capacidad de carga respecto al poco peso de la pinza. La estructura esta creada mediante impresión aditiva.

El último sistema del fabricante Serema se utiliza también para levantar placas de gran tamaño. La única distinción es que en lugar de usarse en un robot antropomórfico, se utiliza para una grúa. La estructura es bastante similar al primer sistema salvo que se utilizan perfiles de acero/hierro para que sea más resistente. Según el fabricante, el número de ventosas puede variar entre 4-16 dependiendo de la carga a transportar.

Por tanto, se buscará combinar todos los modelos con el fin de obtener un diseño que sea resistente y funcional. El diseño se centrará en mezclar la forma de la estructura del Lightweight Gripping System junto con perfiles o vigas como en los otros caso. Asimismo, se añadirá un gran número de ventosas siguiendo el concepto del "Palonnier à Ventouses" para que cada una de ellas tenga que levantar poca carga

## 6. DISEÑO DE LA PINZA

---

### 6.1. SISTEMA DE ASPIRACIÓN

El transporte de los azulejos cerámicos dentro de la celda se realizará mediante el uso del sistema de aspiración, o también conocido como sistema de vacío. El sistema instalado en la pinza será un sistema fijo que contará con 12 zonas de aspiración, correspondiendo cada zona con una ventosa. Estas ventosas estarán conectadas a una bomba Venturi de manera que, cuando entren en contacto con la placa cerámica, se generará vacío dentro de las mismas consiguiendo así la sujeción de la placa cerámica.

Con el objetivo de garantizar la producción ininterrumpida, sin detenerse por fallas en la bomba o en los conductos, se van a implementar dos circuitos de vacío independientes. Cada circuito estará equipado con su propia bomba Venturi y será controlado por un sensor de vacío. Para asegurar la buena fijación de la pieza si se trabaja con un circuito, se conectará cada uno de los dos sistemas en 6 de las 12 ventosas de manera cruzada (Consultar ilustración 28).

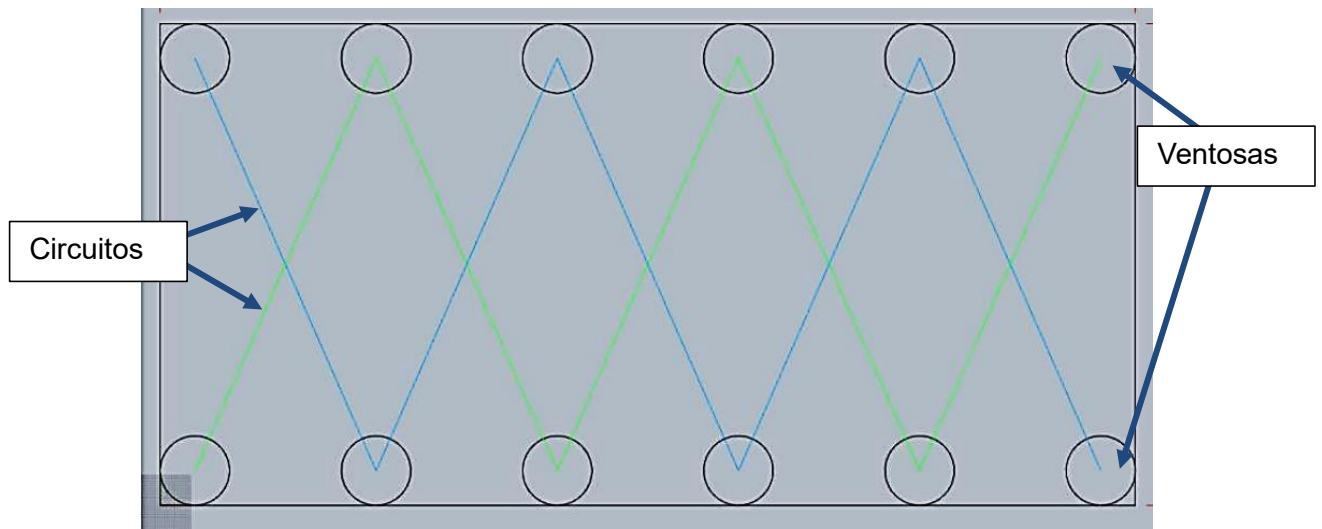


Ilustración 28-Disposición ventosas doble circuito de vacío

El sistema neumático presente en cada uno de los circuitos es el siguiente:

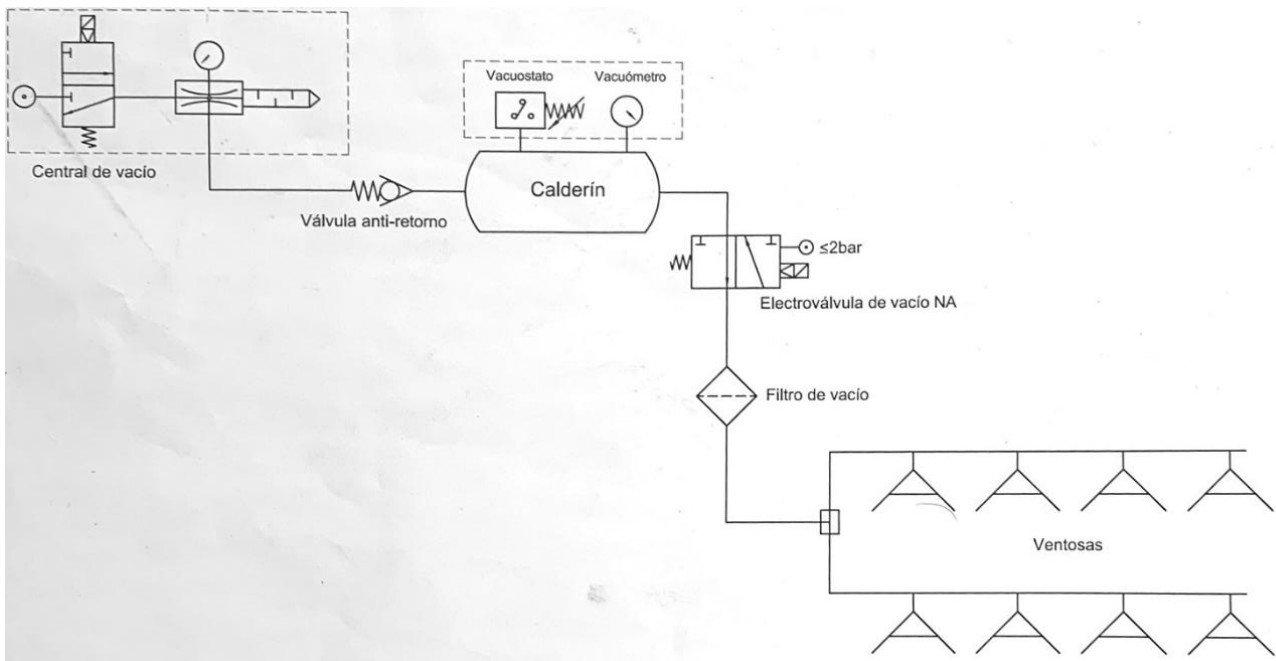


Ilustración 29-Esquema circuito de vacío.

Como se muestra en el esquema superior (ilustración 29), los dos circuitos neumáticos se componen de varios elementos indispensables para conseguir un buen agarre. Analizando cada componente, en primer lugar, se encuentran las ventosas que están conectadas a un distribuidor. A su vez, este distribuidor está conectado a un filtro de vacío cuya función será evitar que el polvo entre en el sistema y obstruya el conducto. Después del filtro, se encuentra una electroválvula que, gracias a un accionador electroneumático, podrá cambiar entre dos posiciones. La primera posición para realizar aspiración para crear el vacío dentro de las ventosas, y la segunda posición donde se permitirá el paso de aire exterior hasta las ventosas para soltar el azulejo eliminando el vacío existente. Si se determina que este método para liberar la placa no es suficiente, se añadirá una bomba adicional para suministrar aire al circuito y soltar las piezas con mayor rapidez.

Después de la electroválvula, encontramos el calderín, un elemento de seguridad que mantendrá la presión de vacío durante un cierto tiempo en caso de pérdida de corriente, lo que permitirá que la pieza se mantenga en el aire durante unos minutos y evitará que caiga de golpe. Luego, encontramos la válvula antirretorno, que impide que el aire fluya en la dirección equivocada, y finalmente la bomba Venturi o central de vacío, utilizada para crear la aspiración del aire y por ende el vacío dentro de las ventosas.

### 6.1.1. Tipos de ventosas

En la industria, existe una amplia variedad de ventosas de vacío que se adaptan a cualquier tipo de superficie y uso. Por ello, es fundamental realizar un pequeño estudio para poder escoger el tipo de ventosas más adecuadas a esta aplicación. Entre los tipos de ventosas más comunes encontramos:

- **Ventosas Planas:** Es el modelo más común en la industria. Se utiliza para la manipulación de piezas con superficie plana, cóncavas o ligeramente abombadas. Permite tanto la manipulación horizontal como vertical de las piezas, siendo especialmente útil en la orientación horizontal debido a su mayor estabilidad transversal. Además, al tener un bajo volumen, permite tiempos de ciclo rápidos.



*Ilustración 30-Ejemplo ventosa plana*

- **Ventosas Fuelle:** Las ventosas de fuelle están diseñadas para manipular elementos con superficies curvas, abombadas o con deformaciones considerables. Su diseño en forma de acordeón les permite adaptarse fácilmente a formas irregulares. Cuanto más fuelle tiene la copa, mayor será el movimiento de elevación y, por lo tanto, mayor el ajuste con la pieza a transportar. Sin embargo, debido a que los fuelles disminuyen la estabilidad lateral, se recomiendan principalmente para tareas de manipulación vertical.



*Ilustración 31-Ejemplo ventosas de fuelle.*

- **Ventosas metálicas:** Las ventosas metálicas son dispositivos de agarre que están hechos de materiales resistentes como el acero y son adecuadas para levantar objetos pesados y de gran tamaño. Estas ventosas se caracterizan por su agarre firme, que evita el movimiento y las flexiones durante el transporte.





*Ilustración 32-Ejemplo ventosas metálicas.*

### 6.1.2. Elección de ventosas

Después de analizar las diferentes ventosas y sus variantes, se concluye que la opción más adecuada es la ventosa metálica dado que los elementos a transportar son pesadas placas cerámicas de gran tamaño y de superficie mayormente lisa.

Después de determinar el tipo de ventosa necesaria, entre los principales distribuidores de elementos de vacío (Schmalz, Festo, SMC...), se decidió trabajar con AR Vacuum. debido a que Robottions había trabajado con ellos anteriormente en varios proyectos y sus productos habían demostrado ser fiables y dieron muy buenos resultados.

En un primer momento, las ventosas elegidas para levantar la carga correspondiente fueron las VPDG160-C-M30-CN de la marca española AR-Vacuum. Estas ventosas están diseñadas para levantar hasta un máximo de 142kgf cada una, lo que asegura tener la fuerza necesaria para levantar cualquier placa con solo 6 ventosas en caso necesario (con un coeficiente de seguridad de 2).

$$F = 142 \cdot 6 = 852 \text{ kgf} \gg 2 * 270\text{kg}(\text{Peso maximo de la pesa}) = 540\text{kg}$$

Además, tiene un muelle cuya finalidad es resolver los defectos de planeidad debido a la fabricación y asegurar el contacto de todas las ventosas con la placa. También, tiene un triple labio para mover placas con superficies rugosas sin dejar marcas.

Sin embargo, debido a problemas con la distribución de estas ventosas y la urgencia que existente, se ha elegido las ventosas VPDG160-C-CN. Estas ventosas tienen la misma capacidad de carga de hasta 142kgf cada una. Sin embargo, no contiene el resorte compensador, solo una pequeña compensación propia de las ventosas de 10 mm, lo que nos obliga a ser mucho más precisos.

## 6.2. ESTRUCTURA DE LA PINZA

Tras completar el análisis del mercado y examinar diversas pinzas existentes, se procedió con la tarea de diseñar una propia. Durante todo el proceso, hubo tres elementos clave a tener en cuenta y respetar:

1. **Excentricidad de 500mm:** Aunque el robot es uno de los más grandes del mercado, su rango de acción es limitado. Por lo tanto, con la ayuda del simulador RoboDK se determinó que se debía fabricar una pinza excéntrica de 500mm con el objetivo de suplir las carencias de alcance que poseía el robot.
2. **Peso:** Es importante considerar que la carga que el brazo antropomórfico debe levantar es la suma del peso de la pinza junto con el peso de la placa cerámicas. Por ende, resulta esencial fabricar una pinza lo más ligera posible a fin de no superar la capacidad máxima del robot.
3. **Resistencia:** La pinza a diseñar debe ser resistente, para ello se debe buscar un material y una estructura que pueda soportar sin problema la carga máxima de las placas a transportar.

Después de varias iteraciones, llegamos al siguiente sistema:

### Diseño 3d de la Pinza

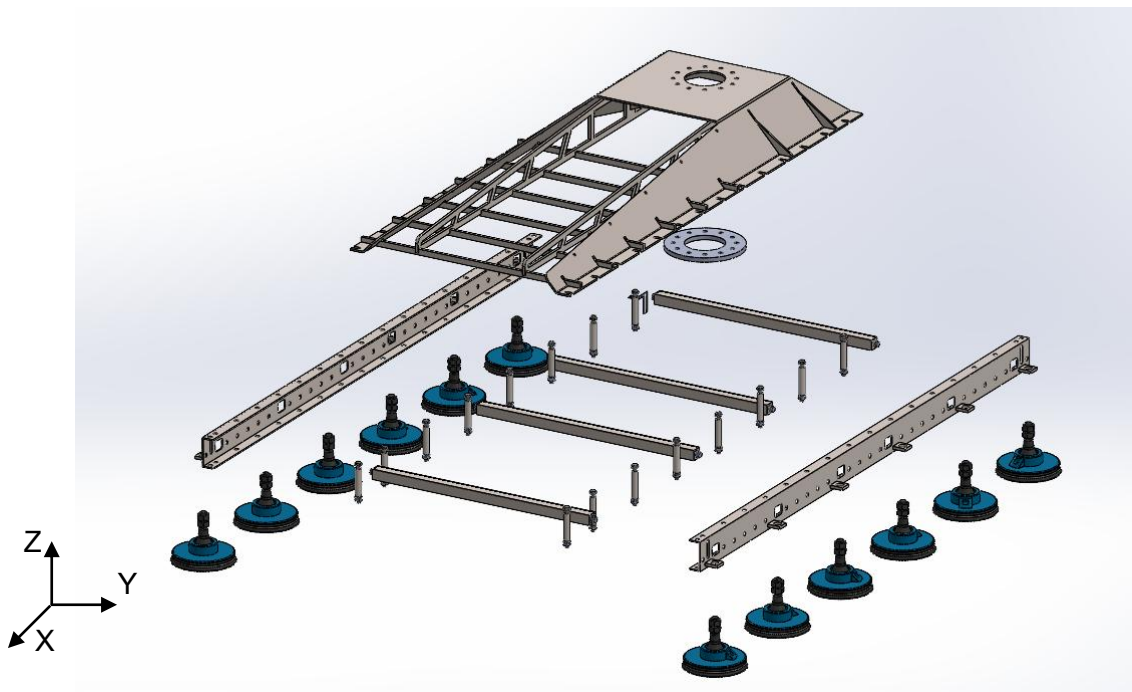
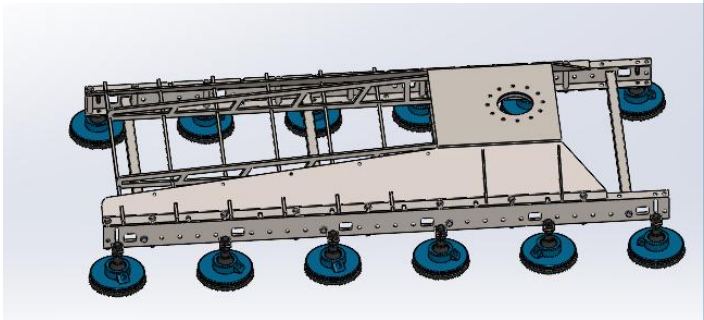
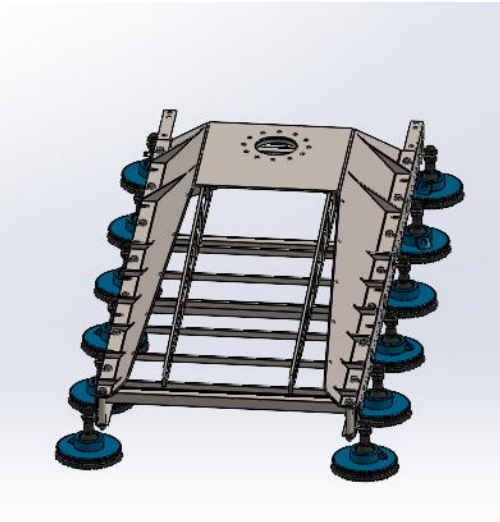


Ilustración 33-Modelo 3D pinza.

La estructura de esta pinza se compone de una estructura principal que está compuesta de una placa doblada con 2 nervios soldados en dirección del eje X que previenen la flexión y otros 2 nervios adicionales en dirección Y que aportarán resistencia a la parte lateral del conjunto.

Por otro lado, esta estructura principal se atornilla a dos vigas en forma de C con 6 placa soldadas a cada una, siendo este el soporte de las ventosas que vamos a colocar. Además para reforzar la estructura, se añaden cilindros entre los dos lados horizontales de la viga, pasando por el interior los tornillos encargados de fijar la estructura principal con las vigas. Los planos tanto del conjunto como de cada componente se encuentran en el apartado III. Planos

Toda la estructura estará fabricada en acero S275, debido a que es uno de los materiales más económicos que ofrecen una gran resistencia y ligereza. Para corroborar el buen diseño y la resistencia del conjunto se realiza un análisis estructural con el software SolidWorks Simulation.

### 6.2.1. Simulación de esfuerzos

Para realizar este análisis estático, primero se establecen las fuerzas y las sujeciones. Por un lado encontramos un empotramiento en la placa superior ya que la estructura se atornillará con robot evitando así cualquier tipo de movimiento.

Con respecto a las fuerzas, se colocan fuerzas descendientes encima de los soportes de las ventosas (Placas cuadradas soldadas a las vigas). La suma total de las fuerzas resultará:

$$F_{Total} = 300kg \text{ (Peso de la placa)} \cdot 2 \text{ (Coef. Seguridad)} \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} \text{ (acel. gravedad)}$$

$$F_{Total} = 5886N$$

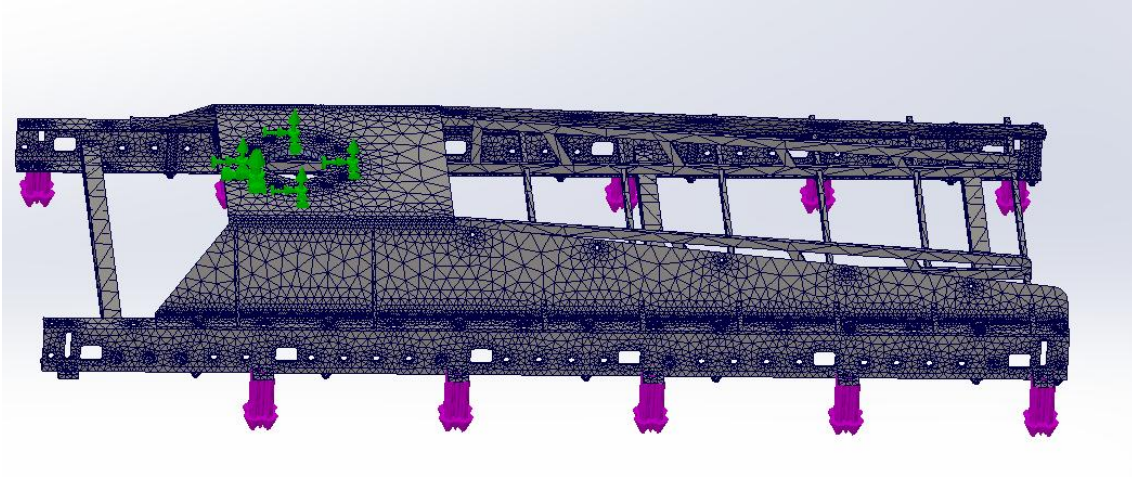
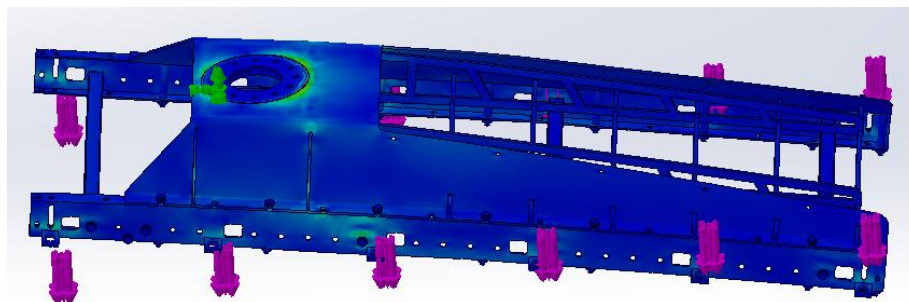


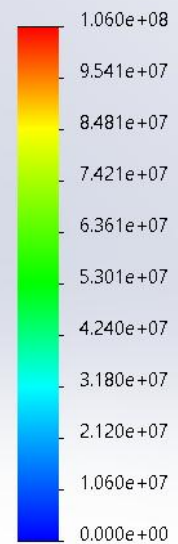
Ilustración 34-Fuerzas y desplazamientos simulación pinza.

