



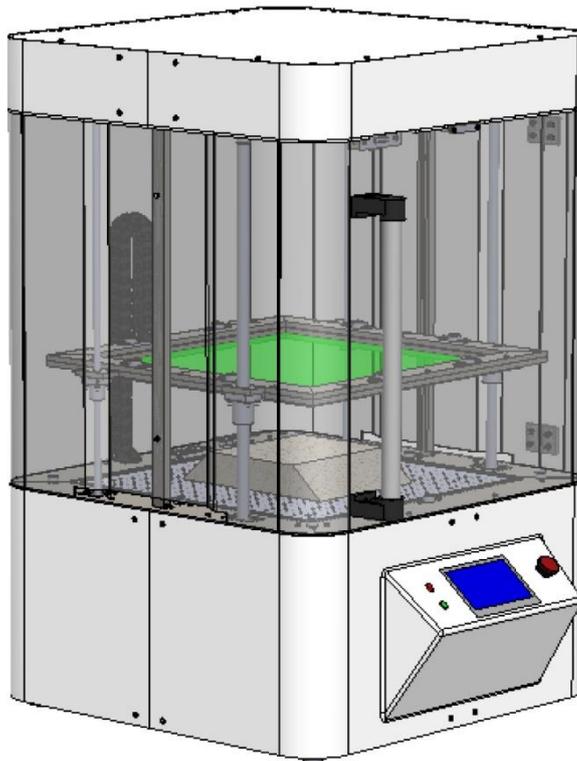
UNIVERSITAT
JAUME I

UNIVERSITAT JAUME I



Máster Universitario en Diseño y Fabricación

MÁQUINA DE TERMOCONFORMADO



TRABAJO FIN DE MÁSTER

AUTOR/A:

Ion Solonari

TUTOR/A:

Dr. Pedro Rosado Castellano

Castellón, Octubre 2019

Índice General.

MEMORIA.....	7
ANEXOS	127
PLIEGO DE CONDICIONES.....	191
PRESUPUESTO	203
PLANOS.....	223

Memoria.

Índice Memoria.

1. Introducción.	11
1.1 Antecedentes.	11
1.2 Justificación y objetivos.	11
1.3 Alcance.	11
2. El termoconformado.	13
2.1 Partes de una máquina de termoconformado simple.	14
2.2 Partes de una cadena de termoconformado y envasado.	14
2.3 Productos fabricados por termoconformado.	15
2.4 Variantes del proceso de termoconformado.	15
2.4.1 Termoconformado en una sola etapa.	15
2.4.2 Termoconformado en más de una etapa.	16
3. Estudio de mercado.	20
3.1 Productos existentes en el mercado.	20
3.2 Patentes.	22
4. Diseño Conceptual	25
4.1 Análisis funcional.	25
4.2 Requerimientos.	26
4.3 Alternativas.	26
4.4 Análisis de soluciones.	28
5. Descripción detallada de la máquina.	32
5.1 Conjuntos principales.	32
5.2 Subconjuntos principales.	43
6. Funcionamiento de la máquina.	54
6.1 Funcionamiento normal.	54
6.2 Parada de emergencia.	58
6.3 Funcionamiento anormal.	59
7. Selección de materiales.	60
8. Selección de los procesos de fabricación y hojas de ruta.	64
9. Esquema eléctrico de la máquina.	72
10. Graficets de control.	80
11. Seguridad de la máquina.	89
11.1 Evaluación de riesgos.	89
11.2 Definición del sistema de seguridad de la máquina.	90
12. Ergonomía.	97

13. Componentes.....	103
13.1 Componentes comerciales eléctricos.....	103
13.2 Componentes comerciales no eléctricos.....	111
14. Viabilidad económica.....	118
15. Conclusiones.....	120
16. Bibliografía.....	122
16.1 Normativa aplicable.....	122
16.2 Material didáctico.....	123
16.3 Enlaces.....	124

1. Introducción.

1.1 Antecedentes.

El termoconformado es uno de los principales procesos de fabricación de polímeros existentes hoy en día. El método es utilizado para la fabricación de objetos tan simples como unos envases de repostería y otros mucho más complejos como los paneles de las puertas de los coches, bañeras e incluso embarcaciones.

El inicio de la técnica de termoconformado tal y como la conocemos hoy en día, se dio con el desarrollo de los materiales termoplásticos durante la segunda Guerra Mundial, aunque fueron los años de postguerra los que verdaderamente presenciaron un gran crecimiento de esta técnica hasta niveles nunca antes vistos. Fue entonces cuando un rápido desarrollo de equipos y maquinarias empezó a ser necesario para poder hacer frente a las nuevas demandas del mercado.

Desde el día en que surgió la técnica, que ha estado cosechando adeptos y fanáticos durante todos estos años, hasta el presente, esta ha evolucionado de forma constante dejando atrás la simple máquina de termoconformado para convertirla en algo mucho más complejo y productivo, donde ya no se dispone de una única estación de termoconformado, sino que cadenas completas con estación de calentado, termoconformado, troquelado y apilamiento del producto ya finalizado.

1.2 Justificación y objetivos.

Se ha observado que en la actualidad existen una gran cantidad de tipologías de máquinas de termoconformado. Algunas funcionan con vacío o presión, otras en cambio con molde y contramolde. Algunas con preestirado por aire, otras por preestirado con macho y otras directamente sin preestirado. También se ha visto que existen máquinas muy complejas completamente automatizadas que forman parte de grandes cadenas productoras industriales. Pero, en ningún momento se ha observado la existencia de una máquina de termoconformado con cierto grado de automatización orientada a la utilización en un ámbito no industrial y con capacidad de producción reducida.

Por esto, el presente proyecto tiene como objetivo dar un paso más en todo el proceso evolutivo vivido en el ámbito del termoconformado. Concretamente, se pretende diseñar una máquina de termoconformado automatizada para aquellos apasionados del proceso que deseen hacer uso de ella en un entorno casero, donde el usuario únicamente tendrá que depositar la lámina a termoconformar y el molde y, después, configurar el programa de termoconformado seleccionando el material y espesor de la lámina.

1.3 Alcance.

Se desea realizar un proyecto completo capaz de dar lugar a un producto final que pueda ser utilizado para su fin. Para conseguir el objetivo planteado, el desarrollo del proyecto general pasará o, deberá pasar, por distintas fases como:

- Estudio del proceso de termoconformado, así como las variantes del mismo.
- Definición de las funciones generales de la máquina.
- Estudio de los fabricantes y productos en el mercado.
- Estudio de las patentes ya existentes en el mercado.
- Estudio de las normas a aplicar en el desarrollo del proyecto y producto.

- Diseño conceptual y diseños alternativos.
- Evaluación y ponderación de las alternativas.
- Selección y desarrollo del concepto elegido.
- Desarrollo detallado de la solución definitiva.
- Estudio ergonómico.
- Selección de materiales y procesos de fabricación.
- Cálculos estructurales.
- Simulaciones funcionales.
- Elaboración del esquema eléctrico.
- Elaboración del esquema de control de la máquina.
- Planos finales
- Pliego de condiciones.
- Declaración de conformidad para el mercado CE.
- Cálculo de los tiempos de ensamblaje y fabricación.
- Costes de los componentes y operarios en el proceso de fabricación.
- Coste total proyecto, previsión de ventas, coste unitario y P.V.P

2. El termoconformado.

Se trata de un proceso de fabricación orientado a los materiales plásticos. El procedimiento es muy sencillo. Se dispone de una lámina de dimensiones y grosor determinados que se calienta hasta la temperatura de reblandecimiento o transición vítrea del material. Una vez calentada la lámina esta se coloca sobre un molde con la forma que se desea reproducir y se realiza un vacío haciendo que el plástico se deforme y tome la forma de dicho molde. Una vez fría la pieza, se extrae, se recorta el material sobrante y se obtiene una pieza acabada.

Por tanto, se pueden definir las tres etapas generales del proceso de fabricación por Termoconformado:

- Calentamiento de la lámina/semielaborado.
- Moldeo de la lámina/semielaborado.
- Enfriamiento de la lámina/semielaborado.

Algunas de las ventajas de este proceso de fabricación son:

- Coste de maquinaria y tecnología reducido.
- Rentable incluso en producciones reducidas.
- Posibilidad de sustituir el proceso de inyección de plásticos para cierto tipo de piezas.
- Moldes económicos.
- Tiempo de ciclo reducido.
- Proceso adecuado para la fabricación de prototipos.

Se ilustra a continuación de una forma resumida el proceso de fabricación por termoconformado (figura 1).

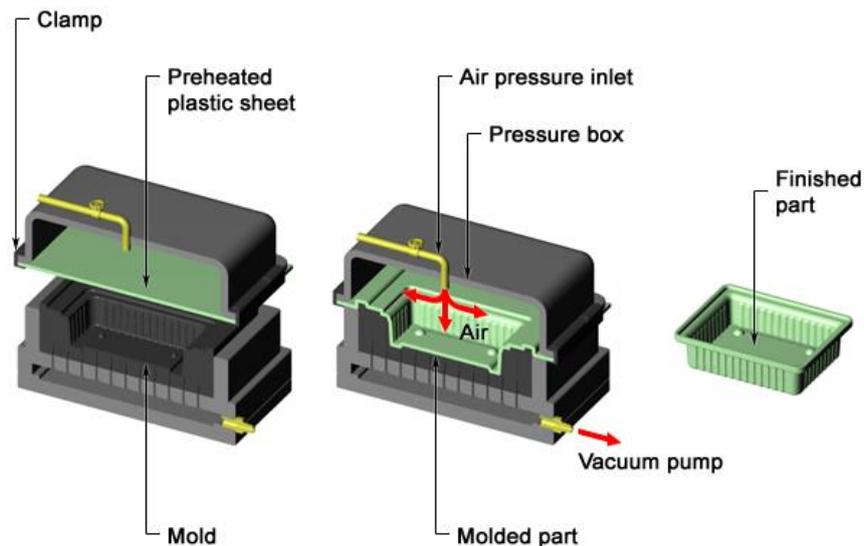


Figura 1: proceso de termoconformado.

2.1 Partes de una máquina de termoconformado simple.

Se muestran a continuación las partes más básicas de una máquina de Termoconformado (figura 2).

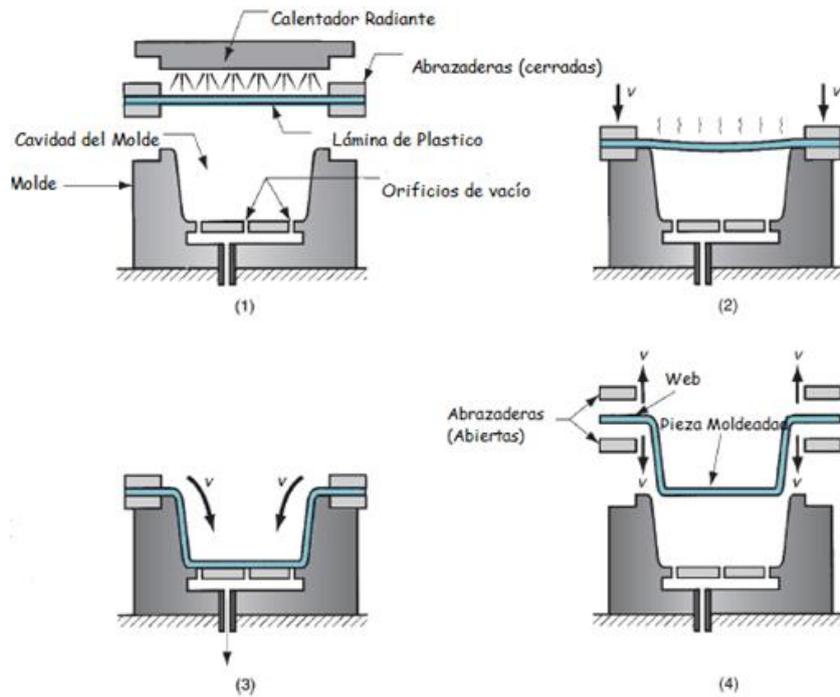


Figura 2: partes de una máquina de termoconformado.

2.2 Partes de una cadena de termoconformado y envasado.

Se muestran a continuación (figura 3), las partes que forman una cadena completa de termoconformado.

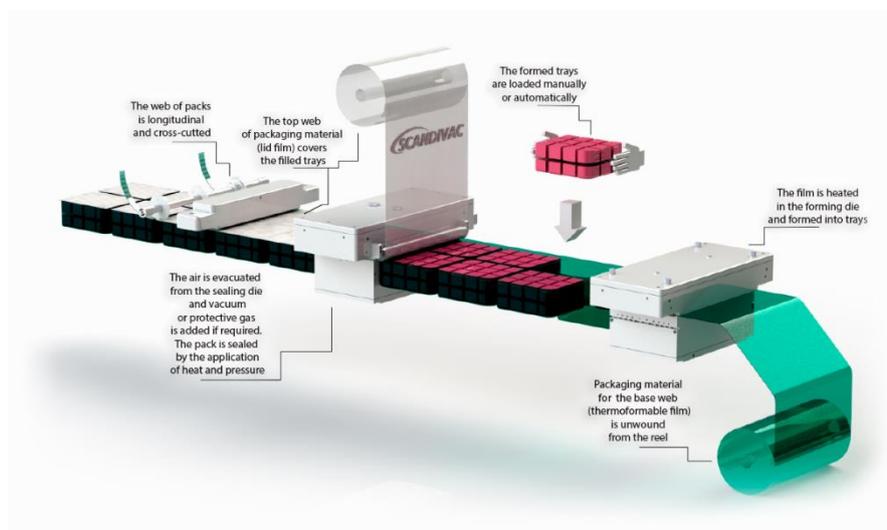


Figura 3: partes de una cadena de termoconformado.

2.3 Productos fabricados por termoconformado.

Algunas de las aplicaciones más frecuentes del proceso de termoconformado son:

- **Envase y embalaje:** envases para alimentos y bebidas, blísters para fármacos, vasos y plásticos desechables.
- **Automotriz:** piezas internas y externas no estructurales de vehículos.
- **Publicidad:** señalizaciones y letreros, piezas de impresión, piezas publicitarias.
- **Electrónicos:** ventiladores, recubrimiento de electrodomésticos, gabinetes de radios y televisiones.



Figura 4: productos hechos por termoconformado.

2.4 Variantes del proceso de termoconformado.

2.4.1 Termoconformado en una sola etapa.

Se trata de un proceso de termoconformado en el que el envase deseado se obtiene en una única estación y etapa. El film polimérico se calienta, se le da la forma y se enfría en la misma estación logrando así la pieza en una sola operación.

Termoconformado por adaptación (figura 7): la lámina precalentada se desplaza y se adapta sobre la forma de un molde macho a través del cual se extrae todo el aire existente entre el molde y la lámina creando un vacío. Es una de las variantes principales de termoconformado.

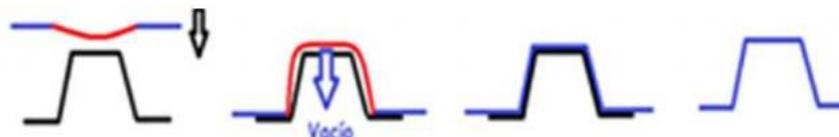


Figura 5: termoconformado por adaptación.

Termoconformado por vacío (figura 8): esta es la segunda variante principal de termoconformado. Aquí, la lámina a moldear, una vez calentada hasta alcanzar un estado gomelástico, se coloca sobre el molde hembra. A continuación, se aplica el vacío haciendo que la lámina adquiera la forma de dicho molde.

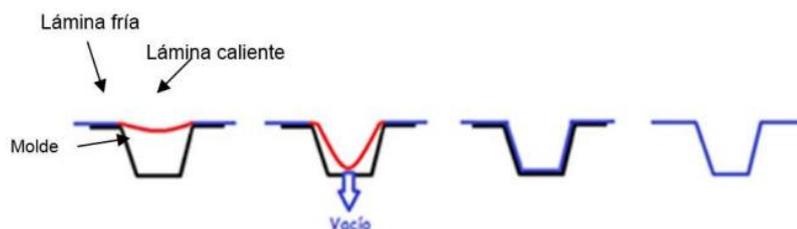


Figura 6: termoconformado por vacío.

Termoconformado a presión (figura 9): se trata de un método idéntico al anterior con la diferencia de que en este caso no es el vacío el encargado de hacer que la lámina se adapte a la forma del molde sino el aire a presión que se introduce en el mismo.

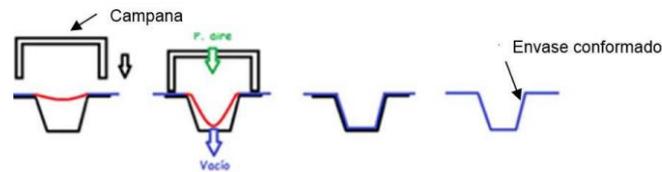


Figura 7: termoconformado a presión.

Termoconformado con acción de un molde y un contramolde (figura 10): en este caso, la lámina calentada se posiciona entre el molde hembra (inferior) y molde macho (superior) consiguiendo así la forma deseada. Se puede aplicar vacío para conseguir una mejor reproducción de la geometría.

Esta técnica se suele utilizar para el conformado de materiales poliméricos de mayor rigidez.

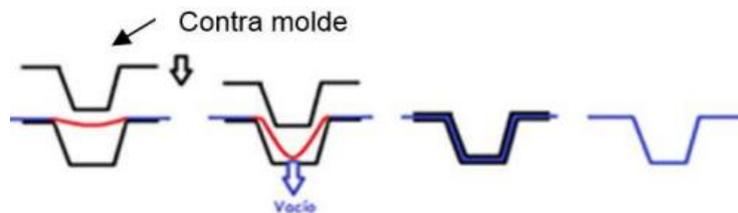


Figura 8: termoconformado con molde y contramolde.

Termoconformado por soplado o libre (figura 11): es una variante en la que no se dispone de un molde para el proceso. En este caso, la lámina calentada previamente, se agarra a un soporte y se le aplica aire a presión hasta conseguir una geometría con forma de altura controlada. Dado que no se utiliza ningún molde en contacto con la lámina no se dejan marcas, tan solo en los bordes donde esta se sujeta.

Este tipo de termoconformado se suele utilizar habitualmente para conformar envases tipo “blíster” (ampolla) utilizando una lámina muy delgada.

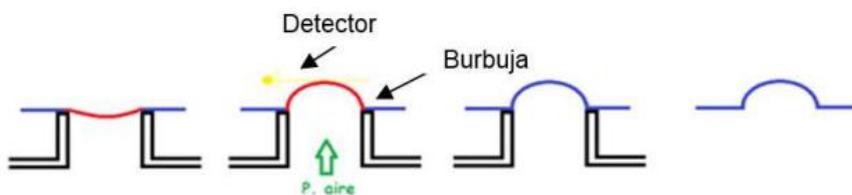


Figura 9: termoconformado libre.

2.4.2 Termoconformado en más de una etapa.

El principal inconveniente de los métodos descritos anteriormente es la dificultad de conseguir un espesor uniforme en piezas con cantos de radio. Por esta razón existen métodos con más de un paso/etapa en los que se hace una especie de preestirado de lámina y posteriormente el propio termoconformado.

Las técnicas de más de una etapa son las siguientes:

Termoconformado con pre-estirado de burbuja (figura 12): variante en la que la lámina a conformar se preestira introduciendo aire a presión. Este aire introduce una deformación inicial en la lámina en forma de burbuja que homogeneiza los espesores. A continuación, la lámina se coloca sobre el molde con la forma a reproducir y se aplica el vacío, presión, o ambas cosas simultáneamente.

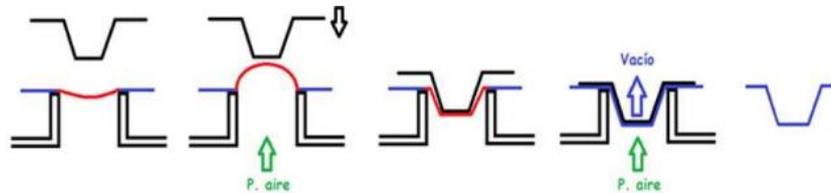


Figura 10: termoconformado con pre-estirado de burbuja.

Termoconformado con vacío por respaldo (figura 13): es un proceso prácticamente idéntico al termoconformado con preestirado de burbuja, con la única diferencia de que en este caso la deformación inicial de la lámina con forma de burbuja se consigue mediante la aplicación del vacío y no la presión como en el caso anterior.

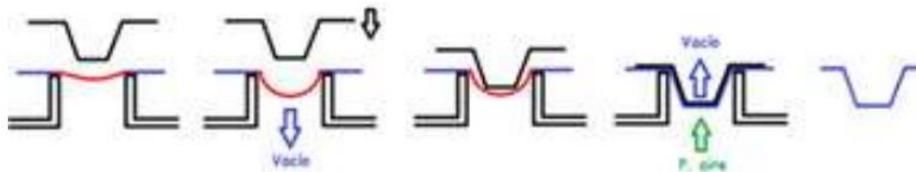


Figura 11: termoconformado con vacío por respaldo.

Termoconformado de vacío con burbuja (figura 14): otro proceso muy similar a los dos anteriores en el que, a través del molde hembra se aplica presión de aire que genera una burbuja, y a continuación, se hace rápidamente vacío haciendo que la lámina tome la forma del molde hembra.

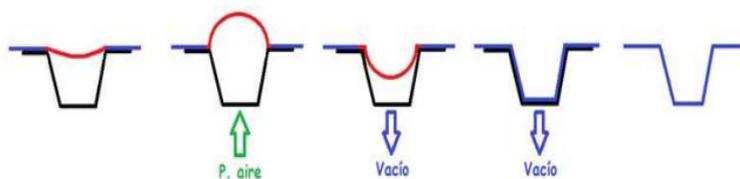


Figura 12: termoconformado de vacío con burbuja.

Termoconformado con vacío asistido por pistón (figura 15): en este caso la lámina en estado gomelástico se coloca sobre el molde hembra y se utiliza un pistón con la forma adecuada que se desplaza verticalmente hacia abajo haciendo que la lámina se estire a lo largo de una cierta distancia. Una vez preestirada la lámina se aplica el vacío desde el molde hembra haciendo que se adapte a su forma. Una vez más, este tipo de técnicas se utilizan para conseguir mayor uniformidad en los espesores de la geométrica obtenida.

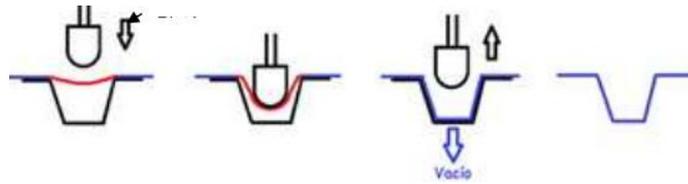


Figura 13: termoconformado con pistón.

Termoconformado por presión asistida por pistón (figura 16): para este tipo de termoconformado se posiciona la lámina caliente sobre el molde hembra, una campana se desplaza verticalmente hasta cerrar herméticamente la lámina, seguidamente un pistón, de geometría adecuada, se desplaza hacia abajo empujando la lámina hasta tocar el fondo de molde, en ese momento se aplica vacío desde el molde succionando el material y a la vez se aplica presión de aire.

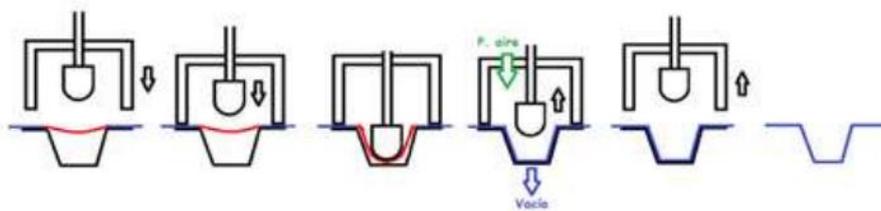


Figura 14: termoconformado con presión y pistón.

Termoconformado por presión asistida por pistón con estirado inverso (figura 17): proceso en el que se crea una burbuja por presión de aire hasta llegar a tocar el pistón que en el mismo instante desciende hasta poner en contacto la lámina con el molde hembra aplicándose posteriormente el vacío y la presión necesaria para conseguir la forma final.

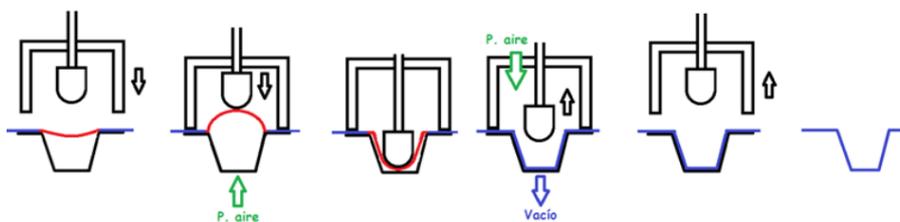


Figura 15: termoconformado con pistón y estirado inverso.

Termoconformado por lámina apoyada (figura 18): en este tipo de termoconformado se posiciona la lámina sin calentar dentro de una cavidad, sobre una placa perforada y con temperatura controlada que será la que caliente la lámina. Al alcanzar la temperatura de moldeo el molde hembra se desplaza verticalmente hacia abajo hasta obtener el cierre hermético. Se aplica a continuación presión de aire a través de las perforaciones de la placa hasta conformar la lámina según el molde. Este tipo de termoconformado logra resultados aceptables en la geometría, pero no es muy práctico para usos industriales que requieran una cantidad de envases por minuto alta.

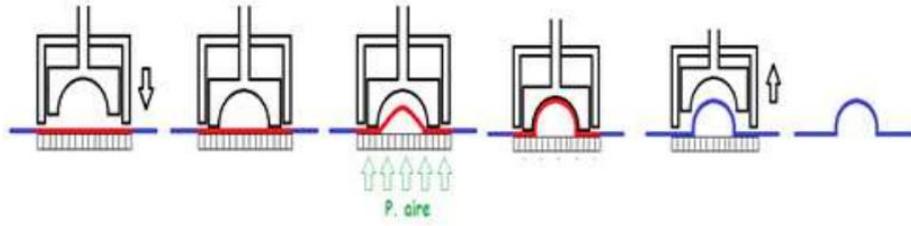


Figura 16: termoconformado por lámina apoyada.

3. Estudio de mercado.

3.1 Productos existentes en el mercado.

Al inicio de este proyecto se deseaba diseñar una máquina de termoconformado de carácter industrial, pero, a lo largo del transcurso de la fase conceptual, se ha decidido orientar el proyecto hacia la creación de una máquina de uso casero.

Por esto, al hacer una segunda investigación de mercado, orientada a máquinas de termoconformado caseras, se han encontrado los siguientes productos que se pueden considerar cómo competidores:

3.1.1 Hobby Vacuum Former:



Figura 17: máquina de termoconformado competidora.

Aunque no se trate de un competidor directo, se incluye igualmente en la competencia. La gran diferencia respecto a nuestro producto es que en este caso el proveedor vende tan solo la estructura sin la unidad de aspiración ni la de calefacción. Por tanto, es necesario añadir una unidad de aspiración como podría ser una aspiradora además de un dispositivo capaz de calentar las láminas. El tamaño es de 30,5 por 30,5 centímetros.

Precio: 149.45 \$.

3.1.2 FormBox.



Figura 18: máquina de termoconformado competidora.

Producto similar al nuestro en el que se incluye tanto la unidad de aspiración como la de calefacción. Accionamiento manual formado por pestañas y de tamaño de conformado reducido, de 15 por 15 centímetros aproximadamente.

Precio: 699 €

3.1.3 Vaquform.



Figura 19: máquina de termoconformado competidora.

Competidor directo de nuestro producto. Muy similar, posee los mismos elementos y ofrece el mismo servicio. El área de termoconformado es de 22.8 por 30.48 cm, ligeramente inferior al área de termoconformado de nuestra máquina en una dirección. La ventaja que mantenemos sobre este competidor es la total automatización de nuestro producto

Precio: 825 \$.

3.1.4 Centroform EZFORM LV 1827 110V.



Figura 20: máquina de termoconformado competidora.

No podemos decir que es competidor de la máquina que estamos desarrollando dado su precio desorbitado, pero se incluye de todas formas ya que es otro producto del mercado que ofrece los mismos servicios.

Precio: 2095 \$.

3.1.5 Mestra.

Se trata de una máquina de termoconformado de muy poca automatización para piezas de tamaño muy reducido. A pesar de que no se puede considerar un competidor directo es, sin embargo, una máquina de termoconformado similar al producto que estamos desarrollando y que se utiliza principalmente en el ámbito de la odontología.



Figura 21: máquina de termoconformado competitiva.

Precio: 483,79 \$.

3.2 Patentes.

Procedimiento de fabricación de recipientes mediante termoconformado:

Número de Solicitud: PCT/FR2011/050491.

Solicitante: ERCA.

Nacionalidad solicitante: Francia.

Dirección: Z.I. DE COURTABOEUF 91940 LES ULIS FRANCIA.

Inventor/es: SCHWAB, DOMINIQUE, COOPER, TIMOTHY, MOREAU, FRÉDÉRIC.

Fecha de Publicación: 26 de febrero de 2014.

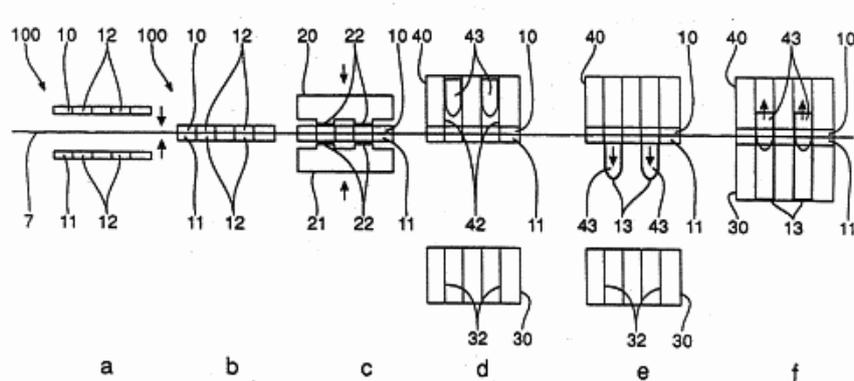


Figura 22: procedimiento de fabricación de recipientes mediante termoconformado.

Sistema y procedimiento de termoconformado de láminas.

Número de Solicitud: E10166440.

Solicitante: Geiss AG.

Nacionalidad solicitante: Alemania.

Dirección: Industriestrasse 2 96145 Sesslach ALEMANIA.

Inventor/es: GEISS,MANFRED.

Fecha de Publicación: 10 de julio de 2013.

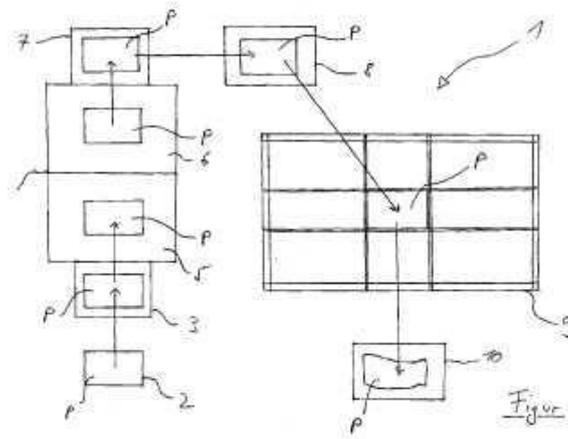


Figura 23: sistema y procedimiento de termoconformado de láminas.

Máquina de termoconformado.

Número de Solicitud: E13382031.

Solicitante: Ulma Packaging Technological Center, S.Coop.

Nacionalidad solicitante: España.

Inventor/es: ARBULU ORMAECHEA,Nerea, IZQUIERDO EREÑO,ENEKO, NIETO ZABALLOS,PEDRO, AZKARGORTA AZKARATE,ANDER, ESNAOLA AGIRREBALZATEGI,MIKEL, CAÑO LÓPEZ,MIRIAM.

Fecha de Publicación: 6 de agosto de 2014.

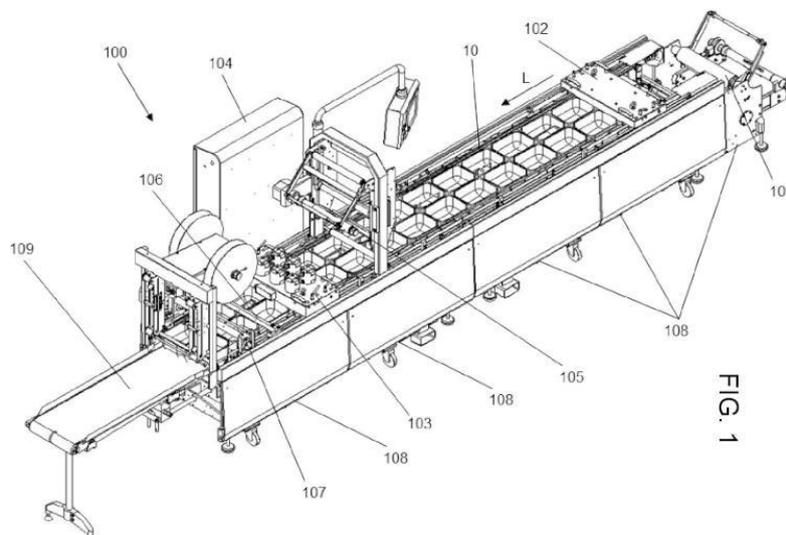


Figura 24: máquina de termoconformado.

Máquina de envasado por termoconformado.

Número de Solicitud: PCT/EP2012/004271.

Solicitante: MULTIVAC SEPP HAGGENMULLER GMBH & CO. KG.

Nacionalidad solicitante: Alemania.

Dirección: BAHNHOFSTRASSE 4 87787 WOLFERTSCHWENDEN ALEMANIA.

Inventor/es: EHRMANN, ELMAR.

Fecha de Publicación: 20 de agosto de 2014.

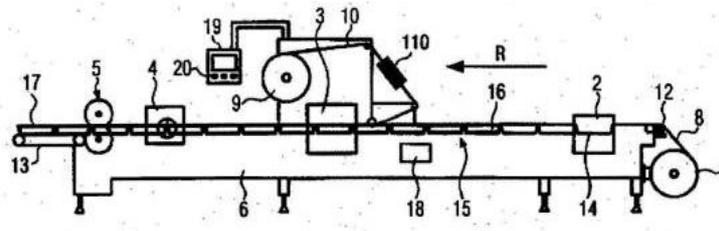


Figura 25: máquina de envasado por termoconformado.

Instalación para fabricar objetos por termoconformado a partir de pastillas de material termoplástico.

Solicitante: ERCA FORMSEAL.

Nacionalidad solicitante: Francia.

Dirección: ZONE INDUSTRIELLE DE COURTABOEUF, 91940 LES ULIS.

Inventor/es: SCHWAB, DOMINIQUE, COOPER, TIMOTHY.

Fecha de Publicación: 16 de octubre de 2007.

Fecha Concesión Europea: 21 de febrero de 2007.

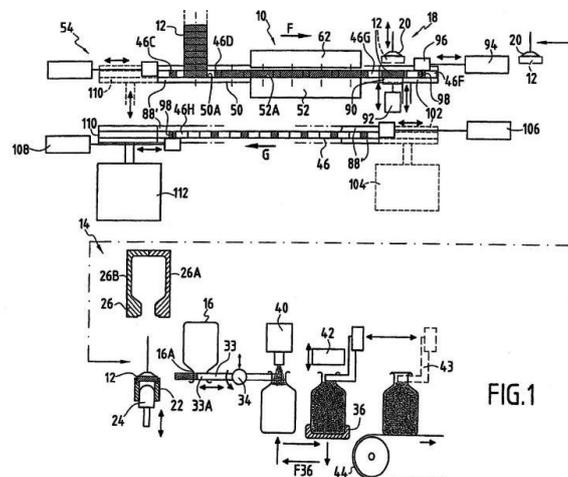


Figura 26: instalación para fabricar objetos por termoconformado a partir de pastillas de material termoplástico.