- Estudio de tensión, flexión y deformación

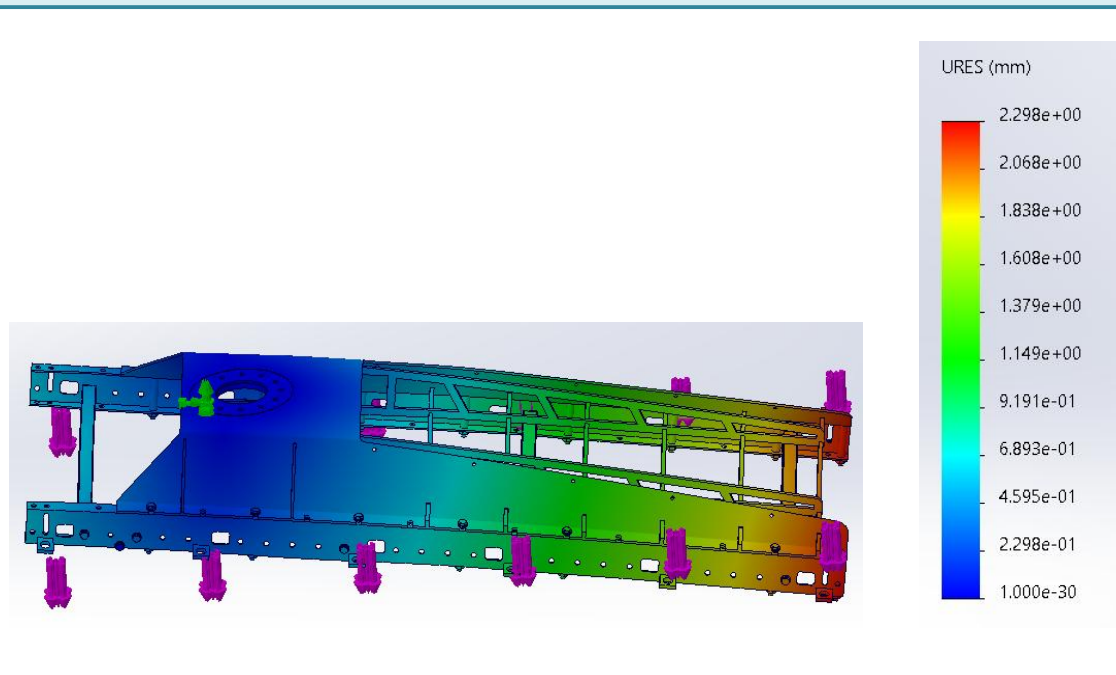
#### Resultado Estudio de Tensión



von Mises (N/m<sup>2</sup>)



### Resultado Estudio de Flexión



### Resultado Estudio de Deformación

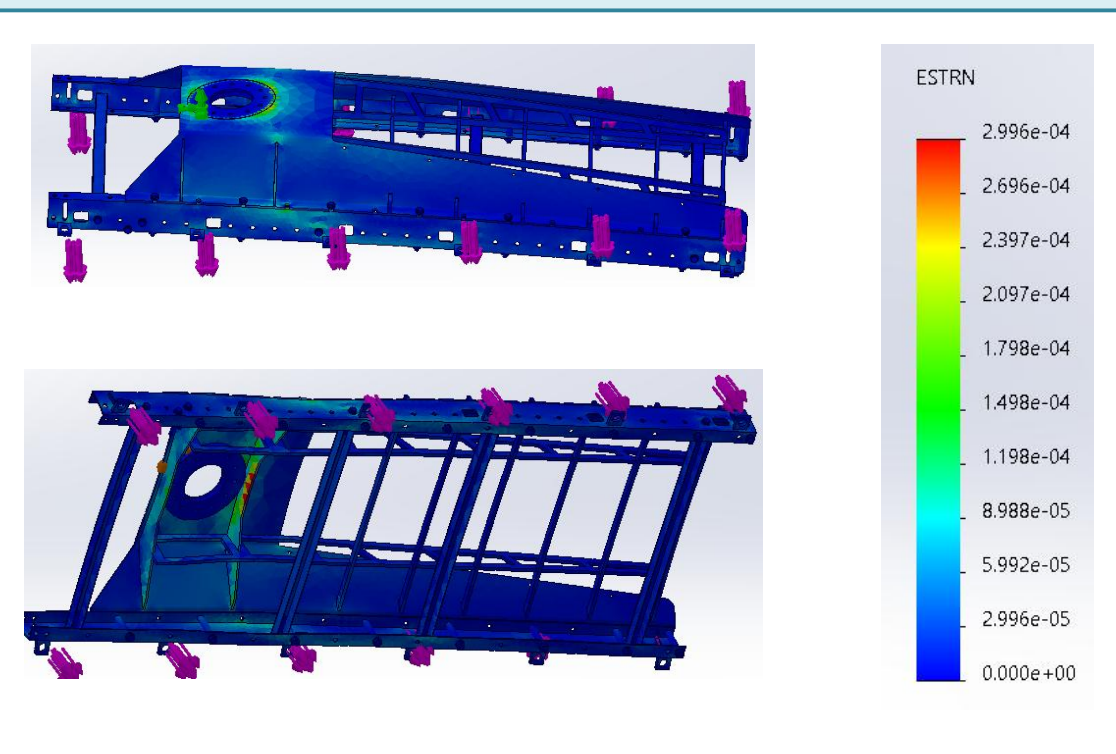


Ilustración 35-Resultados tensión, flexión y deformación estudio pinza

En primer lugar, el resultado del estudio de tensión indica la tensión máxima de Von Mises, la cual resulta inferior al límite elástico del acero S275. En valor numérico se traduciría en:

$$1,06 \cdot 10^8 \frac{N}{m^2} = 106MPa \text{ (Tension maxima VM)} < 275MPa \text{ (Limite elástico)}.$$

Esto implica que el material se mantiene en su rango elástico y no llega a su punto de deformación plástica. Esto quiere decir que el material se deforma temporalmente en respuesta a una carga externa pero al retirar la fuerza el material regresa a su estado original.

En relación con el estudio de flexión, se destaca que el punto de flecha máxima se encuentra en extremo opuesto del empotramiento siendo coherente con el resultado esperado. Además, se registra una flecha máxima de 2.298 mm, lo que representa solamente el 0,11% del total de los 2000 mm de las vigas laterales, lo que hace que sea imperceptible.

Del mismo modo, la deformación máxima tiene un valor de  $2.99 \times 10^{-4}$  el cual resulta insignificante para tener un efecto en la estructura.

Concluyendo el análisis estructural, se puede afirmar que la estructura de la pinza ha sido diseñada de manera adecuada ya que se han evaluado todos los aspectos necesarios, incluyendo la resistencia a la carga, la deformación y la rigidez y no se ha encontrado ningún problema en el diseño.

## 6.2.2. Resultado Final

Después de verificar la sólida resistencia de la estructura, se procede a analizar el peso total de la pinza, obteniendo un valor total de 90 kgf. Por consiguiente, el peso máximo resulta de 360kgf considerando la suma del peso de la pinza (90kgf) con la placa más pesada (270kgf).

Teniendo en cuenta el peso máximo posible y la ubicación del centro de masa a 405 mm en el eje X y a 100 mm en el eje Z desde el extremo del robot, se puede afirmar que, según diagrama de cargas del KUKA KR420 ([ilustración 17](#)) el peso de la pinza es adecuado para permitir el movimiento óptimo del robot, incluso con el uso de las placas cerámicas más grandes.



Finalmente, se colocan todos los elementos del sistema de aspiración en la pinza para optimizar el espacio, dado que no hay suficiente espacio en la base del robot, y además de obtener una succión más rápida. Otra razón fue limitar la longitud de los tubos disminuyendo así la probabilidad de que se produzca una fuga y disminuyendo la dificultad para la localización y por ende la reparación de la fuga.



*Ilustración 36- Pinza fabricada con elementos de vacío.*

### **6.3.    SENSORES**

En el ámbito de la automatización industrial, los sensores desempeñan un papel fundamental al recabar información y detectar estímulos del entorno, lo que permite una respuesta eficaz ante los mismos.

DISEÑO DE CELDA ROBÓTICA CON SISTEMA DE ASPIRACIÓN  
PARA LA MANIPULACIÓN DE PLACAS CERÁMICAS DE GRAN TAMAÑO

Los sensores posibilitan la detección, medición, análisis y procesamiento de una variedad de transformaciones, como cambios de posición, longitud, altura, superficie, movimiento o detectar la presencia de un objeto.

Los tipos de sensores más utilizados en la industria son los siguientes:

TIPO DE SENSOR	FUNCIÓN	APLICACIONES	
<b>Proximidad</b>	Detectan la presencia de Objetos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistemas de pick-and-place</li> <li>- Automatización de procesos industriales</li> </ul>	
<b>Fuerza y Torque</b>	Miden la fuerza y el torque aplicados a las herramientas o accesorios del robot	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tareas de ensamblaje, soldadura y corte</li> </ul>	
<b>Visión</b>	Identifican objetos y sus características, como la forma, el tamaño y el color mediante cámaras y sistemas de procesamiento de imágenes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inspección de piezas</li> <li>- Detección de objetos.</li> <li>- Orientación de herramientas.</li> </ul>	
<b>Temperatura</b>	Miden la temperatura de los objetos y del entorno.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tareas de soldadura, corte y tratamiento térmico.</li> </ul>	
<b>Presión</b>	Miden la presión de los gases y líquidos en sistemas hidráulicos y neumáticos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tareas de ensamblaje, corte y soldadura</li> </ul>	

*Tabla 3-Tipos de sensores.*

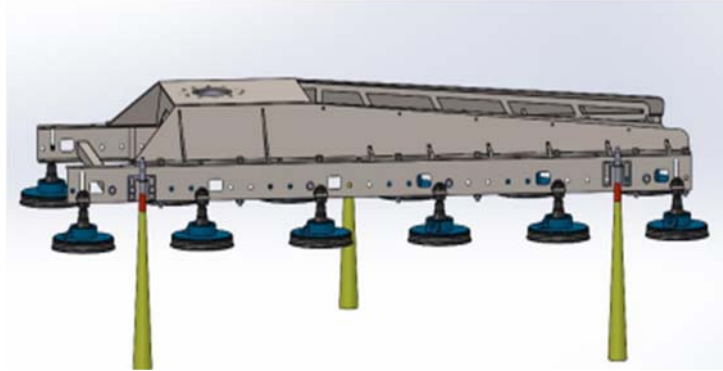
Para esta aplicación en particular, los sensores de proximidad y presión son los más relevantes.

Dentro de los sensores de proximidad, existen 4 tipos diferentes que resultan particularmente interesantes.

- **Capacitivos:** Dispositivos que detectan sin contacto la presencia de materiales eléctricamente conductivos y aislantes (metales, vidrio, madera, plásticos...). Las distancias de operación del sensor pueden variar de 1 a 50 mm, dependiendo de las características del objeto detectado (tamaño y material), del tamaño del sensor y de las condiciones de instalación.
- **Inductivos:** Dispositivos capaces de detectar sin contacto la presencia o ausencia de objetos eléctricamente conductivos mediante la inducción electromagnética. Este tipo de sensor se utiliza comúnmente en aplicación de detección de objetos metálicos.
- **Ultrasónicos:** Dispositivos capaces de detectar la distancia entre el sensor y el objeto con gran precisión. Su funcionamiento se basa en emitir ondas ultrasónicas y medir el tiempo que tarda en regresar el eco generado por la reflexión de las ondas en un objeto.
- **Fotoeléctricos:** Dispositivos capaces de detectar la presencia de un objeto mediante luz infrarroja. El funcionamiento de estos dispositivos se basa en la emisión de un haz de luz infrarroja que, al impactar sobre un objeto, es reflejado y detectado por un receptor fotoeléctrico

Con el fin de realizar la sujeción mediante vacío, es esencial posicionar la pinza lo más paralela posible a los azulejos cerámicos, que estarán situados, ya sea en un caballete o un cajón. De esta manera todas las ventosas harán contacto permitiendo así realizar el vacío sin ningún tipo de fuga y logrando una sujeción eficiente de los azulejos cerámicos para su manipulación.

Para lograr posicionar de forma paralela la pinza, se sitúan 3 sensores de ultrasonidos, dos en los dos extremos de una viga y el restante en el de centro de la viga opuesta, del mismo modo como se ilustra en la Figura 37



*Ilustración 37- Posición de sensores ultrasónicos con indicación de alcance.*

El principio de funcionamiento consistirá en que cada ultrasonido medirá la distancia entre sí y la placa para luego corregir la discrepancia de distancia entre los tres sensores con el objetivo de obtener una medida lo más similar posible. Esta operación se realizará varias veces hasta obtener una diferencia casi despreciable. El modelo de ultrasonido utilizado es UB500-18GM75-I-V15 de Pepperl + Fuchs, ya que ofrece una gran precisión y un alcance más que suficiente de 50mm a 500mm. Estas características corresponden perfectamente a nuestra necesidad ya que es esencial tener una buena orientación de la pinza para el correcto funcionamiento de todo el sistema.

Además de los sensores de ultrasonido, se instalan 4 sensores inductivos en la parte superior de las ventosas ubicadas en los extremos de las vigas (Figura 38). Estos sensores se utilizarán para determinar el momento en que la ventosa entra en contacto con la placa. Esto se debe a que la ventosa tiene un recorrido y al tocar la placa, se levanta, lo que permite que el sensor inductivo la detecte.



*Ilustración 38- Detalle real de sensores utilizados.*

Por otro lado, en cada circuito de vacío se implementa un vacuómetro para poder medir la presión interna y poder así comprobar si en algún momento se produce una fuga o existe algún problema dentro del sistema de aspiración.

## 7. MEDIDAS DE SEGURIDAD

---

La seguridad juega un papel fundamental en el diseño y programación de una celda robótica, es importante para asegurar la integridad física y evitar cualquier tipo de incidente derivado del trabajo con robots.

El movimiento del brazo robótico, ya sea con cargas o sin ellas, puede causar graves lesiones en caso de impacto por ello, la celda robótica ha sido diseñada y construida cumpliendo con los estrictos requisitos para obtener el marcaje CE, que indica que cumple con las directivas de seguridad de la Unión Europea aplicables a maquinaria industrial, la Directiva 2006/42/CE relativa a las máquinas y siguiendo las principales normas UNE, entre las que destacan UNE-EN ISO 13849—1(Seguridad de las maquinas), UNE-EN ISO 10218-1(Requisitos de seguridad para robots industriales), UNE-EN ISO 12100 (Describe los procesos de evaluación y reducción de riesgos) UNE-EN ISO 13850.(Principio para el diseño de la parada de emergencia)

En este sentido, se han implementado una serie de sistemas de seguridad en la celda robótica para asegurar su conformidad con estos requisitos.

### Vallado perimetral

El vallado perimetral de seguridad debe permitir en todo momento la visibilidad desde el exterior de lo que está ocurriendo en el interior del vallado. Por ello se instala un vallado perimetral acorde a la normativa EN ISO 13855/6/7.

Esto se enmarcaría en lo que se podría llamar seguridad activa y es un sistema que trata de proteger al trabajador de los riesgos ocasionados por la disfunción del sistema de control del robot, impidiendo que el trabajador acceda a la zona de peligro del robot.



*Ilustración 39- Ejemplo vallado seguridad*

### La Baliza Visual

La señalización es un componente clave en el sistema de seguridad de la celda robótica, ya que es la forma visible de indicar el estado del sistema. Se utiliza una señalética reconocible por todos, basada en los colores del semáforo.

La baliza debe estar ubicada en un lugar visible y de fácil acceso. Durante el funcionamiento de la celda de mecanizado, la baliza emitirá luz verde, indicando que el sistema está en marcha y que no se debe acceder a la zona. En caso de detenerse, la baliza cambiará a color rojo, indicando que es seguro entrar dentro del vallado perimetral. Esta señalización clara y efectiva permite a los operadores y otros trabajadores identificar fácilmente el estado de la celda robótica y actuar de acuerdo con las normas de seguridad establecidas.



*Ilustración 40-Ejemplo balizas visual.*

### Botonera y Parada de emergencia.

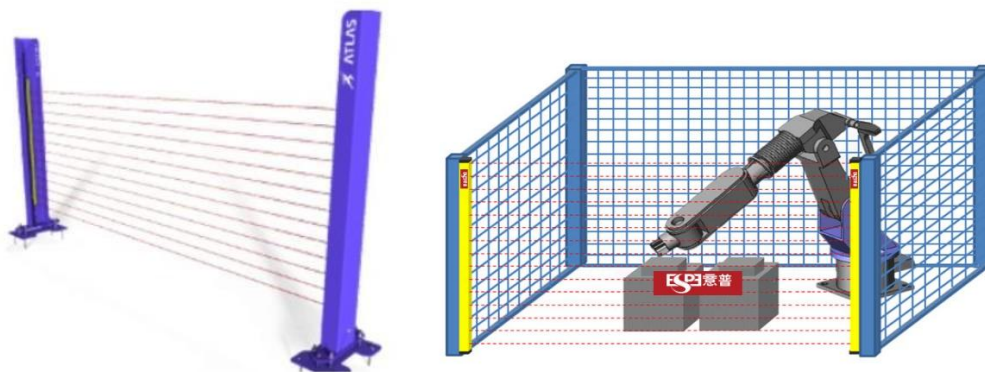
La celda robótica dispone de una botonera que permite su parada en un momento determinado. Se trata de un dispositivo habilitador, que permite parada con la mano en cualquier momento con una sola acción. La botonera de control consta de tres botones de operación: "marcha", "rearme" y "paro", así como una seta para la parada de emergencia. Se ubica en el vallado perimetral en una posición conveniente para su fácil accionamiento.



*Ilustración 41-Ejemplo botoneras*

### Barreras de protección optoelectrónica

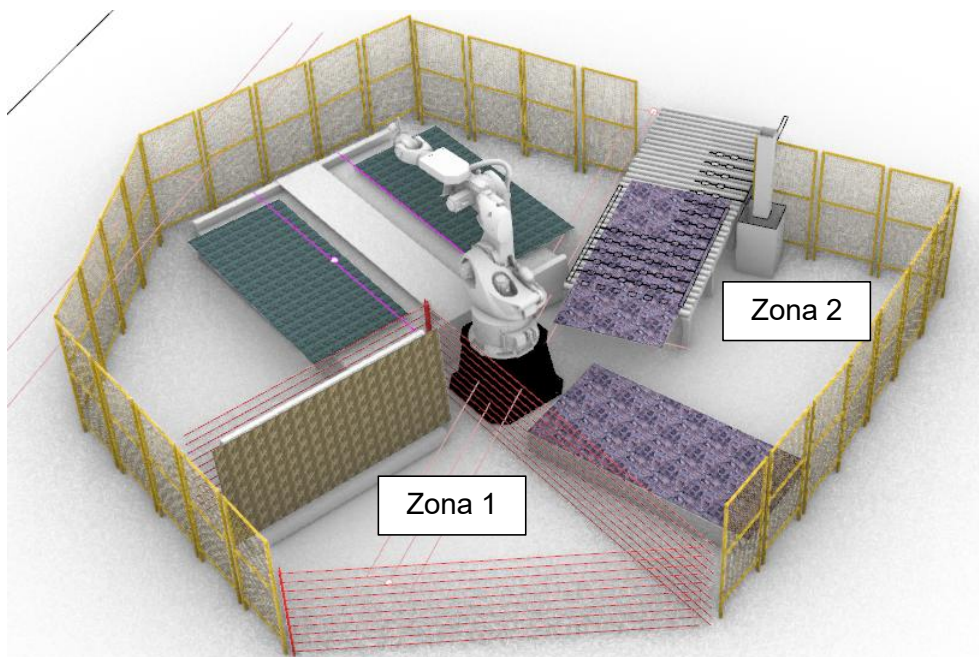
Las barreras de protección optoelectrónica son un componente clave en la seguridad industrial. Estas barreras son dispositivos de detección diseñados para detectar la presencia de objetos o personas en una zona peligrosa y detener de forma automática la maquinaria o el equipo en caso de que se violen las áreas protegidas. Estas generan una cortina fotoeléctrica invisible, y cuando algo se interpone, la instalación se detiene. Las barreras de protección optoelectrónica proporcionan una protección rápida y precisa en tiempo real, sin contacto físico, lo que reduce el riesgo de lesiones y permite una mayor flexibilidad en la operación de maquinaria y equipos.



*Ilustración 42- Ejemplo Barreras de protección optoelectrónica*



## 8. FUNCIONAMIENTO FINAL DE LA CELDA



*Ilustración 43-Disposición final celda.*

Como se puede observar con el renderizado final (ilustración 43), el robot está elevado 1m del suelo con la base diseñada anteriormente. Con esta altura el robot tiene el alcance suficiente para poder llegar a todos los puntos de la celda para colocar las placas sin ningún problema.

El funcionamiento final de esta celda consistirá en dos zonas diferentes. La zona 1 servirá como área independiente, es decir gracias a las medidas de seguridad no será necesario parar todo el sistema para entrar en esta zona. Así pues, el operador podrá cambiar el caballete/cajón vacío por otro lleno de placas cerámicas sin necesidad que el robot se detenga de trabajar en la zona 2.

Por otro lado, para cambiar el caballete/cajón en la zona 2, será necesario detener el robot industrial por completo para garantizar la seguridad del operador al entrar dentro de la zona.

Este sistema de dos zonas es ventajoso para la producción, ya que no será necesario interrumpir el trabajo cuando el caballete 1 esté vacío, ya que será respaldado por el de la zona 2. Esto permitirá un mayor tiempo de trabajo, una

disminución de tiempo de inactividad y una mayor producción ya que no será necesario detener la producción en cada momento de recarga de los caballetes/cajones.

## 9. VIABILIDAD

---

Antes de comenzar la instalación de la celda robótica, se realizó un análisis general de la viabilidad del proyecto desde tres perspectivas fundamentales: viabilidad técnica, viabilidad económica y viabilidad medioambiental.

### 9.1. VIABILIDAD TÉCNICA

La evaluación de la viabilidad técnica es esencial en cualquier proyecto, a fin de evitar cualquier eventualidad. Es decir, este aspecto permite evitar o afrontar problemas en un primer momento que haría incurrir en costes añadidos, pérdidas económicas e incluso tener que desestimar un proyecto en curso con las consecuentes pérdidas reputacionales.

Para ello se analizan diversos aspectos para confirmar la viabilidad técnica de este tipo de instalaciones.

En primer lugar se ha comprobado mediante el programa informático SolidWorks Simulation el diseño de todas las piezas concebidas para celda, en este caso consistiría en la pinza y el pedestal del robot. Así pues, se ha realizado un estudio estructural para confirmar la resistencia de estos elementos confirmando la viabilidad de los mismos.

En segundo lugar, se ha verificado la capacidad del robot para levantar la carga máxima estimada con un resultado positivo. Del mismo modo, mediante el programa de simulación de movimientos del robot RoboDK, se ha validado que el robot tiene un alcance suficiente para la tarea diseñada con la ayuda de las piezas concebidas. Asimismo, se ha constatado la óptima movilidad del robot dentro del espacio disponible.

En conclusión, de acuerdo con estos resultados obtenidos se puede afirmar la viabilidad técnica del proyecto corroborada posteriormente con pruebas in situ de la celda.

## 9.2. VIABILIDAD ECONÓMICA

Una vez analizada la viabilidad técnica, se procede a abordar la viabilidad económica del proyecto.

En un primer momento, es importante analizar el coste general de la celda para poder conocer los beneficios que se pueden obtener. Estos costes se encuentran mucho más detallados en el apartado “Presupuesto Final”, pero la tabla 4 resume la inversión que se debe realizar.

Tipo de coste	Coste en €
Costes en componentes y materiales	36035€
Costes de Piezas Fabricadas	3827€
Costes de Personal	10880€
Costes Indirectos	7611,3€
<b>Coste Total</b>	<b>58353,3€</b>

*Tabla 4-Resumen costes.*

El presupuesto nos da una visión de los costes de implementación considerándolo viable, dado que esta celda ha sido objeto de venta. Se han obtenido beneficios directos para la empresa desarrolladora del proyecto aplicándole un porcentaje sobre el coste total.

Dado que no somos conocedores de ningún dato de la empresa RPC, como pueden ser los costes de producción, los ingresos o las ventas, no se puede estimar ni analizar la rentabilidad de este proyecto. Siendo imposible calcular el VAN (Valor Actualizado Neto) ni el TIR (Tasa interna de retorno)

### 9.3. VIABILIDAD MEDIOAMBIENTAL

Para determinar si un proyecto garantiza la sostenibilidad ambiental, es necesario realizar un análisis del impacto medioambiental que permita identificar los posibles efectos negativos sobre este y evaluar su magnitud.

La evaluación se realizará por medio de la matriz de Leopold, la cual es una herramienta muy utilizada para analizar este tipo de impacto ambiental que genera un proyecto al entorno. Esta herramienta se basa en una matriz en la que se enumeran los proyectos o elementos del proyecto en las filas, mientras que en las columnas se incluyen los factores ambientales relevantes. En la intersección entre las filas y las columnas se valora la importancia.

Así pues se establecen los siguientes factores ambientales:

- Contaminación Acústica
- Contaminación del Aire
- Contaminación del Suelo
- Contaminación del Agua
- Generación de Desechos

Después de haber identificado los factores ambientales relevantes, se procede a asignar una puntuación numérica para determinar la importancia de su impacto.

Ponderación	Grado de Afectación
0	Inexistente
1	Leve
2	Moderado
3	Significativo
4	Grave

*Tabla 5- Importancia Matriz Leopold*

Por lo tanto, se ha llevado a cabo la siguiente matriz de Leopold:

Proceso de fabricación	Acústica	Aire	Suelo	Agua	Generación de desechos	Total
<b>Manipulación de placas</b>	Moderado (2)	Leve (1)	Leve (1)	Leve (0)	Moderado (2)	6

*Tabla 6-Matriz Leopold*

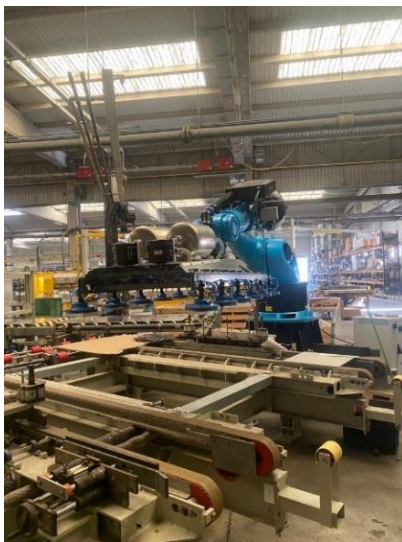
De acuerdo con la matriz de Leopold y analizando el resultado total de 6/20, se puede afirmar que esta celda antropomórfica no genera ningún daño significativo ni grave al medio ambiente asegurando de esta manera la viabilidad medioambiental.

Además, se puede fomentar el reciclaje al final de la vida útil del equipo, ya sea reutilizando algunos de sus componentes en otras celdas o desarmando y separando sus materiales para su posterior tratamiento según el tipo de material. En particular, se destaca que muchos de los elementos y estructuras de la celda robotizada están fabricados con acero, lo que permite su reciclaje como chatarra.

## 10. ANÁLISIS CRÍTICO Y MEJORAS

---

En resumen, el proyecto en cuestión se encuentra en curso y presenta un gran potencial. Actualmente, se está llevando a cabo la instalación y puesta en marcha del mismo en las instalaciones de RPC, donde se iniciará la fase de pruebas y programación del robot. Al mismo tiempo, se procederá con la instalación de los sistemas de seguridad necesarios para completar la celda. A continuación, se adjuntan algunas fotografías que ilustran el estado actual del proyecto:



*Ilustración 44- Fotos reales celda*

Para futuros proyectos similares o para mejorar el actual, sería interesante considerar la incorporación de un "Track Lineal". A pesar de que esto podría conllevar un costo mayor, permitiría expandir el área de trabajo del robot al permitirle desplazarse en un eje adicional, lo que le daría la capacidad de acceder a áreas más extensas.



*Il·lustració 45-Ejemplo track lineal.*

La implementación de este dispositivo facilitaría tanto la programación de los movimientos del robot como el diseño de la pinza. Esto se debe a que los movimientos del robot no tendrían que ser tan precisos y habría mucho más espacio para llevarlos a cabo. Además, al usar un eje externo, la pinza ya no necesitaría ser excéntrica porque todas las áreas serían accesibles sin problema, lo que permitiría diseñar una pinza con una estructura central más resistente y menos propensa a la flexión en los extremos.

Otro punto a considerar después de realizar pruebas de la celda sería determinar si es beneficioso tener los elementos de vacío encima de la pinza o si podrían estar ubicados en la base del robot.

Finalmente, si estuviera disponibles, sería más interesante quedarse con el modelo de las ventosas VPDG160-C-M30-CN. Esto se debe a que serían óptimas con un resorte compensatorio más ancho de 30 mm de recorrido, lo que ayudaría a resolver los defectos de planicidad de la pinza y no sería necesario utilizar los sensores con tanta precisión.

## 11. CONCLUSIÓN

---

En el presente trabajo se han mostrado las diferentes opciones y procesos para desarrollar una celda robótica orientada al sector cerámico. La función principal de la celda es la manipulación de placas cerámicas de gran tamaño automatizando una línea de producción de la empresa RPC donde anteriormente se involucraba un proceso manual con varios operarios y una grúa. Con esta automatización se consigue mejorar la producción, la eficiencia y sobre todo la seguridad del operario.

Es importante remarcar que se ha conseguido implantar una celda que cumple con todas las especificaciones del cliente, alcanzando así el objetivo de instalar un proceso de producción que satisfaga las necesidades de este. Actualmente, la celda se encuentra en fase de pruebas, lo que permitirá acabar de confirmar la calidad de su instalación y diseño.

Así pues esta celda robotizada se compone de varios elementos esenciales para su buen funcionamiento. En un primer lugar, se realizó un análisis exhaustivo de todos los modelos de robots disponibles para concluir que el robot industrial KUKA KR420 R3300 es el más adecuado para esta aplicación.

Asimismo, se han diseñado y fabricado varias piezas esenciales, como la estructura de la pinza del robot y el pedestal, asegurando su viabilidad técnica mediante el programa SolidWorks Simulation. Del mismo modo, se ha efectuado un estudio de mercado optando por la utilización de diferentes sensores de proximidad y escogiendo los componentes de aspiración, con la finalidad de posicionar la pinza y conseguir así una buena manipulación de las piezas.

Otro elemento clave, ha sido la elección de los componentes de seguridad de la celda permitiendo evitar cualquier peligro, consecuencia derivado del funcionamiento de la celda.

En conclusión, el proyecto ha sido exitoso ya que tanto el cliente como la empresa han quedado satisfechos con su funcionamiento y ha permitido optimizar el trabajo de la empresa RPC.



## 12. BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

---

1. 4 factores que definen una celda robótica y sus dimensiones | British Federal Mexico. (s. f.). Recuperado 10 de febrero de 2023, de <https://www.bfmx.com/automatizacion/4-factores-que-definen-una-celda-robotica-y-sus-dimensiones/>
2. (31) Tipos de brazos manipuladores, características y aplicaciones | José Alfredo Santos Ramírez—Academia.edu. (s. f.). Recuperado 4 de marzo de 2023, de [https://www.academia.edu/22304520/Tipos\\_de\\_brazos\\_manipuladores\\_caracter%C3%ADsticas\\_y\\_aplicaciones?email\\_work\\_card=view-paper](https://www.academia.edu/22304520/Tipos_de_brazos_manipuladores_caracter%C3%ADsticas_y_aplicaciones?email_work_card=view-paper)
3. ABB en España. (s. f.). Recuperado 4 de noviembre de 2022, de <https://new.abb.com/es>
4. ADMINISTRADOR. (2014, junio 27). Seguridad de una célula robotizada: Más sencillo imposible. Safework. <https://safework.es/seguridad-de-una-celula-robotizada-mas/>
5. Bama. (s. f.). Sistemas de Automatización Industrial | BAMA Sistemas. Recuperado 4 de febrero de 2023, de <https://bama.es/home>
6. Cerramiento modular ES - NORCAN - Catálogo PDF | Documentación técnica | Brochure. (s. f.). Recuperado 14 de febrero de 2023, de <https://pdf.directindustry.es/pdf/norcan/cerramiento-modular-es/7652-928287.html>
7. FANUC | The Factory Automation Company. (s. f.). Recuperado 15 de marzo de 2023, de <https://www.fanuc.eu/es/es>
8. Gantry robot—Parker Electronic Controls Division—3-axis / packaging / for the food industry. (s. f.). Recuperado 15 de marzo de 2023, de <https://www.directindustry.com/prod/parker-electronic-controls-division/product-101213-2536200.html>
9. GRADOS DE LIBERTAD – INTELIGENCIA ARTIFICIAL. (s. f.). Recuperado 4 de enero de 2023, de <https://sitiointeligenciaa.wordpress.com/grados-de-libertad/>
10. Industrial intelligence 4.0\_beyond automation. (s. f.). KUKA AG. Recuperado 4 de enero de 2023, de <https://www.kuka.com/es-es>
11. KG, W. S. G. + C. (s. f.). General Catalogue. Recuperado 10 de abril de 2023, de <https://www.werma.com/gfx/file/epaper/en/?gclid=Cj0KCQjwgLOiBhC7ARIsAle>

etVBeHioVPxBWnC8xvQPhZ zyV22aEdd3bUgcs dGEao8v4PkoJVFh28aAhiR  
EALw\_wcB#0

12. La importancia de las medidas de seguridad industrial—Atlas Robots. (s. f.). Recuperado 4 de marzo de 2023, de <https://atlas-robots.com/la-importancia-de-las-medidas-de-seguridad-industrial/>
13. López, J. J. U. (1961). Sugerencias al pliego de condiciones. *Materiales de Construcción*, 11(102), Article 102.  
<https://doi.org/10.3989/mc.1961.v11.i102.1889>
14. Qué es un Robot Scara | Sinerges. (s. f.). Recuperado 4 de febrero de 2023, de <https://www.sinerges.com/archivos/9695>
15. Refurbished Industrial Robots, Parts, Service and.... (s. f.). T.I.E. Industrial. Recuperado 4 de enero de 2023, de <https://www.robots.com/>
16. Simulator for industrial robots and offline programming—RoboDK. (s. f.). Recuperado 14 de marzo de 2023, de <https://robodk.com/>
17. UR Cobot | Cobot UR | Universal Robots. (s. f.). Recuperado 4 de mayo de 2023, de <https://www.universal-robots.com/es/productos/>
18. Ventosas planas (redonda) | Schmalz. (s. f.). Recuperado 10 de abril de 2023, de <https://www.schmalz.com/es/tecnica-de-vacio-para-la-automatizacion/componentes-de-vacio/ventosas-de-vacio/ventosas-planas-redonda/>
19. Yaskawa España. (s. f.). Recuperado 1 de marzo de 2023, de <https://www.yaskawa.es/>
20. , S DANCETTE, J.Y.BUFFIÈRE, & C. LE BOURLOT. (s. f.). *Science et ingénierie des matériaux de structure Partie A. Apuntes INSA LYON.*
21. Acero S275JR: Características, propiedades, análogos - Metinvest. (s. f.). Recuperado 10 de febrero de 2023, de <https://metinvestholding.com/es/products/steel-grades/s275jr>
22. AR-Vacuum—Ventosas de vacío para manipulación industrial—AR-vacuum. (s. f.). Recuperado 2 de febrero de 2023, de <https://ar-vacuum.com/es/productos/ventosas>
23. Marketing. (2020, diciembre 14). ▷ 5 Tipos de Robots Industriales características, clasificación y usos. EDS Robotics.  
<https://www.edsrobotics.com/blog/tipos-robots-industriales-usos/>
24. Marketing. (2021, julio 22). Ventosas de vacío para aplicaciones industriales ▷ 9 Tipos y funciones. EDS Robotics. <https://www.edsrobotics.com/blog/ventosas-de-vacio-para-aplicaciones-industriales/>
25. R. Colon de Carvajal. (s. f.). *Éco-Conception des Machines Sûres (Étude des Machines Spéciales)*. Apuntes INSA LYON.

26. RdR. (2020, agosto 21). Tipos de ventosas de vacío neumáticas. REVISTA DE ROBOTS. <https://revistaderobots.com/sistemas-de-vacio/tipos-de-ventosas-de-vacio-neumaticas/>
27. Sicma21, P. (2021, octubre 25). Robots industriales: Qué son, cómo funcionan y sus tipos. <https://www.sicma21.com/robots-industriales-tecnologia-y-aplicaciones/>
28. Tipos De Sensores Industriales | SDI. (2022, agosto 19). <https://sdindustrial.com.mx/blog/tipos-de-sensores-industriales/>
29. Turmero, P. (2015, octubre 29). Robótica industrial. Sensores. Monografias.com. <https://www.monografias.com/trabajos106/robotica-industrial-sensores/robotica-industrial-sensores>

## 12.1. BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA DE ILUSTRACIONES

1. Ilustración 1 – Robottions (Fuente: <https://www.robottions.com/>)
2. Ilustración 2 – RPC (Fuente: <https://rpcsl.com/>)
3. Ilustración 3-Proceso de la celda (Fuente: Elaboración propia)
4. Ilustración 4-Elementos de la celda. Cajón y caballete (Fuente:<https://www.rotomshop.es/palet-de-plastico-retencion-liquididos.html?source=facebook,s.f.>)
5. Ilustración 5-Robot Cartesiano (Fuente: <https://ph.parker.com/> , s.f.)
6. Ilustración 6-Robot Delta (Fuente <https://new.abb.com/es>, s.f)
7. Ilustración 7-Robot cilíndrico (Fuente: <https://www.kuka.com/es-es>, s.f.)
8. Ilustración 8 Robot Esférico (Fuente:<https://www.fanuc.eu/es/es/robots/p%c3%a1gina-filtro-robots/scara-series>, s.f.)
9. Ilustración 9-Robot SCARA (Fuente: <https://www.fanuc.eu/es/es/robots/p%c3%a1gina-filtro-robots/scara-series>, s.f.)
10. Ilustración 10-Robot Antropomorfo (Fuente: <https://www.kuka.com/es-es>, s.f.)
11. Ilustración 11- Ejemplo robots Universal Robots (Fuente: <https://www.kuka.com/es-es>, s.f.)
12. Ilustración 12- Ejemplo robots industriales Fanuc ((Fuente: <https://www.fanuc.eu/es/es>)
13. Ilustración 13- Ejemplo robots industriales KUKA (Fuente: <https://www.kuka.com/es-es>, s.f.)
14. Ilustración 14-ABB (Fuente: <https://new.abb.com/es>, s.f.)
15. Ilustración 15-Yaskawa (Fuente: <https://www.yaskawa.es/> , s.f.)
16. Ilustración 16- KUKA-KR420-R3330 (Fuente: Elaboración propia) f)

17. Ilustración 17-Diagrama de cargas del KR420-R3330 (Elaboración propia)
18. Ilustración 18—Alcance KUKA KR420R3300 (Fuente: <https://www.kuka.com/es-es>, s.f.)
19. Ilustración 19--Interfaz RoboDk (Fuente: <https://robodk.com/>, s.f.)
20. Ilustración 20-Simulación Inicial elementos de la Celda (Fuente: Elaboración propia)
21. Ilustración 21- Plano ensamblaje del pedestal (Fuente: Elaboración propia)
22. Ilustración 22-Esfuerzos y desplazamientos estudio 1 Pedestal (Fuente: Elaboración propia)
23. Ilustración 23- Estudio de tensión. Caso 1(Fuente: Elaboración propia)
24. Ilustración 24- Estudio de flexión y deformación Caso 1(Fuente: Elaboración propia)
25. Ilustración 25- Esfuerzos y desplazamientos estudio 2 Pedestal (Fuente: Elaboración Propia)
26. Ilustración 26-Estudio de tensión flexión y deformación Caso 2 (Fuente: Elaboración propia)
27. Ilustración 27- Modelos de Pinzas
28. Ilustración 28-Disposición ventosas doble circuito de vacío (Fuente: Elaboración propia)
29. Ilustración 29-Esquema circuito de vacío. (Fuente: Elaboración propia)
30. Ilustración 30-Ejemplo ventosa plana (Fuente: <https://www.schmalz.com/es/tecnica-de-vacio-para-la-automatizacion/componentes-de-vacio/ventosas-de-vacio/ventosas-planas-redonda/>, s.f.)
31. Ilustración 31-Ejemplo ventosas de fuelle (Fuente: <https://ar-vacuum.com/es/blog>, s.f.)
32. Ilustración 32- Ejemplo ventosas metálicas. <https://ar-vacuum.com/es/productos/ventosas/grandes-cargas>, s.f.)
33. Ilustración 33-Modelo 3D pinza. (Fuente: Elaboración propia)
34. Ilustración 34-Fuerzas y desplazamientos simulación pinza. (Fuente: Elaboración propia)
35. Ilustración 35-Resultados tensión, flexión y deformación estudio pinza (Fuente: Elaboración propia)
36. Ilustración 36- Pinza fabricada con elementos de vacío. (Fuente: Elaboración propia)
37. Ilustración 37- Posición de sensores ultrasónicos con indicación de alcance. (Fuente: Elaboración propia)
38. Ilustración 38- Detalle real de sensores utilizados. (Fuente: Elaboración propia)