4. Diseño Conceptual

4.1 Análisis funcional.

El funcionamiento básico de la máquina se puede representar con su funciones, requisitos y resultados, a través de la siguiente caja negra (figura 27).



Figura 27: caja negra.

Una vez determinadas las salidas y entradas del sistema, a través de la caja transparente, se representa la interacción entre las distintas subfunciones que en conjunto posibilitan el funcionamiento de la máquina. Estas subfunciones son:

1. Suministro de energía.
2. Encender máquina.
3. Abrir puerta.
4. Deposición de la lámina.
5. Subir el soporte de lámina.
6. Deposición del molde.
7. Cerrar puerta.
8. Selección del programa de termoconformado.
9. Inicio.
10. Encendido resistencias.
11. Bajada del soporte.
12. Vaciado o succión.
13. Abrir puerta.
14. Lámina termoconformada.

En cuanto a la caja transparente, esta quedaría de la siguiente manera (figura 28):

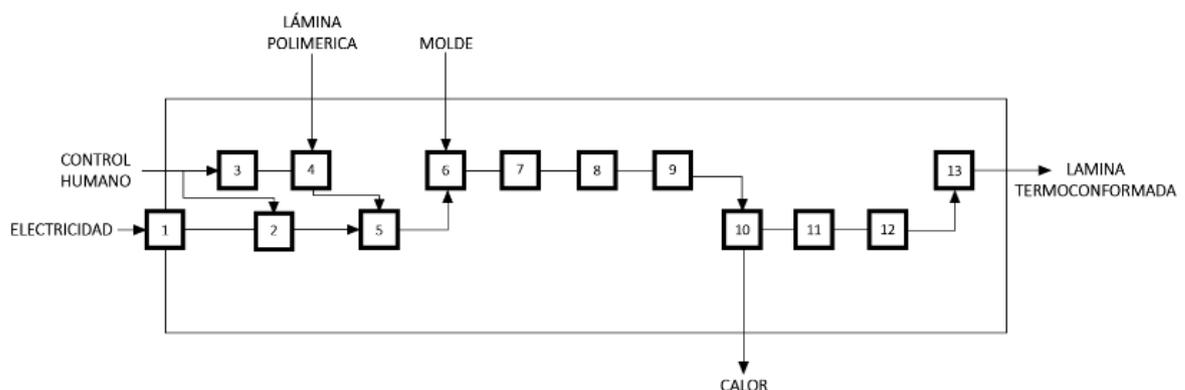


Figura 28: caja transparente.

4.2 Requerimientos.

A partir del análisis funcional realizado, podemos obtener unos primeros requerimientos cuyo cumplimiento será obligatorio para garantizar el correcto desarrollo de una máquina de termoconformado funcional.

- Poseer unas resistencias calefactoras.
- Poseer una bomba de vacío.
- Poseer unos soportes de lámina móviles.
- Poseer una unidad de control de la máquina.
- Poseer un interruptor general.
- Poseer una base perforada que permita la succión del aire.
- Poseer carcasas, resguardos y/o envolventes.

Hasta ahora, se han expuesto requerimientos cuyo cumplimiento es indispensable para conseguir una máquina que sea capaz de termoconformar una lámina. Todos estos requerimientos no aceptan ponderación alguna. Sin embargo, aquellos que acepten ponderación, son los que se van a considerar para la elección de la alternativa más eficaz. Estos requerimientos u objetivos, se pueden ver a continuación.

- Fácil montaje de moldes para el termoconformado.
- Posibilidad de conformar espesores gruesos.
- Precio por debajo de la media del mercado.
- De peso reducido.
- Que sea fácil de utilizar.
- Poco mantenimiento.
- Facilidad de limpieza.

Establecido esto, podemos realizar una correcta valoración de las distintas alternativas.

4.3 Alternativas.

Se presentan a continuación tres posibles soluciones al producto propuesto.

4.3.1 Alternativa 1.

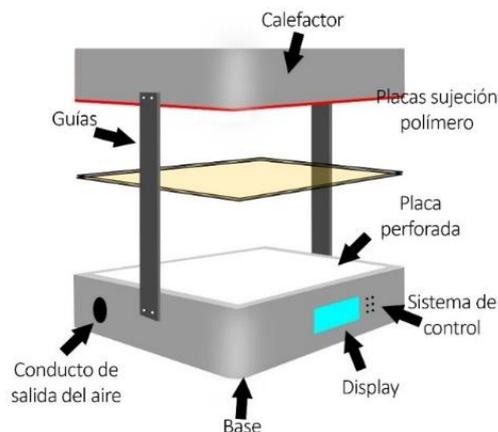


Figura 29: alternativa 1.

La alternativa número uno, presenta una máquina de termoconformado de mesa. Su funcionamiento es muy básico: se coloca el molde macho con la forma que se desea conformar, se coloca la lámina sobre los elementos de sujeción destinados a ello, se ponen en marcha los calentadores y se espera a que la lámina alcance la temperatura necesaria para el termoconformado, se baja la lámina hasta cubrir el molde macho y se succiona todo el aire existente entre el molde y la lámina.

Sus partes principales son las siguientes:

- Base.
- Display.
- Conducto de salida de aire.
- Guías.
- Calefactor.
- Placa perforada.

4.3.2 Alternativa 2.

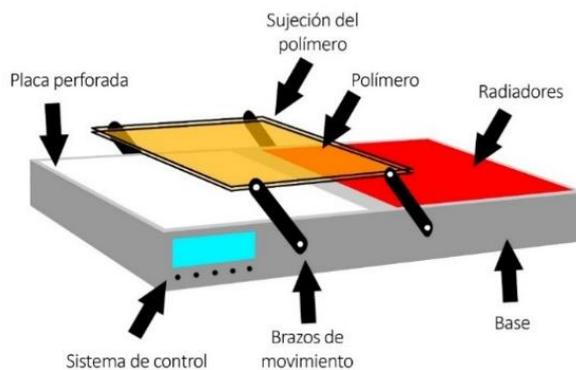


Figura 30: alternativa 2.

La alternativa número dos también presenta una máquina de termoconformado de mesa, pero en esta ocasión en una disposición longitudinal.

Aquí como antes, el funcionamiento es muy similar: se coloca la lámina entre los elementos de sujeción, posteriormente, esta lámina se calienta sobre el calefactor y cuando se llega a la temperatura deseada, la lámina se traslada a la placa perforada donde se encuentra el molde macho y se hace el vacío.

Las partes que conforman esta máquina son las mismas que en el caso anterior:

- Base.
- Sistema de control.
- Conducto de salida de aire.
- Brazos de movimiento.
- Calefactor.
- Placa perforada.

4.3.3 Alternativa 3.

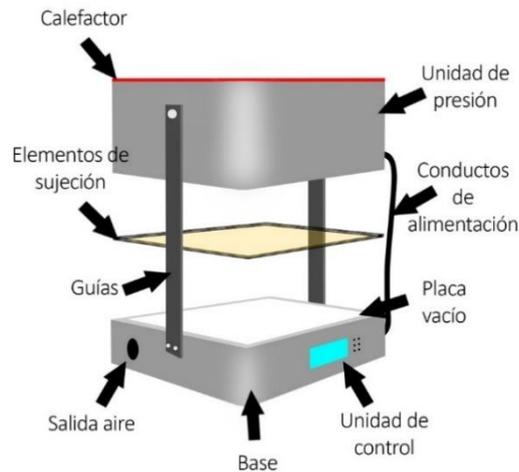


Figura 31: alternativa 3.

La alternativa número 3, como en los casos anteriores, presenta una máquina de termoconformado de mesa, pero en esta ocasión, de mayor tamaño ya que incorpora ciertas funciones adicionales.

Esta termoconformadora, aparte de tener la función de vacío que extrae el aire de entre el molde y la lámina, también tiene la opción de introducir aire a presión utilizando la cámara superior. En este caso, el funcionamiento sería parecido a la alternativa número uno, solo que, cuando la lámina está descendiendo para acoplarse sobre el molde macho inferior, también lo haría la unidad de presión colocada en la parte superior. Esto permitiría hacer vacío y presión simultáneamente consiguiendo así un mejor resultado.

Algunas de las partes que componen esta termoconformadora son:

- Base.
- Unidad de control.
- Conducto de salida de aire.
- Guías.
- Calefactor.
- Placa perforada.
- Unidad de presión.
- Conductos de alimentación.

4.4 Análisis de soluciones.

Para analizar cuál de las tres máquinas termoconformadoras es la mejor solución, se utilizará el método de los objetivos ponderados. Este método nos va a permitir sacar una puntuación numérica de las alternativas, de modo que, se sabrá cuál de ellas es la mejor. El procedimiento a seguir en este método es muy sencillo. En primer lugar, se enuncian y definen los objetivos a cumplir por las alternativas que se comparan.

Indicar que, en este caso, dado que estamos en una fase conceptual del diseño de nuestro producto, solo podremos elegir aquellos objetivos que permitan determinar si se cumplen o no. Es decir, como estamos en una fase conceptual, no podemos saber de manera aproximada el consumo eléctrico de la máquina, por esta razón tampoco podremos valorar un hipotético objetivo relacionado con este consumo (que *el consumo energético de la maquina sea el mínimo posible*).

Los objetivos son:

- O₁: Fácil montaje de moldes para el termoconformado.
- O₂: Posibilidad de conformar espesores gruesos.
- O₃: Precio por debajo de la media del mercado.
- O₄: De peso reducido.
- O₅: Que sea fácil de utilizar.
- O₆: Poco mantenimiento.
- O₇: Facilidad de limpieza.

A continuación, se clasifican los objetivos en una matriz de preferencia, donde se compara uno por uno para ver cual tiene prioridad sobre otro:

- 1 Si se prefiere el de la fila al de la columna.
- 0 Si se prefiere el de la columna al de la fila.
- (-): indiferente.

La matriz de preferencia quedaría de esta forma (tabla 1):

	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	Puntuación.
O1	-	0	0	1	0	0	0	1
O2		-	0	1	0	0	0	2
O3			-	1	1	1	1	6
O4				-	0	1	1	2
O5					-	1	1	3
O6						-	1	2
O7							-	2

Tabla 1: matriz de referencia con datos de comparación.

Los objetivos ordenados de mayor a menor preferencia serían:

- O₃: Precio por debajo de la media del mercado.
- O₅: Que sea fácil de utilizar.
- O₂: Posibilidad de conformar espesores gruesos.
- O₄: De peso reducido.
- O₆: Poco mantenimiento.
- O₇: Facilidad de limpieza.
- O₁: Fácil montaje de moldes para el Termoconformado.

A continuación, se ponderan los objetivos con un total de 100 puntos según la prioridad de cada uno.

- O₃: Precio por debajo de la media del mercado: 33,3 puntos.
- O₅: Que sea fácil de utilizar: 16.66 puntos.

- O₂: Posibilidad de conformar espesores gruesos: 11,11 puntos.
- O₄: De peso reducido: 11,11 puntos.
- O₆: Poco mantenimiento: 11,11 puntos.
- O₇: Facilidad de limpieza: 11,11 puntos.
- O₁: Fácil montaje de moldes para el Termoconformado: 5,5 puntos.

La escala común de medición para cada objetivo sería:

Coste:

Elevado = 1. Probablemente no satisfactorio
 Mediano = 2. Dudoso
 Reducido = 3. Satisfactorio
 Muy Reducido = 4. Definitivamente satisfactorio

Facilidad en la utilización:

Muy difícil = 1. Probablemente no satisfactorio
 Difícil = 2. Dudoso
 Fácil = 3. Satisfactorio
 Muy fácil = 4. Definitivamente satisfactorio

Espesores gruesos:

Muy finos = 1. Probablemente no satisfactorio
 Finos = 2. Dudoso
 Gruesos = 3. Satisfactorio
 Muy gruesos = 4. Definitivamente satisfactorio

Peso:

Muy pesado = 1. Probablemente no satisfactorio
 Pesado = 2. Dudoso
 Mediano = 3. Satisfactorio
 Poco pesado = 4. Definitivamente satisfactorio

Mantenimiento

Requiere mucho mantenimiento = 1. Probablemente no satisfactorio
 Bastante mantenimiento = 2. Dudoso
 Requiere poco mantenimiento = 3. Satisfactorio
 No requiere mantenimiento = 4. Definitivamente satisfactorio

Limpieza:

Bastante tiempo en limpiar = 1. Probablemente no satisfactorio
 Intermedio = 2. Dudoso
 Poco tiempo en limpiar = 3. Satisfactorio
 Muy poco tiempo en limpiar = 4. Definitivamente satisfactorio

Facilidad de montaje:

Mucho tiempo en montar = 1. Probablemente no satisfactorio
 Bastante tiempo en montar = 2. Dudoso
 Poco tiempo en montar = 3. Satisfactorio
 Muy poco tiempo en montar = 4. Definitivamente satisfactorio

Se establece una medición utilizando una escala común del grado en que cada solución satisface cada uno de los objetivos y se reflejan los objetivos sobre la matriz (tabla 2).

	Coste	Facilidad utilización	Espesores	Peso	Mantenimiento	Limpieza	Montaje Fácil
1			B		C	C	B
2	C	C B		C	A		
3	A		A	A	B	A	
4	B	A	C	B		B	A C

Tabla 2: datos de satisfacción de preferencias por cada alternativa.

Cada valoración supone un porcentaje que posteriormente se tendrá en cuenta para el cálculo de la media ponderada. Estos porcentajes pueden verse reflejados a continuación:

Definitivamente satisfactorio: 4 → 100%

Probablemente satisfactorio 3 → 75%

Dudoso 2 → 50%

Probablemente no satisfactorio 1 → 25%

Para finalizar, se calcula la media ponderada según el cumplimiento de cada objetivo por cada una de las alternativas:

$$A = 33,3 \frac{75}{100} + 16,66 \frac{100}{100} + 11,11 \frac{75}{100} + 11,11 \frac{75}{100} + 11,11 \frac{50}{100} + 11,11 \frac{75}{100} + 5,5 \frac{100}{100} =$$

77,68

$$B = 33,3 \frac{100}{100} + 16,66 \frac{50}{100} + 11,11 \frac{25}{100} + 11,11 \frac{100}{100} + 11,11 \frac{75}{100} + 11,11 \frac{100}{100} + 5,5 \frac{25}{100} =$$

76,335

$$C = 33,3 \frac{50}{100} + 16,66 \frac{50}{100} + 11,11 \frac{100}{100} + 11,11 \frac{50}{100} + 11,11 \frac{25}{100} + 11,11 \frac{25}{100} + 5,5 \frac{100}{100} =$$

52,7

Tras el análisis realizado, concluimos que la mejor alternativa según los objetivos que se han utilizado para el análisis, es la opción **número 1**.

5. Descripción detallada de la máquina.

A lo largo de la fase conceptual y preliminar del proyecto se ha estado elaborando una máquina de termoconformado común y con poco carácter diferenciador en la que se requería una intervención constante del usuario para completar su funcionamiento.

En la fase final del proyecto se ha decidido hacer un cambio de rumbo y, en un intento de diferenciar este producto del resto de las máquinas de termoconformado de uso casero presentes en el mercado, intentar automatizar la máquina en la mayor medida posible.

Para conseguir esto, principalmente se han eliminado las barras accionadoras vistas en las fases anteriores del proyecto y se han sustituido estas por unos husillos accionados por motores eléctricos que cumplen con la función de elevación de las láminas de termoconformado a las resistencias calefactoras y posteriormente bajada a la zona de aspiración del aire.

Todos estos cambios, obviamente, suponen un gran incremento del precio de la máquina por todos los elementos eléctricos y electrónicos de accionamiento y control necesarios.

Se explica a continuación de forma detallada el desarrollo de la máquina de termoconformado definitiva mostrando su estructura, conjuntos, subconjuntos y piezas.

5.1 Conjuntos principales.

La máquina, objeto de este proyecto, se puede dividir en los siguientes conjuntos principales.

- Base.
- Pico.
- Depósito.
- Resguardos.

Los tres primeros, se podría decir que forman parte del chasis de la máquina. El último en cambio forma parte del grupo de los resguardos junto a otros elementos que se verán más adelante.

5.1.1 Base.

Se trata de la parte inferior del bastidor de la máquina (figura 32) compuesta principalmente por elementos de chapa de 3 milímetros de grosor y pilares laminados y roscados en sus extremos como medio de separación y unión.

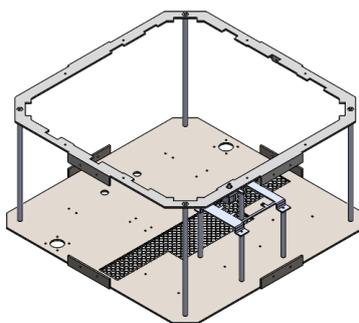


Figura 32: elementos estructurales conjunto base.

Se compone principalmente por las siguientes piezas (tabla 3):

Pieza	Unidades	Plano
Chapa base superior.	1	01.03
Chapa base inferior.	1	01.01
Pilar base.	4	01.02
Soporte Arduino.	1	01.09
Subconjunto Solenoide	1	16.00
Pilar Arduino.	4	01.08
Pata.	4	No es de fabricación propia.
Rejilla.	1	No es de fabricación propia.

Tabla 3: piezas, unidades y referencia de plano del conjunto base.

Todas las piezas que son de fabricación propia, se podrán ver con mayor detalle en el apartado de los planos.

En su interior, aloja piezas tan importantes para el funcionamiento de la máquina como la bomba de vacío (figura 33) que es la responsable de extraer el aire de dentro del tanque de vacío para que posteriormente este, el tanque de vacío, succione el aire del exterior para amoldar la lámina.

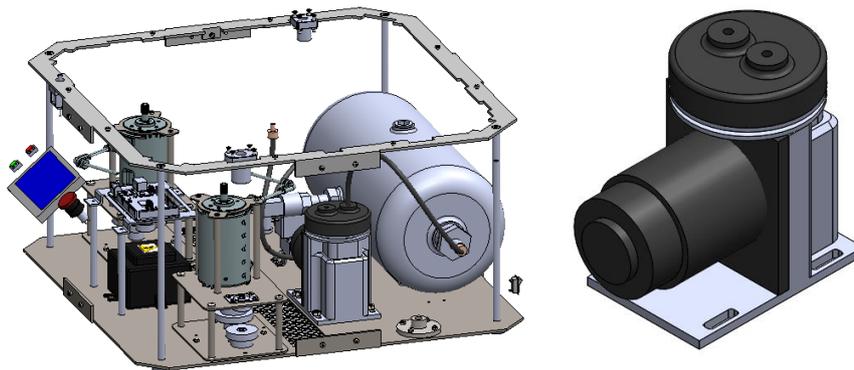


Figura 33: bomba de vacío.

El tanque de vacío (figura 34) se une a la base a través de una pieza intermedia que forma parte del propio tanque. Además, dispone de unos agujeros rascados GAS que permiten la unión a este de otros elementos como tapones, manguitos y/o vacuostatos.

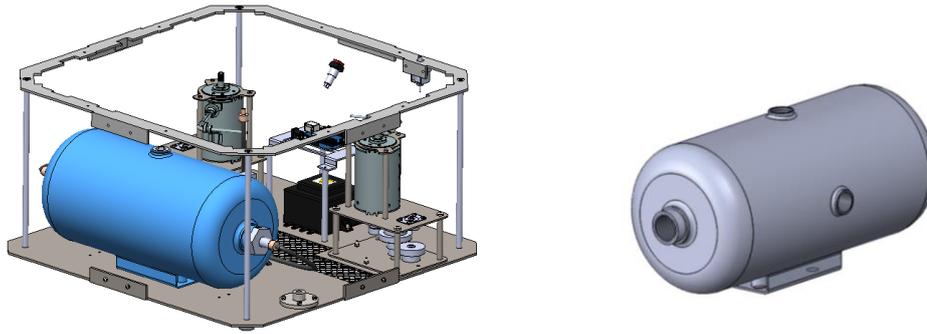


Figura 34: tanque de vacío.

Para controlar la presión existente dentro del tanque de vacío se une a este un vacuostato (figura 35) que funciona a modo de interruptor. En el momento que se llegue al valor de descompresión deseado este cerrará un circuito que dará una señal al microcontrolador Arduino. El valor de descompresión a la que el vacuostato cierra el circuito es regulable.

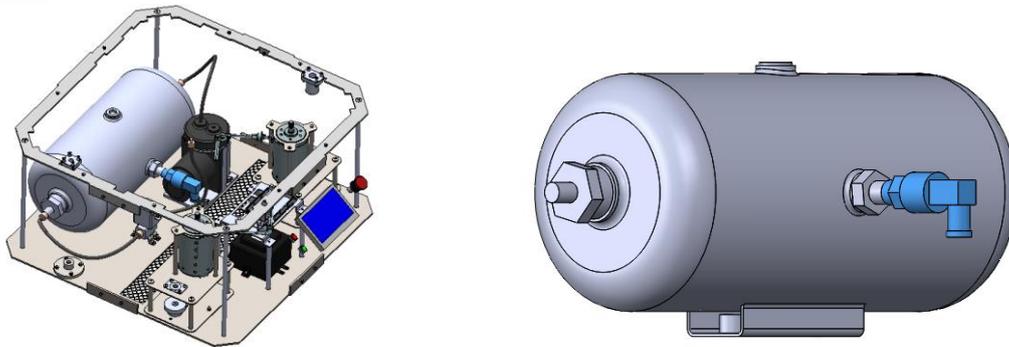


Figura 35: vacuostato

Para abrir el paso del aire desde el exterior hacia el interior del tanque de vacío se utiliza una electroválvula (figura 36) que se une a la base a través de una pieza intermedia de cuatro patas que forma parte de la propia electroválvula. Esta electroválvula mantiene además el paso del aire cerrado mientras el tanque de vacío está en fase de descompresión.

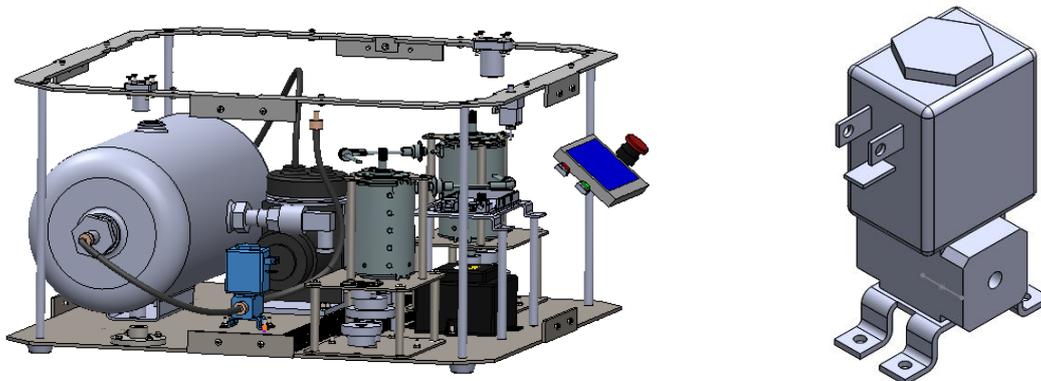


Figura 36: electroválvula.

Todos los elementos que conducen el movimiento del aire aspirado son interconectados mediante una serie de tubos de goma (figura 37).

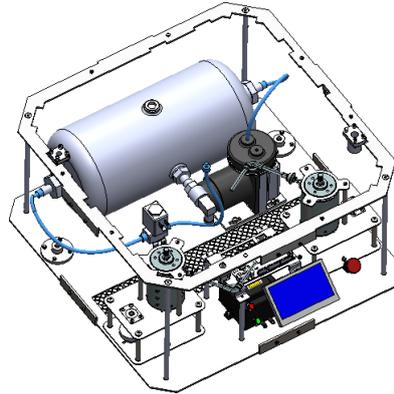


Figura 37: marcados en azul, los tubos canalizadores del aire.

Otros elementos que se unen a la base son el transformador eléctrico y el subconjunto de soporte del microcontrolador Arduino, encargado del control de la máquina (figura 38).

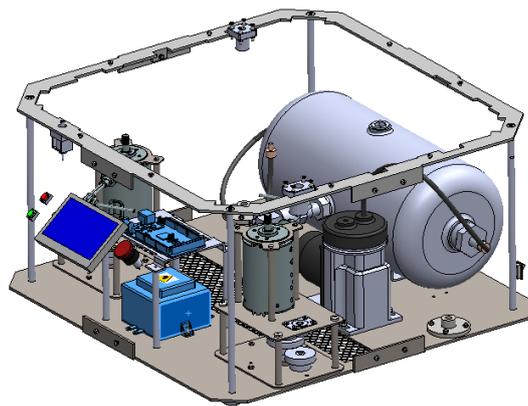


Figura 38: marcados en azul, el transformador y el controlador Arduino.

Hay que tener en cuenta también las guías secundarias y el subconjunto motorreductor que no forman parte de este conjunto, pero lo tienen como elemento de apoyo y unión común (figura 39):

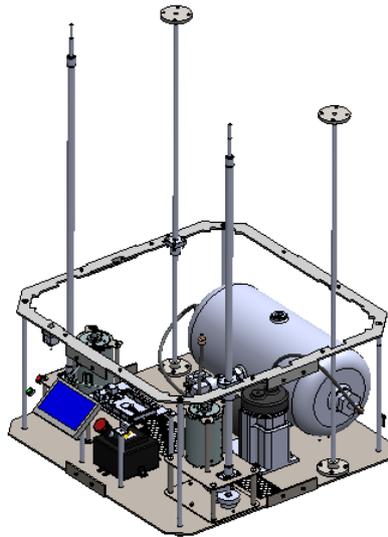


Figura 39: husillos y guías unidos a la base.

A este conjunto se unen también algunos elementos de seguridad como el solenoide (figura 40) necesario para bloquear la puerta de la máquina cuando está en proceso de termoconformado. Todas las medidas de seguridad se explican con mayor detalle en el apartado en el que se define el sistema de seguridad de la máquina.

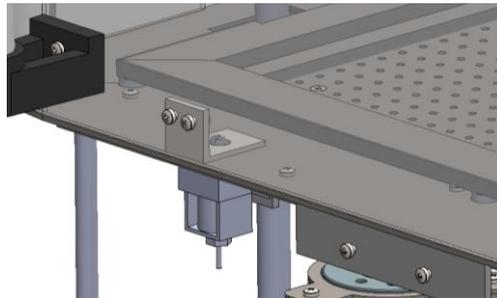


Figura 40: solenoide.

Todos los subconjuntos y piezas hasta ahora descritos se pueden ver unidos en conjunto a la base en la siguiente imagen (figura 41).

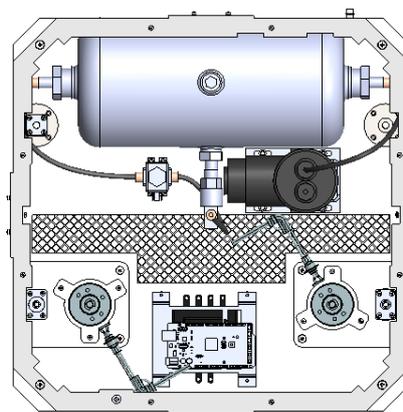


Figura 41: conjunto base con todas las piezas.

5.1.2 Depósito.

Se llama depósito (figura 42) a toda la unidad de canalización del aire desde el exterior hacia el interior del tanque de vacío. Sobre este conjunto se depositan los moldes de las láminas a termoconformar. A través de la lámina perforada el aire del exterior es succionado hacia el interior de la máquina produciendo el efecto de termoconformado deseado.

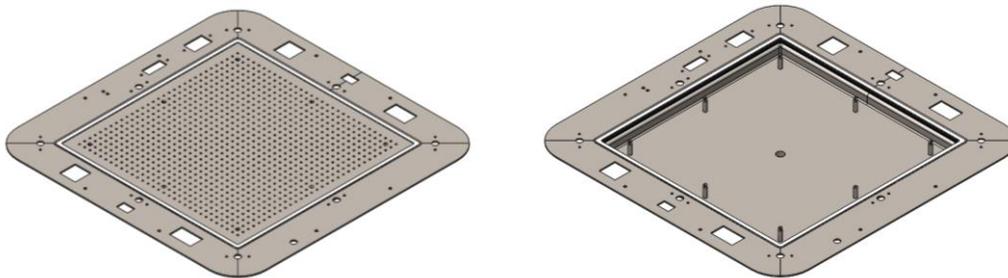


Figura 42: conjunto depósito.

Este conjunto se compone principalmente por las siguientes piezas (tabla 4):

Pieza	Unidades	Plano
Depósito.	1	02.01
Junta A	1	02.03
Junta B	1	02.05
Lámina perforada.	1	02.04
Pilar depósito.	8	02.02
Subconjunto Electroimán	8	14.00
Subconjunto Final de Carrera	2	15.00
Casquillos Separadores	2	No es de fabricación propia.

Tabla 4: piezas, unidades y referencia de plano del conjunto depósito.

Todas las piezas que son de fabricación propia, se podrán ver con mayor detalle en el apartado de los planos.

Las juntas (figura 43) son utilizadas para evitar cualquier fuga de aire del exterior hacia el interior del conjunto de vaciado. La junta inferior se utiliza como elemento sellante entre la pieza depósito y la lámina perforada para que, durante la aspiración del aire, solo se aspire a través de los agujeros de la última y no por los huecos de la unión. La unión se consigue gracias a los pilares del depósito que se atornillan entre la lámina perforada y el depósito presionando dicha lámina contra la junta.

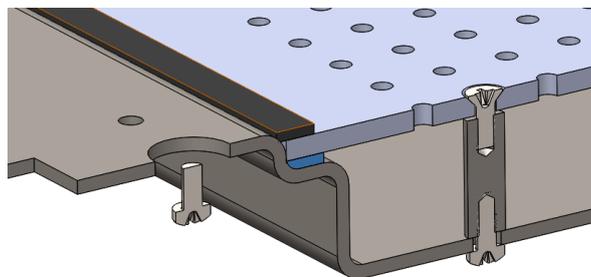


Figura 43: juntas y pilares de unión del conjunto depósito.

La junta superior (figura 44) en cambio es presionada por el soporte inferior de la lámina, así como se puede ver en la siguiente imagen:

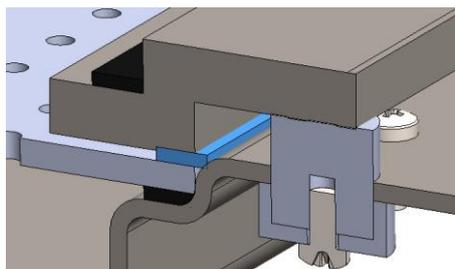


Figura 44: marcado en azul, la junta superior presionada por el soporte de lámina.

Por su parte, el soporte de lámina inferior es atraído y sujetado por los electroimanes (figura 45) ubicados en la base del depósito. Estos imanes son sujetados a la base a través de un alojamiento especialmente diseñado que se puede ver en la siguiente imagen y la anterior.

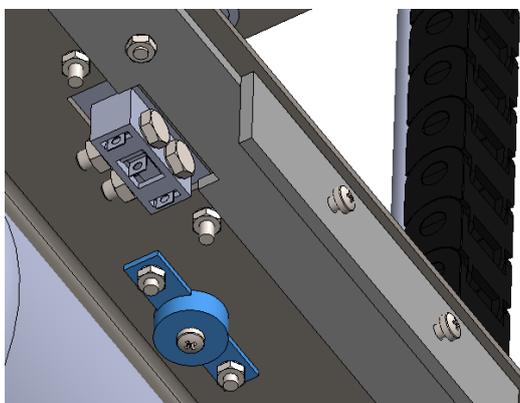


Figura 45: alojamiento de los electroimanes.

Aparte de juntas y electroimanes, el conjunto depósito incorpora también dos finales de carrera (figura 46) cuya función principal es dar una señal en el momento que el soporte inferior o superior haya llegado abajo.

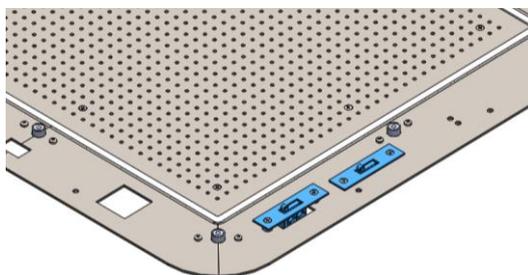


Figura 46: finales de carrera del conjunto depósito.

Todo el conjunto se añade a través de uniones roscadas a la base quedando la unión de esta forma (figura 47):

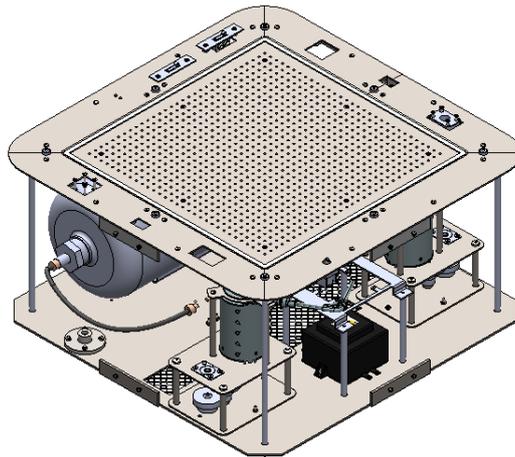


Figura 47: unión entre conjunto base y conjunto depósito.

5.1.3 Pico.

Se trata del conjunto superior del chasis (figura 48) que aloja en su interior toda la unidad calefactora. De la misma manera que con el conjunto base, este conjunto está compuesto principalmente por elementos fabricados en chapa de 3 milímetros de grosor y pilares laminados y roscados en sus extremos como elemento de unión y separación.

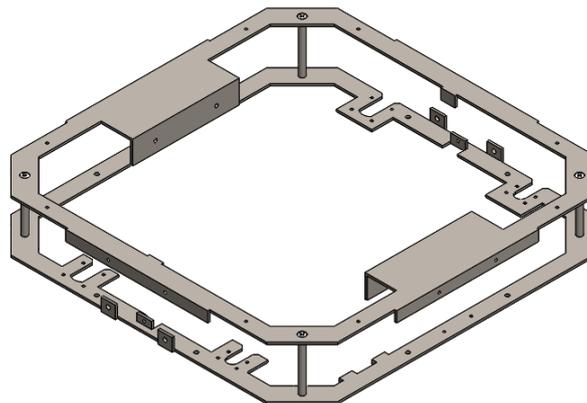


Figura 48: conjunto pico.

Se compone principalmente por las siguientes piezas (tabla 5):

Pieza	Unidades	Plano
Chapa pico superior.	1	03.03
Chapa pico inferior.	1	03.01
Pilar pico.	4	03.02
Subconjunto Final de Carrera	1	15.00
Casquillos separados largos	2	No es de fabricación propia.

Tabla 5: piezas, unidades y referencia de plano del conjunto pico.

Todas las piezas que son de fabricación propia, se podrán ver con mayor detalle en el apartado de los planos.

En su interior aloja todo el subconjunto de la unidad calefactora (figura 49), este se explicará con mayor detalle en el apartado de los subconjuntos:

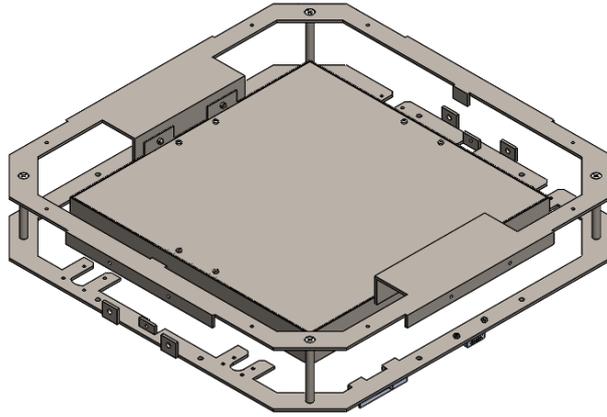


Figura 49: subconjunto caja de resistencias unido a conjunto pico.

A esta parte del chasis se unen además algunos elementos como el final de carrera superior y el imán (figura 50) necesario para mantener la puerta del resguardo móvil cerrada.