39. Il·lustració 39- Exemple de vallada de seguretat (Font: <https://atlas-robots.com/la-importancia-de-las-medidas-de-seguridad-industrial/>, s.f.)
40. Il·lustració 40-Exemple de balises visual. (Font: <https://atlas-robots.com/la-importancia-de-las-medidas-de-seguridad-industrial/>, s.f.)
41. Il·lustració 41-Exemple de botones (Font: <https://atlas-robots.com/la-importancia-de-las-medidas-de-seguridad-industrial/>, s.f.)
42. Il·lustració 42- Exemple de barreres de protecció optoelectrònica (Font: <https://atlas-robots.com/la-importancia-de-las-medidas-de-seguridad-industrial/>, s.f.)
43. Il·lustració 43- Disposició final de cèl·lula. (Font: Elaboració pròpia)
44. Il·lustració 44- Fotos reals de cèl·lula (Font: Elaboració pròpia)
45. Il·lustració 45-Exemple de Track lineal. (Font: Elaboració pròpia)



## **II. ANEXOS**





# KUKA



## KR 420 R3330



### Datos técnicos

Alcance máximo	3326 mm
Carga nominal	420 kg
Carga máxima	515 kg
Máxima carga adicional columna giratoria/brazo de oscilación/brazo	-
Repetibilidad de posición (ISO 9283)	± 0,08 mm
Número ejes	6
Posición de montaje	Suelo
Superficie de colocación	1050 mm x 1050 mm
Peso	aprox. 2686 kg

### Datos de los ejes

Rango de desplazamiento	
A1	±185 °
A2	-130 ° / 20 °
A3	-100 ° / 144 °
A4	±350 °
A5	±120 °
A6	±350 °
Velocidad con carga nominal	
A1	80 °/s
A2	75 °/s
A3	70 °/s
A4	70 °/s
A5	70 °/s
A6	110 °/s

### Condiciones de servicio

Temperatura ambiente durante el servicio	10 °C hasta 55 °C (283 K hasta 328 K)
--	---------------------------------------

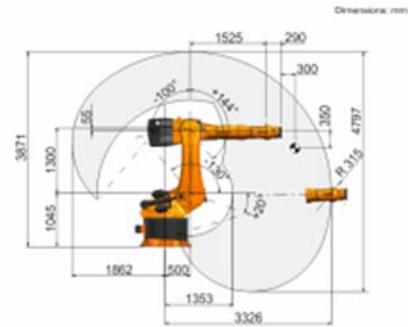
### Tipo de protección

Tipo de protección (IEC 60529)	IP65
Tipo de protección muñeca de robot (IEC 60529)	IP65

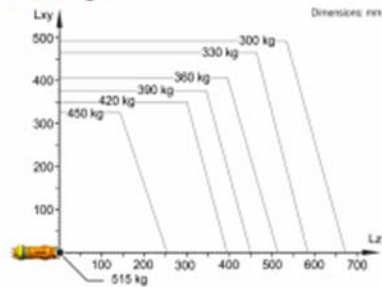
### Unidad de control

Unidad de control	KR C5; KR C4
-------------------	-----------------

### Gráfica del campo de trabajo

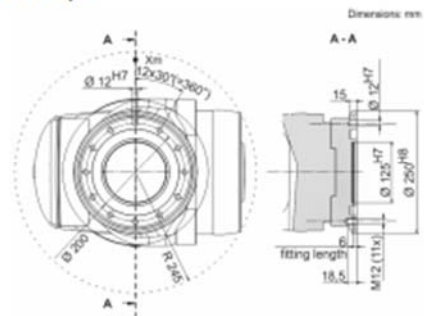


### Diagrama de cargas



KR 420 R3330 está configurado para una carga nominal de 420 kg para aprovechar de forma óptima el rendimiento y la dinámica del robot. Solo si la posición del centro de gravedad de la masa es de 0 mm y se ha aplicado una carga adicional optimizada para la situación de carga, se aplica la carga máxima de 515 kg. La situación de carga específica debe comprobarse con KUKA Load o KUKA Compose. Para un asesoramiento individual, póngase en contacto con KUKA Support.

### Brida de acople



Las indicaciones sobre las características y la usabilidad de los productos no representan una confirmación de las propiedades, sino sirven únicamente a título informativo. El alcance de los productos entregados y servicios realizados viene determinado por el contenido específico del contrato. Los datos técnicos y las figuras no son vinculantes para los suministradores. Reservado el derecho de modificaciones.  
0000-233-249 / V8.1 / 27.05.2022 / es  
KUKA Deutschland GmbH Zugspitzstrasse 140, 86165 Augsburg, Alemania. Tel.: +49 821 797-4000, www.kuka.com

# DISEÑO DE CELDA ROBÓTICA CON SISTEMA DE ASPIRACIÓN PARA LA MANIPULACIÓN DE PLACAS CERÁMICAS DE GRAN TAMAÑO

## Superior in each and every form The KR C4 variants

With five variants, the KR C4 can be optimally integrated into your automation environment. Requirements for stackability, protection against dust, humidity and other influences can thus be taken into account.

### KR C4 – the versatile concept

- Available in five cabinet variants designed for different areas of application
- Control cabinets with protection rating IP54, rack version KR C4 compact with protection rating IP20
- For control of up to 16 axes



KR C4 compact

Dimensions (H x W x D)	279 x 483 x 440 mm
Processor	Multi-core technology
Hard drive	SSD
Interface	USB A, GbE, DVI-D, Display Port
Number of axes (max.)	6 + 2 (with add. axis box)
Maxim. frequency	50 / 60 Hz + 3 Hz
Rated supply voltage	AC 200 V to 230 V
Info transformer	-
Protection rating	IP20
Ambient temperature	+5°C to +45°C
Weight	13 kg



KR C4 smallsize 2

Dimensions (H x W x D)	623 x 380 x 540 mm
Processor	Multi-core technology
Hard drive	SSD
Interface	USB A, GbE, DVI-D, Display Port
Number of axes (max.)	6 + 6 (with add. axis box)
Maxim. frequency	50 / 60 Hz + 3 Hz
Rated supply voltage	AC 3 x 208 V to 3 x 575 V
Info transformer	AC 3 x 380 / 400 / 440 / 480 V
Protection rating	IP54
Ambient temperature	+5°C to +45°C
Weight	40 kg



KR C4

Dimensions (H x W x D)	960 x 792 x 558 mm
Processor	Multi-core technology
Hard drive	SSD
Interface	USB A, GbE, DVI-D, Display Port
Number of axes (max.)	9
Maxim. frequency	49 to 81 Hz
Rated supply voltage	AC 3 x 208 V to 3 x 575 V
Info transformer	AC 3 x 380 / 400 / 440 / 480 V
Protection rating	IP54
Ambient temperature	+5°C to +45°C
Weight	120 kg



KR C4 midsize

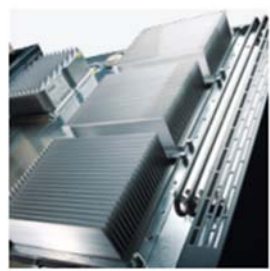
Dimensions (H x W x D)	1360 x 792 x 558 mm
Processor	Multi-core technology
Hard drive	SSD
Interface	USB A, GbE, DVI-D, Display Port
Number of axes (max.)	9
Maxim. frequency	49 to 81 Hz
Rated supply voltage	AC 3 x 208 V to 3 x 575 V
Info transformer	AC 3 x 380 / 400 / 440 / 480 V
Protection rating	IP54
Ambient temperature	+5°C to +45°C
Weight	140 kg



KR C4 extended

Dimensions (H x W x D)	2400 x 842 x 562 mm
Processor	Multi-core technology
Hard drive	SSD
Interface	USB A, GbE, DVI-D, Display Port
Number of axes (max.)	16
Maxim. frequency	49 to 81 Hz
Rated supply voltage	AC 3 x 208 V to 3 x 575 V
Info transformer	AC 3 x 380 / 400 V
Protection rating	IP54
Ambient temperature	+5°C to +45°C
Weight	240 kg

The heat exchanger system, with separate air circulation in the inner and outer part of the cabinet, allows low maintenance operation, even in dusty environments. Entirely without filter mats.



The 19" KR C4 compact controller is ideal for space-saving installation in customer enclosures or in small protective housings. Designed for up to six robot axes in the low payload category. Optionally expandable by up to two external axes with a motor capacity of up to approx. 2 kW.

The universal KR C4 smallsize 2 controller with protection rating IP54 is designed for industrial operation of up to six robot axes in the low payload category. Optionally expandable by up to six high-performance external axes.

The universal KR C4 controller with protection rating IP54 is designed for industrial operation of up to nine robot axes in the high payload category.

The universal KR C4 midsize controller with protection rating IP54 is designed for industrial operation of up to nine robot axes in the high payload category. Expanded with additional installation space and a side connector panel for integration of customer options.

The universal KR C4 extended controller with protection rating IP54 is designed for industrial operation of up to twelve robot axes and four external axes in the heavy-duty category. Expanded with additional installation space and a side connector panel for integration of customer options.

## Simply more freedom The intelligent KUKA smartPAD

Master even complex operating tasks easily – that's what the KUKA smartPAD is designed for. The content-sensitive interface only displays the options relevant at the moment of operation. Thanks to the intuitive operator guidance, less experienced and expert users alike can work quickly and efficiently with a minimum of training.

**Ergonomic design.** Reduced weight and anatomically designed for efficient, comfortable operation.

**Universally applicable.** Operate all KUKA robots and KR C4 controllers with the KUKA smartPAD.

**Antireflection touch display.** Operator control is quick and easy via the well-lit 8.4" screen with an intuitive user interface. The smartPAD can even be operated safely and quickly when the operator is wearing protective gloves.

**6D mouse.** Intuitive, Cartesian movement and reorientation of the robot in three or all six degrees of freedom.

**Eight jog keys.** Separate jog keys for direct control of up to eight axes or external axes without switching.

**Multilingual.** The user interface for operation and programming is suitable for international use due to the wide range of languages available by simple selection. Systematic further development of the tried-and-tested KUKA operator control and programming concept.



Single, intuitive operator control via touch screens.



USB port for direct saving and loading of application programs.



Ergonomic 6D mouse.

- **KUKA smartPAD: operation with all the advantages**
- Universally applicable for all KUKA robots and KR C4 controllers.
- Can be connected and disconnected at any time, integrated USB port
- Suitable for international use
- Intuitive operator control via the well-lit 8.4" touch display
- Eight jog keys for direct control of eight axes/ external axes



**Hot-pluggable.** The KUKA smartPAD can be simply connected to and disconnected from a KR C4 controller at any time – making it ideal for use with other KUKA robots or for avoidance of inadvertent operator errors.



**Integrated USB connection.** USB port for direct saving and loading of application programs.



Control panel: KUKA smartPAD	
Type	KUKA smartPAD
Display	scratch-resistant industrial touch display
Display size	8.4"
Dimensions (H x W x D)	240 x 290 x 50 mm
Weight	1,180g

DISEÑO DE CELDA ROBÓTICA CON SISTEMA DE ASPIRACIÓN PARA LA MANIPULACIÓN DE PLACAS CERÁMICAS DE GRAN TAMAÑO

**VENTOSAS VACUUM CLIPS**

**GRANDES CARGAS HEAVY LOADS** | **VPD**

**ADICIONALES PARA SUFICIENTES VENTOSAS ADVANTAGES**

Acople de alta precisión High precision grip  
Triple labio Triple lip

Carga elevada High load

Manipulaciones horizontales Horizontal handling

Manipulaciones verticales Vertical handling

Superficies rugosas Rough surfaces

Ø 110

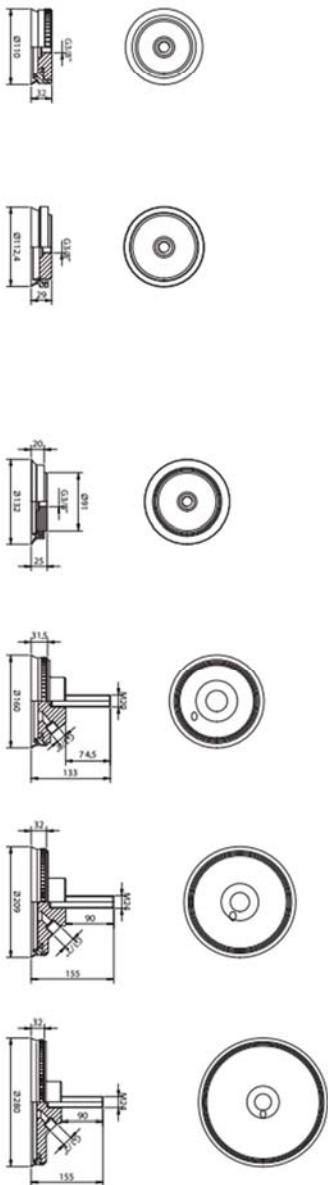
Ø 112

Ø 132

Ø 150

Ø 200

Ø 270



**CARACTERÍSTICAS - CHARACTERISTICS**

Ø reposo / Ø trabajo / Ø indented / Ø loaded [mm]	110 / 113,5	112 / 120	133 / 135	160 / 167	209 / 215	280 / 289
Mín. radio de curvatura / Minimum curve radius [mm]	299	305	2,5	1055	1368	2435
Carrera máxima / Maximum stroke [mm]	5	4	50	3	4	4
Volumen / Volume [cm <sup>3</sup> ]	40,4	98,3	219	1402	3740	667
Peso / Weight [g]	445	366,5	373	1402	3740	239
Fuerza a -0,4 bar / Force at -0,4 bar [Kgf]	27,2	34,7	20,34	64,0	120	239
Fuerza a -0,6 bar / Force at -0,6 bar [Kgf]	42,4	51,6	44,33	92,0	174	345
Fuerza a -0,8 bar / Force at -0,8 bar [Kgf]	57,8	66,2	56,56	123	225	446
Fuerza a -0,9 bar / Force at -0,9 bar [Kgf]	65,5	74,9	66,13	142	255	505

**COMO PEDIR - HOW TO ORDER**

Ventosa completa / Complete vacuum cup	VPD110 - (C)	VPD112 - (C)	VPD132 - (C)	VPD110 - (C) - (1) - 150 - (C)	VPD110 - (C) - (2) - 200 - (C)	VPD110 - (C) - (3) - 270 - (C)
Recambio de goma / Rubber spare part	V110 - (C)	V112 - (C)	VPD132 - (C)	VPD110 - (C)	VPD1200 - (C)	VPD1270 - (C)

**OPCIONES - OPTIONS**

<b>1</b> ROTULA BALL JOINT	<b>2</b> VALVULA VALVE	<b>3</b> MUELLE COMPENSADOR SPRING LEVELER	<b>4</b> MATERIAL GOMA RUBBER MATERIAL
<b>C</b> Con rotula / With ball joint -- Sin rotula / Without ball joint	<b>V</b> Con válvula palpadora / With sensing valve -- Sin válvula palpadora / Without sensing valve	<b>M30</b> Muelle carrera 30mm / Spring with 30mm <b>M60</b> Muelle carrera 60mm / Spring with 60mm -- Sin muelle compensador / Without spring leveler	<b>CN</b> Caucho Natural / Natural Rubber <b>SB</b> Silicona / Silicone <b>EPDM</b> EPDM

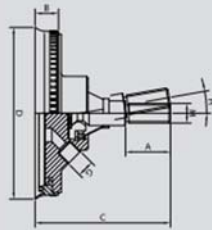
Ejemplo Example: VPD - C - V - M60 - 200 - CN

VENTOSAS  
VACUUM CUPS

VPPD OPCIONES  
OPTIONS

Rótula (C)

Ball joint (C)



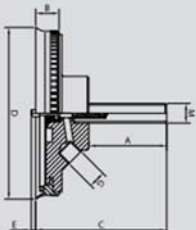
VENTOSAS  
VACUUM CUPS

Ø	A	B	C	D	G	H	M	PSO (kg)
---	---	---	---	---	---	---	---	----------

150	55	27,5	159	160	GA3/8"	6"	M24	1850
	55	28,5	166	209	GI1/2"	6"	M24	2690
270	55	28,5	166	280	GI1/2"	6"	M24	3670

Válvula (V)

Valve (V)



Ø	A	B	C	D	E	G	M	PSO (kg)
---	---	---	---	---	---	---	---	----------

150	92,5	27,5	151	160	5	GA3/8"	M20	1550
	95	28,5	160	209	6	GI1/2"	M24	2665
270	95	28,5	160	280	6	GI1/2"	M24	3270

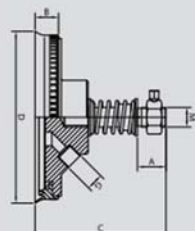
274 | www.ar-vacuum.com

AR

Muelle compensador (M)

Spring leveler (M)

Todas las cotas en mm. All dimensions in mm

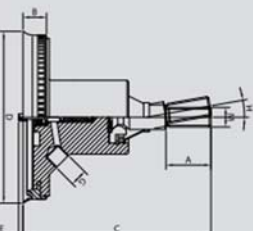


Ø	CARGA MUELLE SPRING FORCE (N)	A	B	C	D	G	M	PSO (kg)
---	----------------------------------	---	---	---	---	---	---	----------

150	30	34	27,5	153,5	160	GA3/8"	M20	1720
	60	32	27,5	208,5	160	GA3/8"	M20	2020
200	30	34	28,5	160	209	GI1/2"	M24	2591
	60	32	28,5	215	209	GI1/2"	M24	2891
270	30	34	28,5	160	280	GI1/2"	M24	3800
	60	32	28,5	215	280	GI1/2"	M24	4120

Rótula + Válvula (CV)

Ball joint + Valve (CV)



Ø	A	B	C	D	E	G	M	PSO (kg)
---	---	---	---	---	---	---	---	----------

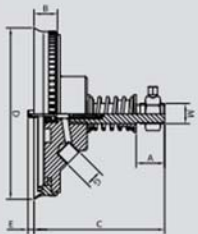
150	55	27,5	215	160	5	GA3/8"	M24	1930
	55	28,5	229	209	6	GI1/2"	M24	2660
270	55	28,5	229	280	6	GI1/2"	M24	3405

www.ar-vacuum.com | 275

**VPD**  
OPCIONES  
OPTIONS

Válvula + Muelle compensador (VM)

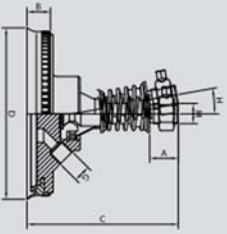
Valve + Spring leveler (VM)



Ø	CARRERA MUELLE SPRING STROKE		A	B	C	D	E	G	M	PESO (g) WEIGHT
	30	60								
150	30	34	27,5	153,5	160	5	G3/8"	M24	1920	
	60	32	27,5	208,5	160	5	G3/8"	M24	2220	
200	30	34	28,5	160	209	6	G1/2"	M24	2591	
	60	32	28,5	215	209	6	G1/2"	M24	2891	
270	30	34	28,5	160	280	6	G1/2"	M24	3800	
	60	32	28,5	215	280	6	G1/2"	M24	4120	

Rótula + Muelle compensador (CM)

Ball joint + Spring leveler (CM)

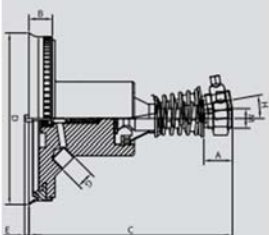


Ø	CARRERA MUELLE SPRING STROKE		A	B	C	D	G	H	M	PESO (g) WEIGHT
	30	60								
150	30	34	27,5	178,5	160	G3/8"	6"	M24	1986	
	60	32	27,5	233,5	160	G3/8"	6"	M24	2286	
200	30	34	28,5	180	209	G1/2"	6"	M24	2840	
	60	32	28,5	240	209	G1/2"	6"	M24	3140	
270	30	34	28,5	180	280	G1/2"	6"	M24	3810	
	60	32	28,5	240	280	G1/2"	6"	M24	4110	

276 | www.ar-vacuum.com

Rótula + Válvula + Muelle (CVM)

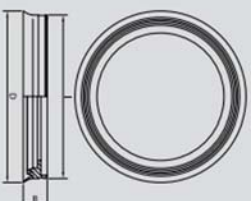
Ball joint + Valve + Spring leveler (CVM)



Ø	CARRERA MUELLE SPRING STROKE		A	B	C	D	E	G	H	M	PESO (g) WEIGHT
	30	60									
150	30	34	27,5	248,5	160	5	G3/8"	6"	M24	2174	
	60	32	27,5	303,5	160	5	G3/8"	6"	M24	2474	
200	30	34	28,5	249	209	6	G1/2"	6"	M24	2805	
	60	32	28,5	304	209	6	G1/2"	6"	M24	3105	
270	30	34	28,5	249	280	6	G1/2"	6"	M24	3845	
	60	32	28,5	304	280	6	G1/2"	6"	M24	4145	

Goma de recambio

Rubber spore



Ø	B	D	I
150	27,5	160	150
200	28,5	209	200
270	28,5	280	270

www.ar-vacuum.com | 277

Todas las cotas en mm. All dimensions in mm.

Ultrasonic sensor

UB500-18GM75-I-V15



Model Number

UB500-18GM75-I-V15

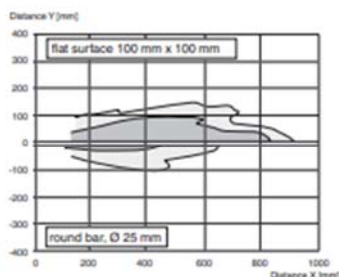
Single head system

Features

- Analog output 4 mA ... 20 mA
- Measuring window adjustable
- Selectable sound lobe width
- Program input
- Synchronization options
- Deactivation option
- Temperature compensation
- Very small unusable area

Diagrams

Characteristic response curve



Release date: 2015-03-31 13:05:04\_eng.xml

Technical data

<b>General specifications</b>	
Sensing range	30 ... 500 mm
Adjustment range	50 ... 500 mm
Unusable area	0 ... 30 mm
Standard target plate	100 mm x 100 mm
Transducer frequency	approx. 380 kHz
Response delay	approx. 50 ms
<b>Indicators/operating means</b>	
LED yellow	solid yellow: object in the evaluation range yellow, flashing: program function, object detected
LED red	solid red: Error red, flashing: program function, object not detected
<b>Electrical specifications</b>	
Operating voltage $U_B$	10 ... 30 V DC, ripple 10 % <sub>SS</sub>
No-load supply current $I_0$	≤ 45 mA
<b>Input/Output</b>	
Synchronization	1 synchronous connection, bi-directional 0-level: $-U_B \dots +1$ V 1-level: $+4$ V ... $+U_B$ input impedance: > 12 kΩ synchronization pulse: ≥ 100 μs, synchronization interpulse period: ≥ 2 ms
Synchronization frequency	≤ 95 Hz
Common mode operation	≤ 95 Hz
Multiplex operation	≤ 95 Hz / n, n = number of sensors
<b>Input</b>	
Input type	1 program input lower evaluation limit A1: $-U_B \dots +1$ V, upper evaluation limit A2: $+4$ V ... $+U_B$ input impedance: > 4.7 kΩ, pulse duration: ≥ 1 s
<b>Output</b>	
Output type	1 analog output 4 ... 20 mA
Resolution	0.13 mm for max. detection range
Deviation of the characteristic curve	± 1 % of full-scale value
Repeat accuracy	± 0.1 % of full-scale value
Load impedance	0 ... 300 Ohm
Temperature influence	± 1.5 % of full-scale value
<b>Ambient conditions</b>	
Ambient temperature	-25 ... 70 °C (-13 ... 158 °F)
Storage temperature	-40 ... 85 °C (-40 ... 185 °F)
<b>Mechanical specifications</b>	
Connection type	Connector M12 x 1, 5-pin
Degree of protection	IP67
<b>Material</b>	
Housing	brass, nickel-plated
Transducer	epoxy resin/hollow glass sphere mixture; foam polyurethane, cover PBT
Mass	60 g
<b>Factory settings</b>	
Output	evaluation limit A1: 50 mm evaluation limit A2: 500 mm output function: rising slope
Beam width	wide
<b>Compliance with standards and directives</b>	
<b>Standard conformity</b>	
Standards	EN 60947-5-2:2007 IEC 60947-5-2:2007 EN 60947-5-7:2003 IEC 60947-5-7:2003

Approvals and certificates

UL approval	cULus Listed, General Purpose
CSA approval	cCSAus Listed, General Purpose
CCC approval	CCC approval / marking not required for products rated ≤36 V

Refer to "General Notes Relating to Pepperl+Fuchs Product Information".

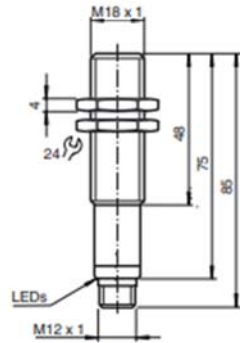
Pepperl+Fuchs Group  
www.pepperl-fuchs.com

USA: +1 330 486 0001  
fa-info@us.pepperl-fuchs.com

Germany: +49 621 776 4411  
fa-info@de.pepperl-fuchs.com

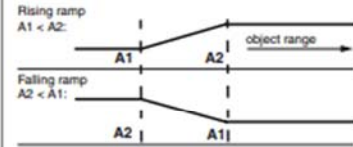
Singapore: +65 6779 9091  
fa-info@sg.pepperl-fuchs.com

**Dimensions**

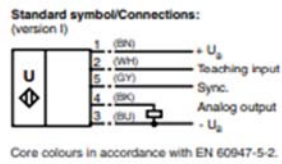


**Additional Information**

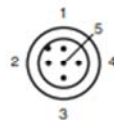
**Programmed analogue output function**



**Electrical Connection**



**Pinout**



Wire colors in accordance with EN 60947-5-2

1	BN	(brown)
2	WH	(white)
3	BU	(blue)
4	BK	(black)
5	GY	(gray)

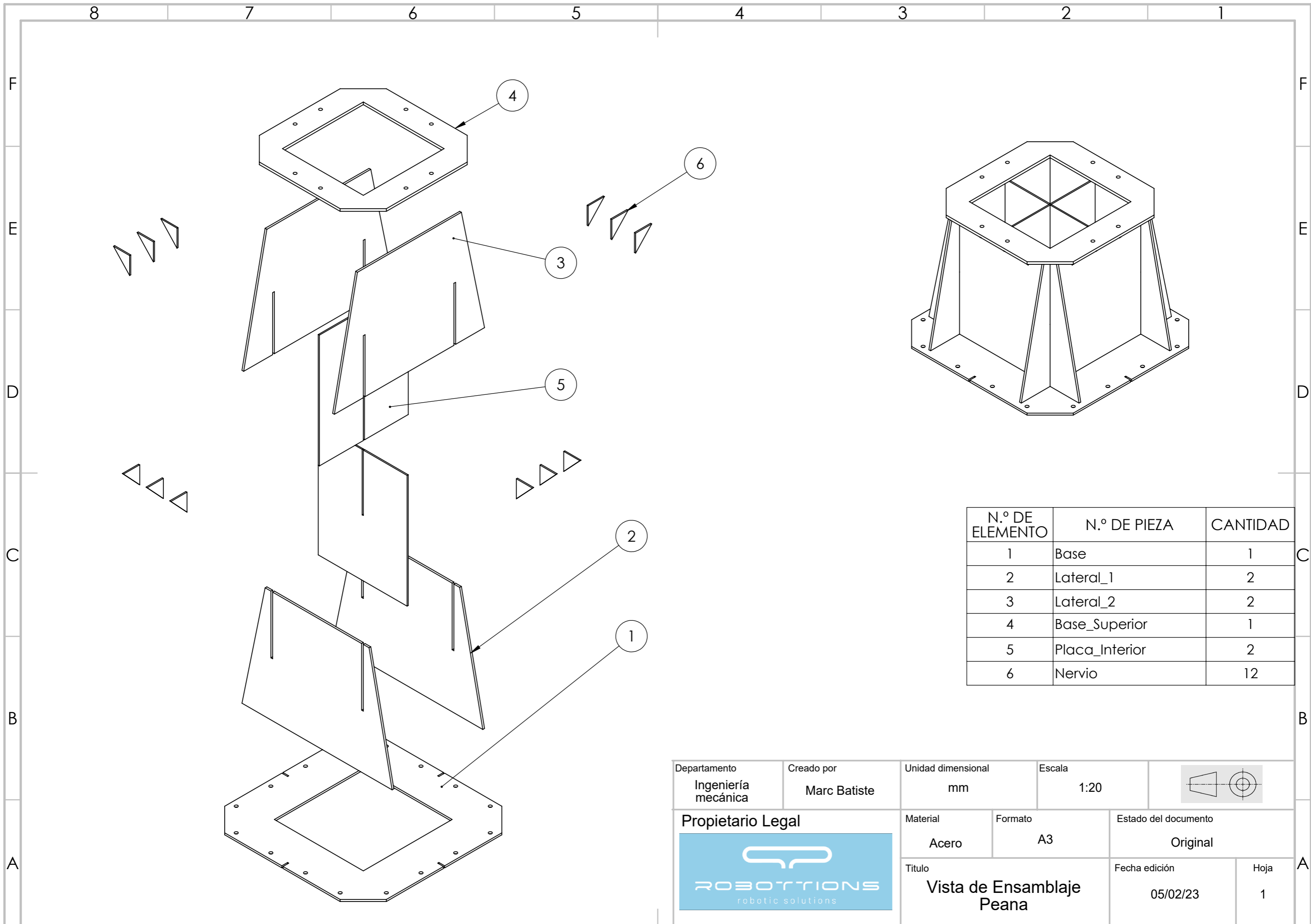
Release date: 2015-03-31 16:09 Date of issue: 2015-03-31 13:06:54\_eng.xml





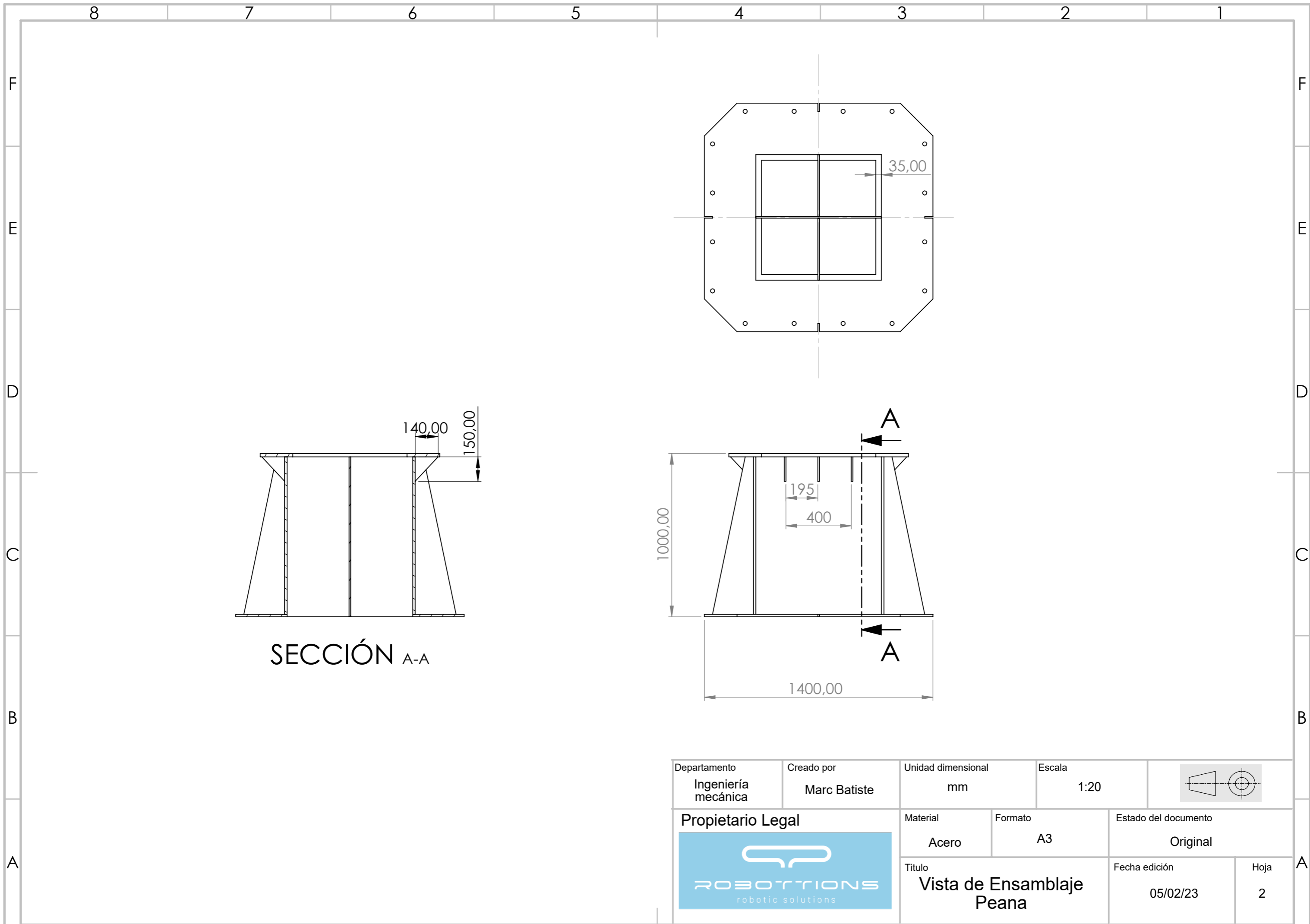
# **III.PLANOS**





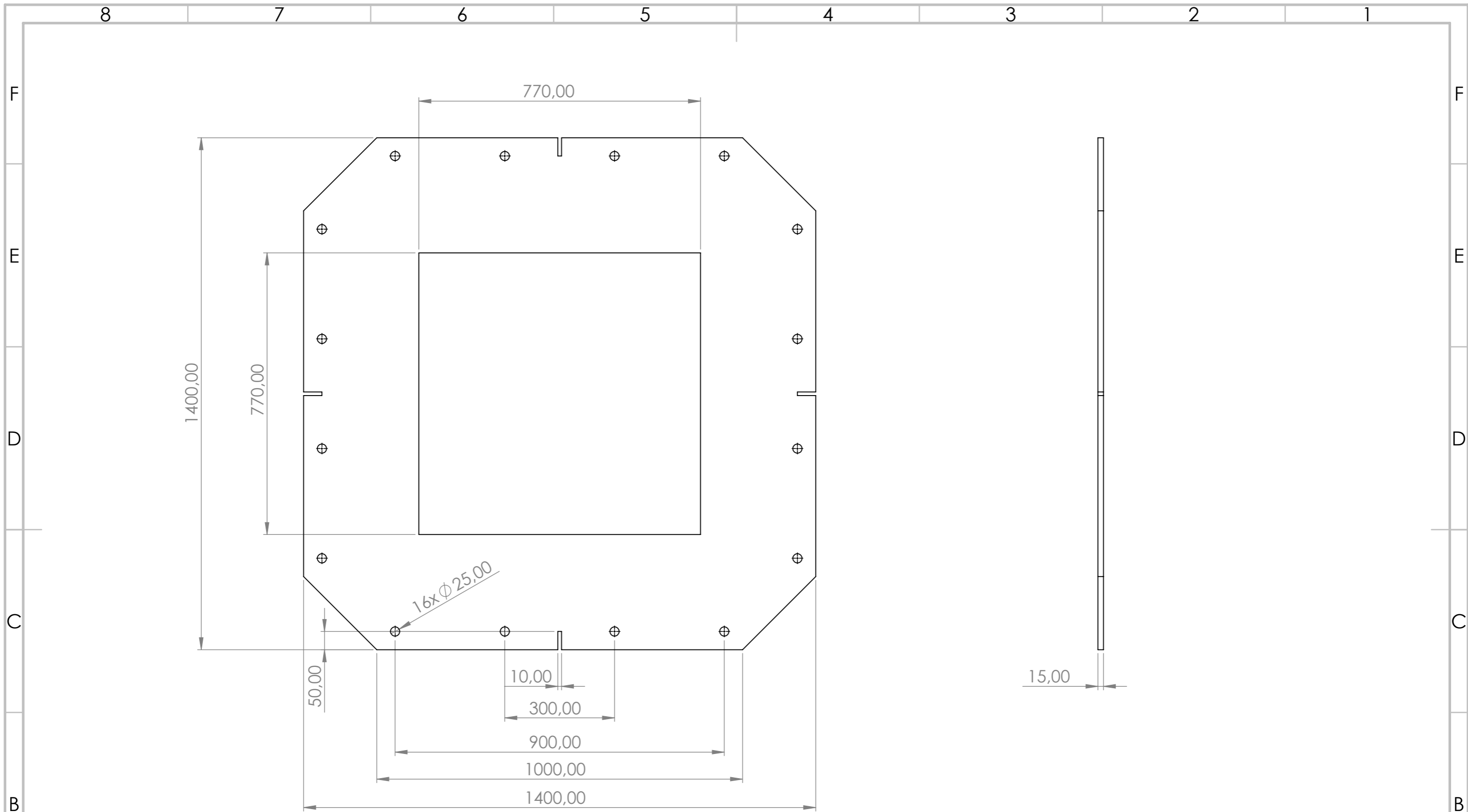
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Base	1
2	Lateral_1	2
3	Lateral_2	2
4	Base_Superior	1
5	Placa_Interior	2
6	Nervio	12

Departamento Ingeniería mecánica	Creado por Marc Batiste	Unidad dimensional mm	Escala 1:20		
<b>Propietario Legal</b> 		Material Acero	Formato A3	Estado del documento Original	
<b>Vista de Ensamblaje Peana</b>			Fecha edición 05/02/23	Hoja 1	



SECCIÓN A-A

Departamento Ingeniería mecánica	Creado por Marc Batiste	Unidad dimensional mm	Escala 1:20		
Propietario Legal 		Material Acero	Formato A3		
Titulo Vista de Ensamblaje Peana			Fecha edición 05/02/23	Hoja 2	



Departamento Ingeniería mecánica	Creado por Marc Batiste	Unidad dimensional mm	Escala 1:10		
Propietario Legal		Material Acero	Formato A3		
		Titulo Base Inferior Peana		Fecha edición 04/02/23	Hoja 1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

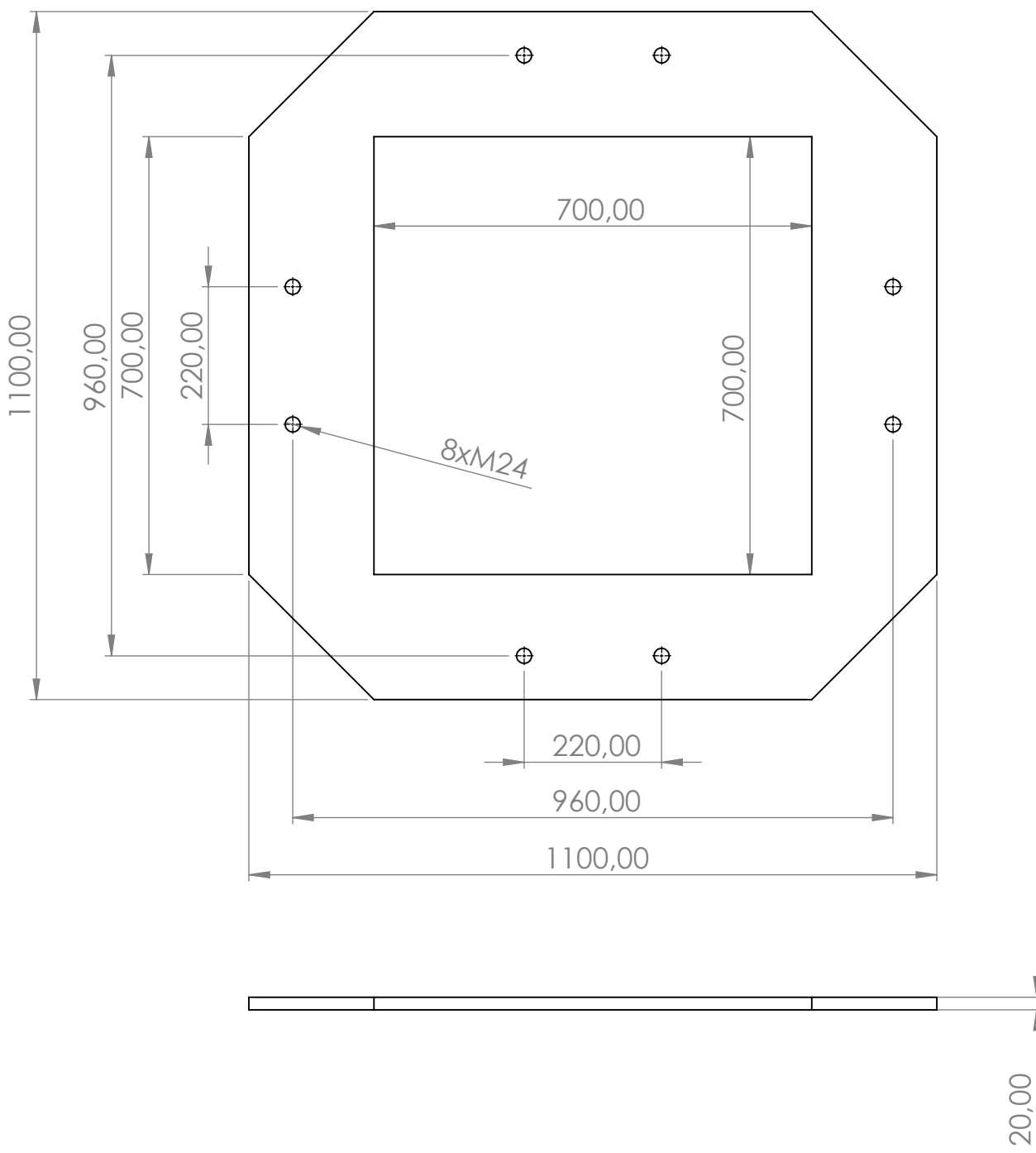
C

B

B

A

A



Departamento Ingeniería mecánica	Creado por Marc Batiste	Unidad dimensional mm	Escala 1:10	
--	----------------------------	--------------------------	----------------	--

<b>Propietario Legal</b> 	Material Acero	Formato A4	Estado del documento Original	
	Título <b>Base Superior Peana</b>		Fecha edición 04/02/23	Hoja 1