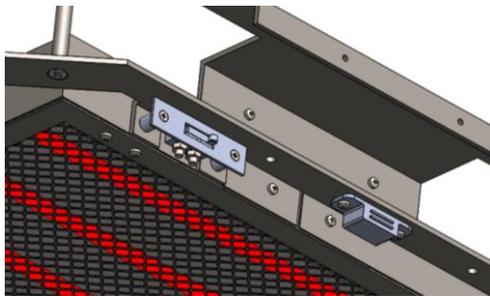


Figura 50: final de carrera e imán de puerta.

El conjunto pico se ensambla con los husillos y las guías secundarias a través de una unión roscada quedando el ensamblaje de los tres conjuntos hasta ahora mencionados de la siguiente manera (figura 51):

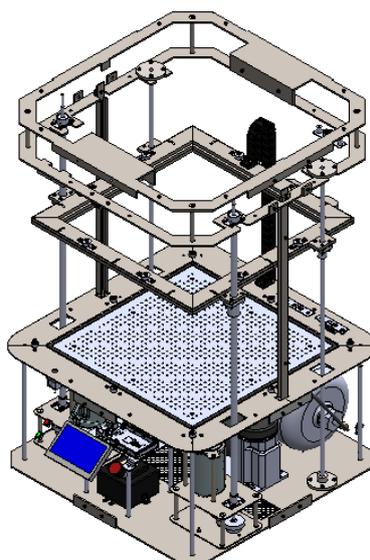


Figura 51: conjuntos unidos.

Si además tenemos en cuenta el subconjunto calefactor, el ensamblaje general quedaría de esta forma (figura 52):

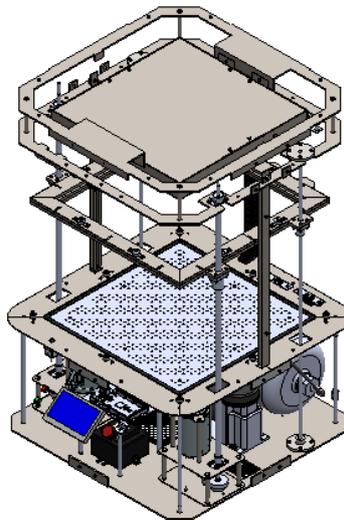


Figura 52: conjuntos y subconjunto caja de resistencias unidos.

5.1.4 Resguardos.

El conjunto de los resguardos (figura 53) está formado en su totalidad por piezas poliméricas. Su misión es, en primer lugar, proteger al usuario contra el acceso al interior de la máquina y a ciertas partes peligrosas, y en segundo mejorar el aspecto exterior de esta. La máquina junto a todos los resguardos, se puede ver en la siguiente imagen.

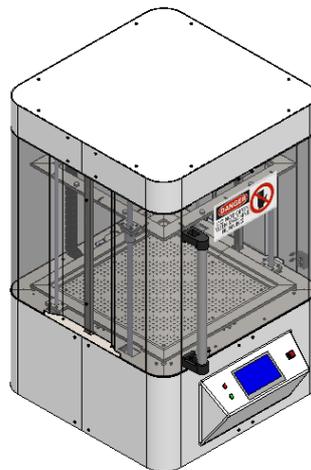


Figura 53: resguardos.

Las piezas que forman el conjunto son (tabla 6):

Pieza	Unidades	Plano
Tapa superior.	1	04.01
Carcasa superior.	2	04.02
Carcasa transparente puerta.	1	04.03
Carcasa transparente trasera.	8	04.04
Carcasa transparente pared.	2	04.05
Carcasa base delantera.	1	04.06

Carcasa base trasera.	1	04.07
Eganche solenoide	1	04.08

Tabla 6: piezas, unidades y referencia de plano del conjunto resguardos.

Todas las piezas que son de fabricación propia, se podrán ver con mayor detalle en el apartado de los planos.

A este conjunto se le unen además algunas piezas como el enganche que es atravesado por el vástago del solenoide para bloquear la puerta (figura 54).

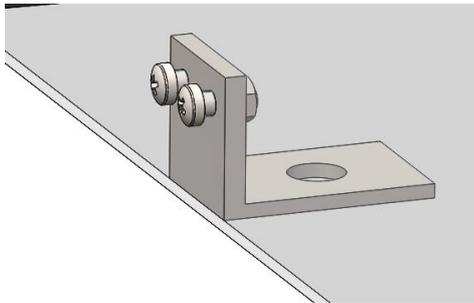


Figura 54: enganche para solenoide.

Así como el imán necesario para mantener la puerta cerrada antes de que se active el solenoide (figura 55).

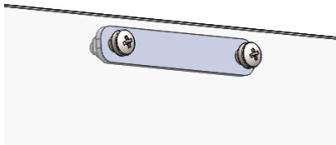


Figura 55: imán puerta.

El movimiento de apertura y cierre de la puerta se consigue gracias a las bisagras de plástico situadas en un lateral del conjunto, así como el asa tubular situado sobre la puerta. Los dos objetos son elementos de carácter comercial (figura 56).

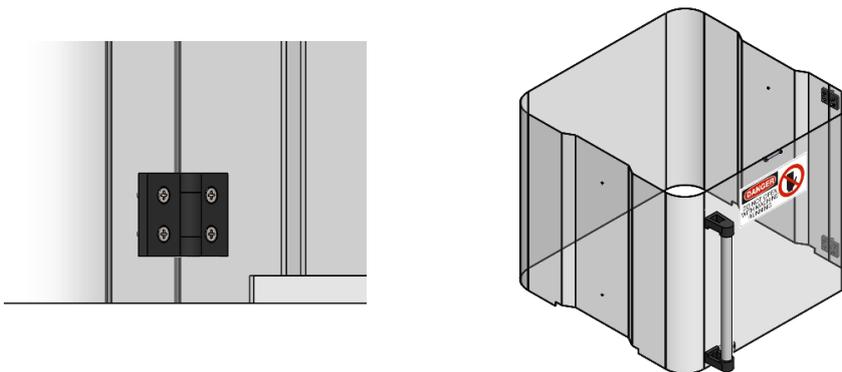


Figura 56: bisagras y asa tubular.

5.2 Subconjuntos principales.

Además de los conjuntos hasta ahora vistos, se van a ver subconjuntos de piezas importantes de fabricación propia como:

- Motorreductor.
- Unidad calefactora.
- Soporte lámina superior.
- Guías secundarias.
- Tapa inferior pico.
- Electroimán.
- Final de Carrera
- Solenoide.

5.2.1 Motorreductor.

Se trata del subconjunto que mantiene toda la unidad motriz y reductora de la máquina en unión (figura 57). Como en los casos anteriores, este subconjunto está formado por piezas conformadas en chapa que se unen utilizando unos pilares laminados y roscados en sus extremos.

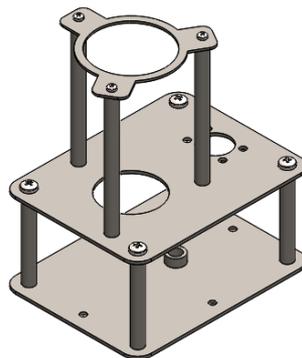


Figura 57: subconjunto motorreductor.

Las piezas que forman el subconjunto son (tabla 7):

Pieza	Unidades	Plano
Tapa reductor superior.	1	10.03
Tapa reductor inferior.	1	10.04
Pilar reductor.	4	10.05
Sujeción motor superior.	1	10.02
Pilar sujeción motor.	3	10.01

Tabla 7: piezas, unidades y referencia de plano del subconjunto motorreductor.

Todas las piezas que son de fabricación propia, se podrán ver con mayor detalle en el apartado de los planos.

Este subconjunto, además, aloja en su interior elementos tan importantes como el motor de continua (figura 58) que es el encargado de generar el movimiento ascendente y descendiente de translación de las láminas de termoconformado.

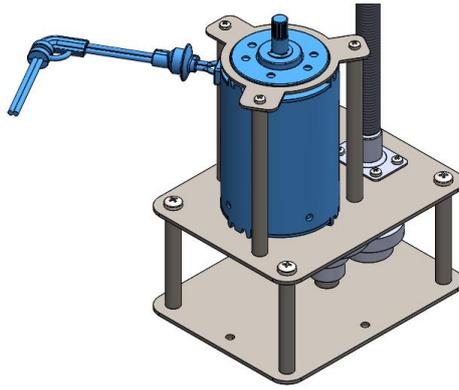


Figura 58: motor eléctrico de corriente continua.

Para reducir la velocidad de rotación del motor hasta la velocidad de rotación deseada del husillo, se emplea un conjunto de engranajes helicoidales de la serie KGH1 de 36, 22 y 44 dientes (figura 59). Las relaciones entre engranajes, pares y velocidades se pueden conocer con más detalle en el apartado de los cálculos.

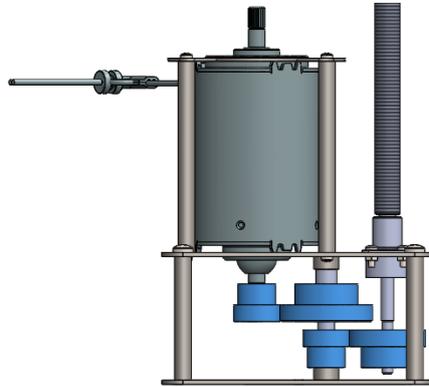


Figura 59: engranajes.

El par y la velocidad final son transmitidos al husillo de bolas de la serie BASA, marca Rexroth, quien, a través de su rotación, consigue crear el movimiento de translación vertical (figura 60).

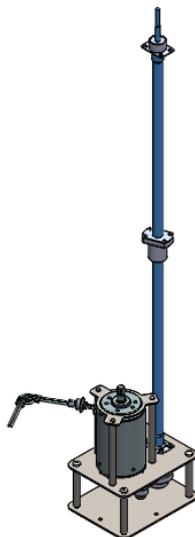


Figura 60: husillo Rexroth.

El husillo por su parte se apoya tanto en su extremo superior como inferior sobre unos rodamientos axiales de contacto angular de la serie LGL, ofrecidos por el mismo proveedor (figura 61).

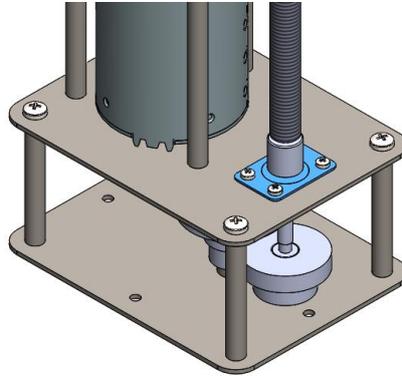


Figura 61: rodamiento axial LGL-D.

Finalmente, sobre el husillo, unido al soporte de la lámina, se traslada una tuerca (figura 62) de la serie FEM-E-B.

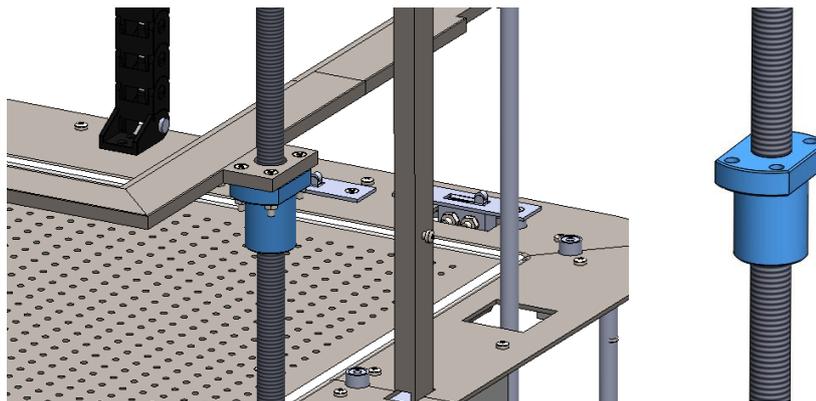


Figura 62: tuerca FEM-E-B.

Todos los elementos que forman parte del subconjunto motorreductor son de carácter comercial y por esto no aparecerán en los planos del proyecto. En cuanto a las relaciones entre engranajes, velocidades de translación, capacidades de carga...etc, todo esto se puede conocer con mayor detalle en el apartado de los cálculos.

5.2.2 Unidad calefactora.

El subconjunto de la unidad calefactora (figura 63) aloja en su interior las resistencias necesarias para calentar la lámina que se desea termoconformar. Todo el subconjunto esta hecho de chapa de un grosor de dos o tres milímetros según cada caso.

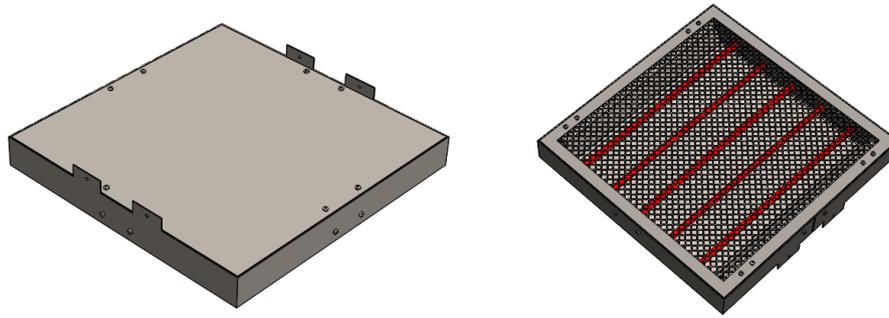


Figura 63: subconjunto resistencias calefactoras.

Este subconjunto está compuesto principalmente por los siguientes elementos (tabla 8).

Pieza	Unidades	Plano
Tapa caja superior.	1	11.04
Pared caja.	1	11.05
Soporte resistencias.	2	11.02
Soporte lateral resistencias.	2	11.01
Envolvente.	1	11.06
Tapa caja.	1	11.03
Resistencias.	5	No es de fabricación propia.
Rejilla.	1	No es de fabricación propia.

Tabla 8: piezas, unidades y referencia de plano del subconjunto unidad calefactora.

Todas las piezas de fabricación propia se pueden conocer con mayor detalle en el apartado de los planos.

Los soportes de las resistencias se unen mediante una unión atornillada generando la estructura necesaria para juntar y sostener las resistencias (figura 64).

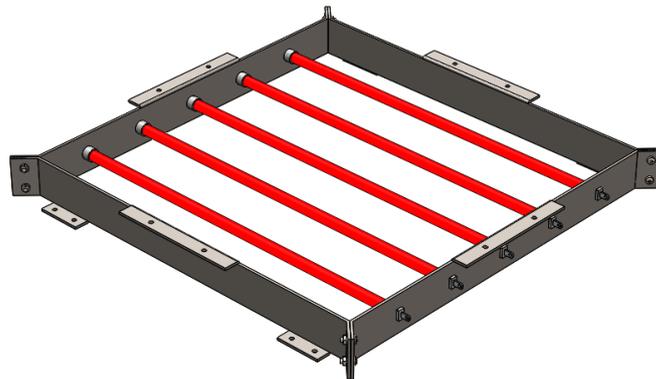


Figura 64: soportes resistencias.

En la parte inferior, gracias a las pestañas específicamente destinadas, se añaden, a través de una unión roscada, la envolvente, la rejilla y la tapa inferior, quedando esa unión de la siguiente forma (figura 65).

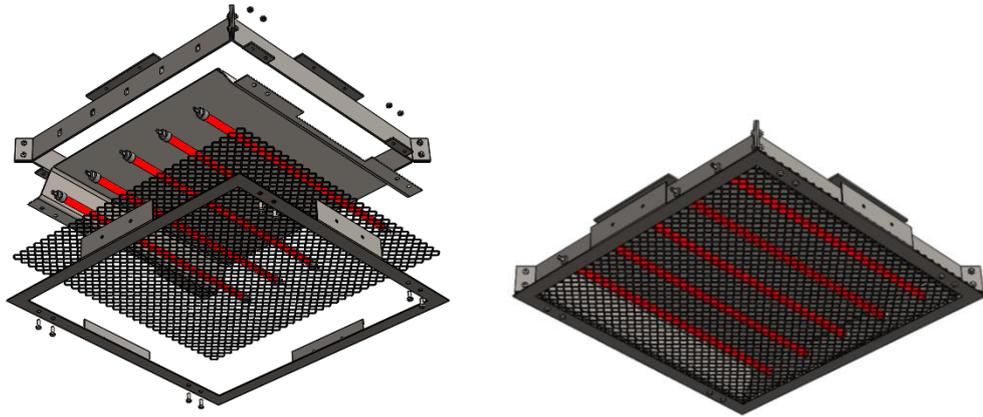


Figura 65: unidad calefactora.

Posteriormente se añade la tapa superior (figura 66).

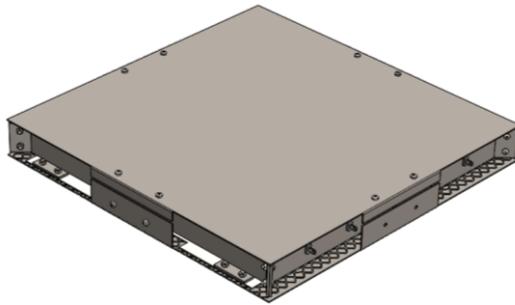


Figura 66: tapa unidad calefactora.

Y finalmente la pared (figura 67), que está conformada en una única pieza.

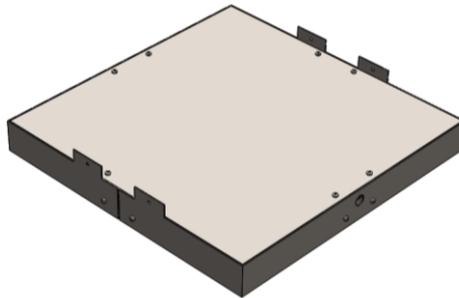


Figura 67: chapa pared unidad calefactora.

En el lateral del conjunto se dejan unos agujeros (figura 68) que sirven para pasar los cables necesarios para alimentar las resistencias.



Figura 68: agujero para cables.

5.2.3 Soporte lámina superior.

El soporte superior (figura 69) presiona la lámina desde arriba cuando esta es depositada en el soporte inferior. Esto se consigue gracias al campo magnético creado por los electroimanes que hace que el soporte superior e inferior se junten.

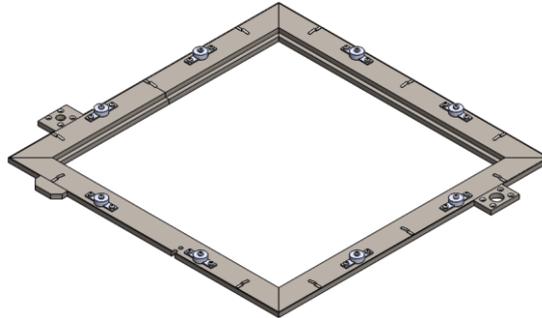


Figura 69: subconjunto soporte superior.

Este subconjunto está compuesto por el soporte superior de la lámina, los alojamientos de los electroimanes y los propios electroimanes necesarios para conseguir la unión entre el soporte de lámina inferior y superior, así como unos elementos de tamaño muy pequeño fabricados en chapa cuya función principal es sostener, por deformación, los cables que alimentan los electroimanes (figura 70).

Pieza	Unidades	Plano
Soporte lámina superior.	1	12.01
Soporte cable.	1	12.02
Subconjunto electroimán.	2	14.00

Tabla 9: piezas, unidades y referencia de plano del subconjunto soporte de lámina superior.

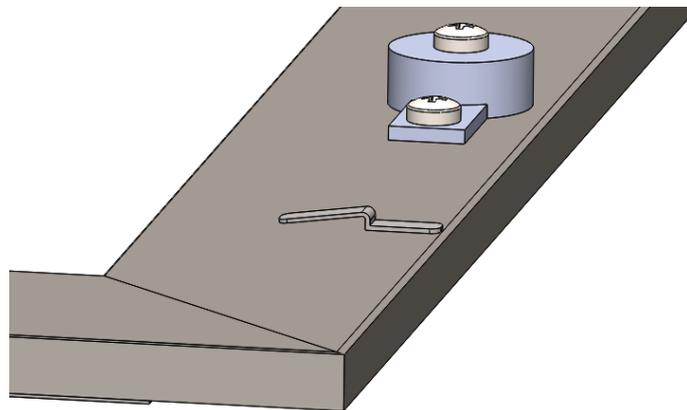


Figura 70: elementos para la sujeción de los cables.

5.2.4 Tapa inferior pico.

Se trata simplemente de la tapa que se pone en la parte inferior del conjunto pico a modo de resguardo y/o carcasa (figura 71).

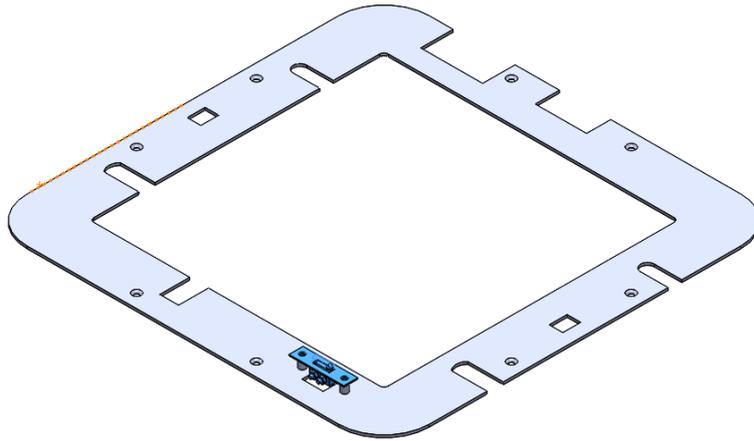


Figura 71:tapa inferior y final de carrera del conjunto pico.

Esta tapa incluye un final de carrera que da una señal cuando el soporte superior de la lámina, junto al soporte inferior, han alcanzado la parte superior de la máquina.

Pieza	Unidades	Plano
Subensamblaje Final de Carrera	1	15.00
Tapa Unidad Superior	1	13.01
Casquillos separadores	2	No son de fabricación propia.

Tabla 10: piezas, unidades y referencia de plano del subconjunto tapa inferior pico.

5.2.5 Guías secundarias.

Las guías secundarias se utilizan como guías y apoyo para los soportes de las láminas (figura 72).

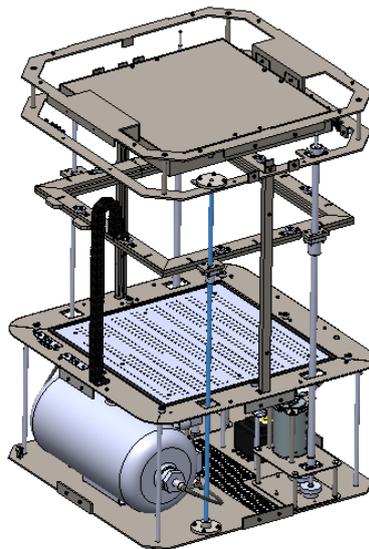


Figura 72: remarcadas en azul, las guías secundarias.

Son elementos de carácter comercial suministrados por la marca IGUS. Están compuestos principalmente por pilares de sección circular (figura 73),



Figura 73: guía secundaria.

y las guías/cojinetes de la serie drylin R FJUM-02 (figura 74).

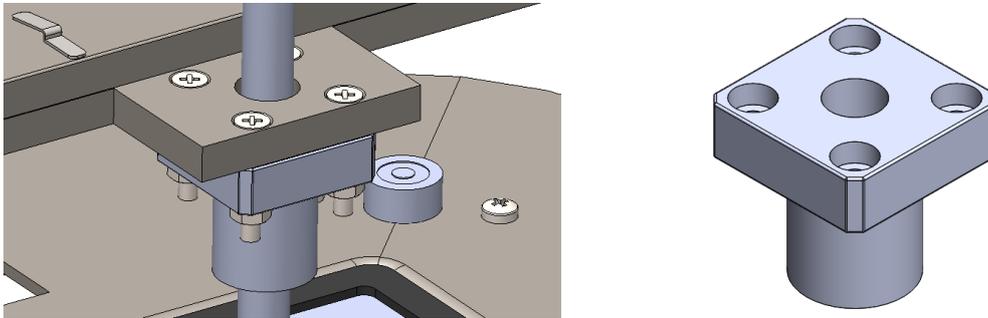


Figura 74: cojinete guía secundaria.

La unión al bastidor de la máquina se consigue por medio de unos platos o alojamientos especialmente diseñados para conseguir un ajuste a presión entre este alojamiento y el pilar de sección circular (figura 75).

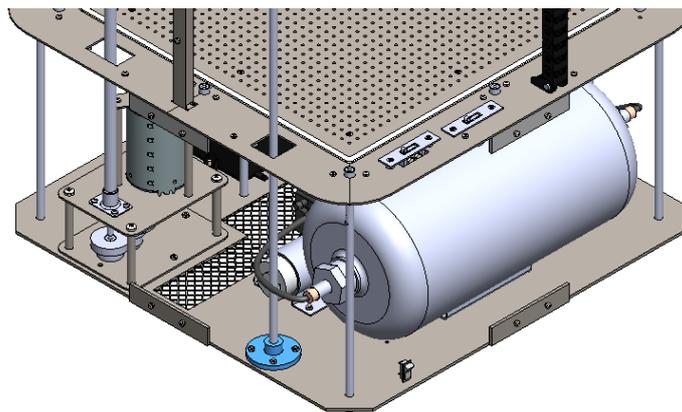


Figura 75: alojamiento guía.

Pieza	Unidades	Plano
Guía secundaria	1	No es de fabricación propia.
Sujeción guía	2	17.01

Tabla 11: piezas, unidades y referencia de plano del subconjunto guías secundarias.

5.2.6 Electroimán.

Subconjunto creado por el propio electroimán y el alojamiento de este (figura 76).

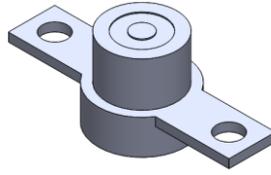


Figura 76: subconjunto electroimán.

Pieza	Unidades	Plano
Subconjunto electroimán.	1	14.00
Soporte electroimán.	1	14.01
Electroimán.	1	No es d fabricación propia.

Tabla 12: piezas, unidades y referencia de plano del subconjunto electroimán.

5.2.7 Final de carrera.

Subconjunto creado por el final de carrera y la pieza que funciona como alojamiento de este (figura 77).

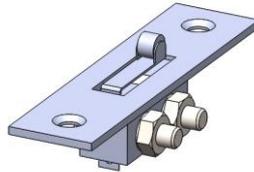


Figura 77: subconjunto final de carrera.

Pieza	Unidades	Plano
Subconjunto Final de Carrera	1	15.00
Soporte final de carrera	1	15.01
Final de carrera	1	No es de fabricación propia.

Tabla 13: piezas, unidades y referencia de plano del subconjunto final de carrera.

5.2.8 Solenoide.

Subconjunto creado por el propio solenoide y la lámina envolvente que lo sujeta al bastidor (figura 78).

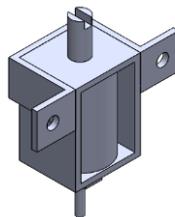


Figura 78: subconjunto solenoide.

Pieza	Unidades	Plano
Subconjunto solenoide.	1	16.00
Sujeción solenoide.	1	16.01
SM2 Farnell	1	No es de fabricación propia.

Tabla 14: piezas, unidades y referencia de plano del subconjunto solenoide.

5.2.9 Otras piezas.

En cuanto a las piezas sueltas que no forman parte de ningún conjunto ni subconjunto encontramos en primer lugar los pilares poliméricos cuya función es alojar los cables que se extienden desde la base hasta el pico para alimentar las resistencias calefactoras (figura 79).

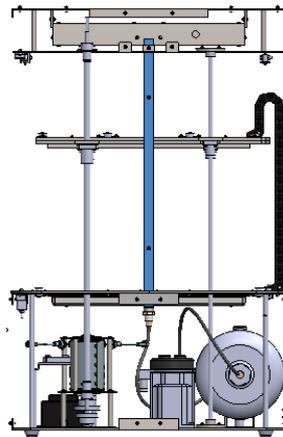


Figura 79: pilares guía.

También los indicadores LED, la pantalla táctil y el botón de parada, que son elementos de interacción con la máquina (figura 80).

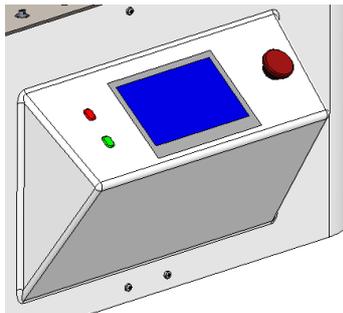


Figura 80: elementos de interacción con el usuario.

Finalmente, la cadena portacables (figura 81). Su función principal es alojar los cables que alimentan los electroimanes de la sujeción superior. Otro conjunto de carácter comercial.

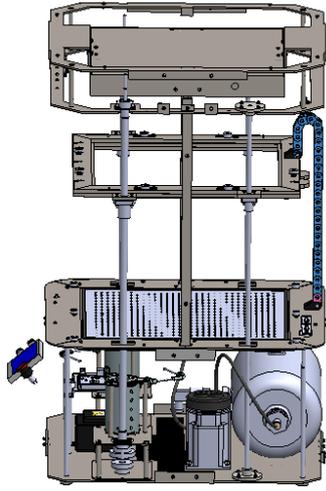


Figura 81: cadena arrastrables unida a la máquina.

6. Funcionamiento de la máquina.

6.1 Funcionamiento normal.

El funcionamiento de la máquina es muy simple. Se puede definir en las siguientes cuatro fases:

- Deposición.
- Selección del programa.
- Espera.

6.1.1 Deposición.

Cuando el usuario pone en marcha la máquina el soporte inferior está en la parte de abajo mientras que el superior está en la parte de arriba (figura 82). Esta se define como la posición de partida de la máquina.

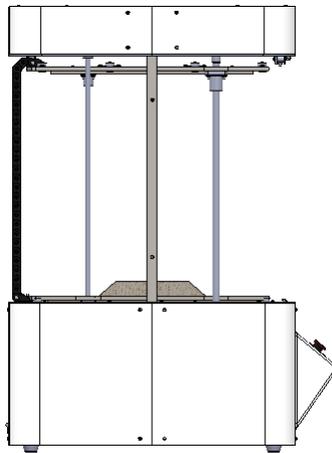


Figura 82: máquina en posición inicial.

En la pantalla táctil aparecerá un mensaje que le indicará al usuario que deposite la lámina a termoconformar sobre el soporte de lámina inferior. Una vez hecho esto, el usuario deberá pulsar un botón virtual que aparecerá en pantalla, situado debajo del mensaje, que servirá para hacer que el soporte de la lámina superior baje hasta accionar el final de carrera correspondiente. Entonces, los dos soportes de lámina, juntos, accionados por sendos motores eléctricos, subirán hacia arriba hasta accionar el final de carrera superior (figura 83). Para ello, la puerta de la máquina debe estar cerrada.

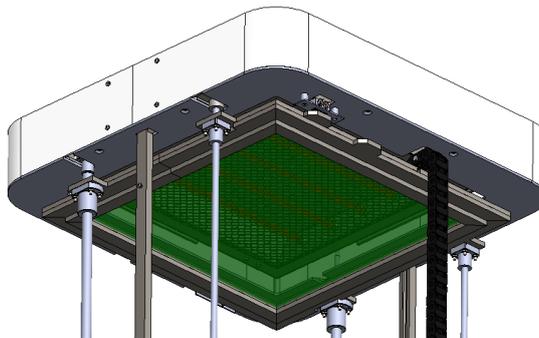


Figura 83: soportes de lámina en la parte superior de la máquina.

Completado este primer ciclo, en la pantalla táctil, aparecerá un mensaje nuevo, que le indicará al usuario que debe depositar el molde, sobre el cual se termoconformará la lámina, en el centro de la máquina (figura 84).

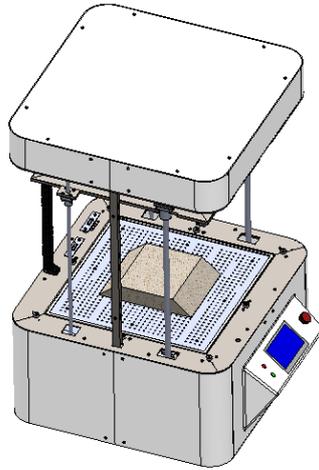


Figura 84: molde depositado en el centro de la máquina.

Al igual que en el caso anterior, debajo del mensaje se habilitará un botón virtual el cual el usuario deberá pulsar para indicar que el molde ya ha sido depositado en el interior de la máquina.

6.1.2 Configuración del programa:

Una vez depositados la lámina a termoconformar y el molde y, tras pulsar el botón virtual anteriormente mencionado, la máquina le va a pedir al usuario configurar el programa de termoconformado.

En primer lugar, tendrá que seleccionar el material de la lámina a termoconformar entre las opciones que aparecerán en la pantalla. Estas opciones son:

- PS
- HDPE
- PC
- PVC
- PET
- SB

Después, una vez seleccionado el material, el usuario tendrá que elegir el grosor de la lámina a termoconformar entre las opciones que aparecen en pantalla:

- 0,5 milímetros.
- 1 milímetro.
- 1,5 milímetros.
- 2 milímetros.

Por último, ya teniendo seleccionados el material y el espesor de la lámina, en la pantalla aparecerá un texto que le indicará al usuario que deber cerrar la puerta de la máquina (figura 85).

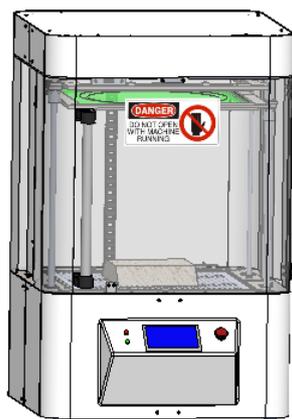


Figura 85: máquina con puerta cerrada.

Al cerrar la puerta, el final de carrera situado en la parte superior de la máquina (figura 86), que se encarga de vigilar si la puerta está abierta o cerrada, dará una señal indicando que la puerta se ha cerrado. Acto seguido, en la pantalla aparecerá otro botón virtual: INICIO, que, al ser pulsado por el usuario, pondrá en marcha el proceso de termoconformado.

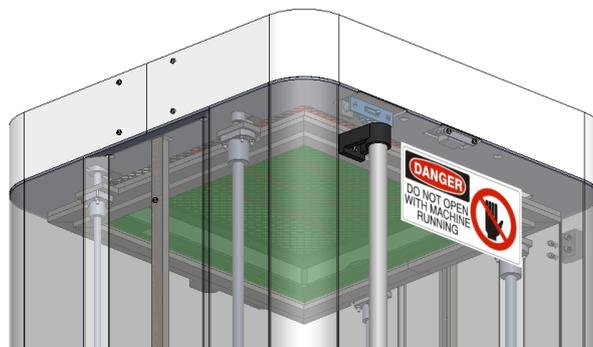


Figura 86: remarcado en azul, en la parte superior, el final de carrera accionado indicando que la puerta se ha cerrado.

Alternativamente, aparte del botón virtual de INICIO, habrá otro botón que servirá para volver a bajar el soporte inferior, en caso de que esto sea necesario. Pulsado ese botón, el soporte inferior simplemente bajará hasta accionar el final de carrera correspondiente ubicado en la parte baja de la máquina. Hecho esto, la máquina vuelve a su estado inicial.

Antes de ponerse en marcha el proceso, al pulsar el botón de INICIO, el solenoide ubicado en la base bloqueará la puerta para evitar que esta se abra durante el proceso y, además, se activará el LED rojo indicando que la máquina está en una fase automatizada (figura 87).

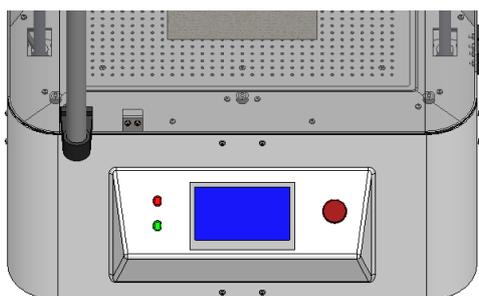


Figura 87: solenoide y LED.

6.1.3 Espera.

En pulsar el botón de INICIO, se bloqueará la puerta y se encenderá el LED rojo. Acto seguido, se activará un número determinado de resistencias (figura 88) que depende del programa seleccionado. Las resistencias estarán activadas durante un minuto. De ahí la variación entre el número de resistencias a activar. Se han hecho cálculos para determinar cuántas resistencias hay que activar según el material y el espesor para que el tiempo de espera sea siempre de un minuto. Estas estimaciones se pueden conocer con más detalle en el apartado de los cálculos.

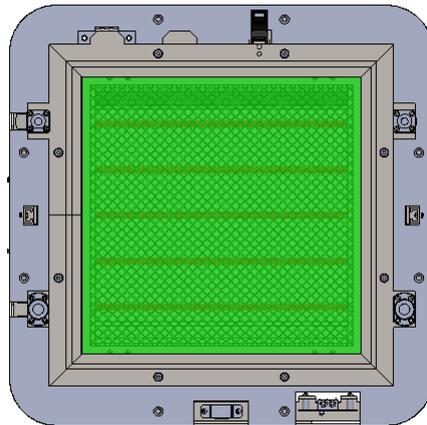


Figura 88: lámina calentándose por las resistencias ubicadas en la parte posterior.

Mientras tanto, en el instante en el que se ponen en marcha las resistencias, paralelamente, la bomba de vacío empieza a sacar el aire de dentro del tanque de vacío. Al llegar al nivel de vacío deseado el vacuostato se activará enviando una señal de confirmación. El tiempo necesario para obtener el vacío deseado es siempre inferior a un minuto gracias a la relación entre el cubicaje del tanque y la velocidad de vaciado de la bomba utilizada, estos tiempos se pueden conocer con mayor detalle en el apartado de los cálculos.

Debido a la programación de la máquina, en el momento en el que haya transcurrido un minuto, y solo si el vacuostato ya ha enviado la señal correspondiente a haber llegado al nivel de vacío deseado se activarán los dos motores haciendo que los dos soportes de la lámina, junto con la lámina en un estado gomoso (figura 89), bajen a la parte inferior.

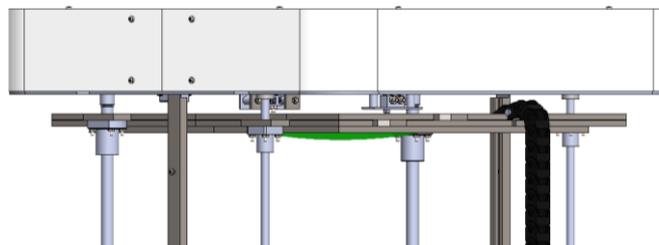


Figura 89: lámina en estado gomoso-elástico a punto de ser bajada.

En accionar los finales de carrera, simultáneamente, se producirán tres acciones:

- Se activarán los electroimanes presentes en el depósito para presionar el soporte inferior de la lámina contra la junta del conjunto depósito.

- Se activarán los electroimanes presentes en el soporte superior haciendo que los dos soportes queden unidos presionando la lámina contra la junta ubicada en el soporte inferior.
- La electroválvula se abrirá dejando pasar el aire desde el exterior hacia el tanque de vacío a través de los manguitos elásticos.

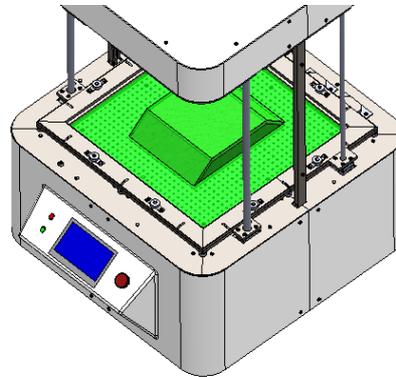


Figura 90: lámina presionada contra el molde por efecto del vacío.

Cinco segundos después, de forma automática, se desactivarán los electroimanes y la electroválvula volverá a su posición de cierre inicial. El soporte superior volverá a subir hacia la parte superior de la máquina hasta accionar el correspondiente final de carrera posibilitando de esta manera la extracción de la lámina. Se volverá a encender el LED verde y el solenoide ubicado en el base retirará el vástago desbloqueando la puerta.

La lámina se habrá termoconformado (figura 91), y la máquina estará lista para un nuevo ciclo de uso.

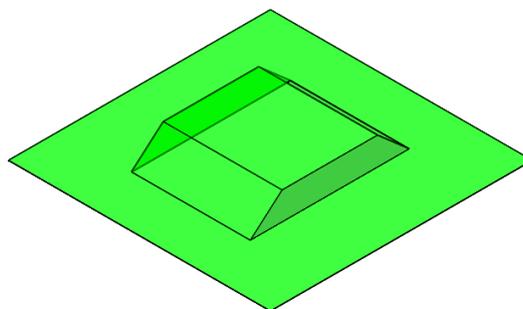


Figura 91: lámina termoconformada.

6.2 Parada de emergencia.

Durante el funcionamiento de la máquina el usuario puede pulsar el botón de parada de emergencia siempre que se trate de un proceso automatizado. Los procesos automatizados son:

- Subida y bajada de los soportes al inicio del proceso cuando se deposita la lámina a termoconformar.
- Calentamiento, vaciado del tanque y posterior bajada de los soportes con la lámina calentada para realizar la succión.

En ser accionada la parada de emergencia, la máquina se detendrá de forma instantánea cortando la alimentación eléctrica de todos sus componentes menos el microcontrolador Arduino.

El solenoide, dejará de bloquear la puerta, por si fuera necesario abrirla y acceder al interior de la máquina para solucionar el problema. Se considera este un momento de poca peligrosidad ya que todas las funciones posibles de la máquina están bloqueadas.

En desenclavar el botón de parada de emergencia, solo si la puerta está cerrada, se volverá a poner en marcha la máquina. El solenoide bloqueará la puerta de nuevo. Los soportes volverán a sus posiciones iniciales y se activará la electroválvula para liberar el vacío que se haya podido crear en el tanque de vacío dejando así la máquina preparada para un nuevo ciclo de uso.

6.3 Funcionamiento anormal.

Si durante los procesos automatizados se supera el tiempo de espera previsto, se pondrá en marcha un zumbador que emitirá un pitido para avisar al usuario de que hay un problema que no permite finalizar el proceso.

Por ejemplo, el tiempo previsto para la finalización de la primera fase automatizada es de 5 segundos. El elemento que indica que la primera fase ha terminado, así como se ha explicado en el apartado de la descripción detallada de la máquina, es el final de carrera ubicado en la parte superior de esta. Si pasan 10 segundos o más, y este final de carrera no se ha accionado, se entiende que, por un determinado motivo, se produce un funcionamiento anormal de la máquina y por esto, se pondrá en marcha el zumbador. Un motivo, por ejemplo, podría ser un elemento que por accidente se haya dejado en el interior de la máquina, y que bloquee el movimiento de translación de los soportes.

Para desactivar el zumbador, el usuario deberá pulsar el botón de emergencia. En desactivar el botón de emergencia, la máquina volverá a su estado inicial, así como se ha explicado anteriormente.

7. Selección de materiales.

Se describe a continuación los materiales seleccionados para los distintos elementos que forman parte de la máquina y que son de fabricación propia. Lo que se muestra es tan solo el material empleado en una determinada pieza que forma parte de un grupo más grande compuesto por piezas que utilizan el mismo material. Todos estos grupos son los que se han explicado hasta el momento. Si se desea conocer con más detalle que material aplica a cada uno de los componentes por separado, esto se puede averiguar en el plano técnico de cada una de las piezas de fabricación propia en el apartado de los planos.

Chapas estructurales: Acero normalizado AISI 4340.

Para los elementos estructurales (figura 92), ya que estos son los que van a soportar el peso general de la máquina, es necesario seleccionar un material de alta resistencia y tenacidad. El acero AISI 4340 ofrece estas características además de un precio reducido.

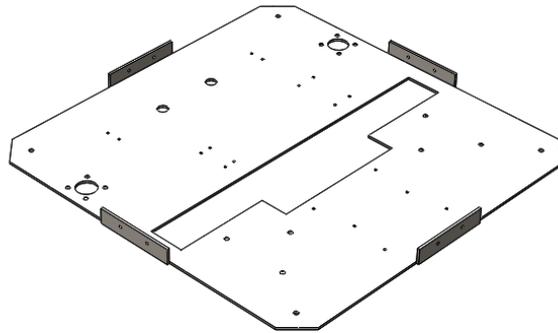


Figura 92: pieza fabricada con AISI 4340.

Pilares estructurales: Acero para perfiles industriales AISI 1010.

Las varillas que se utilizan como pilares (figura 93) del chasis de la máquina son realmente elementos que van a ser suministrados por un proveedor en su forma final, pero en este proyecto se tratan como elementos de fabricación propia. El material a emplear es el acero AISI 1010, siendo este un material típicamente utilizado en este tipo de aplicaciones.



Figura 93: pieza fabricada con AISI 1010.

Soporte resistencias: Aluminio 6061.

Dado que las resistencias forman parte de un subconjunto (figura 94), y este se sustenta sobre los cuatro pilares principales de la máquina, se desea utilizar materiales menos pesados que el acero AISI 4340. En este caso, el material seleccionado es el Aluminio 6061 por ser un material que se puede utilizar en elementos de chapa, por su baja densidad, y su buena resistencia a la oxidación. Recordemos que todos aquellos elementos cercanos a las resistencias van a estar sometidos a temperaturas relativamente altas y por esto necesitarán poseer buenas cualidades de resistencia térmica y oxidación.

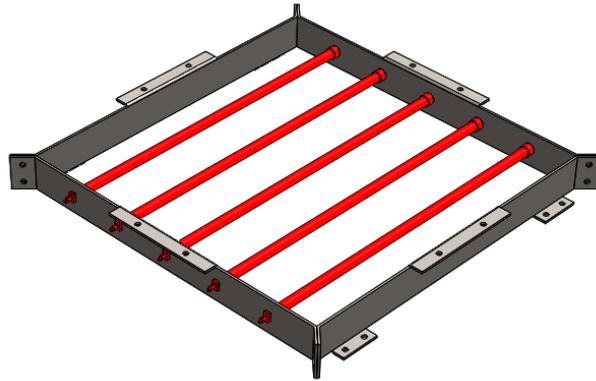


Figura 94: componentes fabricados con aluminio 6061.

Carcasa/Envolvente resistencias: Aluminio 6061.

Como ya se ha explicado anteriormente, se requiere de un material óptimo para la materialización de chapas, así como con buena resistencia al calor y a la oxidación, por esto se utiliza el mismo material que en el caso anterior.

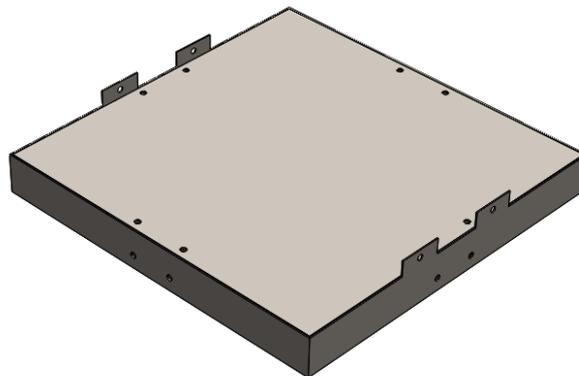


Figura 95: componentes fabricados con aluminio 6061.

Sujeción pilares: AISI 304.

La sujeción de los pilares (figura 96), son elementos de tamaño reducido que han de garantizar unas dimensiones muy precisas en su alojamiento. Esto se necesita para conseguir el ajuste deseado entre estas sujeciones y los pilares que se insertan en su interior. Para conseguir esto, una opción es mecanizar estos alojamientos a la dimensión deseada con una tolerancia muy reducida. Dado que el proveedor nos ofrece dichos pilares fabricados en un acero inoxidable AISI 440B, para evitar un proceso de corrosión galvánica por el contacto directo de estos dos

metales y conseguir las dimensiones de alojamiento deseadas, se decide seleccionar un acero inoxidable también de fácil mecanizado como sería por ejemplo el AISI 304.

Para conocer más detalles sobre el ajuste seleccionado entre las sujeciones y los pilares y las fuerzas de ensamblaje de estos ajustes, diríjase al apartado de los cálculos estructurales.

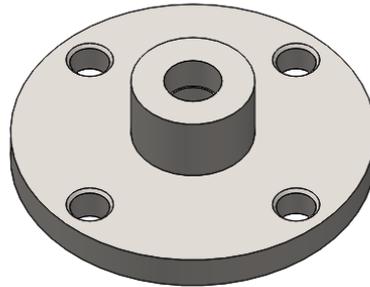


Figura 96: componente fabricado con AISI 304.

Carcasas exteriores: ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno).

Para los elementos exteriores de la máquina (figura 97) que tienen que aportar cierto grado de belleza y elegancia, se decide utilizar polímeros termoconformados. El ABS es un claro candidato gracias al aspecto brillante que presenta dicho material, así como resistencia a altas temperaturas y dureza. Se trata de un material que, entre otras aplicaciones, se utiliza frecuentemente en la materialización de carcasas, así como otros elementos de exterior en la industria del producto.

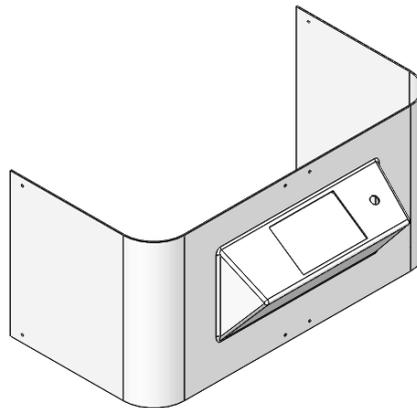


Figura 97: componentes fabricados en ABS.

Carcasas de protección transparentes: PC (Policarbonato)

Las carcasas de protección han de ser transparentes (figura 98) para que el usuario pueda vigilar el trabajo de la máquina en todo momento durante la fase de termoconformado. Por esto, aquí también se decide utilizar materiales poliméricos. Dos posibles candidatos serían el PMMA: Polimetilmetacrilato y el PC: Policarbonato.

Escogemos el PC ya que es un polímero más fácil de trabajar y moldear en formas que no son totalmente planas y tiene un coste ligeramente inferior al PMMA. En cuanto a la densidad, tanto el PC como el PMMA tienen densidades muy parecidas.

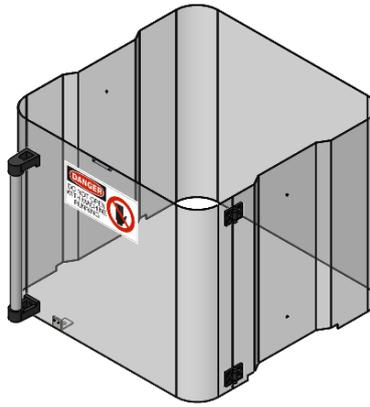


Figura 98: componentes transparentes fabricados con PC.

Juntas de estanqueidad: EPDM (Etileno Propileno Dieno)

Finalmente, para las juntas (figura 99), se utilizará un material como el EPDM. Una alternativa sería el NBR: Nitrilo Butadieno, pero no se requieren prestaciones tan altas como las que este material puede ofrecer en cuanto a resistencia a fluidos hidráulicos o aceites lubricantes. Aquí el objetivo principal es conseguir una junta que sea capaz de estanqueizar el subconjunto o subensamblaje a través del cual fluye el aire del exterior hacia el interior del tanque de vacío posibilitando de esta manera el termoconformado de la lámina. Utilizando juntas EPDM se evitarán las pérdidas de aire que puedan dar lugar a un proceso de termoconformado deficiente.

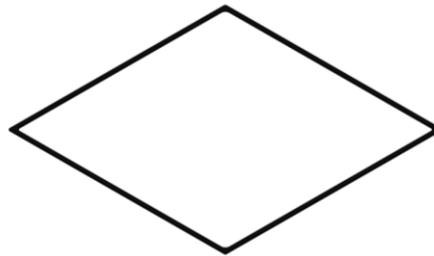


Figura 99: componentes de estanqueidad fabricados con EPDM.

En resumen, el conjunto de materiales a utilizar para la fabricación de las piezas que componen la máquina de termoconformado es el siguiente (tabla 15):

Relación de materiales		
Aceros		AISI 4340
		AISI 1010
		AISI 304
Aluminios		Aluminio 6061
Polímeros	Termoconformados	ABS
		PC
	Elastómeros	EPDM

Tabla 15: materiales seleccionados.

8. Selección de los procesos de fabricación y hojas de ruta.

Se describe a continuación el proceso de fabricación seleccionado para las piezas que forman parte de la máquina y que son elementos de diseño propio.

Todos los elementos estructurales se pueden clasificar en distintos grupos para los cuales el proceso de fabricación, los materiales y la hoja de ruta será siempre la misma.

El **primer grupo** está formado por las piezas que forman parte del bastidor de la máquina (figura 100). Estas serán sometidas a trabajos propios de chapa. Se pueden observar remarcadas en azul en la siguiente imagen:

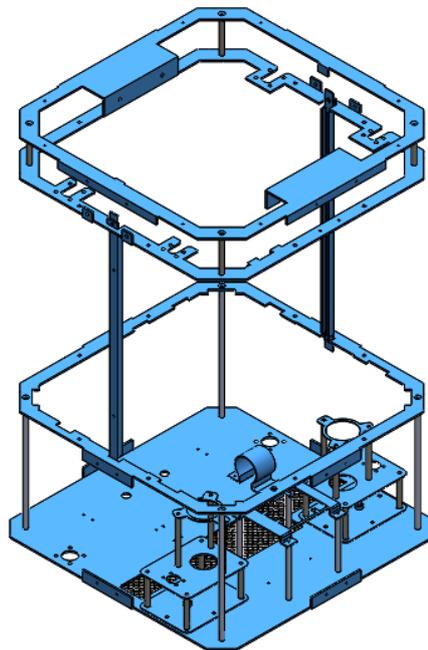


Figura 100: componentes conformados por trabajos de chapa.

Estas piezas son:

- Chapa Base Inferior.
- Chapa Base Superior.
- Chapa Pico Superior.
- Chapa Pico Inferior.
- Soporte Arduino.
- Sujeción Solenoide.
- Tapa Reductor Inferior.
- Tapa Reductor Superior.
- Sujeción Motor.
- Enganche puerta.

La hoja de ruta en todos los casos es:

1. Cortado: para obtener la lámina del tamaño deseado.

2. Troquelado: obtención de la lámina de chapa en la forma final deseada para luego ser doblada.
3. Punzonado: se eliminan las partes de la chapa ya troquelada que no se desean.
4. Punzonado de forma: se eliminan aquellas partes no deseadas de la chapa que están en su borde.
5. Incisión: se realiza una separación parcial de material para ayudar al posterior doblado.
6. Doblado: se doblan hacia arriba o abajo las partes deseadas.

El **segundo grupo** que está compuesto por elementos que forman parte del chasis de la máquina son los pilares que sirven como objeto de unión entre las distintas chapas (figura 101). Estos pilares remarcados en azul se pueden ver en la siguiente imagen:

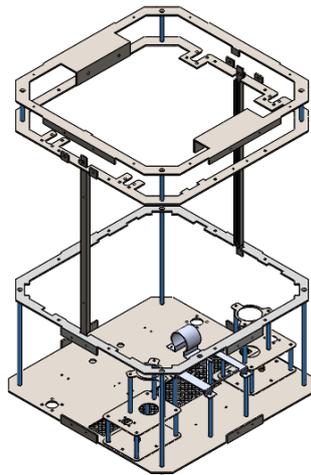


Figura 101: componentes conformados en varillas.

Estas piezas son:

- Pilar Base.
- Pilar Arduino.
- Pilar Sujeción Motor.
- Pilar Depósito.
- Pilar Reductor.
- Pilar Pico.

Todas las piezas anteriormente descritas son varillas fabricadas en acero AISI 1010 de diámetro ocho milímetros variando únicamente la longitud entre ellas.

La hoja de ruta para estas piezas es:

1. Cortado: se corta la varilla a la longitud deseada.
2. Mecanizado en torno: para obtener la dimensión final deseada y un buen acabado superficial.
3. Roscado interior de los extremos: en ambos extremos se hace un roscado interior para la posterior unión de las varillas con los elementos que forman parte del chasis.

El **tercer grupo** está formado también por piezas que se unen al chasis de la máquina, aunque de menor espesor. Estos componentes ya no se definen como parte del bastidor. En el caso de

estos, el material empleado no es acero AISI 4340 sino Aluminio 6160 T6. Estos componentes se pueden observar en la siguiente imagen (figura 102):

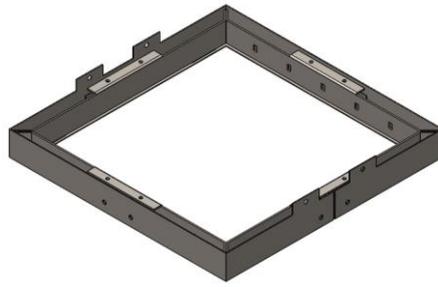


Figura 102: componentes conformados por trabajos de chapa.

Las piezas son:

- Soporte Resistencias.
- Soporte Lateral Resistencias.
- Envolvente.
- Tapa Inferior Caja Resistencias.
- Tapa Caja Resistencias.
- Pared Caja Resistencias.

Dado que también son piezas conformadas en chapa, el proceso de fabricación es prácticamente idéntico que el que se ha descrito en el primer grupo:

1. Cortado: para obtener la lámina del tamaño deseado.
2. Troquelado: obtención de la lámina de chapa en la forma final deseada para luego ser doblada.
3. Punzonado: con la ayuda del troquel se eliminan las partes de la chapa ya troquelada que no se desean.
4. Incisión: se realiza una separación parcial de material para ayudar al posterior doblado.
5. Doblado: se doblan hacia arriba o abajo las partes deseadas.

Nótese que aquí el punzonado de forma ha sido eliminado puesto que estas piezas no tienen ninguna separación de material con forma en ningún borde de la pieza.

El **cuarto grupo** está formado por aquellas piezas poliméricas no transparentes que forman parte del equipo de protección de la máquina y definen su exterior, conformadas en ABS. Estos polímeros se aprecian en color azul en la siguiente imagen (figura 103):

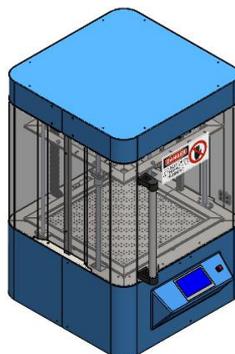


Figura 103: componentes conformados por inyección de polímeros.

Las piezas que forman este grupo son:

- Carcasa Superior.
- Tapa Superior.
- Tapa Unidad Superior.
- Carcasa Base Delantera.
- Carcasa Base Trasera.

En este caso el proceso de fabricación está compuesto por una única fase:

1. Inyección de polímeros.

El **quinto grupo** está formado por aquellas piezas poliméricas transparentes que forman parte del equipo de protección de la máquina y definen su exterior, conformadas en PC. Se pueden ver a continuación remarcadas en azul (figura 104):



Figura 104: componentes conformados por doblado de láminas poliméricas.

Estas piezas son:

- Carcasa Transparente Pared.
- Carcasa Transparente Puerta.
- Carcasa Transparente Trasera.

En este caso el proceso de fabricación está compuesto también por una única fase:

1. Doblado de láminas de policarbonato.

El **sexto grupo** está formado por las piezas encargadas de sujetar las láminas que se pretende termoconformar. Estas piezas se pueden ver en la siguiente imagen (figura 105):

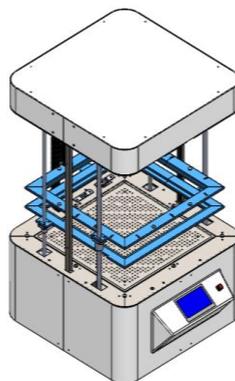


Figura 105: componentes fabricados por forja.

Las piezas encargadas de la sujeción de la lámina son:

- Sujeción Inferior.
- Sujeción Superior.

El proceso de fabricación para estas piezas se podría considerar de la siguiente forma:

1. Forja con estampa: para conseguir la forma deseada.
2. Taladrado: para conseguir los agujeros necesarios para los pilares, guías y tornillos de sujeción.

Finalmente, se explica el proceso de fabricación de las **piezas separadas** que no se han clasificado dentro de ningún grupo de los anteriormente citados:

Depósito: se trata de la pieza que canaliza el aire hacia los conductos que van al tanque de vacío (figura 106).

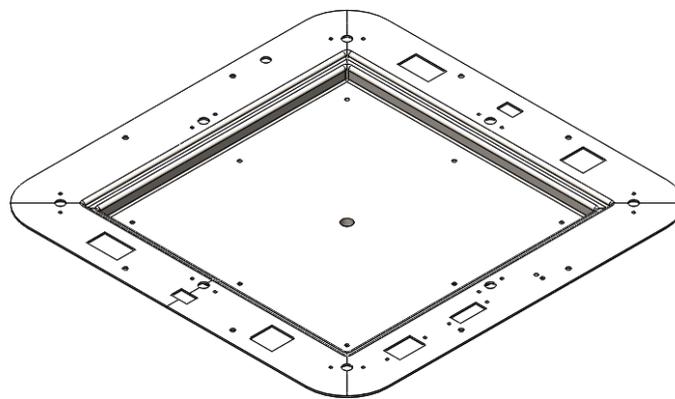


Figura 106: componente fabricado por forja.

El proceso de fabricación para esta pieza es el siguiente:

1. Forja con estampa: para conseguir la forma deseada.
2. Punzonado: para eliminar las partes no deseadas
3. Taladrado: para conseguir los agujeros deseados.

Lámina perforada: sobre esta pieza se deposita el molde de la lámina a termoconformar. Aunque se trate de una pieza que se fabrique por trabajos de chapa, no se ha incluido ni en el primer ni en el tercer grupo debido a que requiere de una operación especial. La pieza se puede ver en la siguiente imagen (figura 107):

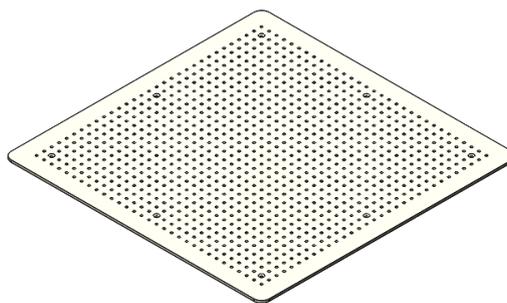


Figura 107: perforados de lámina.

El proceso de fabricación junto a la hoja de ruta es:

1. Troquelado: obtención de la lámina de chapa en la forma final deseada para luego ser doblada.
2. Perforado: se consiguen la gran cantidad de agujeros necesarios a través de los cuales se aspira el aire hacia el interior.

Sujeción guía: para alojar las guías verticales (figura 108).

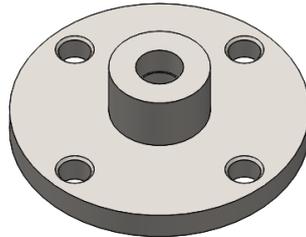


Figura 108: componente fabricado por mecanizado.

El proceso de fabricación para esta pieza podría ser el siguiente:

1. Laminado: para obtener el bruto de partida.
2. Mecanizado manual: con torno para obtener la forma deseada.
3. Taladrado: para conseguir el alojamiento de las guías y los agujeros para los pernos.

Alojamiento electroimán: necesario para sujetar el imán en el momento de su activación (figura 109).

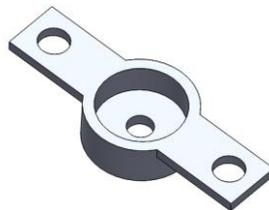


Figura 109: inyección de polímeros.

El proceso de fabricación para esta pieza es el siguiente:

1. Inyección de polímeros.

Pilares transporta cables: transportan los cables desde la base hasta el pico superior para alimentar las resistencias (figura 110).

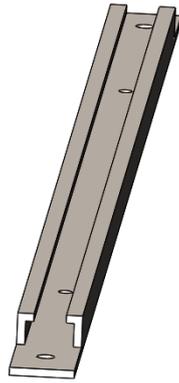


Figura 110: doblado de láminas poliméricas.

El proceso de fabricación para esta pieza es el siguiente:

1. Doblado de láminas de ABS.

Se muestra a continuación una tabla en la que se resume el proceso de fabricación seleccionado por cada una de las piezas (tabla 16).

Resumen	
Pieza	Proceso de fabricación
Chapa Base Inferior.	Trabajo de Chapa.
Chapa Base Superior.	
Chapa Pico Superior.	
Chapa Pico Inferior.	
Soporte Arduino.	
Sujeción Solenoide.	
Tapa Reductor Inferior.	
Tapa Reductor Superior.	
Sujeción Motor Superior.	
Soporte Resistencias.	
Soporte Lateral Resistencias.	
Tapa Caja.	
Envolvente.	
Tapa Caja Superior.	
Pared Caja.	
Lámina perforada	
Pilar Base.	
Pilar Arduino.	
Pilar Sujeción Motor.	
Pilar depósito.	
Pilar Reductor.	
Pilar Pico	Inyección de plásticos.
Sujeción Guía	
Carcasa Superior.	
Tapa Superior.	
Tapa Inferior Pico.	
Carcasa Base Delantera.	
Carcasa Base Trasera.	
Alojamiento Final de carrera.	

Alojamiento Electroimán.	
Carcasa Transparente Pared.	Doblado de láminas prefabricadas.
Carcasa Transparente Puerta.	
Carcasa Transparente Trasera.	
Pilar ABS.	
Sujeción Inferior.	Forja.
Sujeción Superior.	
Depósito	

Tabla 16: proceso de fabricación por grupos de piezas.

9. Esquema eléctrico de la máquina.

El esquema eléctrico muestra todos aquellos elementos de control, accionamiento e información que forman parte de la máquina y están conectados a la fuente de alimentación de esta.

Para posibilitar el funcionamiento de la máquina se ha utilizado un microcontrolador Arduino Mega. La razón principal para utilizar este microcontrolador ha sido la gran cantidad de entradas/salidas digitales que ofrece, que en total son 54, frente a los 14 del Arduino Uno.

De todas las salidas/entradas digitales que ofrece el Arduino Mega, se han utilizado 23 pines. En cuanto a los pines que pueden ser utilizados como salidas PWM (*pulsed wave modulation*) se ha utilizado un único pin, aquel que alimenta el zumbador. De las entradas analógicas, no se ha utilizado ningún pin ya que en ningún caso se ha hecho uso de sensores u otros elementos con señales analógicas.

Se han utilizado transistores a modo de interruptores que funcionan abriendo o cerrando el circuito en el momento necesitado, como un relé a pequeña escala. Los transistores utilizados son tipo MOSFET. El motivo principal es que estos transistores en vez de funcionar por corriente funcionan por tensión. Teóricamente la corriente que necesitan es de 0 Amperios. Un pin digital del Arduino Mega ofrece como máximo 40mA a su salida y 20mA recomendados a la salida de varios pines para funcionar de forma continua siempre que no se supere un total de 200mA entre todos los pines que trabaja a la vez.

Dado que durante el funcionamiento de la máquina se prevén situaciones en las que el número de salidas digitales serán próximas a 10, se prefiere utilizar transistores que funcionen por tensión.

Todos los elementos que forman parte de la máquina son identificados con las siguientes siglas (tabla 17).

Elemento	Identificación.
Interruptor	ON/OFF
Parada de emergencia	EMERGENCIA
Transistores Mosfet	MF1, MF2, MF3...
Motores de continua	M1 y M2
Electroválvula	EV
Bomba de vacío	BV
Electroimanes	E1, E2, E3...
Solenoides	SN
Zumbador	BUZZER
Resistencias calefactoras	RC1, RC2, R3C...
Relés	RL1, RL2, RL3
LED verde	GREEN LED
LED rojo	RED LED
Finales de carrera	FC1, FC2, FC3...

Tabla 17: relación entre elementos y su acrónimo identificativo.

A continuación, se puede ver el esquema eléctrico con mayor detalle (figura 111).

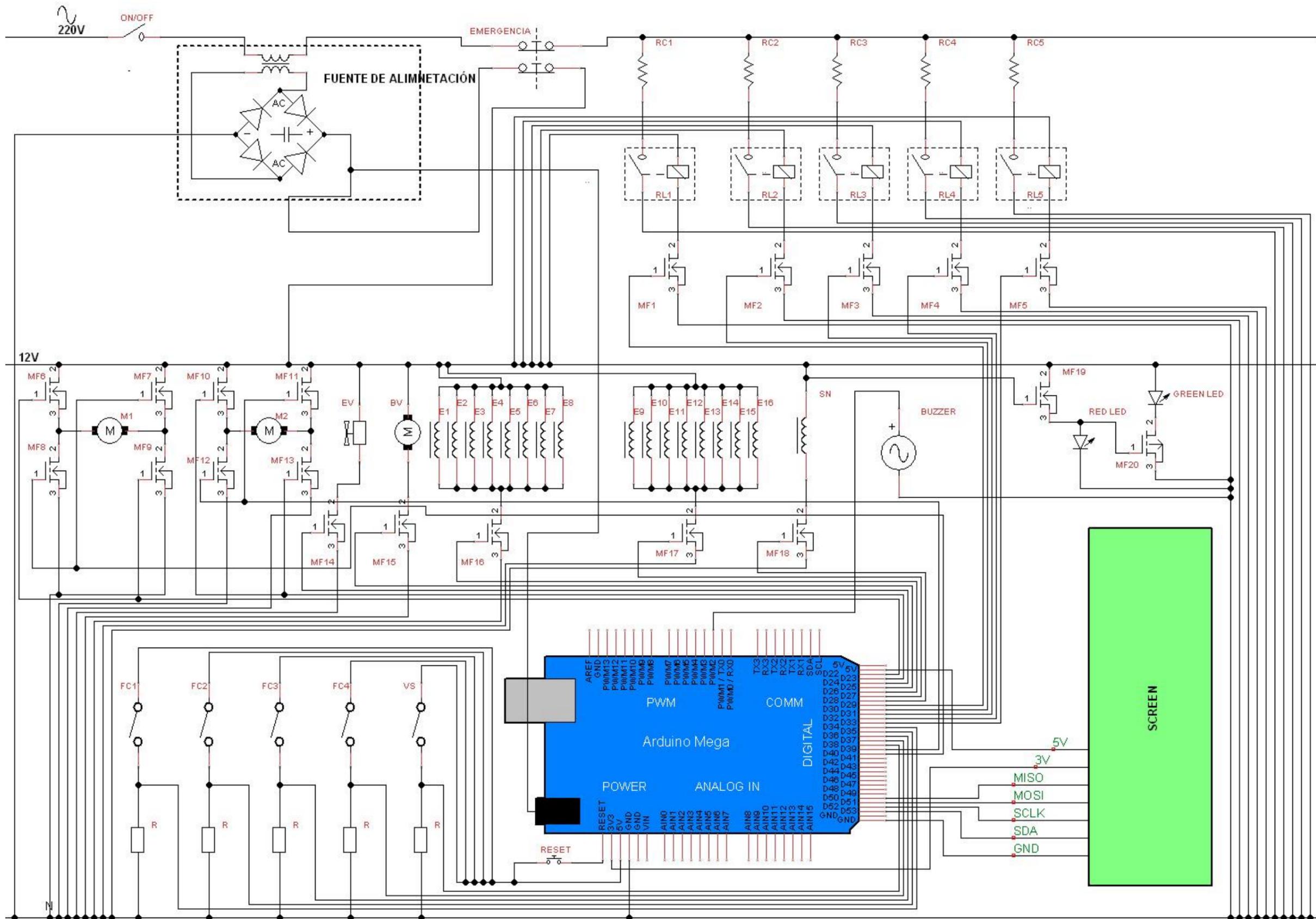


Figura 111: esquema eléctrico completo de la máquina.

9.1 Partes.

Para una mayor comprensión del esquema, se divide este por partes y se explica cada una de las partes por separado.