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

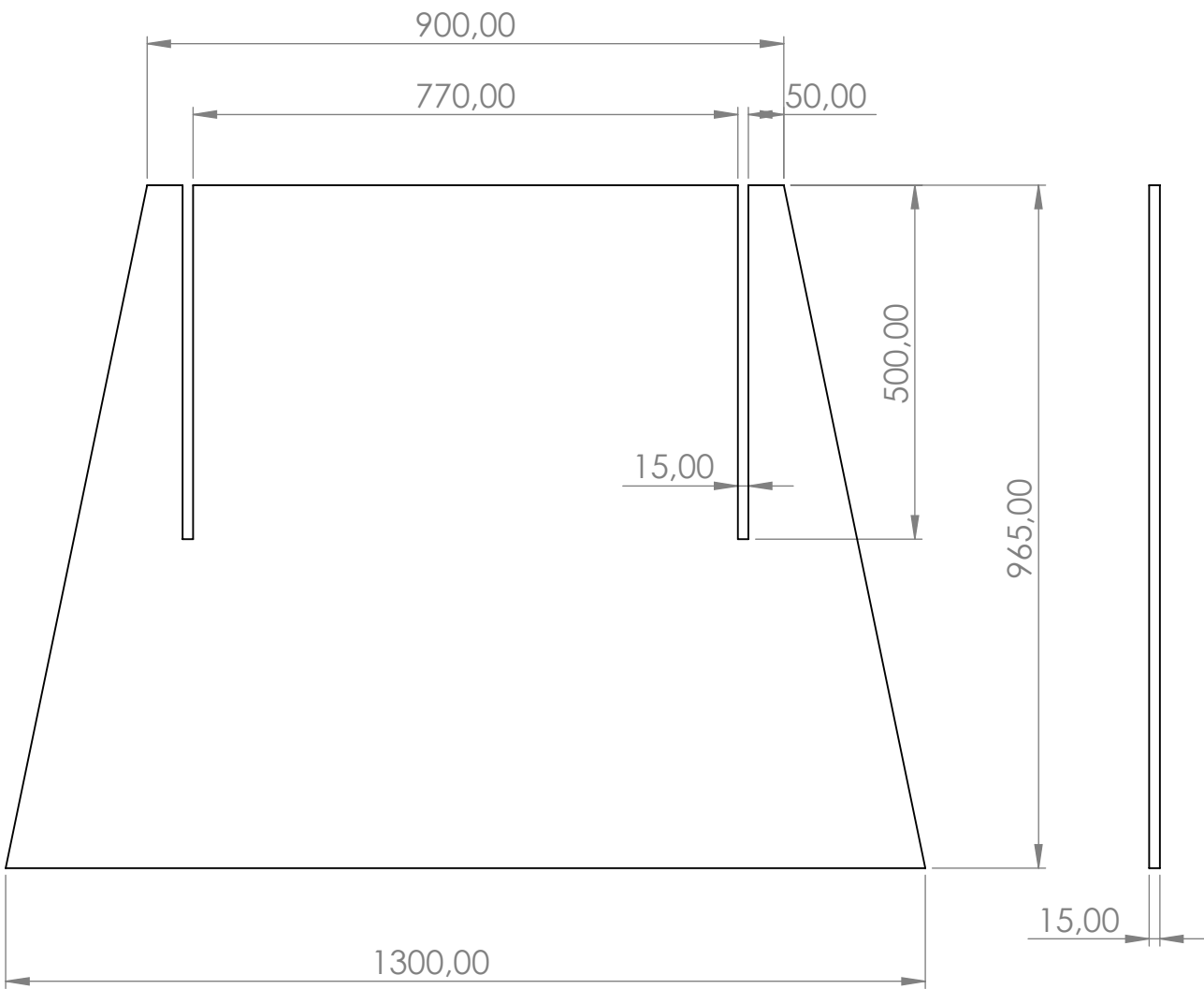
C

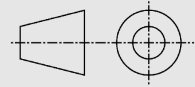
B


B

A

A



Departamento Ingeniería mecánica	Creado por Marc Batiste	Unidad dimensional mm	Escala 1:10	
-------------------------------------	----------------------------	--------------------------	----------------	---

<b>Propietario Legal</b> 	Material Acero	Formato A4	Estado del documento Original	
	Titulo Lateral 1 Peana		Fecha edición 04/02/23	Hoja 1



4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

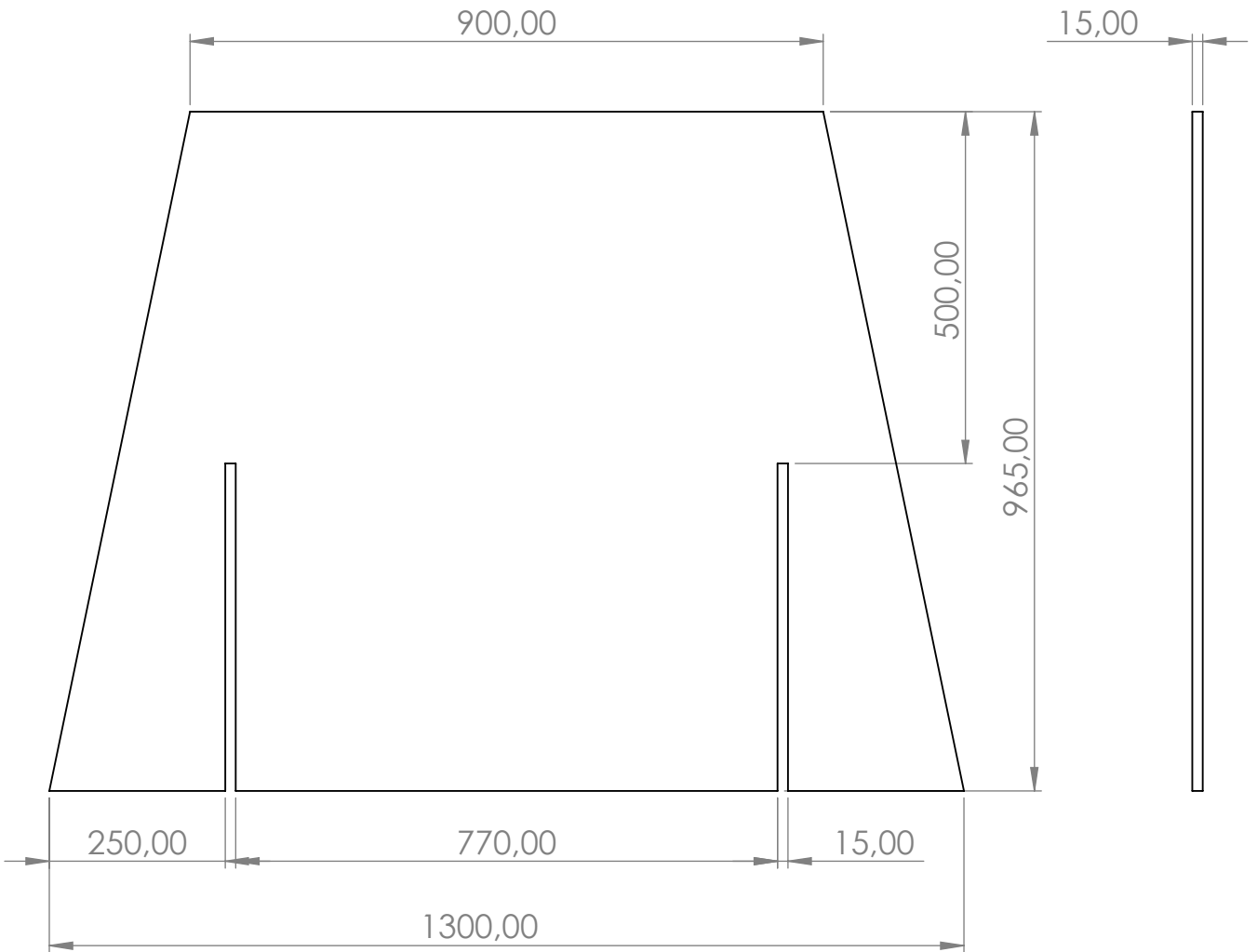
C

B

B

A

A



Departamento

Ingeniería  
mecánica

Creado por

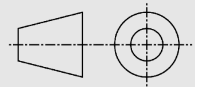
Marc Batiste

Unidad dimensional

mm

Escala

1:10



Propietario Legal



Material

Acero

Formato

A4

Estado del documento

Original

Titulo

Lateral 2 Peana

Fecha edición

03/02/23

Hoja

1

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

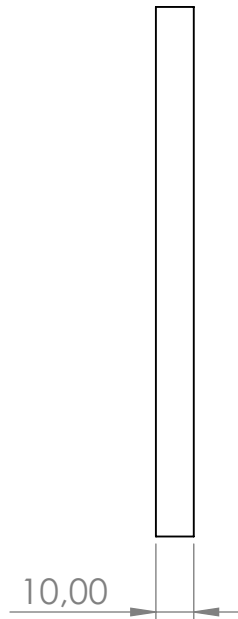
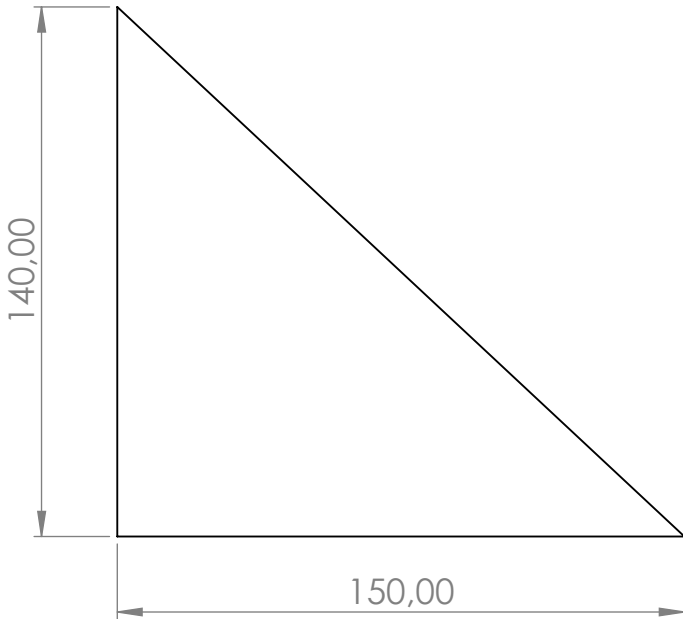
C

B

B

A

A



Departamento Ingeniería mecánica	Creado por Marc Batiste	Unidad dimensional mm	Escala 1:2	
-------------------------------------	----------------------------	--------------------------	---------------	--

<b>Propietario Legal</b> 	Material Acero	Formato A4	Estado del documento Original	
	Titulo Nervio Peana		Fecha edición 03/02/23	Hoja 1

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

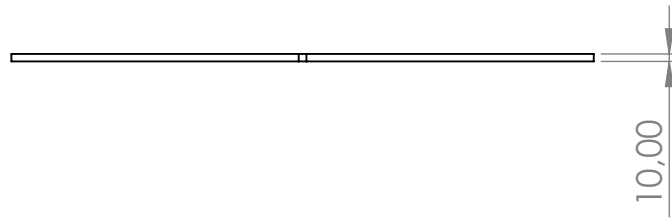
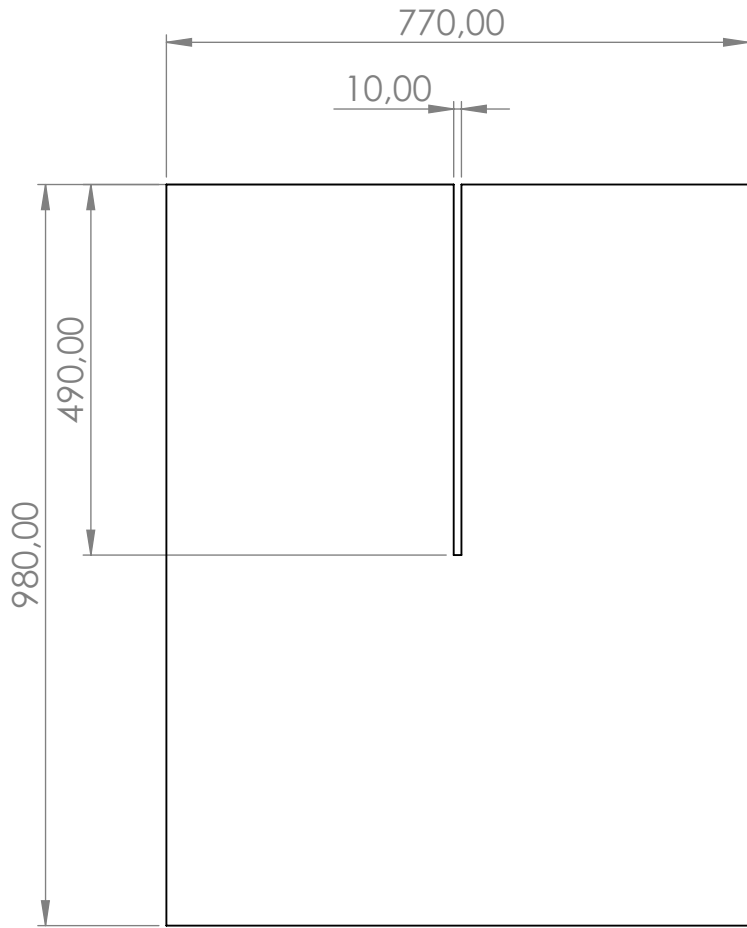
C

B

B

A

A



Departamento Ingeniería mecánica	Creado por Marc Batiste	Unidad dimensional mm	Escala 1:10	
-------------------------------------	----------------------------	--------------------------	----------------	--

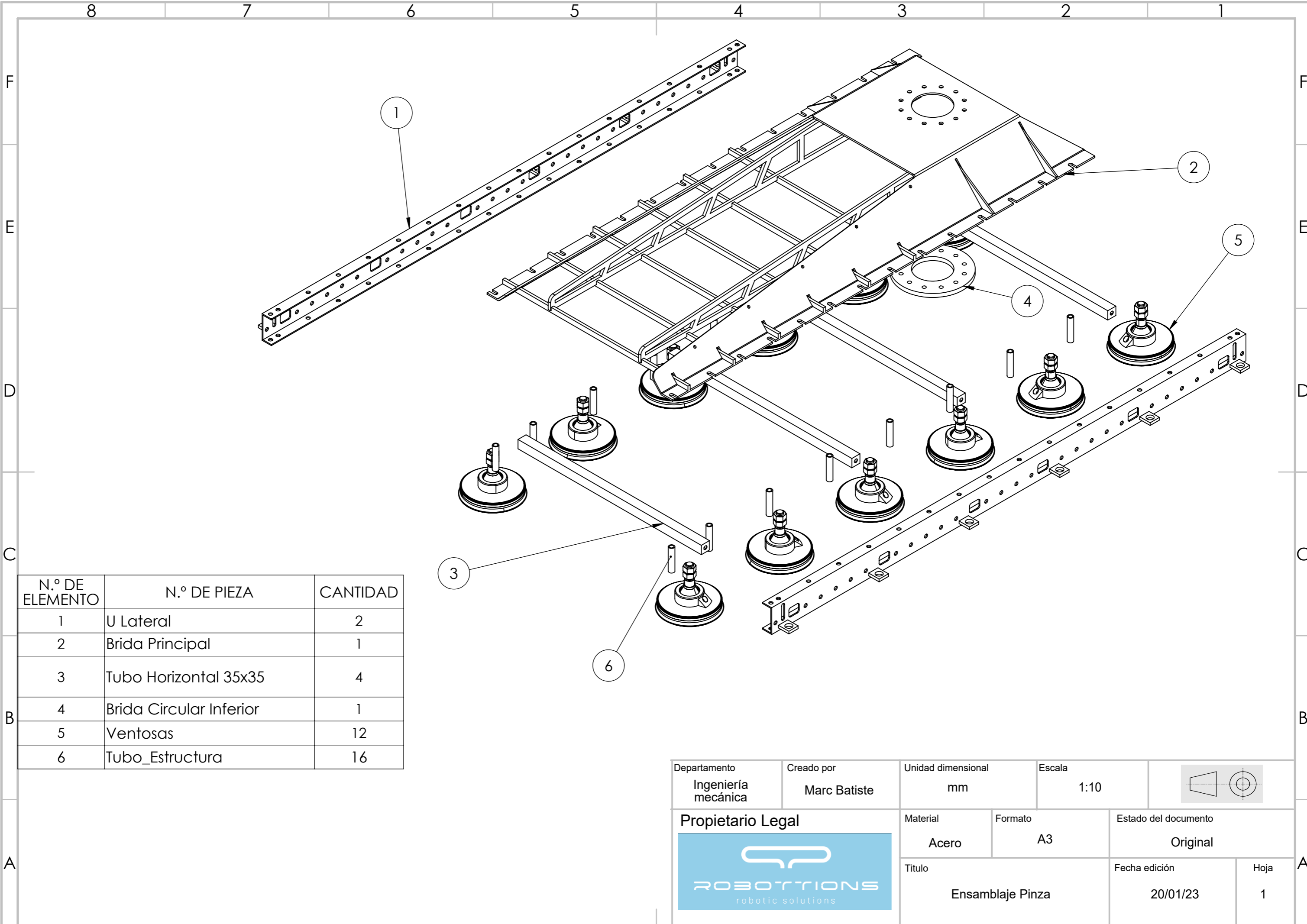
<b>Propietario Legal</b> 	Material Acero	Formato A4	Estado del documento Original	
	Título <b>Placa Interior Peana</b>		Fecha edición 03/02/23	Hoja 1

4

3

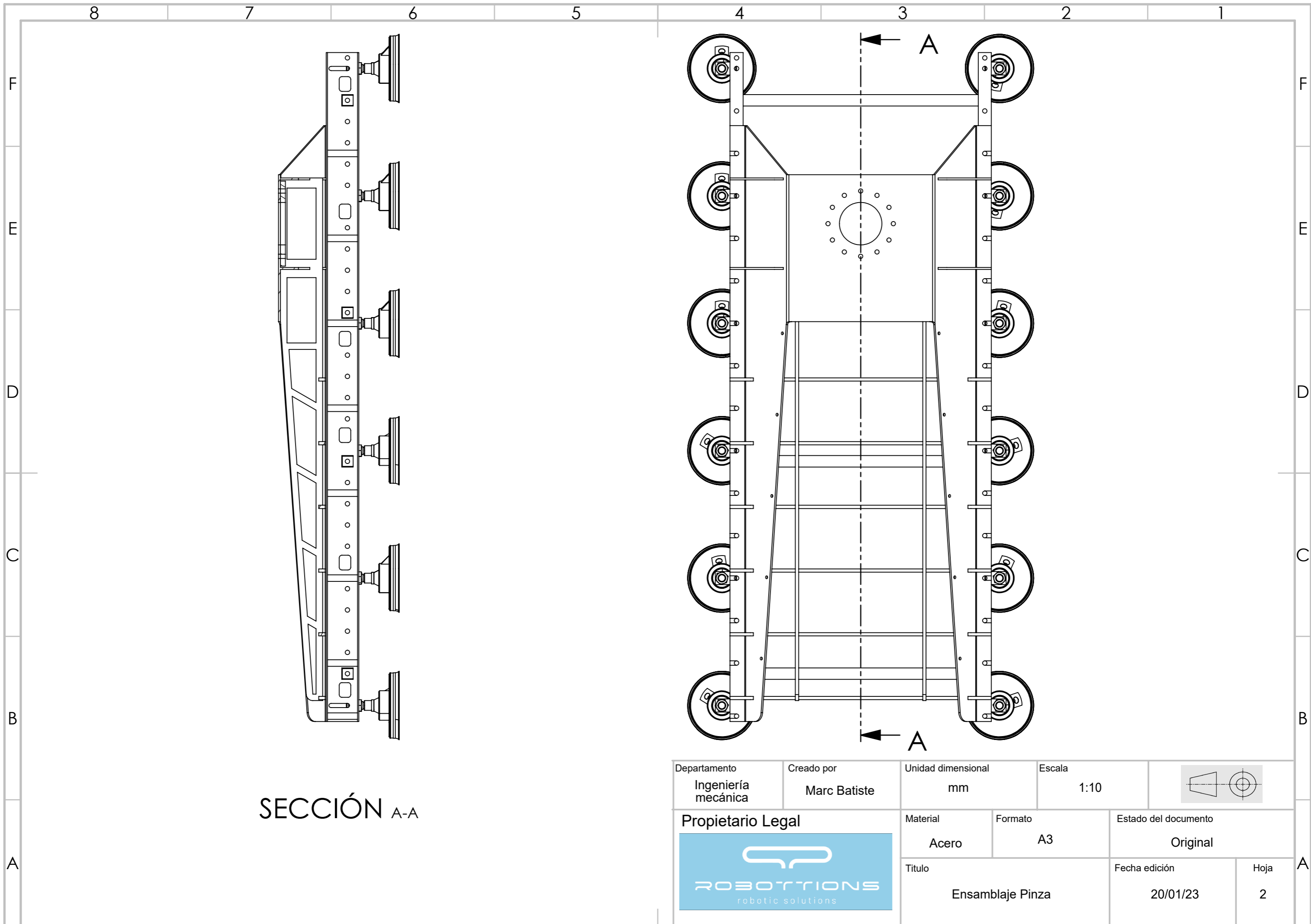
2

1



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	U Lateral	2
2	Brida Principal	1
3	Tubo Horizontal 35x35	4
4	Brida Circular Inferior	1
5	Ventosas	12
6	Tubo_Estructura	16