9.1.1 Fuente de alimentación.

La fuente de alimentación se representa de la siguiente forma (figura 112):

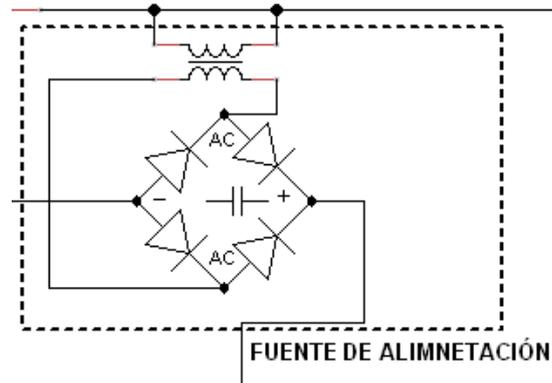


Figura 112: fuente de alimentación.

Para esta aplicación, se desea utilizar una fuente de alimentación que, por una parte, preste una línea de corriente continua de 12V para conectar aquellos elementos que trabajen con una tensión de 12V como lo son los motores, la bomba de vacío, los solenoides...etc. y por otra parte mantenga la línea de corriente alterna para conectar aquellos elementos que trabajen con corriente alterna como las resistencias calefactoras.

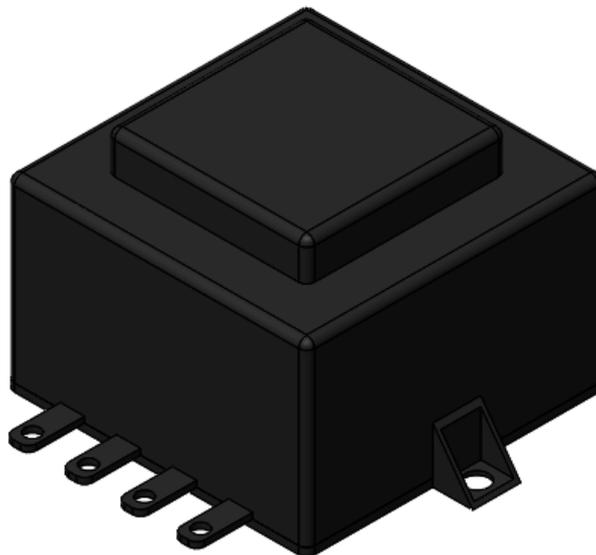


Figura 113: modelo representativo de la fuente de alimentación.

A la hora de diseñar la máquina, la fuente de alimentación se representa con un bloque de color oscuro (figura 113). Se desea dejar constancia de que no se trata de la fuente de alimentación definitiva, sino que, es simplemente una representación de esta. La idea principal es dejar un espacio para que el ingeniero en electrónica de potencia diseñe la fuente, o la adquiera a un proveedor, a partir del esquema eléctrico que se le pase y las necesidades de alimentación de la máquina.

9.1.2 Resistencias calefactoras.

Las resistencias calefactoras con sus elementos dependientes se representan de la siguiente forma (figura 114).

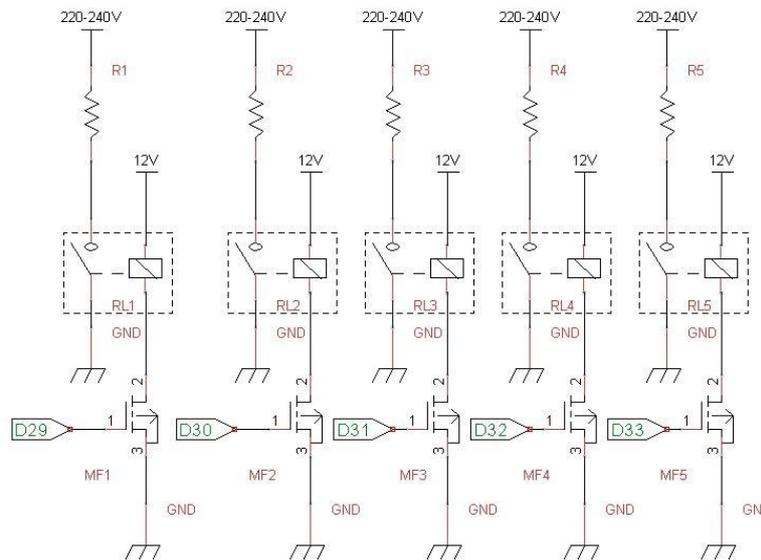


Figura 114: parte del esquema eléctrico correspondiente a las resistencias calefactoras.

Las resistencias calefactoras, están conectadas directamente a la línea de tensión alterna. Para activarlas o, dicho de otra manera, para cerrar el circuito, se utilizan unos relés. Estos relés están conectados a la línea de corriente continua de 12 voltios. Los relés a su vez, son activados por los transistores Mosfet. Los transistores Mosfet, se activan o desactivan a través de las entradas digitales del microcontrolador.

El funcionamiento es muy simple, por ejemplo: si se activa el pin digital D29 del microcontrolador, el transistor cierra el circuito activando de esta manera el relé. El relé, a su vez, cierra el circuito de la resistencia calefactora poniendo a esta en marcha.

Si se desea calentar una determinada lámina que necesite más resistencias para llegar a la temperatura de termoconformado, como por ejemplo una lámina de HDPE de 1,5 milímetros de grosor que necesita 4 resistencias encendidas, se activarán por tanto 4 salidas del microcontrolador, como por ejemplo las salidas D29, D30, D31 y D32.

9.1.3 Elementos a 12V

Se muestran a continuación los motores de continua, la electroválvula, la bomba de vacío y el solenoide (figura 115). Además, separados por grupos, se puede apreciar un primer grupo de electroimanes y otro segundo. El primer grupo de electroimanes corresponde a aquellos ubicados en la base de la máquina que presionan el soporte inferior de la máquina contra esta durante la fase de succión. El segundo grupo de electroimanes es el encargado de presionar los soportes uno contra el otro durante la misma fase.

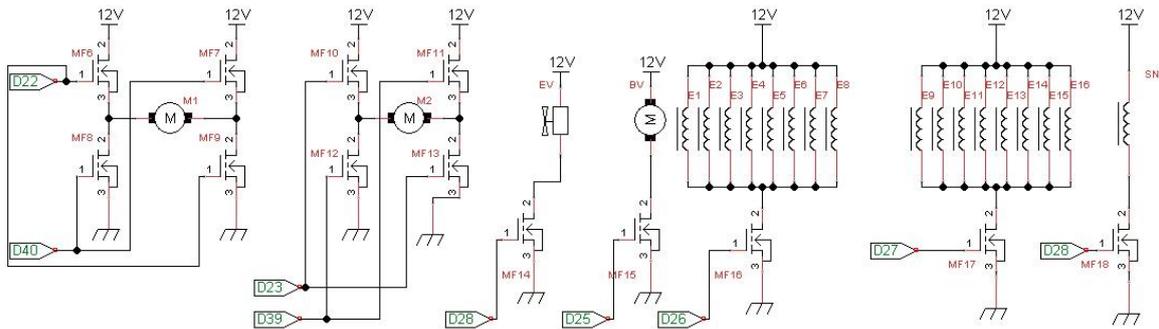


Figura 115: parte del esquema eléctrico correspondiente a los componentes alimentados a 12V.

La forma de funcionar de esta parte es la misma que la descrita anteriormente, para activar cualquier elemento conectado a la línea de 12 voltios, tan solo basta con saturar el transistor conectado a este. Por ejemplo, cuando sea necesario activar la bomba de vacío, el microcontrolador activará el pin D25, el Mosfet **MF15** cerrará el circuito poniendo de esta forma el proceso de vaciado en marcha.

En cambio, se puede observar que los motores disponen de 4 transistores cada uno. Esto se debe a la necesidad de controlar el giro del motor en cada momento. Es decir, cuando sea necesario hacer que el soporte de la lámina ascienda, se activará el par de transistores que harán que la corriente fluya en una dirección haciendo que el motor gire en un sentido determinado.

Cuando sea necesario bajar el soporte de la lámina, se activará el par de transistores contrario a los anteriores haciendo que la corriente fluya en el sentido opuesto al anterior y como consecuencia el motor girará en otra dirección.

9.1.4 Finales de carrera.

Todos los finales de carrera que forman parte de la máquina se representan como un interruptor, además del vacuostato, que también funciona a modo de interruptor regulable a la presión deseada (figura 116).

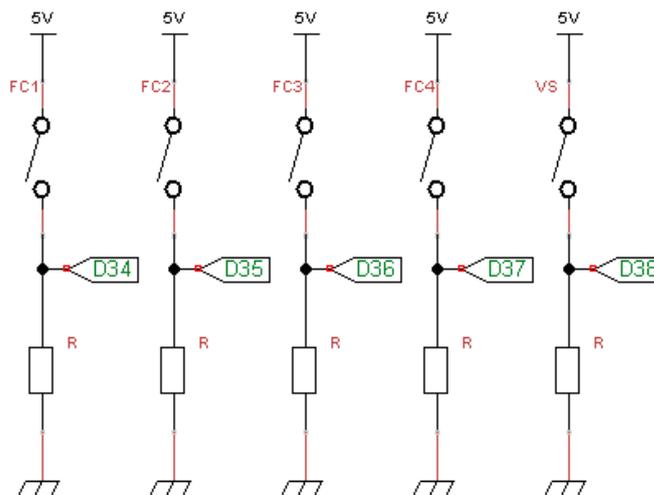


Figura 116: parte del esquema eléctrico correspondiente a los finales de carrera.

Todos estos elementos están conectados a las salidas de potencia de 5 voltios del microcontrolador, así como se puede observar en el esquema eléctrico general.

Aquí el funcionamiento también es muy sencillo, por ejemplo: en cerrar el usuario la puerta de la máquina, que forma parte del conjunto de resguardos de esta, accionará un final de carrera, supongamos que es el **FC4**. Al accionar el final de carrera, se cerrará el circuito y a través de este empezará a fluir la corriente. A este circuito cerrado se conecta un pin del microcontrolador que en este caso se configura como una entrada. En detectar el microcontrolador la presencia de una tensión en este pin, se percata de que el final de carrera es accionado y, por tanto, de que la puerta del resguardo se ha cerrado.

9.1.5 Parada de emergencia e interruptor On/Off.

Como se puede ver en el esquema, el interruptor se conecta justo delante de la fuente de alimentación consiguiendo así desconectar toda la máquina cuando esté en la posición Off.

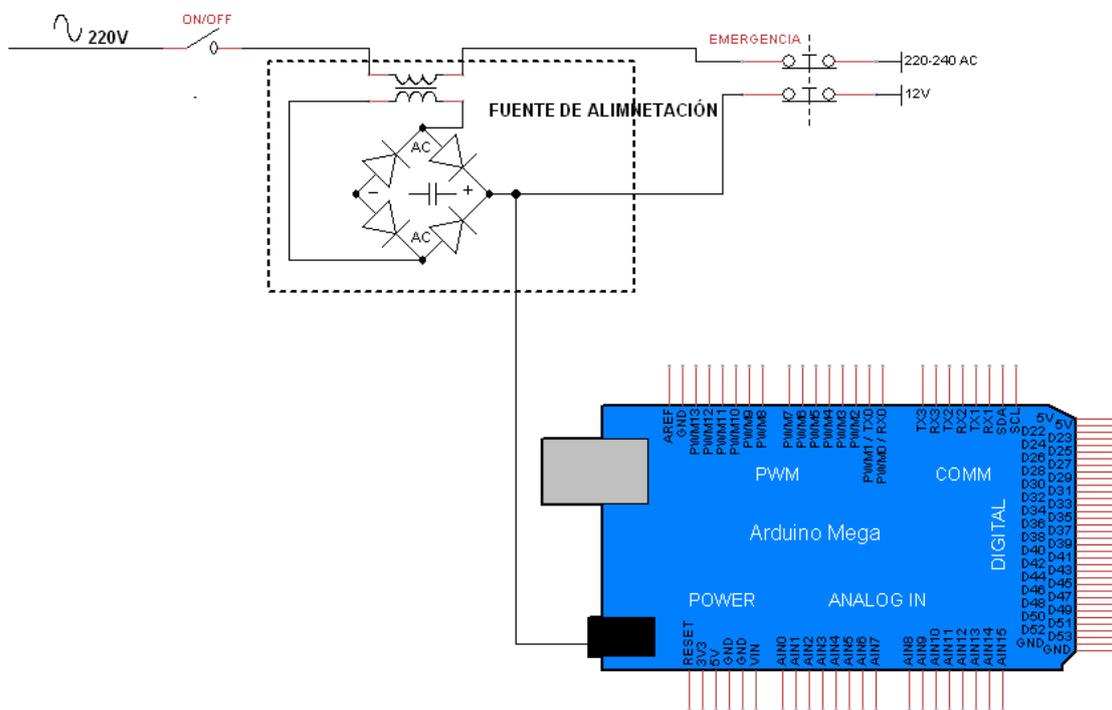


Figura 117: controlador Arduino y representación de los elementos de marcha y paro.

En cuanto a la parada de emergencia, esta se conecta después de la fuente de alimentación. Se trata de una parada de emergencia que una vez accionada, desconecta tanto la línea de corriente alterna como la continua de 12V.

Nótese (figura 117) que el microcontrolador Arduino está conectado directamente a la línea de 12V entre la fuente de alimentación y la parada de emergencia. De esta manera, cuando se acciona la parada de emergencia, se desconectan todos los elementos menos el microcontrolador. Esto se debe a diversas razones, una de ellas es que, el microcontrolador, tiene una serie de acciones a implementar siguiendo las instrucciones de la programación una vez se ha desclavado la parada de emergencia.

9.1.6 Elementos de información al usuario.

Por último, el zumbador, el LED verde y el LED rojo (figura 118).

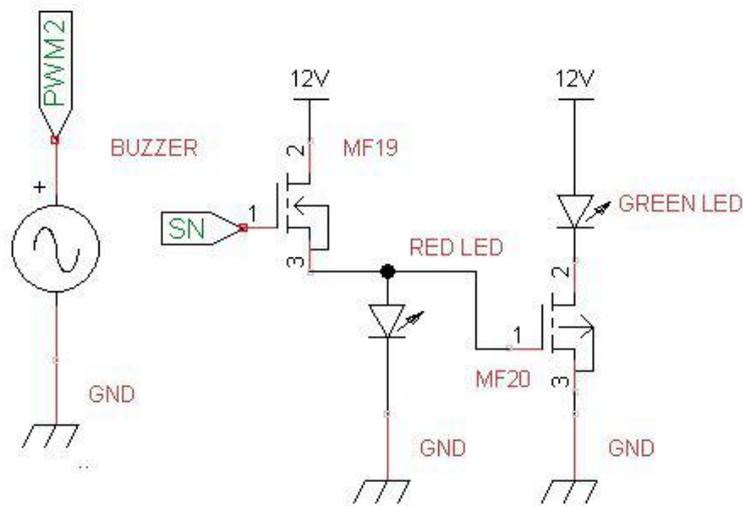


Figura 118: esquema eléctrico de los elementos de información al usuario.

El zumbador se conecta directamente a un pin de salida digital PWM, el pin **PWM2** en nuestro caso, que proporciona una señal pulsada, así como la requiere el zumbador (figura 119).



Figura 119: representación de la variación de tensión de una señal pulsada.

El zumbador será activado directamente por el microcontrolador cuando, según la programación de la máquina, esto sea necesario.

En cuanto a los indicadores LED, estos están conectados de tal forma que el LED verde está en estado activo desde el momento en el que se pone en marcha la máquina. Por esta razón, el único transistor Mosfet utilizado en la máquina tipo *P-channel* (figura 120) es el que se encarga de controlar el LED verde. Este tipo de transistor, en este caso, se utiliza como un interruptor normalmente cerrado. De esta forma, desde el momento en el que se ponga la máquina en marcha, el LED verde, que tendrá su circuito cerrado, se activará.

El LED rojo en cambio utiliza un transistor como todos los que se han utilizado hasta el momento, de tipo *N-channel* (figura 120). Estos se utilizan como un interruptor normalmente abierto. De esta forma, cuando el solenoide encargado de bloquear la puerta del resguardo, se ponga en marcha, activará el transistor **MF19** haciendo que se cierre el circuito y se active el LED rojo. Esto, a su vez, abrirá el transistor **MF20**, abriendo el circuito del LED verde y haciendo que este se apague.

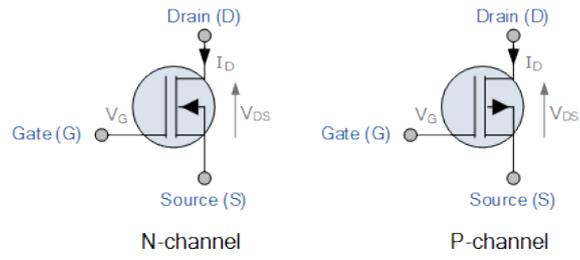


Figura 120: transistores Mosfet tipo P y tipo N.

10. Grafkets de control.

Para controlar la máquina se utiliza un Grafket principal que fuerza otros Grafkets subordinados. El Grafket principal es aquel que interactúa con el usuario mientras que los Grafkets subordinados son aquellos que rigen el funcionamiento automático de la máquina y por tanto no necesitan la intromisión del usuario en ningún momento.

10.1 Jerarquía.

El sistema se divide en 6 Grafkets en total:

- El Grafket G0, es el Grafket principal que recibe señales del usuario y fuerza los otros Grafkets que le son subordinados.
- El Grafket G1 es el que dicta el comportamiento de la máquina en la fase de subida del soporte inferior una vez depositada la lámina.
- Los Grafkets G2, G3, G4, G5 y G6, dictan el comportamiento de la máquina desde el momento en el que el usuario selecciona iniciar el proceso de termoconformado hasta que este termina dejando la máquina en su posición inicial.

10.2 Entradas.

Las entradas que se han definido en los Grafkets para el correcto funcionamiento de la máquina son los que se pueden ver en la siguiente tabla (tabla 18).

Entrada	Significado
FCP	Final de Carrera Puerta.
FCI	Final de Carrera Inferior.
FCI2	Final de Carrera Inferior.
FCS	Final de Carrera Superior.
SSI	Subir Soporte Inferior.
BSI	Bajar Soporte Inferior.
EM	Emergencia.
INICIO	Inicio de proceso de termoconformado.

Tabla 18: relación entre entradas del sistema y su significado.

10.3 Salidas.

Las salidas que se pueden ver en los Grafkets y que en definitiva hacen funcionar la máquina son (tabla 19):

Entrada	Significado
BUZ	Zumbador.
M1S	Motor 1 Subir.
M1B	Motor 1 Bajar.
M2S	Motor 2 Subir.
M2B	Motor 2 bajar.
SOL	Solenoide.
BV	Bomba de Vacío.
EV	Electroválvula.
R1	Resistencia 1.
R2	Resistencia 2.

R3	Resistencia 3.
R4	Resistencia 4.
R5	Resistencia 5.
EI1	Electroimán 1.
EI2	Electroimán 2.

Tabla 19: relación entre salidas del sistema y su significado.

10.4 Variables.

Como ya se ha explicado en el apartado de cálculo de la potencia de termoconformado, así como en el apartado de la descripción del funcionamiento, esta máquina se configura para utilizarse con un grupo concreto de polímeros y unos espesores predeterminados.

El usuario, configurando el programa para un nuevo ciclo de termoconformado, debe indicar el polímero que va a utilizar y su espesor entre todas las opciones que le son ofrecidas. Teniendo en cuenta que se han realizado los cálculos para siete tipos de polímeros distintos, y que cada uno de ellos puede variar de cuatro formas en grosor, las posibles combinaciones en total son de veintiocho.

Por esto, se definen cinco variables (tabla 20). Cada variable pondrá en marcha un número determinado de resistencias:

Variable	Resistencias
Variable 1	Una resistencia.
Variable 2	Dos resistencias.
Variable 3	Tres resistencias.
Variable 4	Cuatro resistencias.
Variable 5	Cinco resistencias.

Tabla 20: relación entre el número de variable y la cantidad de resistencias que acciona.

A partir de los cálculos realizados, a cada variable le corresponden las siguientes combinaciones de material y espesor según el número de resistencias que se han de poner en marcha (tabla 21).

Variable	Material	Espesor
Variable 1	PS	0,5
	PS	1
	SB	0,5
	ABS	0,5
	PET	0,5
	PET	1
	PVC	0,5
	PVC	1
	PC	0,5
Variable 2	PS	1,5
	PS	2
	SB	1
	SB	1,5
	ABS	1
	ABS	1,5
	PET	1,5
	PET	2

	PVC	1,5
	PVC	2
	HDPE	0,5
Variable 3	SB	2
	ABS	2
	PC	1
	HDPE	1
Variable 4	PC	1,5
	HDPE	1,5
Variable 5	PC	2
	HDPE	2

Tabla 21: relación entre número de variable respecto a material y grosor.

A cada variable, como se verá posteriormente, le corresponde un Grafcet subordinado concreto que activa una, dos, tres, cuatro o cinco resistencias según la configuración de material y espesor introducida (tabla 22).

Variable	Grafcet
Variable 1	Grafcet G2
Variable 2	Grafcet G3
Variable 3	Grafcet G4
Variable 4	Grafcet G5
Variable 5	Grafcet G6

Tabla 22: relación entre número de variable y Grafcet subordinado que activa.

10.5 Grafkets.

Grafcet principal, G0.

El funcionamiento del Grafcet principal (figura 121) es el siguiente:

En el estado inicial de la máquina, el soporte superior está en la parte de arriba, el inferior en la parte de abajo y todos los Grafkets secundarios o subordinados permanecen inactivos o, dicho de otra manera, congelados en sus etapas iniciales.

Cuando el usuario pone en marcha la máquina, esta lo primero que le indica es que debe depositar en su interior la lámina y subir el soporte inferior a través de un botón habilitado para tal efecto (**SSI**). Seleccionada esta opción, la máquina se pone en espera hasta que se cierre la puerta del resguardo, que, como consecuencia, accionará en final de carrea de la puerta (**FCP**).

Acto seguido, se forzará el **Grafcet G1**, que básicamente se encarga de bajar el soporte superior para luego subir junto al soporte inferior y la lámina hasta la parte superior de la máquina y accionar el final de carrera superior (**FCS**). Mientras tanto, se activará el solenoide (**SOL**) para bloquear la puerta y evitar que esta sea abierta durante el proceso.

A continuación, la máquina le ofrece al usuario las distintas opciones de material y grosores. En seleccionar un determinado material y grosor, se habrá configurado una variable (**VARI1, VARI2, VARI3, VARI4** o **VARI5**). Determinada la variable, la máquina espera a que el usuario cierre la puerta (**FCP**) y pulse el botón habilitado para el inicio del proceso (**INICIO**).

En pulsarse el botón de inicio, el Grafcet principal forzará los Grafkets secundarios **G1, G2, G3, G4** o **G5**, según la variable configurada. Además, dado de que se trata otra vez, de un proceso totalmente automatizado, se activa el solenoide (**SOL**) para bloquear la puerta. Básicamente,

una vez forzado uno de los Grafjets anteriormente mencionados, la máquina pone en marcha el número de resistencias correspondiente y activa la bomba de vacío para, después de un intervalo de tiempo determinado, bajar la lámina en estado gomoso, presionarla contra el molde y succionar el aire de debajo. Todo este proceso se explicará con más detalle posteriormente.

Conformada la lámina, el soporte superior sube hasta accionar el final de carrera superior (**FCS**), volviendo de esta manera la máquina a su estado inicial.

Para finalizar el ciclo y volver a la primera etapa del Grafjet principal, se espera a que la puerta sea abierta por el usuario desactivando el final de carrera de la puerta (**FCP**).

Transiciones temporizadas.

A la parte izquierda del Grafjet principal se pueden observar unas transiciones temporizadas: **t/E3/10s** y **t/E8, E13, E17, E21, E25/80s**.

La primera de estas sirve para controlar el tiempo que pasa a lo largo de la etapa 3. Como se verá posteriormente en el Grafjet G1, el tiempo necesario para completar todo el proceso es de 5 segundos: 1 segundo de espera inicial, 2 de bajada del soporte superior y 2 de subida de los dos soportes juntos. Si el tiempo que pasa es superior a 10 segundos, significa que hay una anomalía en el proceso y por esto, se pone en marcha el zumbador (**BUZ**) para avisar al usuario, junto al solenoide (**SOL**), que sigue bloqueando la puerta.

La segunda transacción temporizada, tiene el mismo fin. Simplemente trata de controlar el tiempo que pasa durante la etapa 8, 13, 17, 21 o 25, según la variable configurada. Como se verá posteriormente, los Grafjets G2, G3, G4, G5 o G6 son procesos totalmente automatizados y el tiempo necesario para finalizar es de 70 segundos: 1 segundo de espera inicial, 60 segundos de calentamiento de la lámina, 2 segundos para bajar los soportes, 5 segundos para el vaciado y 2 segundos más para subir el soporte superior. Si el tiempo transcurrido es superior al necesario, se activa una alarma.

Para desactivar la alarma en los dos casos, el usuario debe pulsar el botón de emergencia (**EM**). El funcionamiento de la máquina después del pulsado de dicho botón, es como se explica a continuación.

Transiciones de emergencia.

Después de cada forzado de Grafjet, existe una transición temporizada, una transición de funcionamiento normal y una transición de Emergencia (**EM**). Esta última se activa en el momento en el que el usuario pulsa el botón de Emergencia. Al pulsar el botón, se congelan de forma momentánea todos los Grafjets subordinados. Para desactivar la alarma hay que desenclavar el botón de emergencia, pero, la alarma solo se desactivará cuando la máquina detecte que la puerta está cerrada a través del final de carrera de la puerta (**FCP**). Entonces, se volverá a bloquear la puerta a través del solenoide (**SOL**), se activará la electroválvula (**EV**) para liberar el vacío que se haya podido crear en el interior del tanque de vacío y tanto el soporte superior como el inferior volverán a sus posiciones iniciales después de accionar los finales de carrera respectivos (**FCI2** y **FCS**). La máquina estará lista para un nuevo ciclo de termoconformado después de la parada de emergencia.

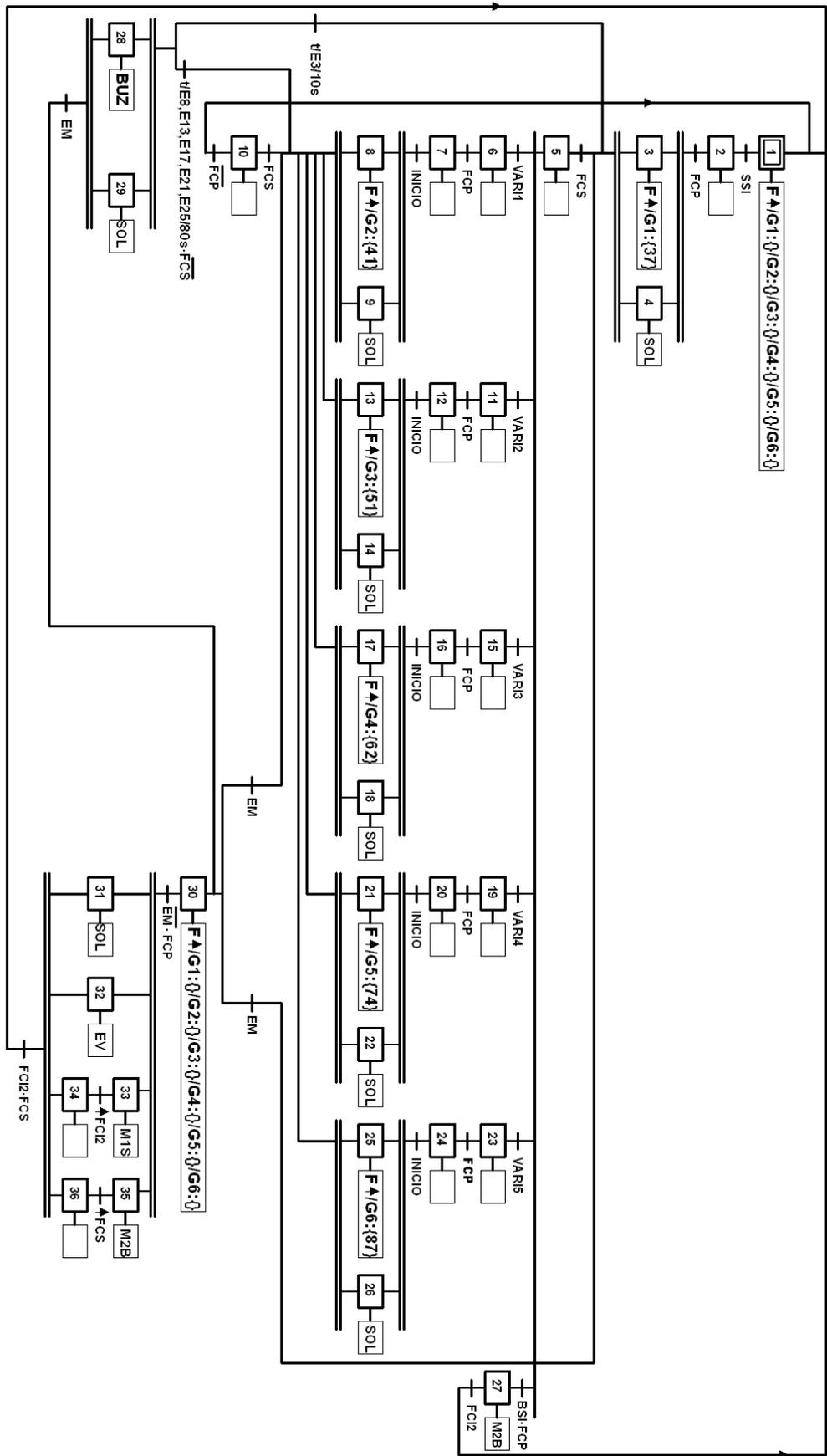


Figura 121: Graficet principal.

Fíjese que, en pulsar el botón de emergencia, se da el único momento en el que la puerta no está bloqueada por el solenoide. Para explicar la razón de ello, supongamos un caso: supongamos que el usuario por accidente se deja algo en el interior de la máquina que impide que los soportes bajen o suban con normalidad. Por esto, al estar bloqueado el paso, en la primera fase totalmente automatizada, la **etapa 3**, la máquina detectará que han pasado más de 10 segundos y que todavía no se ha activado el final de carrera superior. Como consecuencia, se pondrá en marcha el zumbador. El usuario, al escuchar la alarma, se dará cuenta de que en el interior de la máquina hay un objeto que impide el movimiento de los soportes. Para quitar dicho elemento del interior, será necesario que se pulse el botón de emergencia. Al hacerlo, la máquina se quedará totalmente inmóvil y con las resistencias calefactoras apagadas. Entonces, será este un momento seguro para abrir la puerta y quitar el objeto. Una vez hecho esto, habrá que cerrar la puerta y desenclavar el botón de parada de emergencia ($\overline{EM} \cdot FCP$), entonces, la máquina volverá a su posición inicial.

Grafcet subordinado, G1.

El primer Grafcet totalmente automatizado, correspondiente al forzado de la etapa 3, es el Grafcet G1 (figura 122).

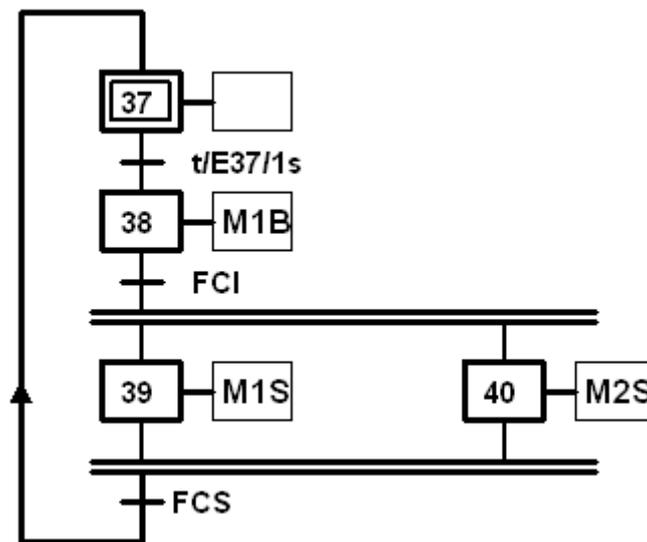


Figura 122: Grafcet subordinado G1.

El funcionamiento aquí es muy simple. En depositar el usuario la lámina a termoconformar sobre el soporte inferior y decirle a la máquina que suba dicho soporte (**SSI**), una vez cerrada la puerta, se activará la **etapa 3** que forzará el **Grafcet G1**.

En este momento, lo primero en producirse, será una espera de 1 segundo. Acto seguido, bajará el soporte superior (**M1B**) hasta accionar el final de carrera inferior (**FCI**). Hecho esto, tanto el soporte inferior como el soporte superior, empezarán a subir hacia la parte superior de la máquina (**M1S y M2S**) hasta accionar el final de carrera superior (**FCS**). Al accionar este final de carrera, el Grafcet G1 pasará a la fase inicial mientras que el Grafcet general G0, pasará a la etapa 5.

Grafcets subordinados, G2, G3, G4, G5 y G6.

Los Grafcets subordinados **G2, G3, G4, G5** o **G6** se fuerzan una vez configurada una variable de material y espesor. Estos, son también Grafcets totalmente automatizados que no necesitan la intervención del usuario.

Supongamos que se desea termoconformar una lámina de policarbonato de 1 milímetro de grosor. Por tanto, la variable configurada sería la **VARI3**. Esta variable forzaría el **Grafcet G4** (figura 123).

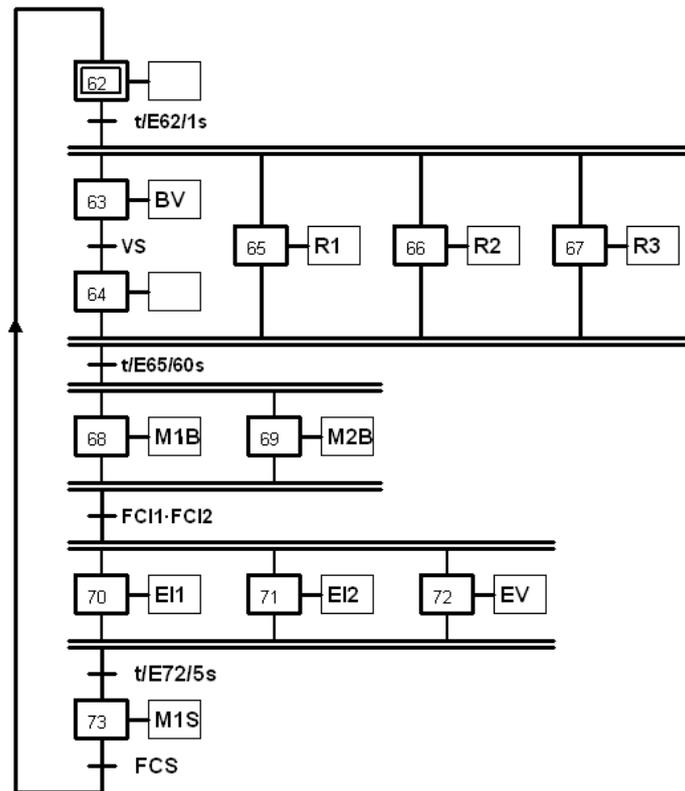


Figura 123: Grafcet subordinado G4.

Después de una primera fase de espera de **1 segundo**, se ponen en marcha de forma paralela la bomba de vacío (**BV**), que empieza a sacar el aire del interior del tanque de vacío y las resistencias correspondientes, que en este caso son 3 (**R1, R2 y R3**). En activarse el vacuostato (**VS**) se pasará de la etapa **63** a la **64**, desactivándose de esta forma la bomba de vacío. El vacuostato se activa antes de que pasen los 60 segundos de calentamiento de la lámina.

Una vez transcurridos esos 60 segundos, inmediatamente, los soportes de la lámina bajan hasta la parte inferior de la máquina (**M1B y M2B**). En accionarse los finales de carrera correspondientes (**FCI1 y FCI2**) de forma simultánea, se activa el primer grupo de electroimanes que presiona un soporte contra otro (**EI1**), el segundo grupo de electroimanes que presiona el soporte inferior contra la base de apoyo (**EI2**) y la electroválvula (**EV**) que abre el tanque de vacío y hace que el aire del exterior sea succionado hacia el interior de este. Finalmente, en pasar 5 segundos de espera, el soporte superior sube hacia arriba (**M1S**) hasta activar el final de carrera superior, (**FCS**).

Todos los demás Grafjets subordinados son totalmente iguales al descrito anteriormente, el único elemento que varía es el número de resistencias que son activadas, que depende de la variable de material y grosor configurada. Esto se puede ver a continuación.

Grafjet G2, correspondiente a la variable 1 (figura 124).

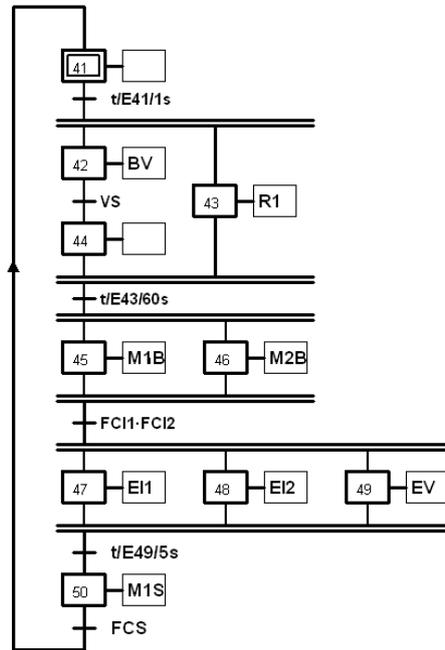


Figura 124: Grafjet subordinado G2.

Grafjet G3, correspondiente a la variable 2 (figura 125).

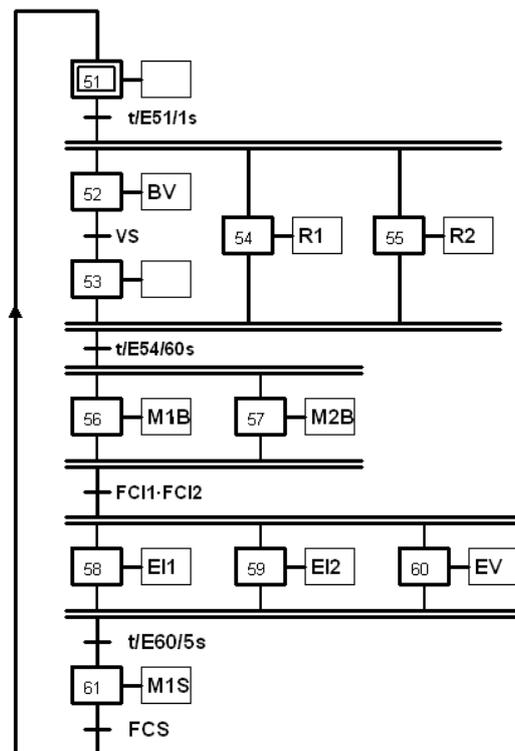


Figura 125: Grafjet subordinado G3.

Grafcet G5, correspondiente a la variable 4 (figura 126).

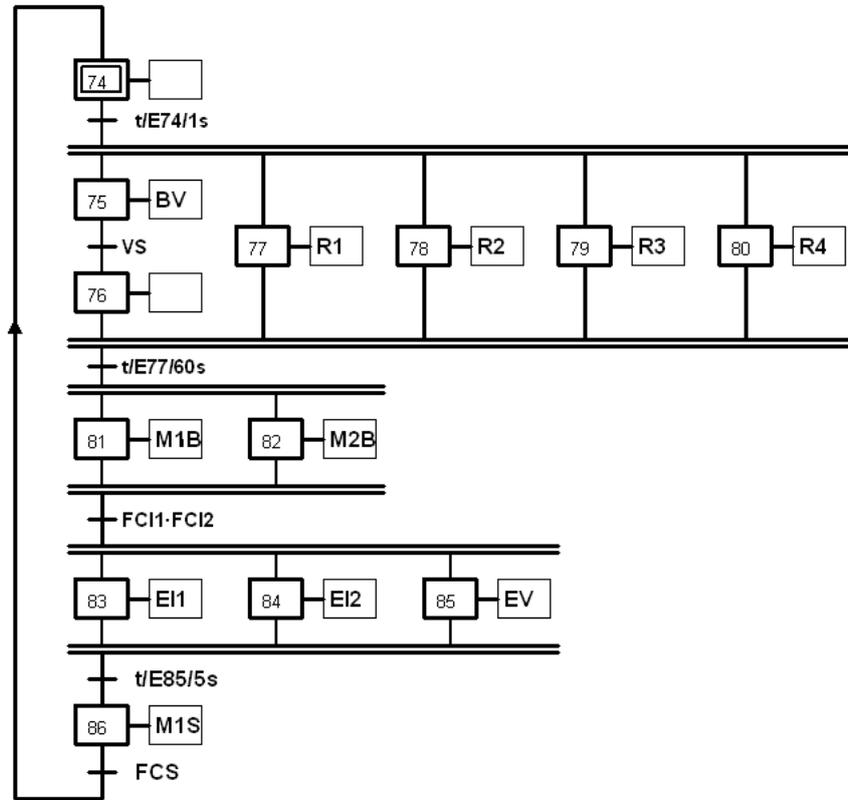


Figura 126: Grafcet subordinado G5.

Grafcet G6, correspondiente a la variable 5 (figura 127).

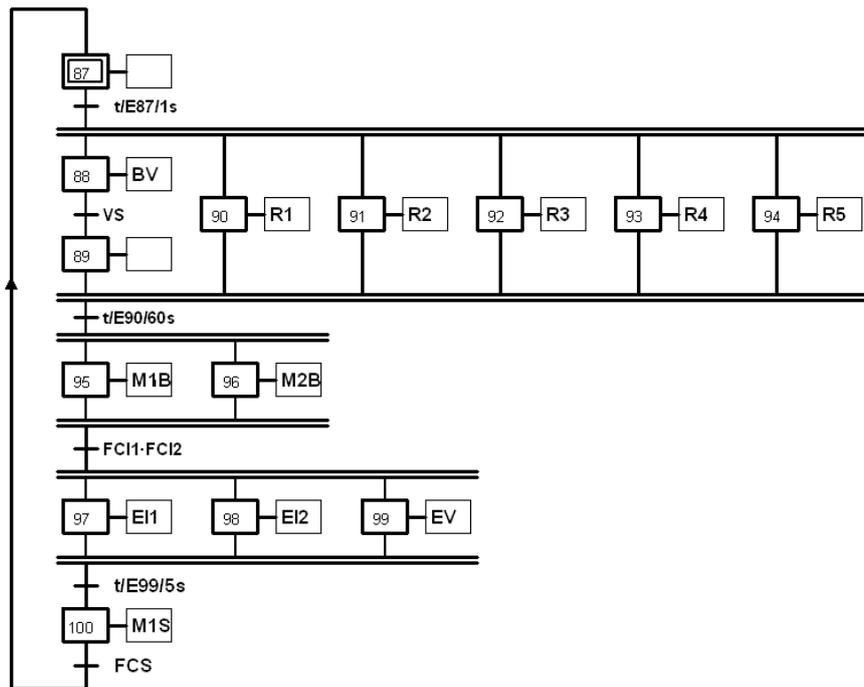


Figura 127: Grafcet subordinando G6.

11. Seguridad de la máquina.

11.1 Evaluación de riesgos.

Antes de definir el sistema de seguridad de la máquina, se realiza una evaluación de los posibles riesgos derivados única y exclusivamente de la utilización de la máquina por parte del usuario. No se tienen en cuenta los posibles riesgos derivados durante el montaje, transporte, almacenamiento u otras fases de manipulación que se puedan dar a lo largo del ciclo de vida del producto.

Los principales riesgos para el usuario durante la fase de uso que se pueden prever son los siguientes:

- Riesgo de atrapamiento con partes móviles.
- Riesgo de quemaduras.
- Riesgo de choque eléctrico con partes sometidas a tensión.

La evaluación de los riesgos descritos anteriormente se puede ver en la siguiente imagen (figura 128).

Nº orden	Explicación clara y concreta del evento que podría ocurrir y que genera el riesgo	Tipo de peligro	Fase del ciclo vida de la máquina (transporte, montaje, uso, mantenimiento, limpieza, retirada)	Probabilidad	Severidad	Riesgo para cada peligro (0-100)	Valoración del riesgo
1	Electrocución por contacto con elementos en tensión.	1.5.1	Uso	Baja	Grave	16	Intermedio
2	Atrapamiento de extremos con elementos móviles	1.3.7	Uso	Baja	Leve	4	Bajo
3	Contacto con partes calientes de la máquina o lámina a termoconformar	1.5.5	Uso	Baja	Leve	4	Bajo

Figura 128: evaluación de riesgos.

La ponderación de la suma total de riesgos es de 24 (figura 129).

Riesgo total (Suma de riesgos)
24

Figura 129: resultado de la evaluación de los riesgos.

A partir del análisis realizado se puede decir que la máquina en si representa poca peligrosidad para el usuario. Esto, en parte, se debe a que se trata de una máquina en la que no intervienen elementos cortantes, abrasivos, aplastantes...etc. Además, la intervención del usuario es reducida, solo se requiere para depositar la lámina a termoconformar cuando la máquina está parada.

En un intento de reducir el valor del riesgo obtenido se proponen las siguientes soluciones.

- Resguardos fijos para el aislamiento y restricción frente al acceso del usuario a las partes internas de la máquina donde hay varios elementos sometidos a tensión, así como partes móviles que pueden generar atrapamientos.
- Resguardos móviles con bloqueo durante la fase de termoconformado para las partes móviles donde la intervención del usuario es necesaria eventualmente.
- Indicaciones visuales con advertencias para la información del usuario.

11.2 Definición del sistema de seguridad de la máquina.

Se describen a continuación los elementos que forman parte del sistema de seguridad y protección del usuario frente a los peligros que puedan derivar del uso de la máquina.

11.2.1 Resguardos.

En primer lugar, se ha utilizado un resguardo para proteger al usuario contra el acceso a las partes internas de la máquina cuando esta se encuentre en funcionamiento. Este resguardo lo podemos dividir en dos partes.

En primer lugar, las carcasas opacas, exteriores e inmóviles que se definen como un resguardo fijo. Este resguardo fijo cumple con todas las características necesarias que lo definen como tal:

- Solo se puede desmontar utilizando herramientas específicas.
- Si no se dispone de los elementos de fijación utilizados, que en este caso son tornillos, las carcasas no podrán permanecer en el sitio que les corresponde.

Los resguardos fijos (figura 130), de color blanco, se observan en la siguiente imagen:

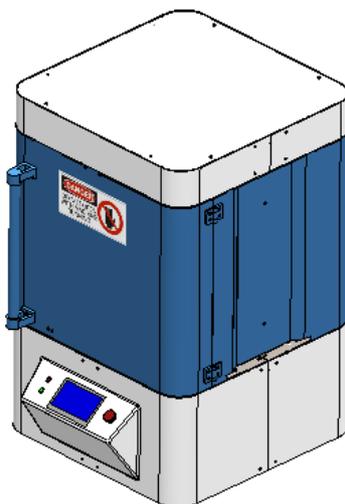


Figura 130: en color blanco, los resguardos fijos.

En segundo lugar, la carcasa transparente que se puede abrir y cerrar. La definiremos por tanto como un resguardo móvil. Además, está asociado a un elemento de enclavamiento y bloqueo. Este resguardo móvil con enclavamiento y bloqueo cumple con todos los requisitos funcionales para ser definido como tal:

- Cuando se abre, permanece sujeto a la máquina.
- Solo se puede abrir con una acción voluntaria
- No permite el funcionamiento de la máquina si está en posición abierta.
- Corta el funcionamiento de la máquina si se abre.

El resguardo móvil se muestra en la imagen anterior, remarcado en azul. En la primera imagen (figura 130) se puede observar cerrado mientras que en la segunda (figura 131) abierto mostrando el espacio que deja para que el usuario pueda hacer uso de la máquina de forma cómoda.

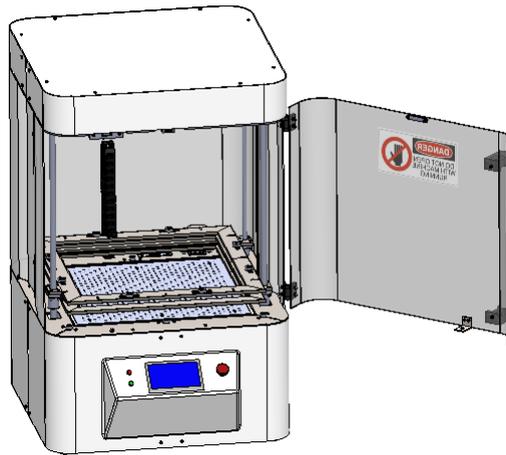


Figura 131: resguardo móvil en posición abierta.

El bloqueo y enclavamiento se consiguen mediante los siguientes elementos:

- Bloqueo: en la base de la máquina se dispone de un solenoide unido al chasis que, una vez puestas en marcha las funciones peligrosas para el usuario de la máquina, se activa haciendo que el vástago de este atraviese una pieza (más adelante llamaremos a esta pieza enganche) que está unida a la puerta móvil, o resguardo móvil, dificultando así la posibilidad de abrir esta puerta.

La siguiente imagen (figura 132) muestra en color azul el enganche y el vástago del solenoide respectivamente.

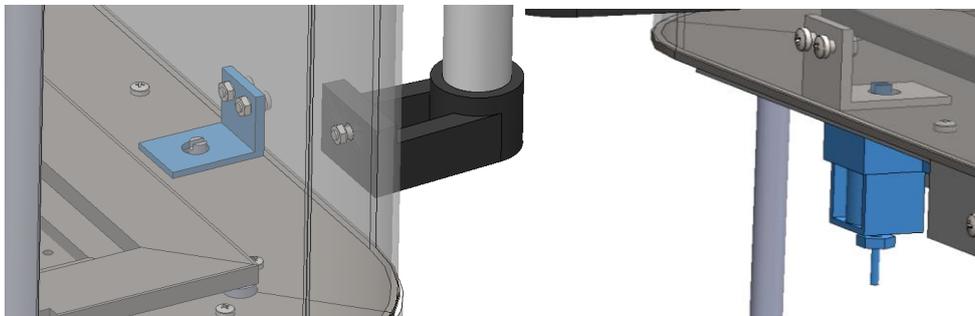


Figura 132: bloqueo de la puerta mediante solenoide y enganche.

- Enclavamiento: En primer lugar, el efecto de enclavamiento se consigue con un final de carrera (figura 133) que, cuando se cierra la puerta, cierra un circuito eléctrico interno, que se podría llamar circuito de seguridad. De esta forma, únicamente cuando la puerta esté cerrada, se podrá poner la máquina en funcionamiento.

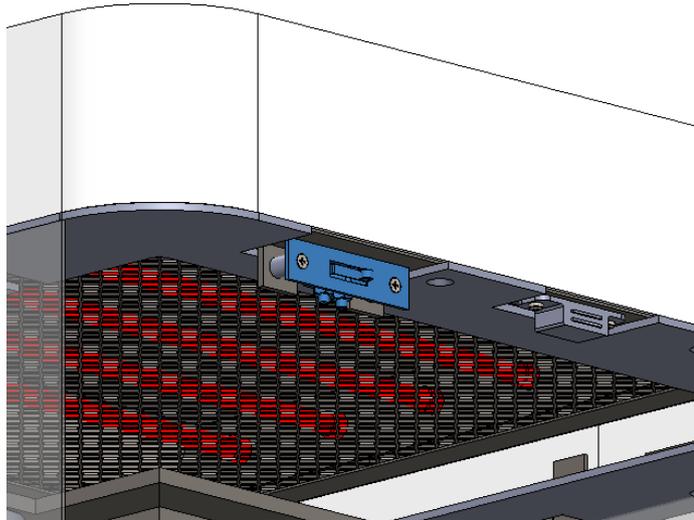


Figura 133: final de carrera que detecta el estado del resguardo móvil.

En segundo lugar, un imán (figura 134) unido a la parte superior del chasis que mantiene la puerta cerrada a través de la unión entre este y el polo opuesto unido a la puerta (figura 135).

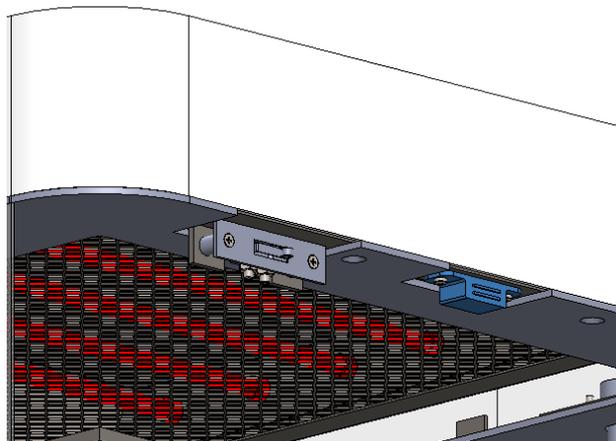


Figura 134: imán en la máquina.

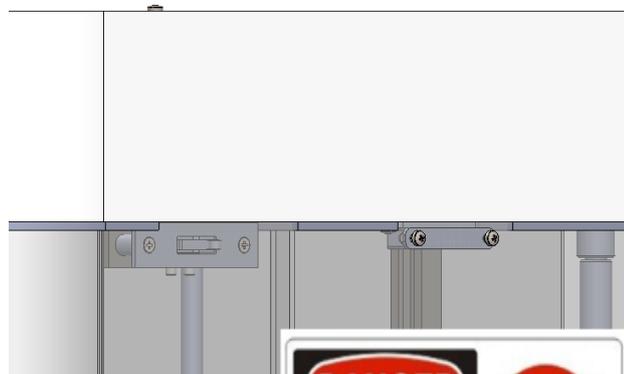


Figura 135: imán de polo opuesto en la puerta.

De esta forma, cuando el usuario cierra la puerta, esta se queda en posición cerrada gracias al imán de la parte superior. El final de carrera ubicado también en la parte superior, da una señal que indica que la puerta se encuentra cerrada. Entonces, en el momento en el que el usuario pone en funcionamiento la máquina se despliega el solenoide, haciendo que la puerta no se pueda abrir hasta que no cese dicho funcionamiento. Si en un supuesto caso, haciendo uso de una fuerza elevada, el usuario consigue vencer el bloqueo realizado por el solenoide, el final de carrera se abrirá, abriendo el circuito eléctrico. La señal que indicaba antes que la puerta estaba cerrada se cortará y esto, por la programación de la máquina, hará que de forma inmediata y automática se produzca el sece de las operaciones.

Una vez cerrada la puerta tras una parada de este estilo, la máquina no continuará con el trabajo de termoconformado si no que volverá a su posición inicial.

Finalmente se disponen de unas rejillas (figura 136) que dificultan el acceso del usuario, en primer lugar, a las resistencias calefactoras de la máquina. Esto se debe a que una vez terminada la operación de termoconformado, el usuario podrá abrir la puerta y acceder al interior de esta para sacar la lámina termoconformada. En este momento las resistencias calefactoras todavía mantendrán una temperatura elevada. Para evitar que el usuario acceda a estas y se ocasione quemaduras en las manos o los brazos, se ha dotado esa parte de una rejilla que, aunque también estará caliente, no estará en cambio a la misma temperatura que las resistencias:

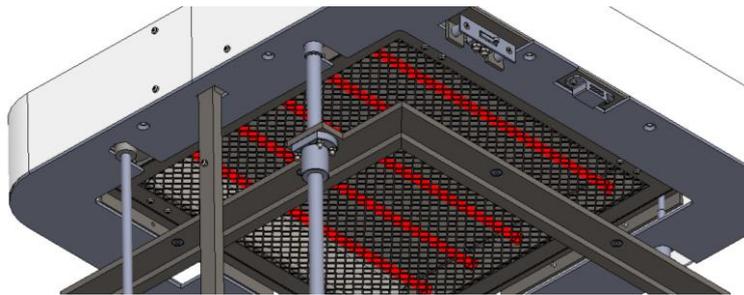


Figura 136: rejilla de protección contra el acceso a las resistencias.

En la base del chasis de la máquina, el hueco que se ha dejado para la ventilación del espacio interior donde se ubican los motores, también se ha dotado de una rejilla (figura 137) que proteja al usuario contra el acceso al interior de esa zona:

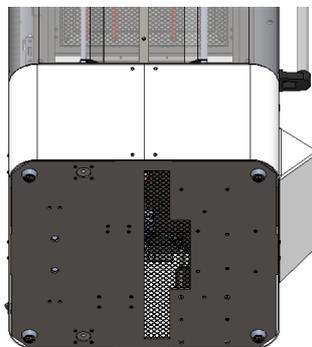


Figura 137: rejilla de protección contra el acceso al interior de la máquina.

11.2.2 Información al usuario.

En cuanto a las medidas informativas, se han utilizado varios pictogramas y advertencias escritas en distintos sitios de la máquina.

Un ejemplo, la advertencia ubicada sobre la puerta del resguardo móvil (figura 138). La función principal de esta es informar al usuario de que la puerta no debe ser abierta mientras la máquina está en funcionamiento. En caso contrario, como ya se ha explicado en apartados anteriores, la apertura de la puerta durante la fase de trabajo de la máquina supondrá una interrupción y una vuelta a la posición inicial.



Figura 138: aviso restrictivo contra la apertura de la puerta durante el funcionamiento automático de la máquina.

Además de la advertencia anterior, se han utilizado pictogramas como el que se puede ver en la siguiente imagen (figura 139):

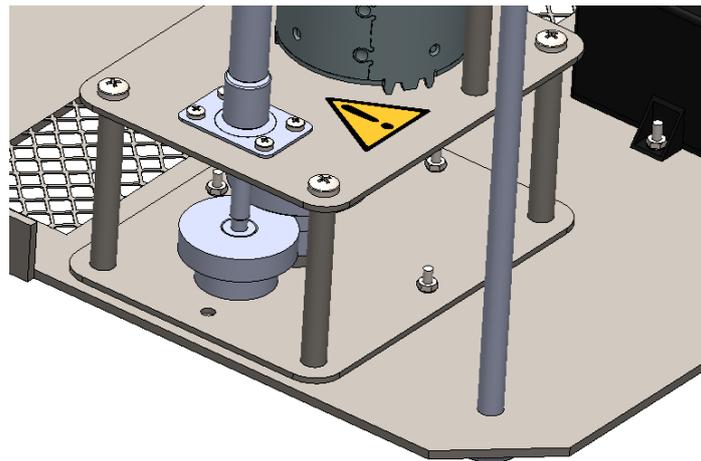


Figura 139: advertencia de peligrosidad por elementos móviles.

El principal objetivo de este pictograma es advertir al usuario del peligro que puede suponer el acercamiento hacia las partes sobre las que este se encuentra, principalmente por riesgo de quemaduras o aplastamientos por los engranajes interiores.

Además, se ha añadido un pictograma sobre el transformador de la máquina que indique su peligrosidad por poseer en su interior elementos sometidos a tensión (figura 140).

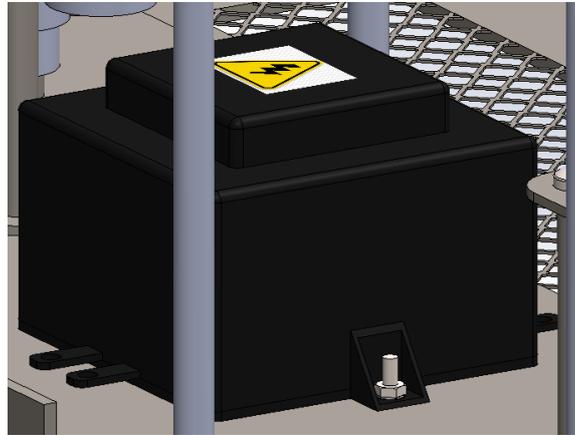


Figura 140: advertencia de peligrosidad por elementos sometidos a tensión.

Asimismo, se han utilizado dos indicadores LED, uno de color verde y otro de color rojo (figura 141). El LED de color verde se activa desde el momento en el que se enciende la máquina indicando la disponibilidad de esta para realizar un trabajo. En el momento en el que se bloquea la puerta del resguardo móvil y se empieza el trabajo de termoconformado, se enciende el LED rojo indicándole al usuario que el acceso al interior de esta queda restringido. Una vez terminado el trabajo de termoconformado y desbloqueada la puerta, se apaga el LED rojo y se vuelve a encender el verde.

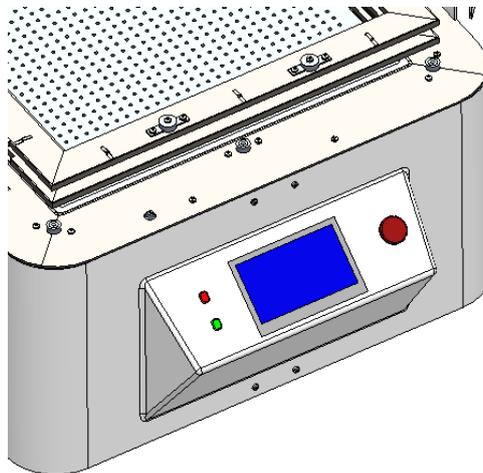


Figura 141: LEDs indicadores del estado de la máquina.

11.2.3 Sistemas de mando.

En cuanto a los sistemas de mando, el principal mando es la pantalla táctil ubicada en la base de la máquina, pero, también se puede observar un botón de color rojo que se utiliza a modo de

parada de emergencia (figura 142). Este botón podrá ser utilizado por el usuario para cortar el funcionamiento de la máquina en cualquier momento.

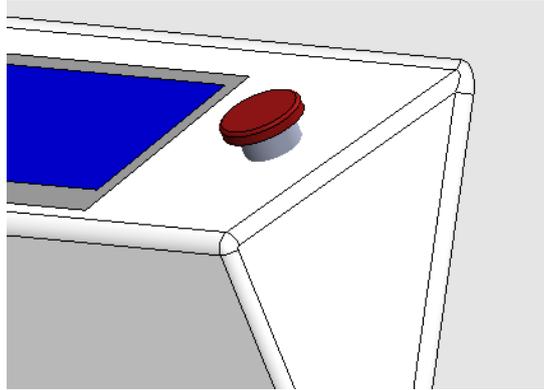


Figura 142: parada de emergencia.

Finalmente, se utiliza un botón de encendido y apagado de la máquina ubicado en la parte posterior de esta. La función del botón es muy simple, suministra o corta la corriente de alimentación de la máquina. Este botón de marcha y paro se puede ver remarcado en azul en la siguiente imagen (figura 143).

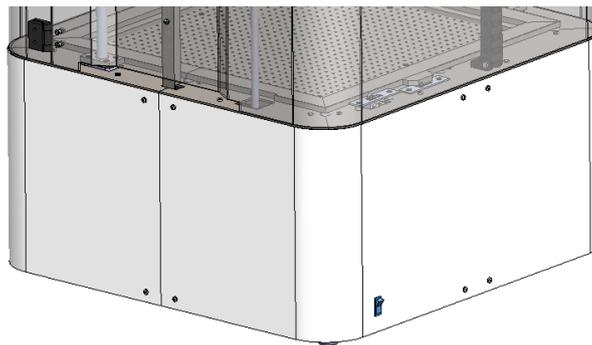


Figura 143: botón on / off.

En definitiva, se ha utilizado un resguardo fijo en zonas donde no es necesario el acceso del usuario durante el funcionamiento de la máquina y un resguardo móvil con enclavamiento y bloqueo en las zonas en las que sí que se requiere la participación del usuario ya sea antes o después del proceso de termoconformado. También se han utilizado interruptores de seguridad como finales de carrera que abren o cierran un circuito de seguridad según la posición de la puerta del resguardo móvil, así como un botón que funciona a modo de parada de emergencia. Si la puerta está abierta la puesta en marcha de las funciones de termoconformado es imposible. Además, se ha hecho uso de advertencias escritas y pictogramas que le indican al usuario la peligrosidad de ciertas acciones o elementos. Asimismo, los indicadores LED indicarán la disponibilidad o indisponibilidad de la máquina para hacer uso de ella o acceder a su interior. Finalmente, no hay que olvidar el *buzzer* utilizado, cuya función principal es la propagación de una señal acústica de alerta.

12. Ergonomía.

Dado que se trata de una máquina de uso casero o, dicho de otra forma, de una máquina que se va a utilizar en un torno doméstico y no industrial, se presupone que esta será ubicada y/o posicionada sobre un mueble típico de casa como podría ser una mesa o escritorio.

Para garantizar una posición ergonómicamente correcta del usuario durante la utilización de la máquina, en el pliego de condiciones se explicará de forma explícita y contundente las dimensiones de la mesa sobre la que se deberá de colocar el producto, la postura a adaptar y la forma de utilización. Por esto, en este apartado se van a determinar las dimensiones correctas del espacio de trabajo.

Todas las dimensiones utilizadas en los cálculos que se muestran a continuación se han obtenido de las tablas antropométricas de la población española de 19 a 65 años.

Definición del espacio de trabajo.

Ya que el producto, como hemos dicho anteriormente, se va a colocar sobre una mesa y no se contempla, durante su utilización el manejo de cargas pesadas, se decide que la postura de trabajo óptima para su uso, sea en una posición sentada. Sin embargo, esto no significa que el usuario no pueda utilizar la máquina en una postura de pie.

Antes de diseñar el espacio de trabajo, hay que considerar la posición de los codos respecto a la superficie de la mesa que en este caso será la superficie de trabajo. Ya que no se trata de un trabajo delicado ni de un trabajo que requiera un esfuerzo considerable, se decide que los codos han de estar a la altura de la superficie de la mesa y, por tanto, entre diez y quince centímetros del punto medio de la pantalla táctil. Por esto, la pantalla táctil junto al botón de emergencia y los indicadores LED, se colocará a una altura de entre 10 y 15 milímetros sobre el final de las patas que apoyan en la mesa.

En la siguiente imagen (figura 144) se puede observar que el punto medio de la pantalla se encuentra a 137,58 milímetros.

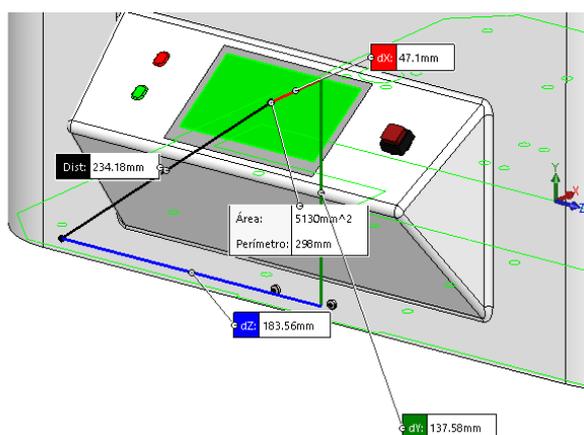


Figura 144: altura del punto medio de la pantalla.

Dimensionamiento de la mesa.

La mesa de trabajo deberá tener las siguientes características:

- Criterio: espacio libre.

- Percentil: X99.
- Dimensión: 15, altura de la rodilla.
- Población: hombres y mujeres entre 19 y 65 años.

Se escoge la altura de rodilla del hombre más alto:

$$x_{99} = 540 + 2,33 \cdot 33,3 = 617,589.$$

Correcciones:

- Suela deportivos: 2cm.
- Grosor mesa: 2cm.

La superficie de trabajo, por tanto, queda a una altura de 65,75 cm.

Dimensionamiento de la silla.

Ahora, hay que determinar los extremos del ajuste de la silla para conseguir que tanto el usuario más pequeño como el más grande tengan los codos a la altura de la superficie de la mesa.

Realmente, para determinar el ajuste del asiento nos enfrentamos a un dilema: dimensionar en función de la altura de los codos o dimensionar en función de la altura poplítea. Si dimensionamos en función de la altura poplítea, entonces los codos quedarán por debajo de la superficie de trabajo. Si dimensionamos en función de la altura de los codos deseada (altura codos – asiento) entonces habrá una altura de silla para la que un determinado número de usuarios de menor estatura no conseguirán apoyar sus pies en el suelo.

La solución a ello sería diseñar un espacio de trabajo en el que fuesen regulables tanto la mesa como la silla. Pero, lo más común en las casas normales es encontrar un asiento regulable y una mesa fija.

Se decide entonces, dimensionar la silla regulable en función de la altura de los codos deseada y para aquellos usuarios que no consigan apoyar sus pies en el suelo recomendar un reposapiés adecuado a su altura.

El asiento regulable respecto a la superficie de trabajo deberá tener las siguientes dimensiones:

- Criterio: solución regulable, ajuste bilateral.
- Percentil: X1 y X99.
- Dimensión: 11, altura codos – asiento.
- Población: hombres y mujeres entre 19 y 65 años.

$$X_{1M} = 233 - 2,33 \cdot 31,3 = 160,537.$$

$$X_{99H} = 243 + 2,33 \cdot 32,3 = 318,259.$$

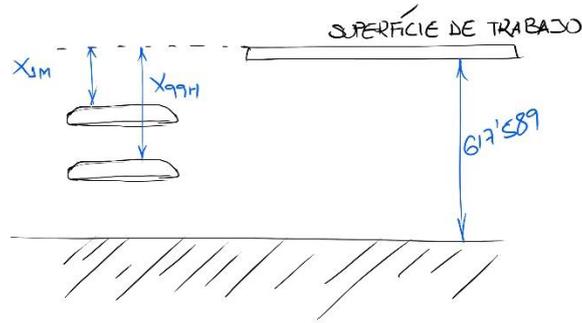


Figura 145: rango de regulación del asiento respecto a la superficie de trabajo.

En cada caso se tiene que comprobar que la dimensión obtenida sea siempre superior al espesor del muslo, dimensión 12.

$$X_{1M} = 154 - 2,33 \cdot 18,2 = 111,594.$$

$$X_{99H} = 159 - 2,33 \cdot 15,6 = 122,652.$$

Todos los espesores de muslo están por debajo de las dimensiones anteriormente calculadas. Por tanto, la regulación del asiento respecto al suelo queda entre:

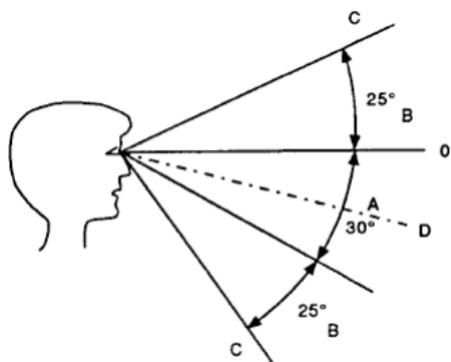
$$617,589 - 160,537 = 457,052.$$

$$617,589 - 318,259 = 299,33.$$

Posición de la máquina respecto al borde de la mesa.

Hay que determinar también la distancia a la que se debería de poner el usuario la máquina respecto al borde de la mesa. Para esto, en primer lugar, lo que vamos a hacer es determinar el ángulo de la línea de visión cómoda respecto a la horizontal.

En este caso, dentro de la zona de visión aceptable, seleccionamos un ángulo de 50 grados (figura 146).



- Zona A: recomendada
- Zona B: aceptable
- Zona C: no apropiada
- Zona D: línea natural (media de la vista)

Figura 146: ángulos de visión aconsejables.

La razón de ello es que la máquina se va a situar a distancias muy cercanas al usuario y, dado que el intervalo de tiempo desde el momento en el que se pone en marcha la máquina para seleccionar el programa de termoconformado hasta que empieza el propio proceso es relativamente corto, el usuario, no va a experimentar un excesivo cansancio en los ojos. Además, este ángulo, nos permitirá ubicar la máquina a distancias más cortas respecto al borde de la mesa de trabajo.

Una vez determinado el ángulo de visión, se desea que la pantalla táctil forme un ángulo perpendicular con la línea de visión. Por esto, la inclinación de la pantalla respecto a la horizontal es de 40 grados (figura 147).



Figura 147. inclinación de la pantalla respecto a la horizontal.

Para determinar la distancia óptima a la que se debería de colocar la máquina respecto al borde de la mesa se van a tener en cuenta los percentiles X1, X50 y X99 de una población mixta entre hombres y mujeres a partes iguales.