Departamento Ingeniería mecánica	Creado por Marc Batiste	Unidad dimensional mm	Escala 1:10		
<b>Propietario Legal</b> 		Material Acero	Formato A3		
Titulo Ensamblaje Pinza			Fecha edición 20/01/23	Hoja 1	



SECCIÓN A-A

Departamento Ingeniería mecánica	Creado por Marc Batiste	Unidad dimensional mm	Escala 1:10		
Propietario Legal 		Material Acero	Formato A3		
Titulo Ensamblaje Pinza			Fecha edición 20/01/23	Hoja 2	

4

3

2

1

F

F

E

E

A

A

D

D

C

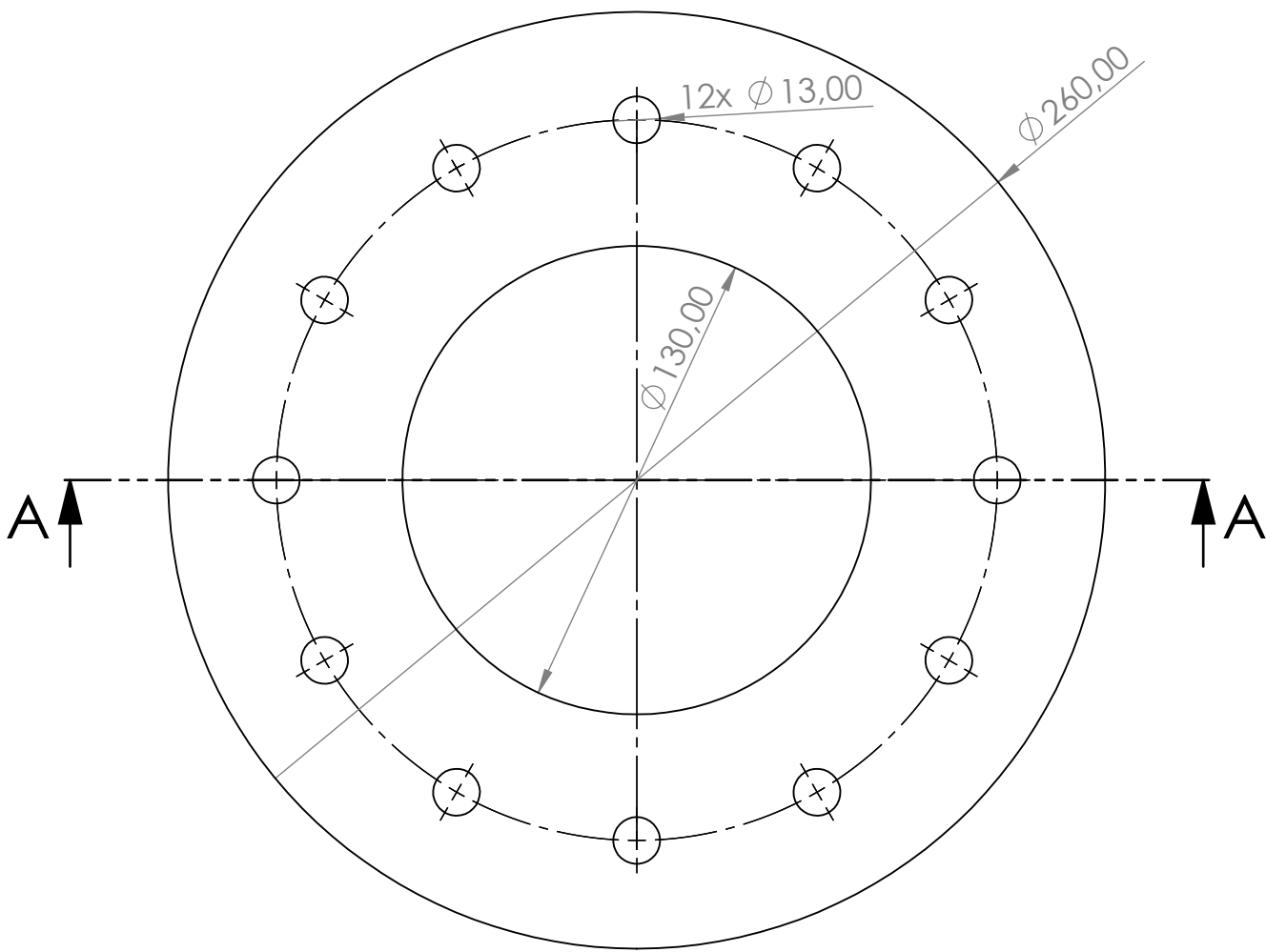
C

B

B

A

A



SECCIÓN A-A

Departamento Ingeniería mecánica	Creado por Marc Batiste	Unidad dimensional mm	Escala 1:2	
-------------------------------------	----------------------------	--------------------------	---------------	--

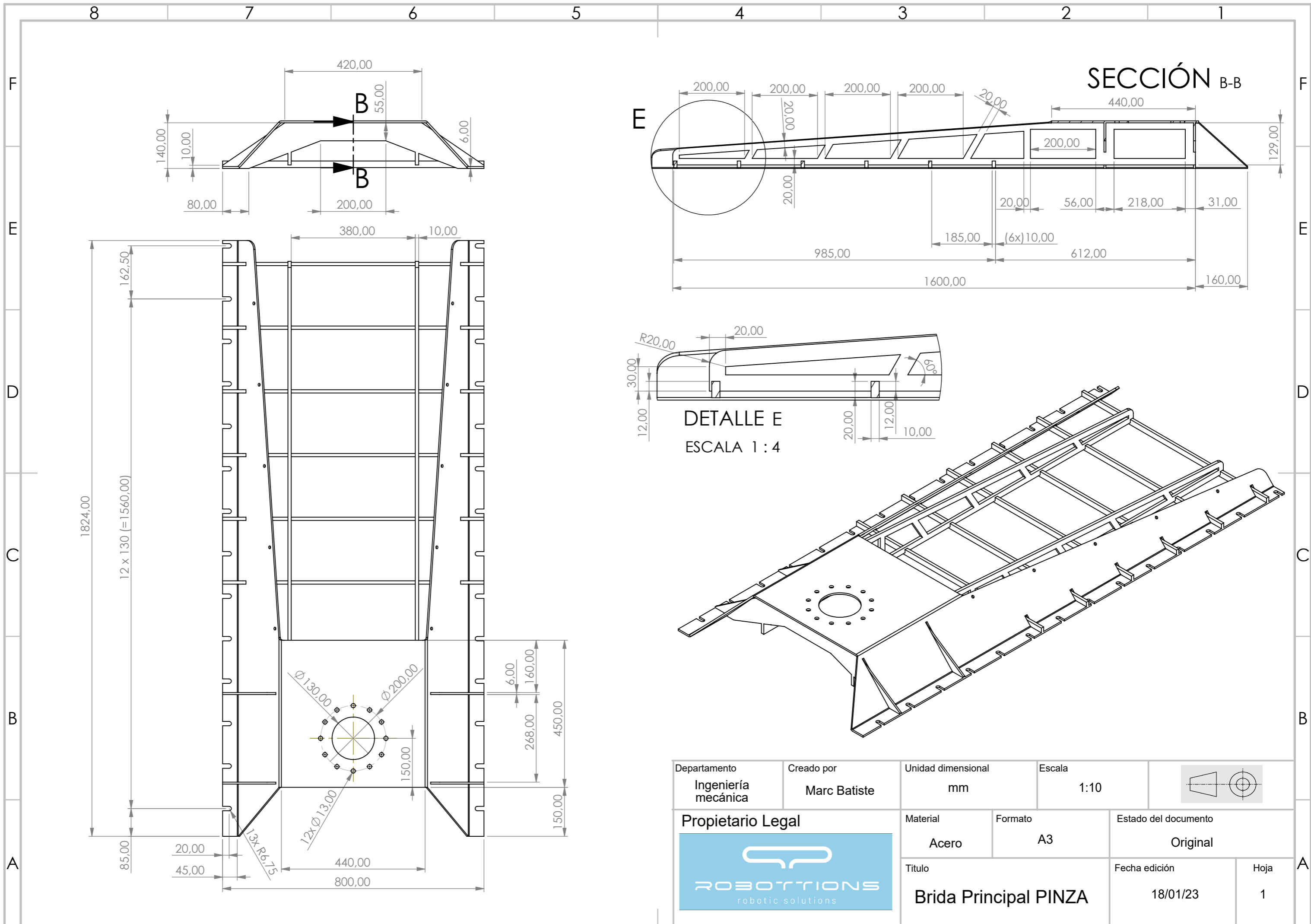
Propietario Legal 	Material Acero	Formato A4	Estado del documento Original	
	Título <b>Brida Circular Inferior</b>		Fecha edición 15/01/23	Hoja 1

4

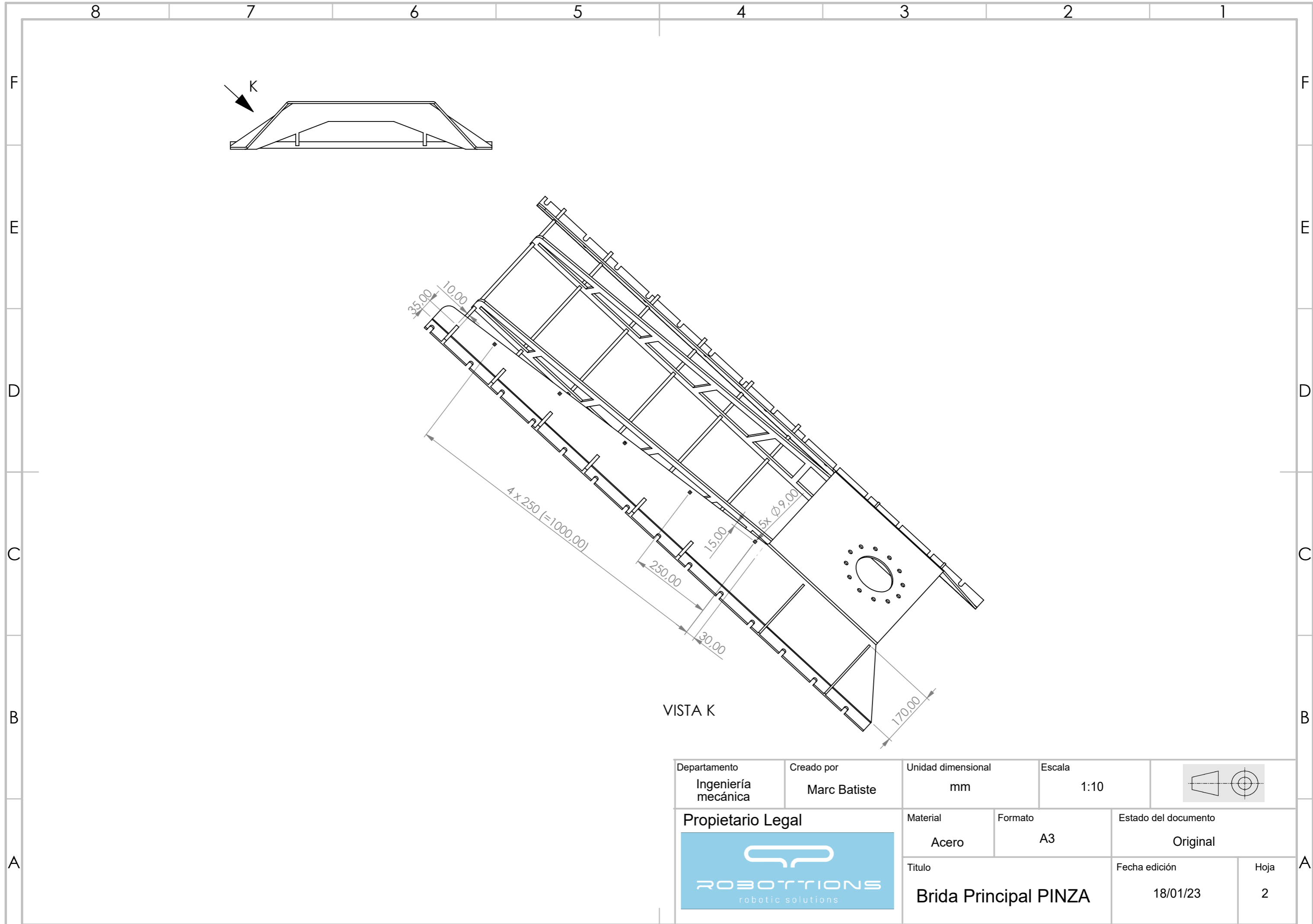
3

2

1



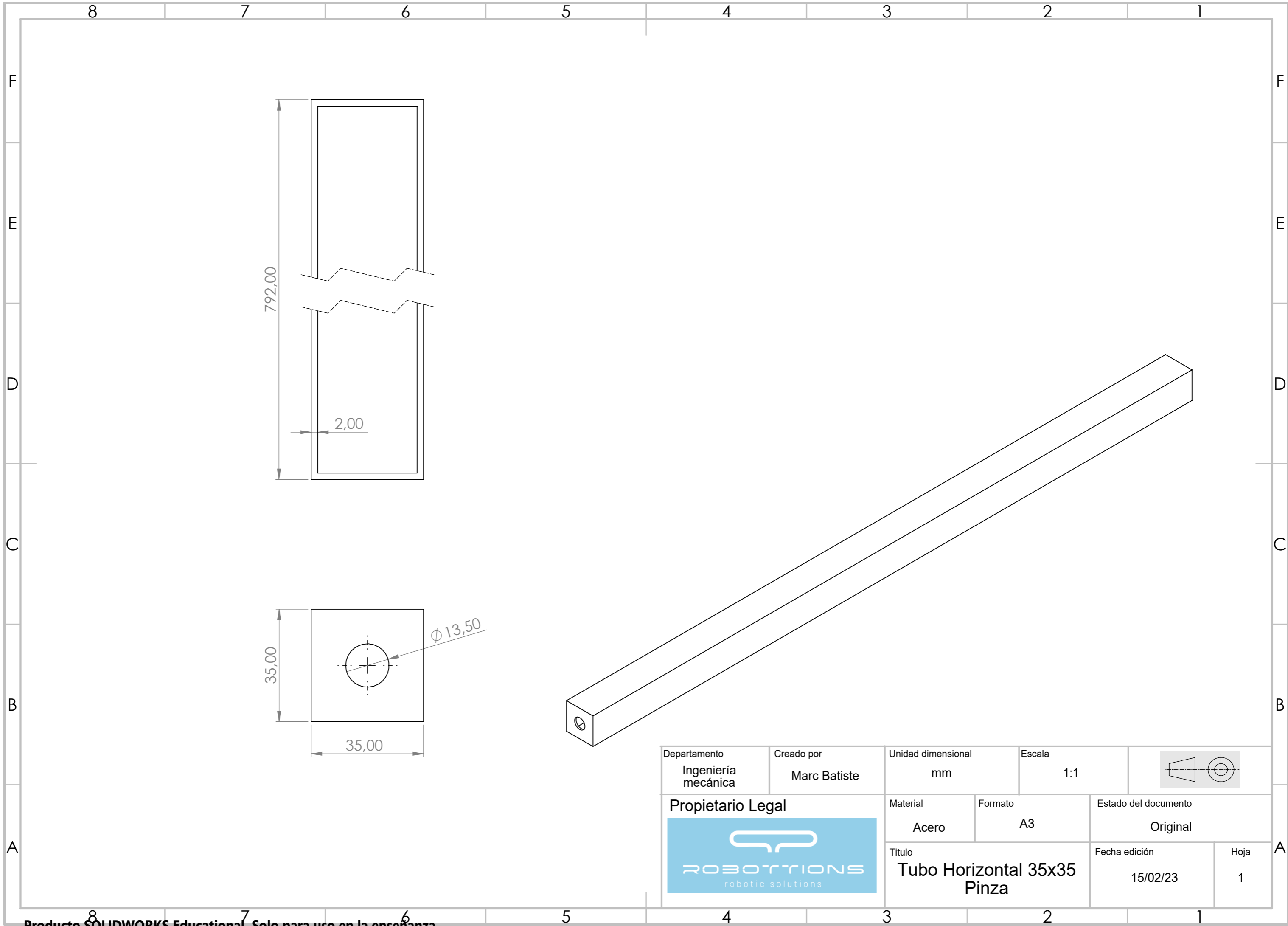
Departamento Ingeniería mecánica	Creado por Marc Batiste	Unidad dimensional mm	Escala 1:10		
Propietario Legal		Material Acero	Formato A3		
		Titulo Brida Principal PINZA		Fecha edición 18/01/23	Hoja 1



VISTA K

Departamento Ingeniería mecánica	Creado por Marc Batiste	Unidad dimensional mm	Escala 1:10		
Propietario Legal 		Material Acero	Formato A3		
Titulo Brida Principal PINZA			Fecha edición 18/01/23	Hoja 2	





Departamento Ingeniería mecánica	Creado por Marc Batiste	Unidad dimensional mm	Escala 1:1		
<b>Propietario Legal</b> 		Material Acero	Formato A3	Estado del documento Original	
		Título <b>Tubo Horizontal 35x35 Pinza</b>		Fecha edición 15/02/23	Hoja 1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

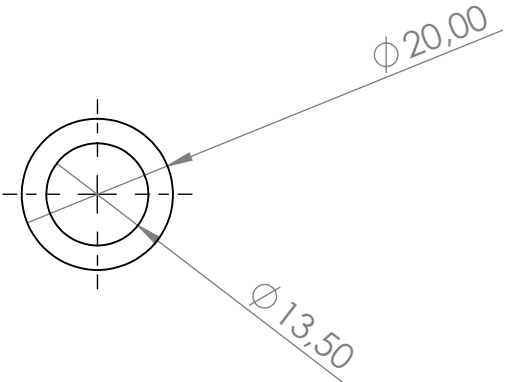
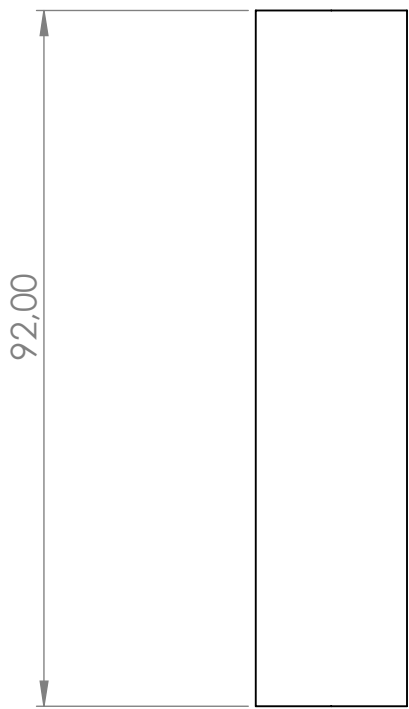
C

B

B

A

A



Departamento Ingeniería mecánica	Creado por Marc Batiste	Unidad dimensional mm	Escala 1:1	
--	----------------------------	--------------------------	---------------	--

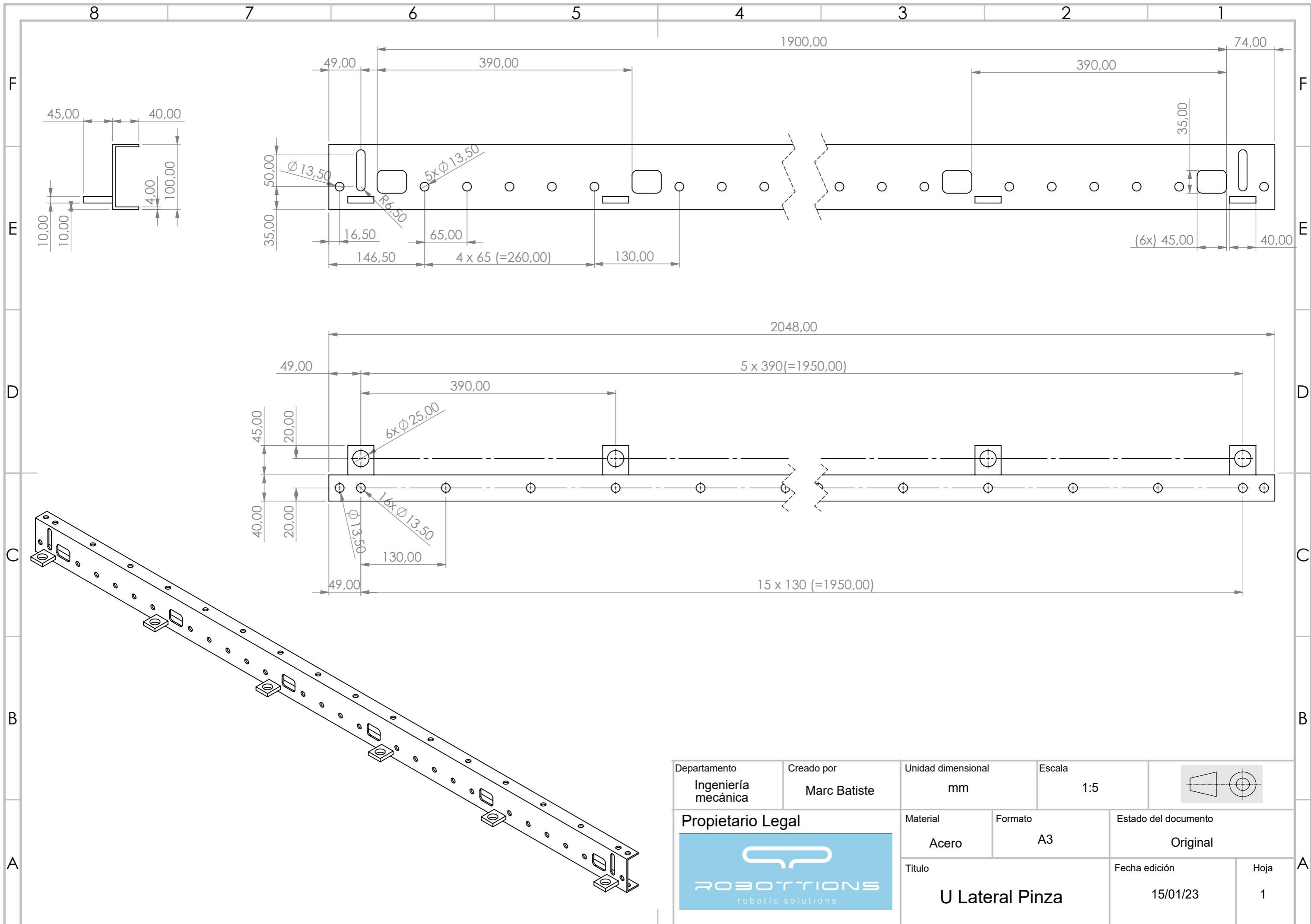
<b>Propietario Legal</b> 	Material Acero	Formato A4	Estado del documento Original	
	Titulo Tubo Estructura		Fecha edición 16/01/23	Hoja 1