La dimensión a tener en cuenta será la 9: altura ojos – asiento.

El percentil 1 quedaría de la siguiente manera:

$$X_{1H} = 783 - 2,33 \cdot 36,5 = 697,955.$$

$$X_{1D} = 735 - 2,33 \cdot 35,3 = 652,751.$$

La media es:

$$\frac{697,955 + 652,751}{2} = 675,353.$$

El percentil 50 quedaría de la siguiente manera:

$$X_{50H} = 783.$$

$$X_{50D} = 735.$$

La media es:

$$\frac{783 + 735}{2} = 759.$$

El percentil 99 quedaría de la siguiente manera:

$$X_{99H} = 783 + 2,33 \cdot 36,5 = 868,045.$$

$$X_{99D} = 735 + 2,33 \cdot 35,3 = 817,249.$$

La media es:

$$\frac{868,045 + 817,249}{2} = 842,647.$$

Para obtener la altura de los ojos sobre la mesa, lo que se va a hacer es sumar la altura de los ojos de los percentiles obtenidos anteriormente: X1, X50 y X99 con la altura máxima, media y mínima de regulación del asiento respectivamente. A estas alturas se le va a reducir la altura de la mesa y nos quedaremos con la dimensión de la altura de los ojos sobre la superficie de trabajo en los tres casos:

$$\text{Usuarios más pequeños: } (675,353 + 457,052) - 617,589 = 514,816.$$

$$\text{Usuarios de estatura media: } \left(759 + \frac{(457,052 + 299,33)}{2} \right) - 617,589 = 519,602.$$

$$\text{Usuarios más grandes: } (842,647 + 299,33) - 617,589 = 524,388.$$

Ahora por trigonometría resolvemos la distancia óptima del aparato respecto a la mesa.

$$\text{Usuarios más pequeños: } 514,816 \cdot \text{tg}40 = 431,981.$$

$$\text{Usuarios de estatura media: } 519,602 \text{tg}40 = 435,996.$$

$$\text{Usuarios más grandes: } 524,388 \text{tg}40 = 440,013.$$

Suponiendo que el usuario se va a sentar a una distancia de 10 centímetros como mínimo de la mesa, obtenemos los valores de distancia a la que se debe de poner la máquina respecto a dicho borde.

$$\text{Usuarios más pequeños: } 431,981 - 150 = 281,981.$$

$$\text{Usuarios de estatura media: } 435,996 - 150 = 285,996.$$

$$\text{Usuarios más grandes: } 440,013 - 150 = 290,013.$$

Debido a que desde un principio se ha buscado dimensionar el espacio de trabajo queriendo que los codos quedasen a la altura de la superficie de trabajo se entiende ahora que se hayan

obtenido estos resultados tan poco distanciados entre sí. Por esto en el pliego de condiciones se va a especificar que la distancia óptima a la que se debería de colocar la máquina respecto al borde de la mesa es de 28,6 centímetros aproximadamente.

13. Componentes.

Se describen a continuación todos los elementos comerciales que forman parte de la máquina.

13.1 Componentes comerciales eléctricos.

Toda la información que se expone a continuación acerca de los componentes eléctricos y electrónicos comerciales y sus características se puede consultar accediendo a sus respectivos enlaces presentes en el apartado de la bibliografía.

Resistencia calefactora.

Las resistencias calefactoras son ofrecidas por el vendedor [Electricidadgomez](#). Se ha seleccionado este vendedor porque ofrece un amplio rango de dimensiones y potencias para estas resistencias (figura 148).



Figura 148: resistencia calefactora seleccionada.

Las características técnicas que son de interés para la aplicación en nuestro proyecto son (tabla 23):

Parámetro	Especificación.
Potencia.	600W.
Tensión de alimentación.	220-240 VAC.
Material.	Cerámica y cristal de cuarzo.

Tabla 23: características técnicas de la resistencia seleccionada.

Bomba de vacío.

La bomba de vacío seleccionada es ofrecida por el vendedor [lwaki](#) (figura 149).



Figura 149: bomba de vacío empleada.

Esta bomba presenta las siguientes características técnicas que son de interés para la aplicación en nuestro proyecto (tabla 24):

Parámetro	Especificación.
Tipología.	Bomba de diafragma.
Tensión de alimentación.	12 V/24V DC.
Capacidad de vacío.	44,66 kPa.
Velocidad.	4 LPM.

Tabla 24: características técnicas de la bomba de vacío.

Tanque de vacío.

Aunque no se trata de un componente eléctrico, este se muestra en el mismo documento ya que forma parte del grupo de otros componentes eléctricos como la electroválvula o el vacuostato. El tanque de vacío es ofrecido por el vendedor Diprax (figura 150).

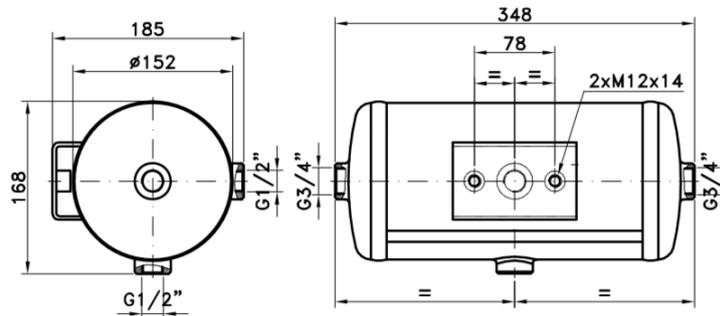


Figura 150: tanque de vacío de la marca Diprax.

Las características del tanque a tener en cuenta para su aplicación en el proyecto son (tabla 25):

Parámetro	Especificación.
Capacidad.	5 L.
Presión máxima.	15, 5 Bar.
Peso.	1,7 Kg.

Tabla 25: características técnicas del tanque de vacío.

Vacuostato.

Otro componente seleccionado del mismo vendedor es el vacuostato (figura 151).

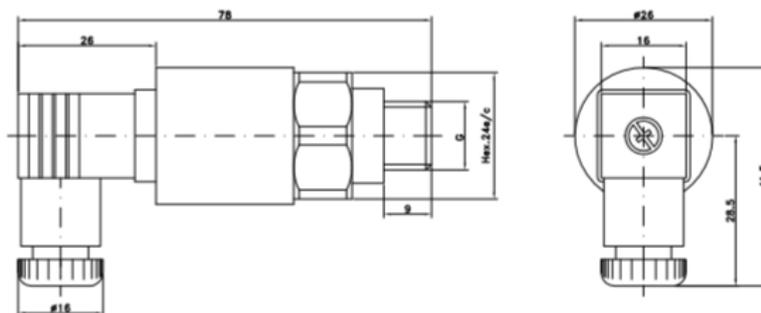


Figura 151: vacuostato de la marca Diprax.

Las características técnicas de interés son (tabla 26):

Parámetro	Especificación.
Rango de regulación de presión.	200 mbar – 990 mbar.
Histéresis.	±50 mbar.
Repetibilidad.	±20 mbar.
Peso.	69g.

Tabla 26: características técnicas del vacuostato.

Electroválvula.

La electroválvula (figura 152) seleccionada, es ofrecida por el vendedor RS. El fabricante de esta es SMC.



Figura 152: electroválvula SMC.

Esta electroválvula presenta las siguientes características técnicas que son de interés para la aplicación en nuestro proyecto (tabla 27):

Parámetro	Especificación.
Tipología.	2/2.
Tensión de alimentación.	12 VDC.

Tabla 27: características técnicas de la electroválvula.

La referencia con la que se pedirá el artículo a SMC o su vendedor autorizado es: VDW10AZ1D. La extensión Z1D corresponde a un diseño especial de una electroválvula que funcione con 12 VDC (figura 153).

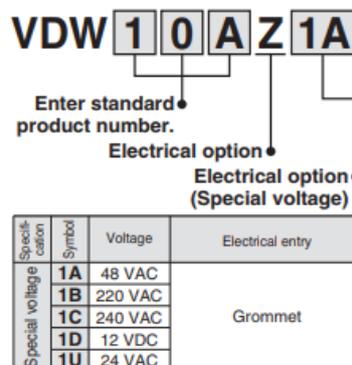


Figura 153: características de diseño especial electroválvula.

Las demás características correspondientes a la electroválvula seleccionada según el código VDW10AZ1D se pueden consultar en la siguiente imagen (figura 154).

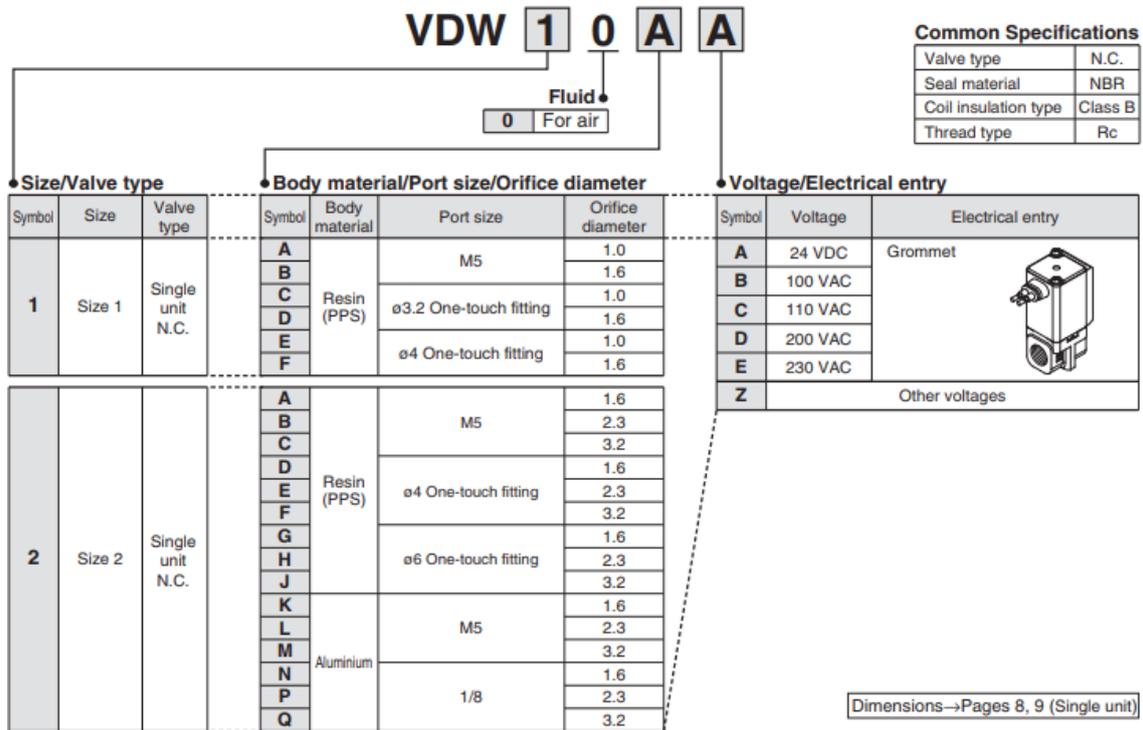


Figura 154: otras características de la electroválvula empleada.

Motor eléctrico.

El motor eléctrico que se ha seleccionado (figura 155) es ofrecido por el vendedor Moverica.



Figura 155: motor seleccionado.

Las siguientes características técnicas son de interés para la aplicación en nuestro proyecto (tabla 28):

Parámetro	Especificación.
Potencia.	60W.
Tensión de alimentación.	12 VDC.
Velocidad.	3950 rpm.
Par.	15 Ncm.

Tabla 28: características técnicas del motor seleccionado.

Final de carrera.

Los finales de carrera que se han seleccionado (figura 156) son ofrecidos por el vendedor Electrónica Embajadores.



Figura 156: final de carrera seleccionado.

El principal dato de interés para aplicar el elemento en nuestra máquina es que admite un rango de tensiones de 12V o superior y, además, gracias a los tres contactos de los que dispone, se puede configurar como normalmente abierto o normalmente cerrado (figura 157).

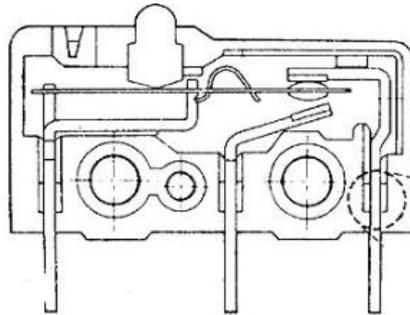


Figura 157: estructura interna del final de carrera seleccionado.

Solenoides.

Farnell será el encargado de ser el proveedor del solenoide (figura 158).



Figura 158: solenoide.

Las características de interés que nos han llevado a utilizarlo en nuestro proyecto son (tabla 29):

Parámetro	Especificación.
Tensión en la bobina.	12VDC.
Potencia.	6W.

Funcionamiento.	Extracción del vástago.
Retorno.	Por muelle.
Ciclo de trabajo.	Continuo.

Tabla 29: características técnicas del solenoide.

Electroimanes.

Los electroimanes son ofrecidos por el vendedor Magma (figura 159).

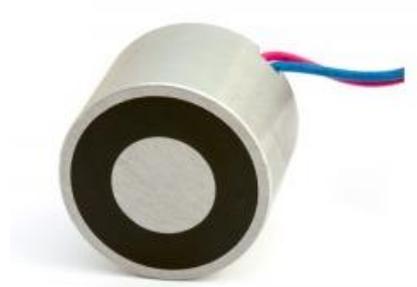


Figura 159: electroimán seleccionado.

Las características técnicas que son de interés para la aplicación en nuestro proyecto son (tabla 30):

Parámetro	Especificación.
Potencia.	1 W.
Alimentación.	12 VDC.
Fuerza de unión.	10N.
Peso.	8 g.

Tabla 30: características técnicas del electroimán.

Poseen un agujero roscado en la parte posterior que permite su sujeción a los alojamientos especialmente diseñados para ello (figura 160).

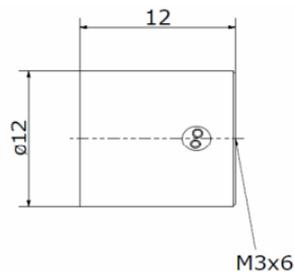


Figura 160: características del electroimán seleccionado.

Interruptor de emergencia.

El interruptor, con referencia A01ES-DM, es adquirido directamente al fabricante APEM (figura 161).



Figura 161: parada de emergencia.

Se trata de un interruptor normalmente cerrado de doble polo (figura 162).



Figura 162. representación del dispositivo de parada de emergencia seleccionado.

LED verde.

Para estos artículos (figura 163) hay una gran cantidad de proveedores. En este caso, se adquieren directamente desde Amazon.



Haobase - 50 bombillas LED de 5 mm precableadas (12 V, 20 cm) Green 20pcs
Color:Green 20pcs

Figura 163: LED verde.

LED rojo.

Para estos artículos (figura 164) hay una gran cantidad de proveedores. En este caso, se adquieren directamente desde Amazon.

20 Piezas PRE WIRED 5 mm LED 12 V Rojo 22 cm, Diseño de Luces Brillantes



Figura 164: LED rojo.

Interruptor On/Off.

El vendedor del interruptor (figura 165) es [V4U Ltd.](#)



Figura 165: interruptor seleccionado.

Se trata de un interruptor retroiluminado con suficiente rigidez dieléctrica para la corriente alterna de 220 – 240 volts.

Arduino MEGA.

El microcontrolador Arduino Mega (figura 166), lo encargamos directamente al fabricante.



Figura 166: controlador Arduino Mega.

Las características técnicas que son de interés para la aplicación en nuestro proyecto son (tabla 31):

Parámetro	Especificación.
Tensión de alimentación.	7-12 V.
Pines digitales.	54.
Pines PWM.	13.

Tabla 31: características técnicas del microcontrolador Arduino.

3.2" TFT Screen.

Dado que en la página de Arduino no hemos podido encontrar una pantalla con las características que deseamos (figura 167), nos hemos dirigido al vendedor [ICs & Robot Gadgets.](#)

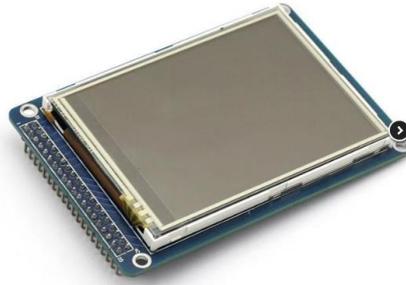


Figura 167: pantalla táctil seleccionada.

TFT 3,2 Shield Mega.

La pantalla no se puede conectar directamente al microcontrolador, por esto, necesita un adaptador como el que se muestra a continuación (figura 168). El vendedor es Solectro.

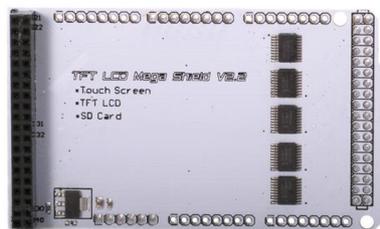


Figura 168: shield intermediario entre la pantalla y el microcontrolador.

Finalmente, en cuanto a los transistores MOSFET, los relés y la fuente de alimentación, deberá ser el ingeniero en electrónica de potencia el encargado de determinar las características de estos para su compra.

13.2 Componentes comerciales no eléctricos.

Se presentan a continuación otros elementos que serán adquiridos a proveedores externos para su aplicación en la máquina. En este caso se trata de elementos comerciales no eléctricos.

Junta cuadrada de sección rectangular.

Pueden ser encargadas con las dimensiones deseadas directamente al proveedor. En este caso serán necesarias juntas cuadras de sección transversal rectangular (figura 169). Las dimensiones de estas pueden ser consultadas en el apartado de los planos técnicos.



Figura 169: junta cuadrada de sección rectangular.

Adaptador BSP 3/4 a BSP 3/8.

Serán necesarios para hacer de pieza intermedia (figura 170) entre los agujeros roscados del tanque de vacío y los racores a los que se unirán los tubos de goma.



Figura 170: adaptador BSP3/4 a BSP 3/8.

Racor recto BSP 3/8 para tubo de 8 milímetros de diámetro.

A estos (figura 171) se les unirán posteriormente los tubos de goma a través de los que circulará el aire.



Figura 171: racor recto BSP 3/8.

Racor recto BSP 1/8 para tubo de 8 milímetros.

La electroválvula, a diferencia del tanque de vacío, utiliza unos agujeros roscados BSP 1/8. Por esto, en este caso, serán necesarios unos racores de tamaño diferente a los anteriores (figura 172) a propósito para esta pieza.



Figura 172: racor recto BSP 1/8.

Tapón BSP 1/2.

Esta pieza (figura 173) será necesaria para tapan el agujero roscado superior del tanque de vacío ya que este no se utiliza.



Figura 173: tapón BSP 1/2.

Tubo de goma para vacío de 8 milímetros de diámetro interior.

Tubos de goma de diámetro interior de 8 milímetros para la circulación del aire (figura 174). Longitud de venta: 2 metros.



Figura 174: tubo de goma de 8 milímetros de diámetro interno.

Rejilla de protección.

A modo de resguardo fijo para la protección del usuario frente al acceso a partes peligrosas de la máquina. Dimensiones de venta: 100x33 centímetros (figura 175).



Figura 175: rejilla de protección.

Asa tubular:

Pieza (figura 176) necesaria para poder abrir y cerrar la puerta.



Figura 176: asa tubular utilizada.

Bisagra de plástico para la puerta.

Para posibilitar la apertura y cierre de la puerta (figura 177).



Figura 177: bisagra de plástico.

Imán puerta:

Para mantener la puerta cerrada cuando el solenoide no se ha desplegado todavía (figura 178).



Figura 178: imanes para la sujeción de la puerta.

Plancha de Policarbonato:

Necesarias para la materialización de los resguardos transparentes por doblado de planchas (figura 179). El proveedor en este caso nos ofrece planchas de 2x1250x2050 milímetros.

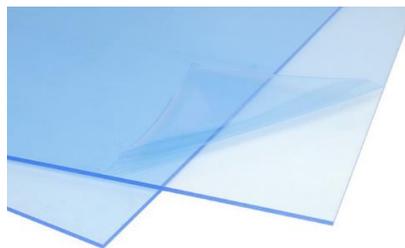


Figura 179: plancha de policarbonato.

Plancha de ABS.

Como en el caso anterior, la plancha es necesaria para materializar los pilares ABS por doblado de planchas (figura 180). El proveedor ofrece el material con unas dimensiones de 2x1220x610.



Figura 180: plancha ABS.

Pata de goma:

Ubicadas en la base se utilizan para brindar un apoyo fijo a la máquina, así como absorber, por su carácter elástico, posibles vibraciones que deriven del funcionamiento de esta (figura 181).



Figura 181: patas de goma utilizadas.

Cadena portacables.

Almacenan y guían en todo momento los cables que van desde la base al soporte superior de lámina (figura 182).



Figura 182: cadena arrastra cables.

Husillo de bolas.

Posibilitan el movimiento vertical ascendiente y descendiente de los soportes de lámina. Estos husillos no son los seleccionados de la marca Rexroth, dada la dificultad existente a la hora de encontrar su precio, se seleccionan otros husillos similares cuyo precio pueda servir de referencia (figura 183).



Figura 183: husillo de referencia.

Engranaje de 22 dientes.

Como en el caso anterior, aunque no sean los engranajes KHG utilizados para hacer los cálculos, se buscan engranajes comerciales con las mismas características para poder tomar como ejemplo su posible precio.



Figura 184: engranaje de referencia de 22 dientes.

Engranaje de 44 dientes.



Figura 185: engranaje de referencia de 44 dientes.

Engranaje de 36 dientes.



Figura 186: engranaje de referencia de 36 dientes.

Rodamiento axial de bolas.

Al igual que en los casos anteriores, no se trata del rodamiento seleccionado a través de los cálculos realizados, sino que, simplemente se toma como ejemplo para tener un precio de referencia y poder así sacar los costes finales de fabricación (figura 187).



Figura 187: rodamiento axial de referencia.

Guía Secundaria.

Necesarias para guiar el movimiento ascendente y descendente de las sujeciones secundarias de las láminas (figura 188).

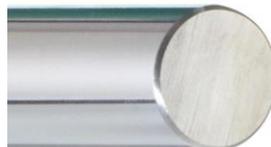


Figura 188: guía secundaria de la marca IGUS.

Cojinetes guías secundarias.

Necesarios para ofrecer un segundo apoyo a los elementos móviles como las sujeciones de las láminas (figura 189).



Figura 189: cojinete para la guía secundaria.

14. Viabilidad económica.

El precio de la máquina de termoconformado, teniendo en cuenta únicamente las piezas de fabricación propia, los componentes comerciales y los costes derivados de la mano de obra, es de 988,83 euros. A este precio, si le añadimos unos costes indirectos del 10%, obtenemos un coste de producción de 1087,71 euros. Además, sumando un margen de beneficios del 15%, el precio final de venta al público de la máquina es de 1250,87 euros.

Por tanto, el precio final del producto, sin tener en cuenta el impuesto sobre el valor añadido, es de 1251 euros. El cálculo de todos los costes que dan como resultado el precio final del producto se puede conocer con más detalle en el apartado del presupuesto.

Si tenemos en cuenta los productos competidores directos que se han visto, obtenemos que la máquina de termoconformado aquí desarrollada tiene un precio más elevado que prácticamente la mayoría de ellos. Para hacer una comparación entre precios y características, tomamos en consideración la máquina Vaquform (figura 190).



Figura 190: máquina competidor directo.

Precio: 825 \$.

La diferencia de precio es de 426 euros aproximadamente. Se puede considerar esta una diferencia de precio importante, ya que supone casi un 51,6% del precio total de Vaquform.

Sin embargo, Vaquform es una máquina que carece de automatización. Además, esta es mucho más simple que la máquina aquí desarrollada y no dispone de medidas de seguridad para la protección del usuario.

Entre las principales ventajas que ofrece la máquina de termoconformado que se ha desarrollado frente a Vaquform encontramos:

- Automatización total del proceso de termoconformado.
- Un programa de utilización simple.
- Medidas de seguridad para la protección del usuario.
- Amplio abanico de materiales y espesores a utilizar.
- Mejor aspecto estético y presencia.
- Producto innovador.
- Mayor área y tamaño de lámina de termoconformado.

Por esto, se considera que, aunque el precio final de la máquina sea superior en algunos casos comparado con el precio que ofrecen los competidores, también es cierto que, se trata de una máquina innovadora, respecto a las máquinas de termoconformado de uso casero tradicionales, que aporta beneficios funcionales únicos a los usuarios apasionados del mundo del termoconformado. Por esto, se cree que la máquina, por sus características innovadoras, será competente en el mercado.

15. Conclusiones.

Inicialmente, el proyecto estaba orientado al desarrollo de una máquina de termoconformado tradicional, típica de un entorno industrial. Durante la fase conceptual del proyecto se había propuesto la opción de cambiar la máquina de termoconformado industrial por una máquina de uso casero dirigida principalmente a usuarios adeptos del termoconformado que, se puede decir, utilizarían el producto como un *hobby*. Finalmente, se decidió realizar ese cambio de rumbo debido, principalmente, al potencial innovador que se percibía en ese ámbito después del estudio de mercado realizado.

Se había visto que, las máquinas de termoconformado domésticas presentes en el mercado se centraban principalmente en el termoconformado de piezas de tamaño relativamente reducido y, lo más importante, eran máquinas que, a diferencia del sector industrial, carecían de funciones automatizadas que en todo momento debían de ser cumplidas por los usuarios.

Para conseguir el nivel de automatización deseado, se han utilizado varios elementos actuadores, de transmisión y guiado. En primer lugar, y posiblemente el componente principal de toda la máquina, que posibilita la automatización deseada y hace que la máquina sea diferente frente a las máquinas ya existentes en el mercado, el motor eléctrico. Todas las máquinas que se han considerado como competidores directos o indirectos del producto desarrollado en este proyecto, carecían de un motor eléctrico como elemento actuador. En segundo lugar, los husillos empleados se pueden considerar como otro elemento diferenciador que marca una distancia frente a la competencia. En todos los casos vistos, eran los usuarios quienes debían subir y bajar las sujeciones de la lámina a termoconformar. Por otro lado, se han utilizado muchos componentes como electroimanes, solenoides, vacuostatos o finales de carrera para controlar todo el proceso de termoconformado. Todos estos elementos tampoco pueden ser vistos en las máquinas de la competencia ya que son elementos clave para controlar todo el proceso de termoconformado automatizado y librar al usuario de esto.

En definitiva, el producto desarrollado representa un avance considerable en el mundo de las máquinas de termoconformado de uso doméstico sobre todo por todos los componentes adicionales que se han utilizado para posibilitar su funcionamiento automático. Obviamente, este hecho contribuye a un aumento cuantioso del coste necesario para su desarrollo. Todo esto, en definitiva, se transforma en un aumento del precio de venta al público. Como se ha podido ver, el incremento en el precio es prácticamente del 55% frente al precio de la máquina que se puede considerar como competidor más directo.

Este aumento del precio es justificado por todas las diferencias y el carácter innovador que ofrece la máquina frente a otras que se ubican en el mismo mercado. Pero, de todas formas, será el cliente final el que decida si el producto, por sus características, merece la inversión frente a otros productos presentes en el mercado.

Como aspecto negativo, cabe destacar la necesidad de producción de 1000 unidades para conseguir unos costes más reducidos que consigan ser competitivos en el mercado. Como se puede ver en las tablas de cálculo de los costes de procesado de **K.G. Swift** y **J.D. Booker**, los precios que derivan de la fabricación de los componentes que forman parte de la máquina se reducen de forma brusca cuando el lote de fabricación supera las 800 – 1000 unidades. Por esto, aunque se es consciente de que el lote de fabricación es muy grande, se desea dejar constancia de la necesidad de ello en favor a una reducción de los precios de fabricación.

Para finalizar, se considera que se ha logrado diseñar una máquina de termoconformado que cumple con casi todos los objetivos inicialmente propuestos. Aunque el precio de esta no está por debajo de la media de los precios de este tipo de productos en el mercado, este hecho es justificado por todas las ventajas que esta aporta.

16. Bibliografía.

16.1 Normativa aplicable.

Se presentan a continuación conjuntos de normas aplicables al proyecto según distintas áreas como dibujo técnico y documentación de proyectos. En cuanto al conjunto de normas aplicables a la máquina en sí, este se presentará más adelante en el pliego de condiciones.

Dibujo técnico:

- **UNE 1039:1994.**
Dibujos técnicos. Acotación. Principios generales, definiciones, métodos de ejecución e indicaciones especiales.
- **UNE-EN ISO 1660:1996.**
Dibujos técnicos. Acotación y tolerancias de perfiles. (ISO 1660:1987).
- **UNE-EN ISO 5455:1996.**
Dibujos Técnicos. Escalas. (ISO 5455:1979).
- **UNE 1135:1989.**
Dibujos técnicos. Lista de elementos.
- **UNE 1027:1995.**
Dibujos técnicos. Plegado de planos.
- **UNE 1149:1990.**
Dibujos técnicos. Principio de tolerancias fundamentales.
- **UNE-EN ISO 7083:1996.**
Dibujos técnicos. Símbolos para las tolerancias geométricas. Proporciones y medidas. (ISO 7083:1983).
- **UNE-EN 1128:1985.**
Dibujos técnicos. Tolerancias geométricas. Referencias y sistemas de referencia para tolerancias geométricas.

Documentación de proyectos:

- **UNE-EN ISO 11442:2006.**
Documentación técnica de productos. Gestión de documentos (ISO 11442:2006)
- **UNE-EN 157001:2002.**
Criterios generales para la elaboración de proyectos.
- **UNE-EN ISO 5457:2000/A1:2010.**
Documentación técnica de producto. Formatos y presentación de los elementos gráficos de las hojas de dibujo. Modificación 1. (ISO 5457:1999/Amd 1:2010).
- **UNE-EN ISO 3098-0:1998.**

Documentación técnica de productos. Escritura. Requisitos generales. (ISO 3098-0:1997).

- **UNE-EN ISO 5457:2000.**
Documentación técnica de producto. Formatos y presentación de los elementos gráficos de las hojas de dibujo.

16.2 Material didáctico.

Los programas principales que se ha utilizado en el desarrollo del proyecto son:

- Solidworks.
 - Solidworks DimXpert
 - Solidworks ToolAnalyst
 - Solidworks Motion
 - Solidworks Simulation
- Microsoft Word.
- Microsoft Excel.
- Keyshot.
- Adobe Photoshop CS.
- Tiny CAD.
- Working Model.

A lo largo del proyecto, también se ha hecho uso de temario perteneciente a asignaturas como:

Asignaturas pertenecientes al **Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Productos:**

- DI1014 – Diseño Conceptual.
- DI1022 – Metodologías del Diseño.
- DI1023 – Ergonomía.
- DI1028 – Diseño Asistido por Ordenador II.
- DI1032 – Proyectos de Diseño.
- DI1036 – Tecnologías del plástico y diseño de productos.

Asignaturas pertenecientes al **Máster Universitario en Diseño y Fabricación:**

- SDI114 – Selección de materiales y procesos de fabricación.
- SDI122 – Diseño asistido por ordenador I.
- SDI123 – Ingeniería asistida por ordenador I.
- SDI124 – Fabricación asistida por ordenador I.
- SDI131 – Diseño asistido por ordenador II.
- SDI132 – Ingeniería asistida por ordenador II.
- SDI133 – Fabricación asistida por ordenador II.
- SDI312 – Transmisiones y sistemas de guiado en maquinaria.
- SDI313 – Diseño de mecanismos.

- SDI314 – Seguridad y ergonomía de máquinas.
- SDI322 – Selección y control de accionamientos electrónicos.
- SDI324 – Automatización de máquinas.

16.3 Enlaces.

Bisagra de plástico:

<https://www.amazon.es/Bisagra-pl%C3%A1stico-combinado-bisagras-desmontable/dp/B00JOQJF34>

Imán puerta:

<http://www.leroymerlin.es/fp/11032826/cierre-por-iman-1015>

Plancha PC:

<https://www.modulor.de/es/polycarbonato-transparente-incoloro-2-0-x-1250-x-2050.html>

Plancha ABS:

<https://es.rs-online.com/web/p/laminas-de-plastico-solido/0681609/>

Pata de goma:

<https://www.micro-log.com/outlet/2868-10-patas-de-goma-ajustable-con-tornillo-m4-no-incluido.html>

Racor de 3/4 a 3/8:

<https://www.asap-supplies.com/brass-reducer-adapting-bush-fitting-407513>

Pipe 3/8:

<https://www.comercialpazos.com/conexion-rosca-macho-3-8-manguera-espiga-8-mm.html>

Pipe 1/8:

https://www.amazon.es/sourcingmap%C2%AE-Adaptador-acoplador-racor-Manguera/dp/B0185037GA/ref=sr_1_5?keywords=Racor&qid=1563904461&s=gateway&sr=8-5

Tapón:

<http://www.latiendanautica.es/agua-fontaneria,valvulas-racores-pasacascos-rejillas,tapon-macho-p-14019700.html>

Tubo para vacío:

https://www.amazon.es/TEN-HIGH-silicona-diferentes-di%C3%A1metros-100meter/dp/B077NWVLG8/ref=sr_1_5?keywords=tubo%2Bsilicona&qid=1563905503&s=gateway&sr=8-5&th=1

Rejilla:

https://es.aliexpress.com/item/32792207024.html?scm=1007.22893.125781.0&pvid=05bacd4b-6318-4bfc-8909-63d813e635af&onelinek_thrd=0.015&onelinek_page_from=ITEM_DETAIL&onelinek_item_to=32792207024&onelinek_duration=0.794454&onelinek_status=noneresult&onelinek_item_from=32792207024&onelinek_page_to=ITEM_DETAIL&aff_platform=aaf&cpt=1563728959784&sk=AYNZbMb&aff_trace_key=0e8ecd839db049c996d28cd6665b5efd-1563728959784-01070-AYNZbMb&terminal_id=8dd2232fd782454c8f965797b828733b

Asa tubular:

<http://www.wdscomponents.es/product/5034/asa-tubular-de-aluminio-con-cubierta-estriada-de-plastico-negro-y-brazos-de-plastico-negros-wds8597/>

Juntas cuadradas:

<https://french.alibaba.com/product-detail/custom-molded-buna-rubber-square-gasket-60654828313.html>

Cadena portacables:

<https://www.cimech3d.cl/producto/cadena-arrastre-cables-15mm-x-30mm-x-1m/>

Tornillería:

http://www.mootio-components.com/tornillo-m3x8-tt85t-tipo-mtrica-pack-de-30_ref_006336.html

Engranaje 44:

http://www.mootio-components.com/_ref_001438.html

Engranaje 22:

http://www.mootio-components.com/_ref_014129.html

Engranaje 36:

http://www.mootio-components.com/engranaje-de-metal-modulo-0600-dientes-36z-forma_ref_009697.html

Rodamiento axial de bolas:

https://www.amazon.es/sourcing-map-Rodamientos-miniatura-Arandelas/dp/B07QG9JS7R/ref=sr_1_60?keywords=Rodamiento+axial+bolas&qid=1563986828&s=gateway&sr=8-60

Husillo:

<https://frs-cnc.com/ferreteria/transmisiones/husillos/718/husillo-16-16mm-tuercas-sfe-detail>

Guía Secundaria:

<https://www.igus.es/product/146>

Cojinete guía secundaria:

<https://www.igus.es/product/1212>

LED verde:

https://www.amazon.es/Haobase-bombillas-precableadas-Green-20pcs/dp/B0732SB8ZW/ref=lp_9500998031_1_16?srs=9500998031&ie=UTF8&qid=1563724617&sr=8-16

Electro Imán:

<http://www.magmamagnets.es/electroimanes/electroimanes-redondos/>

Final de carrera:

<https://www.electronicaembajadores.com/es-ES/Productos/Detalle/IT41P07/interruptores-ES-conmutadores-ES-pulsadores-ES/finales-ES-de-carrera/final-de-carrera-microswitch-pequeno-con-palanca-con-rolana>

Electroválvula:

<https://es.rs-online.com/web/p/valvulas-de-control-accionado-por-solenoid-piloto-neumaticas/8929980/>

Bomba de vacío:

<https://www.ebay.com/itm/Iwaki-Air-Pump-APN-085-VX-E4-/161438660011>

Motor:

<https://www.moverica.com/motores-electricos/corriente-continua/dc-corriente-continua-motores/1-13-044-2xx-674>

Vacuostato:

<https://adajusa.es/presostatos-y-vacuostatos/vacuostato-ajustable-de-14-con-conector.html>

Resistencias:

<https://electricidadgomez.es/tienda/resistencia-cuarzo-estufa/>

Pantalla:

<http://www.icstation.com/inch-color-display-module-touch-screen-module-with-card-slot-arduino-project-p-1622.html>

TFT:

<https://solectroshop.com/product-spa-531-Adaptador-TFT-LCD-3-2-4-3-5-0-Shield-Mega-2560.html>

Interruptor 230V:

<https://www.vacuums4u.co.uk/products/prochem-rocker-switch-230v-e02211-1>

Pulsador rojo con enclavamiento:

<https://www.electronicaembajadores.com/es-ES/Productos/Detalle/IT4A14R/interruptores-ES-conmutadores-ES-pulsadores-ES/pulsadores-ES-de-panel/pulsador-panel-rojo-con-enclavamiento-interruptor>

Arduino mega:

<https://store.arduino.cc/mega-2560-r3>

Solenoides:

<https://cpc.farnell.com/keyswitch/sm2-pull-12vdc/linear-solenoid-pull-12vdc-6w/dp/SW05339>

ANEXOS

Índice Anexos.