4

3

2

1



Departamento Ingeniería mecánica	Creado por Marc Batiste	Unidad dimensional mm	Escala 1:5		
Propietario Legal 		Material Acero	Formato A3		
Titulo U Lateral Pinza			Fecha edición 15/01/23	Hoja 1	

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

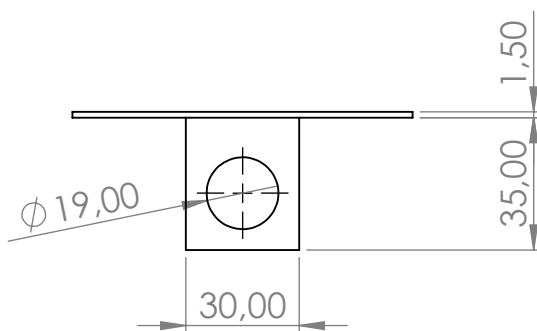
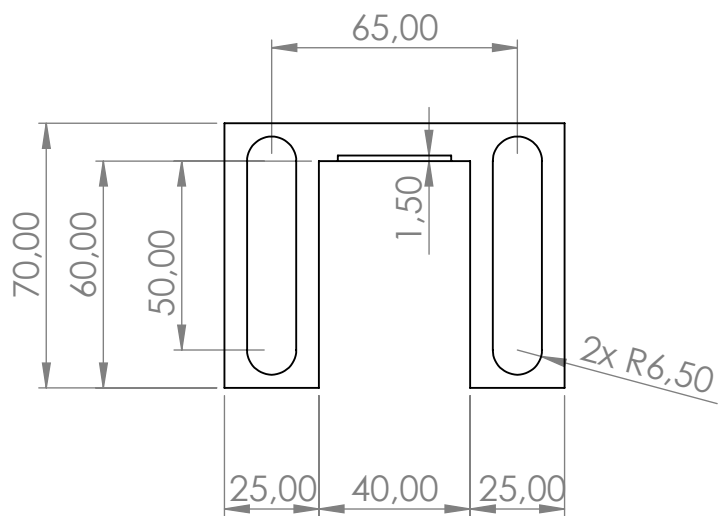
C

B

B

A

A

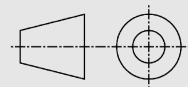


Departamento  
Ingeniería  
mecánica

Creado por  
Marc Batiste

Unidad dimensional  
mm

Escala  
1:2



Propietario Legal



Material  
Hierro  
Galvanizado

Formato  
A4

Estado del documento  
Original

Título  
**Soporte Sensores  
Ultrasonicos**

Fecha edición  
3/03/23

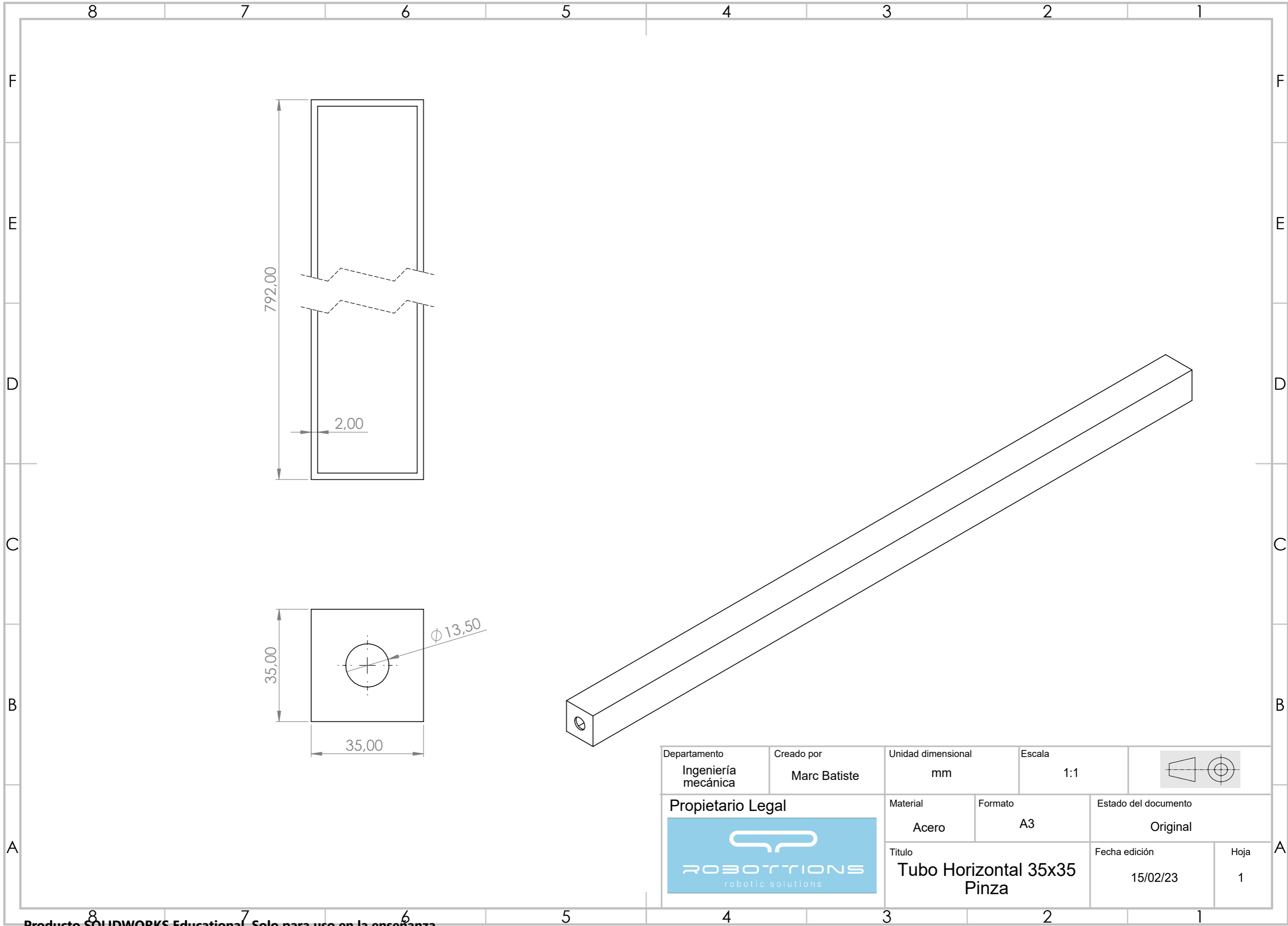
Hoja  
1

4

3

2

1



Departamento Ingeniería mecánica	Creado por Marc Batiste	Unidad dimensional mm	Escala 1:1		
<b>Propietario Legal</b> 		Material Acero	Formato A3		
<b>Título</b> <b>Tubo Horizontal 35x35 Pinza</b>			Fecha edición 15/02/23	Hoja 1	

# **IV. PRESUPUESTO FINAL**



En este apartado del proyecto se presenta el presupuesto detallado de los diversos conceptos y sus costes finales correspondientes para la implementación de la celda robótica. El presupuesto se subdivide en tres grupos según el tipo de costes.

## 1. Costes en componentes y materiales

Para llevar a cabo la construcción de esta celda, fue necesario adquirir una variedad de materiales y componentes, cuyos costos se detallan a continuación.

Elemento	Cantidad	(€/unidad)	Total
Brazo antropomórfico KUKA	1	25000€	25000€
Ventosas (VPDG160-C-CN)	12	320€	3840€
Componentes de vacío (Electroválvulas, calderines ...)	-	2000€	2000€
Sensores ultrasónicos (UB500- 18GM75-I-V15)	3	325€	975€
Sensores Inductivos	4	30€	120€
Vallado de seguridad	1	2500€	2500€
Barreras de protección optoelectrónica	2	700€	1400€
Botoneras y Baliza Visual	-	200€	200€
<b>Total</b>			<b>36035€</b>

*Tabla 7-Tabla costes componentes y materiales.*

\* Los elementos aportados por la empresa RPC no se computan en el coste. Estos elementos corresponden con: la Calibradora y la Pulidora



## 2. Costes de Piezas Fabricadas

En esta tabla se muestran las piezas encargadas a terceros para su fabricación y que han sido diseñadas por los ingenieros de la empresa Robottions

Pieza	Cantidad	(€/unidad)	Total
Pedestal del Robot	1	2830€	2830€
Pinza	1	890€	890€
Soporte para Sensores	3	10€	30€
Soporte para los elementos de Vacío	-	77€	77€
<b>Total</b>			<b>3827€</b>

*Tabla 8- Costes piezas fabricadas.*

## 3. Costes de Personal

En la tabla adjunta se detallan los costos del personal involucrado en los procesos de diseño, montaje y programación de la celda robótica.

Concepto	Precio/Hora	N.º horas	Total
Ingeniería	20€	400	8000€
Programación	18€	160	2880€
Instalación	12€	120	1440€
<b>Total</b>			<b>10880€</b>

*Tabla 9-Costes personal.*

## 4. Costes Totales

---

Una vez desglosados los costes directos relacionados con la implantación y diseño de la celda automatizada, se realiza el cómputo global de todos los costes, estimando que los costes indirectos resultan un 15% de los costes directos.

Estos costes indirectos incluyen los gastos que se generan y que no puedan atribuirse directamente a la elaboración del proyecto como pueden ser los salarios del personal administrativo, pagos de servicios de energía eléctrica, la renta del local entre muchos otros gastos similares.

### 4.1. Total de Costes Directos

---

Tipos de coste	Coste
Costes en componentes y materiales	36035€
Costes de Piezas Fabricadas	3827€
Costes de Personal	10880€
<b>Total</b>	<b>50742€</b>

1. Tabla 10-Costes directos.

### 4.2. Total de Costes Indirectos

---

Con la siguiente ecuación se calcula el total de los Costes indirectos (CI), estimando

$$CI = 0.15 \cdot CD = 0.15 \cdot 50742 = 7611,3€$$

Finalmente el coste total se obtiene al sumar los costos indirectos y los costos directos.

<b>Tipos de coste</b>	<b>Coste</b>
Costes Directos	50742€
Costes Indirectos	7611,3€
<b>Coste Total</b>	<b>58353,3€</b>

*Tabla 11-Costes totales.*

# **V. PLIEGO DE CONDICIONES**



## 1. Alcance y contenido del proyecto

---

El pliego de condiciones que se incluye a continuación comprende todas las especificaciones técnicas y de ejecución de aplicación en este proyecto.

También se recogen, el conjunto de normas, especificaciones, y requisitos que se deben respetar en la ejecución del proyecto.

Además, se establecerán las normativas que debe cumplir la maquinaria instalada en la línea de producción, así como las condiciones de puesta en obra, fabricación y toda la normativa legal que sea necesaria para su adecuada ejecución.

En el pliego de condiciones técnicas se detallarán, más especialmente que aquellos aspectos que no estén ampliamente definidos en otros documentos del proyecto, y se profundizará menos en aquellos que estén bien definidos en los detalles constructivos, planos, memoria y presupuesto

En resumen, el alcance del proyecto se extiende a la ejecución de todas las prescripciones técnicas y trabajos que forman parte del mismo, y el pliego de condiciones define las obligaciones para su desarrollo y establece las prescripciones técnicas y generales que rigen la ejecución del proyecto.

## 2. Normas aplicables

---

Además de las condiciones establecidas en el pliego de especificaciones, es fundamental tener en cuenta las normativas aplicables al diseño de la celda robótica, las cuales deben cumplir con el nivel de calidad exigido por el ingeniero proyectista.

Entre estas normativas, es importante considerar la normativa relativa al sistema de visión artificial, que incluye medidas de seguridad y salud, de acuerdo con lo establecido en el Real Decreto 1215/1997.

Cumplir con estas normativas garantiza la seguridad y salud en la operación de la celda robótica, así como la conformidad con los estándares establecidos en el diseño de sistemas de visión artificial.

Algunas de las normas relevantes son:

- UNE-EN ISO 10218-1:2011 y UNE-EN ISO 10218-2:2011, que establecen los requisitos de seguridad para los robots industriales, incluyendo aspectos como el diseño seguro de los robots y sistemas de integración.
- ISO/TR 13309:1995 y ISO 9283:1998, que proporcionan directrices y métodos de ensayo para la evaluación del desempeño de los robots industriales.
- ISO 9409-1:2004 e ISO 9409-2:2002, que establecen las interfaces mecánicas para las placas y ejes de los robots industriales.
- ISO 9787:2013, que define los sistemas de coordenadas y nomenclaturas de movimiento utilizadas en los robots y dispositivos robóticos.
- ISO 13482:2014, que establece los requisitos de seguridad para los robots destinados a la asistencia personal.
- ISO 8373:2012, que define el vocabulario relacionado con los robots y dispositivos robóticos.
- ISO 14539:2000, que establece los requisitos para el transporte de objetos con dispositivos de agarre tipo empuñadura en robots manipuladores industriales.

### **3. Equipos para la ejecución de los trabajos**

---

Es importante destacar que el personal encargado de la ejecución de la celda robótica deberá utilizar exclusivamente los materiales y equipos especificados en el proyecto, asegurándose de que cumplan con los estándares de calidad establecidos.

Esto incluye no solo los materiales de construcción de la celda robótica, sino también los sensores, controladores y otros componentes necesarios para su funcionamiento.

Es fundamental que estos materiales y equipos sean de buena calidad, ya que su rendimiento y durabilidad impactarán en el funcionamiento y desempeño de la celda robótica.

Además, el personal de ejecución debe seguir las prácticas recomendadas y procedimientos de seguridad adecuados para garantizar un montaje seguro y eficiente

de la celda robótica. Asimismo, es importante que se realice un seguimiento y control rigurosos de los materiales y equipos utilizados durante el proceso de montaje para asegurar su conformidad con los estándares de calidad y seguridad establecidos.

#### **4. Otras consideraciones por cumplir por los materiales y equipos**

---

Es fundamental que los materiales y equipos utilizados en el proyecto cumplan con todas las prescripciones establecidas en las normativas y reglamentos vigentes aplicables. En caso de que se haya especificado una marca, tipo o modelo particular en el proyecto, se permite la sustitución por otro material o equipo que cumpla con los mismos estándares de calidad.

Sin embargo, cualquier cambio de material o equipo debe asegurar que posean características similares o muy similares, y contar siempre con la aprobación previa del ingeniero proyectista. Es imprescindible obtener la aprobación del ingeniero proyectista antes de realizar cualquier sustitución para garantizar que los nuevos materiales o equipos cumplan con los requisitos de calidad y seguridad establecidos en las normativas y reglamentos, asegurando así el correcto funcionamiento y seguridad de la celda robótica.

Esto garantiza que la celda robótica sea construida con materiales y equipos adecuados que cumplan con los estándares establecidos y asegure su funcionamiento y seguridad óptimos.

#### **5. Objeto de los planos y especificaciones**

---

El propósito de los planos y especificaciones es proporcionar al desarrollador una idea detallada de las dimensiones, calidades y forma de la celda robótica, así como de la instalación que se debe llevar a cabo, incluyendo la disposición relativa en el conjunto de la instalación, la mano de obra requerida, los equipos y medios de montaje necesarios para llevar a cabo el proyecto, a menos que el ingeniero proyectista indique lo contrario.



Es responsabilidad del desarrollador llevar a cabo todos los trabajos indicados en los planos y descritos en las especificaciones o pliegos de condiciones de manera aceptable y consistente, y al precio ofertado. Esto incluye todos los trabajos considerados necesarios para completar el montaje de la instalación de acuerdo con los estándares establecidos en los planos y especificaciones.

El desarrollador debe seguir las indicaciones y directrices proporcionadas en los planos y especificaciones, a menos que se indique lo contrario por parte del ingeniero proyectista. Es fundamental asegurarse de que los trabajos sean ejecutados de manera precisa y cumplan con los requisitos establecidos en los planos y especificaciones, garantizando así un montaje exitoso de la instalación robótica.

La atención cuidadosa a los detalles y el cumplimiento estricto de las indicaciones del proyecto son cruciales para asegurar la calidad y el cumplimiento de los estándares establecidos en los planos y especificaciones, y para garantizar un resultado satisfactorio en la instalación final.

## **6. Contradicciones u omisiones en la documentación**

---

Es importante destacar que cualquier aspecto no contemplado en los planos pero establecido en el pliego de condiciones técnicas, o viceversa, debe ser ejecutado como si estuviera incluido en ambos documentos. En caso contrario, prevalecerá lo estipulado en el pliego de condiciones técnicas. Sin embargo, cualquier aclaración o instrucción proporcionada por el ingeniero proyectista prevalecerá sobre lo establecido en ambos documentos.

Además, es responsabilidad del desarrollador llevar a cabo cualquier detalle omitido o erróneamente descrito en los planos o pliego de condiciones técnicas, siempre que sea esencial para la finalización exitosa del proyecto. Estos detalles omitidos o erróneos deben ser ejecutados por el desarrollador como si hubieran sido completamente especificados en los planos y pliegos de condiciones técnicas del proyecto. Por lo tanto, el desarrollador no está eximido de su obligación de ejecutar todos los detalles necesarios para el cumplimiento del proyecto, incluso si no están claramente especificados en los documentos, a menos que se indique lo contrario por parte del ingeniero proyectista.

## **7. Condiciones generales de la ejecución de los trabajos**

---

Todos los trabajos se llevarán a cabo estrictamente de acuerdo con la documentación presentada en el presente proyecto, incluyendo los planos y mediciones. La forma y dimensiones de las diferentes partes que componen el proyecto, así como los materiales y equipos a utilizar, se ajustarán a lo detallado en dichos documentos.

El desarrollador será el único responsable de la ejecución de los trabajos subcontratados y de cualquier defecto o fallo que resulte de su incorrecta realización o del uso de materiales no autorizados expresamente por el ingeniero proyectista. En caso de que se detecten faltas o defectos, el ingeniero proyectista podrá ordenar el desmontaje y reconstrucción de dichas partes de acuerdo con las especificaciones requeridas.

El desarrollador deberá cumplir estrictamente con los tiempos y dimensiones establecidos en los planos o especificaciones del proyecto, y se compromete a atenerse a los mismos en la ejecución de los trabajos."

## **8. Variaciones en las condiciones generales de la ejecución de los trabajos**

---

Durante la ejecución de los trabajos, es posible que se presenten modificaciones oportunas que solo podrán ser autorizadas por el ingeniero proyectista. Dichas modificaciones se llevarán a cabo únicamente después de haber sido previamente aprobadas y de acuerdo con las órdenes e instrucciones entregadas por el ingeniero proyectista, siempre y cuando no impliquen un aumento en los presupuestos aprobados.

Para cualquier cambio o modificación del proyecto que afecte el contrato, es necesario que el ingeniero proyectista redacte una propuesta debidamente justificada y descrita.

En caso de que se requiera la utilización de nuevos materiales, equipos o obras que no estén contemplados en el presupuesto base, el ingeniero proyectista deberá presentar propuestas escritas justificadas y adecuadamente descritas.

Es importante tener en cuenta que solo las modificaciones aprobadas por el ingeniero proyectista y registradas por escrito tendrán validez y podrán ser ejecutadas durante la ejecución de los trabajos. Cualquier modificación realizada sin la debida autorización del ingeniero proyectista estará sujeta a no ser reconocida y aceptada en el marco del contrato. En cualquier caso, se deben cumplir con los plazos y las especificaciones establecidas en el proyecto y en los documentos correspondientes.

## **9. Pruebas de funcionamiento**

---

Una vez finalizada la instalación del sistema, se llevará a cabo una prueba exhaustiva para verificar que todos los elementos y sistemas se encuentren en conformidad con las especificaciones establecidas.