1. Cálculos.	131
1.1 Dimensionado del husillo y la tuerca.	131
1.2 Dimensionado del reductor.	138
1.3 Dimensionado del rodamiento axial.	142
1.4 Dimensionado del cojinete de los pilares secundarios.	145
1.5 Cálculo de la fuerza del ajuste de los pilares secundarios.	148
1.6 Cálculo de la potencia calorífica del proceso.	151
1.7 Selección del tanque y la bomba de vacío.	157
2. Análisis por elementos finitos (MEF).....	160
2.1 Análisis estático.	160
2.1.1 Análisis chapa base.....	160
2.1.2 Análisis chapa superior pico.....	167
2.1.3 Análisis soportes de lámina.....	170
2.2 Análisis dinámico.....	180
3. Análisis cinemático.....	185

1. Cálculos.

1.1 Dimensionado del husillo y la tuerca.

A la hora de seleccionar un husillo para nuestra máquina, nos dirigimos al proveedor **Rexroth**.

En el catálogo que nos ofrece, existe un apartado enteramente dedicado a indicar como se debe proceder con los cálculos para seleccionar el husillo adecuado.

Entre todos los tipos de tuerca ofrecidos por el proveedor, seleccionamos aquella que por su forma sea más conveniente para la aplicación que buscamos. En este caso, la clase de tuerca preseleccionada es la **FEM-E-B**, tuerca simple embriagada (figura 191).



Figura 191: husillo Rexroth.

Para determinar las características de avance de la tuerca y el husillo, en primer lugar, se calcula la velocidad de avance deseada del soporte. Si tenemos en cuenta que, la distancia que debe recorrer la tuerca que mueve el soporte de la lámina es de 0,4 metros y queremos que lo haga en 2 segundos, se obtiene la siguiente velocidad.

$$v = \frac{400 \text{ (mm)}}{2 \text{ (s)}} = 200 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

$$200 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \cdot \frac{1 \text{ (m)}}{1000 \text{ (mm)}} \cdot \frac{60 \text{ (s)}}{1 \text{ (min)}} = 12 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

Las tuercas ofrecidas por el proveedor de la clase seleccionada tienen las siguientes características (figura 192):

Categoría	Tamaño d ₀ x P x D _w - i	Referencia	Capacidades de carga ³⁾		Velocidad ¹⁾ v _{max} (m/min)
			din. C (N)	estát. C ₀ (N)	
C	6 x 1R x 0,8 - 3 ²⁾	R1532 100 16	1080	1 030	6
C	6 x 2R x 0,8 - 3 ²⁾	R1532 120 16	1070	1 020	12
C	8 x 1R x 0,8 - 4 ²⁾	R1532 200 16	1 310	1 850	6
C	8 x 2R x 1,2 - 4 ²⁾	R1532 220 16	2360	2 950	12
C	8 x 2,5R x 1,588 - 3	R1532 230 06	2640	2 800	15
B	12 x 2R x 1,2 - 4 ²⁾	R1532 420 06	2690	4 160	12
B	12 x 5R x 2 - 3	R1532 460 06	4560	5 800	30
B	12 x 10R x 2 - 2	R1532 490 06	3000	3600	60

Figura 192: características del husillo.

Las siguientes referencias son descartadas por tener una velocidad máxima inferior a 12 m/min:

- R1532 100 16
- R1532 200 16

Las siguientes referencias son descartadas por tener una velocidad máxima igual a la necesitada:

- R1532 120 16
- R1532 220 16
- R1532 420 06

Nos quedan por tanto como válidas las referencias:

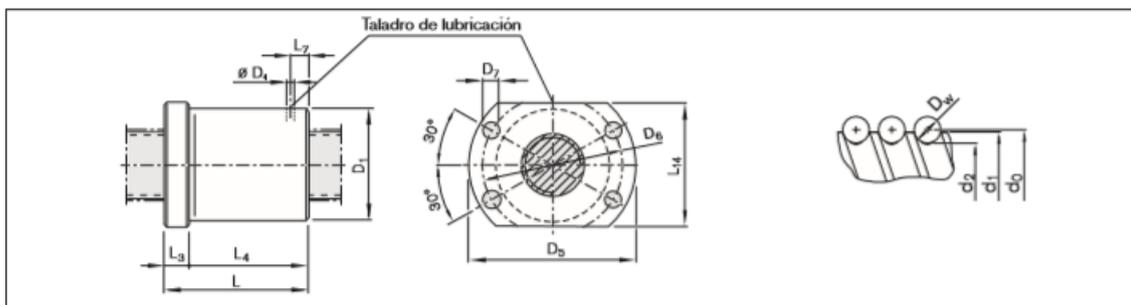
- R1532 460 06
- R1532 490 06
- R1532 230 06

De las referencias que nos quedan descartamos también la R1532 230 06 por tener un paso muy reducido.

Seleccionamos la referencia R1532 490 06 ya que es la que mayor paso ofrece, 10 milímetros por vuelta:

- 12X10Rx2-2.

Las características dimensionales de la tuerca son las que se muestran a continuación (figura 193).



Tamaño	(mm)												Masa
$d_0 \times P \times D_w - i$	d_1	d_2	D_1	D_4	D_5	D_6	D_7	L	L_3	L_4	L_7	L_{14}	m (kg)
6 x 1R x 0,8 - 3	6,0	5,3	12	1,5	24	18	3,4	11,6	3,5	8,1	3,5	16	0,020
6 x 2R x 0,8 - 3	6,0	5,3	12	1,5	24	18	3,4	14,6	3,5	11,1	3,0	16	0,020
8 x 1R x 0,8 - 4	8,0	7,3	16	1,5	28	22	3,4	15,5	6,0	9,5	3,5	19	0,035
8 x 2R x 1,2 - 4	8,0	7,0	16	1,5	28	22	3,4	19,5	6,0	13,5	3,0	19	0,050
8 x 2,5R x 1,588 - 3	7,5	6,3	16	2,0	28	22	3,4	16,0	6,0	10,0	3,0	19	0,030
12 x 2R x 1,2 - 4	11,7	10,8	20	2,0	37	29	4,5	19,0	8,0	11,0	2,5	24	0,055
12 x 5R x 2 - 3	11,4	9,9	22	2,0	37	29	4,5	28,0	8,0	20,0	6,0	24	0,075
12 x 10R x 2 - 2	11,4	9,9	22	2,0	37	29	4,5	33,0	8,0	25,0	8,0	24	0,085

Figura 193: características dimensionales de la tuerca.

A continuación, se calcula la carga media a soportar por la tuerca. Si el sistema funciona a una velocidad constante y con carga variable, el proveedor indica que se debe calcular de la siguiente forma (figura 194):

- En caso de carga variable y revoluciones constantes rige para la carga media F_m

$$F_m = \sqrt[3]{|F_{\text{eff } 1}|^3 \cdot \frac{q_{t1}}{100 \%} + |F_{\text{eff } 2}|^3 \cdot \frac{q_{t2}}{100 \%} + \dots + |F_{\text{eff } n}|^3 \cdot \frac{q_{tn}}{100 \%}} \quad (2)$$

$F_{\text{eff } 1}, F_{\text{eff } 2}, \dots, F_{\text{eff } n}$ = carga axial efectiva equivalente durante las fases 1 ... n (N)
 F_m = carga axial dinámica equivalente (N)
 $q_{t1}, q_{t2}, \dots, q_{tn}$ = fracción de tiempo para $F_{\text{eff } 1}, \dots, F_{\text{eff } n}$ (%)

Figura 194: ecuación para el cálculo de la carga media en caso de revoluciones constantes y carga variable.

En este caso, la única carga variable es la del arrastrables. Cuando el soporte está en la parte más baja y empieza a subir, tiene que cargar con la mitad del peso del arrastrables o, dicho de otra forma, con el peso total del número de eslabones que están en su encima (figura 195).

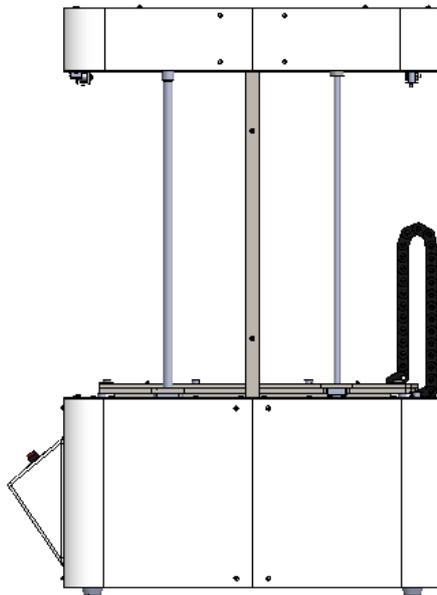


Figura 195: soporte de lámina cargando la mitad de los eslabones antes de empezar el movimiento de ascensión.

A medida que el soporte asciende en vertical, la carga total se reduce, porque disminuye el número de eslabones que el soporte tiene que arrastrar (figura 196).

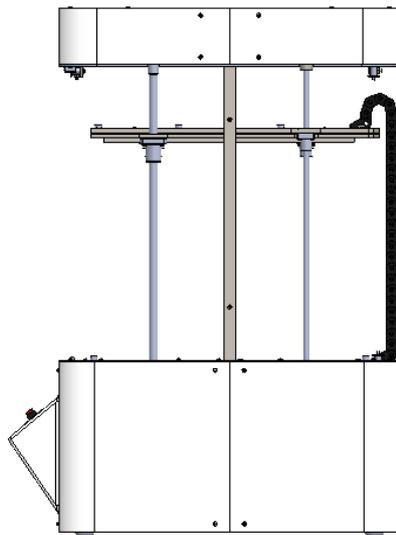


Figura 196: soporte prácticamente sin eslabones antes de alcanzar la parte superior de la máquina.

Aunque se es totalmente consciente de que la variación de la carga es ínfima y que sería igualmente válido tomar esa carga como invariable, se desea hacer el cálculo de la carga media para demostrar que se sigue el procedimiento de selección establecido por el proveedor.

Se calcula el peso de los elementos no variables:

- Peso soporte superior: 2773 gr.
- Peso electroimán: 8 gr.
- Peso tuerca guía: 250 gr.

$$2773 + 8 \cdot 8 + 250 = 3879 \text{ gr.} = 3,1 \text{ Kgf.}$$

$$3,1 \text{ Kgf} \cdot 9,81 \frac{N}{Kgf} = 30,41 \text{ N} = 30,5 \text{ N}$$

Se estima el peso total de un eslabón (figura 197) junto a la parte de cables que debe arrastrar en 10 gramos.



Figura 197: eslabón de la cadena arrastra cables.

En total, la cadena portacables está compuesta por 25 eslabones (figura 198).



Figura 198: cadena arrastra cables compuesta por 25 eslabones.

Cuando el soporte está en la parte más baja, carga con el peso de la mitad de la cadena, es decir 12,5 eslabones que se redondea a 13. Por tanto, el peso total de los 13 eslabones es el siguiente.

$$13 \cdot \left(\frac{10 \cdot 9,81}{1000} \right) = 1,27 \text{ N}$$

A lo largo de toda la distancia, se van perdiendo los 13 eslabones.

$$\frac{400(mm)}{13} = 30,76 (mm)$$

Cada 30,76 milímetros, se pierde un eslabón y, por tanto, se deja de contar con su peso. 30,76 milímetros representan el 7,692% del total del recorrido.

Siguiendo la fórmula propuesta por el fabricante para el cálculo de la carga media, obtenemos la siguiente ecuación:

$$F_m = \sqrt[3]{(30,5 + 1,27)^3 \cdot \frac{7,692}{100} + (30,5 + 1,172)^3 \cdot \frac{7,692}{100} + \dots + (30,5 + 0,0976)^3 \cdot \frac{7,692}{100}}$$

$$F_m = \sqrt[3]{28952,55642(N)} = 30,76 (N)$$

Con el resultado anterior, ya tenemos calculada la fuerza media, que es de 30,76 N.

Si tenemos en cuenta que el husillo avanza 10 milímetros por cada revolución y que la distancia total es de 400 milímetros, se obtiene que las revoluciones que tiene que dar el husillo para completar un ciclo de subida o bajada son 40 revoluciones.

$$\frac{400 (mm)}{10 (mm)} = 40 rev.$$

Si deseamos que se haga en 2 segundos, la velocidad de rotación será de:

$$\frac{40 rev}{2 s} = 20 \frac{rev}{s}$$

$$20 \frac{rev}{s} \cdot \frac{60 s}{1 min} = 1200 rpm = 1200 min^{-1}$$

A continuación, se calcula la vida útil teórica en revoluciones del elemento para, posteriormente, calcular la carga dinámica. Igual que en el caso anterior, el fabricante nos indica como se debe hacer (figura 199).

Duración de vida en horas L_h

$L_h = \frac{L}{n_m \cdot 60} \quad ?$	L_h = duración de vida (h) L = duración de vida en revoluciones (-) n_m = revoluciones medias (min^{-1})
--	--

Figura 199: ecuación para el cálculo de vida útil.

Para el cálculo, hacemos una estimación hipotética de la duración de vida.

$$L_h = 1000 horas$$

Si tenemos en cuenta que cada 2 segundos el husillo hace 40 revoluciones, las revoluciones totales a lo largo de toda la vida útil serán de:

$$\left(\frac{1000 \text{ h} \cdot 60 \frac{\text{min}}{\text{h}} \cdot 60 \frac{\text{s}}{\text{min}}}{2} \right) \cdot 40 \text{ rev} = 7,2 \cdot 10^7 \text{ rev.}$$

La capacidad de carga dinámica por tanto será de:

$$C = 30,76 \sqrt[3]{\frac{7,2 \cdot 10^7}{10^6}} = 127,96 \text{ N}$$

La capacidad de carga dinámica de la tuerca seleccionada es de 3000 N. Por tanto, el valor obtenido de 127,95 N está muy por debajo. Damos por válidos la tuerca y eje seleccionados.

Para la selección del husillo, el proveedor pide una nomenclatura completa.

Sistemática de las abreviaciones BASA/datos para el pedido

Husillo de bolas Ball Screw Assembly	BASA		20 x 5 R x3	FEM-E-C	-4	00	1	2	T7	R	B1	A	Z	120	41 A	Z120	1234,5	0	1	
Tamaño	Diámetro nominal (mm)		Paso (mm)	Dirección del paso D ... derecha, I ... izquierda		Diámetro de la bola (mm)		Tipo de tuerca												
	FEM-E-B		Tuerca simple embebida, serie miniatura																	
	FEP-E-S		Tuerca simple embebida con capuchones de recirculación																	
	FSZ-E-S		Tuerca simple embebida con capuchones de recirculación																	
	FSZ-E-B		Tuerca simple embebida con capuchones de recirculación																	
	FEM-E-S		Tuerca simple embebida																	
	FEM-E-C		Tuerca simple embebida DIN 69 051, parte 5																	
	FEM-E-D		Tuerca simple embebida JIS B 1192																	
	SEM-E-S		Tuerca simple ajustable sin juego																	
	SEM-E-C		Tuerca simple ajustable sin juego DIN 69 051, parte 5																	
	ZEM-E-S		Tuerca simple cónica																	
	ZEM-E-K		Tuerca simple cónica																	
	ZEM-E-A		Tuerca simple cónica																	
	ZEV-E-S		Tuerca roscada																	
	FDM-E-S		Tuerca doble embebida																	
	FDM-E-C		Tuerca doble embebida DIN 69 051, parte 5																	
	FDM-E-D		Tuerca doble embebida JIS B 1192																	
	FED-E-B		Tuerca simple embebida																	
	FAR-B-S		Tuerca simple embebida accionada																	
	Cantidad de hilos en la tuerca																			
Retoque de tuerca	00 ... sin retoques		01 ... superficie adicional (brida B) ⁴																	
Sistema de juntas	0 ... sin junta		1 ... junta estándar																	
			2 ⁰ ... junta reforzada																	
			3 ⁰ ... junta de bajo rozamiento																	
Clases de precarga	0 ... C0 (juego axial estándar)		4 ... C4 (pretensión elevada DN ⁹)																	
	1 ... C00 (juego axial reducido)		5 ... C0 (pretensión media DN ⁹)																	
	2 ... C0 ⁹ (pretensión elevada SN ⁹)		6 ... C0 (pretensión media SN)																	
	3 ... C1 (pretensión suave SN ⁹)		6 ... C2 (pretensión media SN)																	
Precisión	T3, T5, T7, T9																			
Husillo	R ... Husillo de precisión BAS																			
Extremo izquierdo del husillo	Forma: ... forma estándar																			
	...A superficie de llave en el husillo de bolas																			
	...B superficie de llave en el collar																			
	Opción (mecanizado frontal): Z ... centrado según DIN 332-D																			
	S ... eslabón interior																			
	G ... rosca interior																			
	K ... ninguno																			
	Versión: ... versión estándar																			
Extremo derecho	... ver extremo izquierdo																			
Longitud total [mm]																				
Documentación	0 ... estándar (protocolo de aceptación de prueba)		2 ... protocolo del par de giro																	
	1 ... protocolo del paso		3 ... protocolo del paso y del par de giro																	
Lubricación	0 ... preservado																			
	1 ... preservado y lubricado base de la tuerca		3 ... unidad de lubricación adicional a la derecha, tuerca engrasada																	
	2 ... unidad de lubricación adicional a la izquierda, tuerca engrasada		4 ... unidad de lubricación adicional en ambos lados, tuerca engrasada																	

Figura 200: sistema de abreviación para la selección del husillo.

Teniendo en cuenta la descripción anterior (figura 200), el nombre completo del producto a pedir es:

BASA |12x10Rx2 |FEM – E – B – 2|00|1|0|T9|R|81 A K 50|81 A K 50|640

Para finalizar, se calcula el par necesario a aplicar en la entrada del husillo para levantar el soporte de la lámina.

Momento de accionamiento M_{te}
para transformación de movimiento longitudinal en rotativo:

$M_{te} = \frac{F_L \cdot P \cdot \eta'}{2000 \cdot \pi} \cdot 10$	F_L = fuerza de avance (N)
$M_{te} \leq M_p$	M_p = momento de accionamiento máximo admisible (Nm)
	M_{te} = momento de accionamiento (Nm)
	P = paso (mm)
	η' = grado de rendimiento ($\eta' \approx 0,8$) (-)

Figura 201: ecuación para el cálculo del momento de entrada necesario.

Este dato es de gran relevancia para poder determinar posteriormente las características del reductor que vamos a utilizar entre el motor eléctrico y el husillo.

$$M_t = \frac{F_l \cdot P}{2000 \cdot \pi \cdot n} = \frac{30,75 \text{ N} \cdot 10(\text{mm})}{2000 \cdot \pi \cdot 0,8} = 0,0611 \text{ Nm.}$$

Para asegurarnos de que el par a la entrada del husillo siempre será superior al necesario para levantar el soporte, multiplicamos el resultado anteriormente obtenido por un coeficiente de seguridad de 1,5.

$$0,0611 \cdot 1,5 = 0,091 \text{ Nm} = 0,1 \text{ Nm.}$$

Por tanto, para conseguir la velocidad y el desplazamiento deseado, a la salida del sistema hay que aplicar un par de 0,1 Nm y una velocidad de 1200 rpm.

$$\text{Potencia entrada husillo} = 12,56 \text{ W}$$

1.2 Dimensionado del reductor.

El motor seleccionado, proporciona una velocidad de rotación de 3950 revoluciones por minuto y un par de 0,15 Nm, con estas características, su potencia es de 62 W, prácticamente la misma que especifica el fabricante (figura 202).



Figura 202: características del motor seleccionado.

Para que el husillo que mueve el soporte de la lámina gire a una velocidad de 1200 revoluciones por minuto aproximadamente, hay que seleccionar una serie de engranajes que consigan reducir la velocidad a la salida manteniendo el par por encima del valor que necesitamos.

En primer lugar, se selecciona el engranaje más pequeño que tenga un alojamiento de 8 milímetros de diámetro. Este alojamiento es necesario para introducir el vástago del motor al que se une dicho engranaje. El primer engranaje con esta característica que encontramos es el **KHG1-22** (figura 203). En cuanto a la orientación de los dientes, es irrelevante. Por esto, en este primer caso vamos a seleccionar un engranaje tipo **R**.

Catalog No.	Direction of Helix	Module	No. of teeth	Bore	Hub dia.	Pitch dia.	Outside dia.	Face width <small>NOTE 1</small>	Hub width	Total length
		<i>m</i>	<i>z</i>	A _{H7}	B	C	D	E	F	G
KHG1- 20R KHG1- 20L	R L	1	20	6	17	20	22	8	10	18
KHG1- 22R KHG1- 22L	R L	1	22	8	18	22	24	8	10	18
KHG1- 24R KHG1- 24L	R L	1	24	8	20	24	26	8	10	18
KHG1- 25R KHG1- 25L	R L	1	25	8	20	25	27	8	10	18
KHG1- 28R KHG1- 28L	R L	1	28	8	20	28	30	8	10	18
KHG1- 30R KHG1- 30L	R L	1	30	10	25	30	32	8	10	18
KHG1- 32R KHG1- 32L	R L	1	32	10	25	32	34	8	10	18
KHG1- 35R KHG1- 35L	R L	1	35	10	25	35	37	8	10	18
KHG1- 36R KHG1- 36L	R L	1	36	10	25	36	38	8	10	18

Figura 203: características dimensionales de los engranajes KHG.

En la primera etapa del reductor, se desea reducir la velocidad a la mitad. Por esto, el siguiente engranaje que seleccionamos es el **KHG-44L**.

$$\text{Etapa 1} \begin{cases} V_e = 3950 \text{ rpm} \rightarrow V_s = 1975 \text{ rpm.} \\ M_e = 0,15 \text{ Nm} \rightarrow M_s = 0,3 \text{ Nm.} \end{cases}$$

En la segunda etapa buscamos un engranaje que reduzca la velocidad de 1975 rpm a 1200 rpm aproximadamente. La relación de reducción necesitada por tanto es de:

$$\frac{1200}{1975} = 0,607$$

Al eje que une el engranaje KHG-44 se le va a unir otro engranaje **KHG-22R**, por esto, el engranaje que será accionado por este último debe ser de:

$$\frac{22 \text{ dientes}}{0,607} = 36,24 \text{ dientes.}$$

Buscando en el catálogo de KHG vemos que hay disponible un engranaje de 36 dientes, **KHG-36L**. La segunda etapa quedaría por tanto de la siguiente manera.

$$\text{Etapa 2} \begin{cases} V_e = 1975 \text{ rpm} \rightarrow V_s = 1206,94 \text{ rpm.} \\ M_e = 0,15 \text{ Nm} \rightarrow M_s = 0,49 \text{ Nm} \end{cases}$$

Una velocidad de salida de 1207 rpm y un par de 0,5 Nm son suficientes para accionar el husillo. La potencia ofrecida es de:

$$\text{Potencia salida sistema} = 61,93W$$

Observamos que la potencia a la salida del sistema reductor, si tener en cuenta perdidas, es la misma que a la salida del motor, por tanto, dada esta conservación de potencia, nos aseguramos de que los cálculos realizados están bien. Además, la potencia a la salida del sistema es superior a la necesaria a la entrada del husillo, por esto, podemos concluir diciendo que el motor seleccionado junto con la reducción aplicada será capaz de hacer girar el husillo.

$$\text{Potencia salida sistema} = 61,93W > \text{Potencia entrada husillo} = 12,56W$$

Tras realizar este primer cálculo, los engranajes que será necesario adquirir para el reductor son: dos engranajes KHG-22, un engranaje KHG-36 y un engranaje KHG-44 (figura 204).

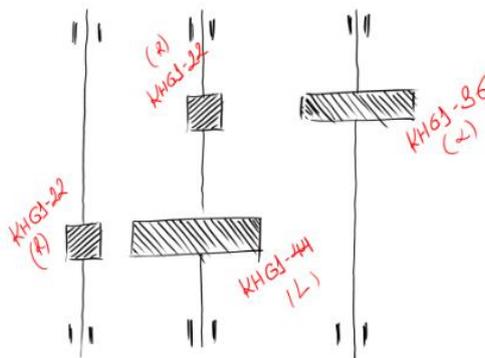


Figura 204: esquema de la disposición de los engranajes.

Para calcular la distancia entre ejes, se tiene en cuenta el valor del diámetro de paso, que coincide con el número de dientes de los engranajes. La distancia entre ejes, como mínimo, debe ser la siguiente (figura 205):

$$\text{Etapa 1} \left\{ \frac{22 + 44}{2} = 33 \text{ mm} \right.$$

$$\text{Etapa 3} \left\{ \frac{22 + 36}{2} = 29 \text{ mm} \right.$$

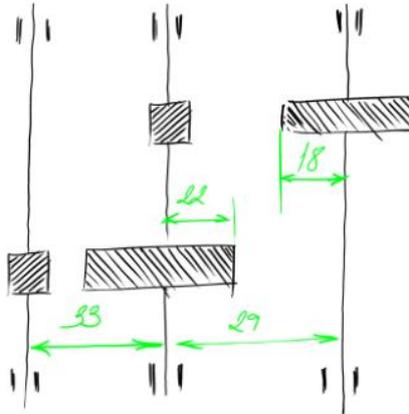


Figura 205: distancia entre los ejes de los engranajes.

Finalmente, calculamos la fuerza sobre cada uno de los ejes (figura 206).

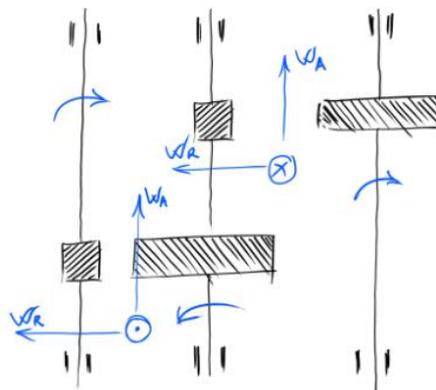


Figura 206: esquema de las fuerzas que se crean sobre los ejes.

Para cada uno de los engranajes, el ángulo de presión transversal es de 20 grados. En cuanto al ángulo de inclinación del diente, es de 21,5 grados.

Specifications			
Precision grade	JIS N6 grade (JIS B1702-1: 1998) OLD JIS 2 grade (JIS B1702: 1976)	Heat treatment	Thermal refined, tooth surfaces induction hardened
Reference section of gear	Rotating plane	Tooth hardness	50~55HRC
Gear teeth	Standard full depth	Surface treatment	Black oxide except ground surfaces
Transverse pressure angle	20°	Tooth surface finish	Ground
Helix angle	21°30'	Datum reference surface for gear grinding	Bore
Material	SCM440	Secondary Operations	Possible except tooth area

Figura 207: otras características de los engranajes KHG.

Etapla 1:

$$M_t = W_t \frac{d}{2}$$

$$M_t = \frac{M_t \cdot 2}{d} = \frac{0,3 \text{ Nm} \cdot 2}{0,044 \text{ m}} = 13,63 \text{ N}$$

$$F_{radial} = W_t \cdot tg\alpha_t = 13,63 \cdot tg20 = 4,96 \text{ Nm.}$$

$$F_{axial} = W_t \cdot tg\varphi = 13,63 \cdot tg21,5 = 5,36 \text{ Nm.}$$

Etapla 2:

$$M_t = 0,5 \text{ Nm}$$

$$M_t = \frac{M_t \cdot 2}{d} = \frac{0,5 \text{ Nm} \cdot 2}{0,036 \text{ m}} = 27,77 \text{ N}$$

$$F_{radial} = W_t \cdot tg\alpha_t = 27,77 \cdot tg20 = 10,1 \text{ Nm.}$$

$$F_{axial} = W_t \cdot tg\varphi = 27,77 \cdot tg21,5 = 10,93 \text{ Nm.}$$

Se obtiene que el eje del husillo, al que se le une el engranaje KHG-36, experimentará una fuerza axial de 10,94 Nm y una fuerza radial de 10,1 Nm. Este dato es de suma relevancia a la hora de dimensionar el rodamiento que va a sostener el eje del husillo sobre el chasis de la máquina.

1.3 Dimensionado del rodamiento axial.

En el apartado de los cálculos por elementos finitos, se ha visto que el peso que debe soportar la zona en la que apoyan los reductores junto al motor, husillo y demás elementos que se sostienen sobre estos (figura 208), es de 73N.

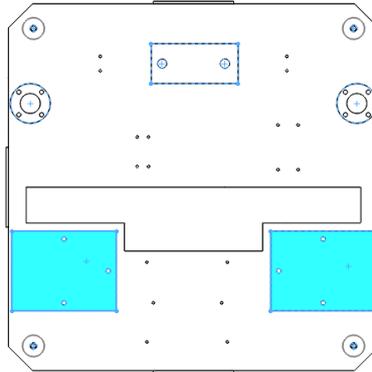


Figura 208: área correspondiente al apoyo de los reductores.

El peso del conjunto motorreductor (sin tener en cuenta el husillo y la tuerca ya que las sumamos por separado), más la mitad del peso del soporte de lámina superior (el soporte tiene dos apoyos por esto el peso se divide a la mitad), más la mitad del peso del soporte de lámina inferior (el soporte tiene dos apoyos por esto el peso se divide a la mitad), más un cuarto de la suma entre el conjunto pico y la unidad calefactora (este peso tiene cuatro puntos de apoyo), más un husillo y una tuerca:

$$1,813 + \frac{2816}{2} + \frac{2773,96}{2} + \frac{8,104}{2} + 0,75 + 0,085 = 7,45 \text{ Kg} = 73 \text{ N.}$$

Esta es la fuerza que se va a tomar en consideración a la hora de dimensionar el rodamiento a seleccionar. Por tanto, los datos de partida son:

- Fuerza axial: 73N.
- Fuerza radial: 10,1N.

Por la forma constructiva, el rodamiento que más conviene a nuestra aplicación, es:

LAL: apoyo fijo con rodamiento axial de contacto angular LGL (figura 209).



Figura 209: rodamiento LGL.

El rodamiento seleccionado, es el **LGL-D-0624** con referencia **R3414 038 06** ya que es el rodamiento de menor tamaño que permite un alojamiento de 8 milímetros de diámetro (figura 210).

Tamaño	Módulo Rodamiento axial de contacto angular con tuerca con muesca	Pieza individual				Tuerca con muescas	
		Rodamiento axial de contacto angular		Capacidades de carga ¹⁾		Abreviatura	Referencia
d ₀ x P	Referencia	Abreviatura	Referencia	din. C (N)	estát. C ₀ (N)		
6 x 1/2	R1590 406 00	LGL-D-0624	R3414 038 06	1 340	1 250	NMZ 6x0,5	R3446 001 04
8 x 1/2/2,5	R1590 406 00	LGL-D-0624	R3414 038 06	1 340	1 250	NMZ 6x0,5	R3446 001 04
12 x 2/5/10	R1590 406 00	LGL-D-0624	R3414 038 06	1 340	1 250	NMZ 6x0,5	R3446 001 04
12 x 5/10	R1590 412 00	LGL-A-1244	R3414 040 06	13 200	17 900	NMG 12x1	R3446 002 02
16 x 5/10	R1590 412 00	LGL-A-1244	R3414 040 06	13 200	17 900	NMG 12x1	R3446 002 02
20 x 5	R1590 412 00	LGL-A-1244	R3414 040 06	13 200	17 900	NMG 12x1	R3446 002 02
25 x 5/10	R1590 415 00	LGL-A-1547	R3414 041 06	16 400	22 400	NMG 15x1	R3446 011 02
32 x 5/10	R1590 420 00	LGL-A-2060	R3414 042 06	27 500	40 000	NMG 20x1	R3446 005 02

Figura 210: características de capacidad de carga del rodamiento seleccionado.

El fabricante obliga a asegurarse que la carga axial y radial se encuentran por debajo de la línea del diagrama de límite de carga estática. Obviamente, con los valores de carga radial y axial que tenemos, nos encontramos por debajo de este límite, que en el gráfico es representado con una línea continua, correspondiente al tipo de rodamiento **LGL-D** (figura 211).

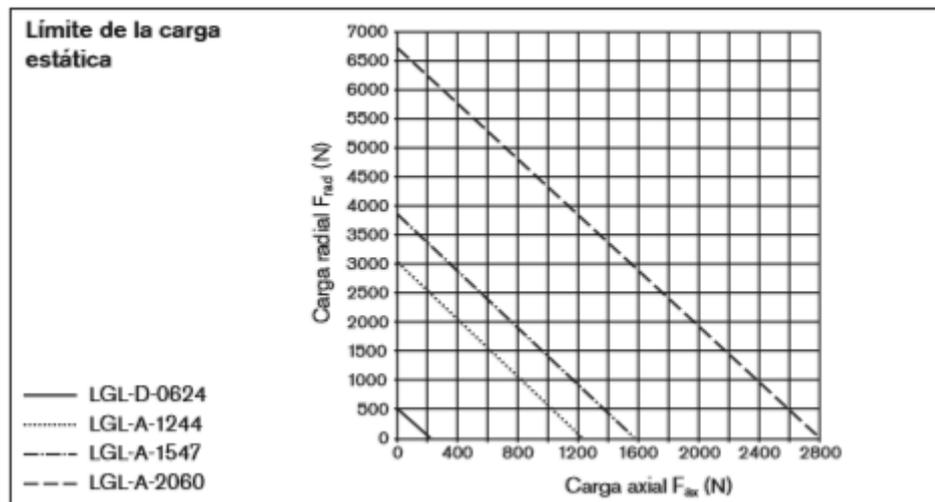


Figura 211: gráfico del límite de la carga elástica del rodamiento seleccionado.

Como en los casos anteriores, el fabricante nos guía para hacer los cálculos a la hora de verificar el rodamiento seleccionado (figura 212).

Tamaño	X	Y	Z	A	B
LGL-D-0624	0,003	0,1300	140	1,90	1,40
LGL-A-1244	0,076	0,0460	580	1,28	1,30
LGL-A-1547	0,022	0,0110	540	1,45	1,50
LGL-A-2060	0,017	0,0082	960	1,45	1,50

$$F_{comb} = X \cdot F_{rad}^A + Y \cdot F_{ax}^B + Z \quad 21$$

F_{ax} = carga axial (N)
 F_{comb} = carga equivalente combinada (N)
 F_{rad} = carga radial (N)
 X, Y, Z = factores para el cálculo (-)
 A, B = exponentes (-)

Figura 212: método de cálculo de la fuerza combinada.

Para nuestro caso:

$$F_{comb} = X \cdot F_{rad}^A + Y \cdot F_{ax}^B + Z = 193,038 \text{ N}$$

$$F_{comb} = 0,003 \cdot 10,1^{1,90} + 0,130 \cdot 73^{1,40} + 140 = 193,038 \text{ N}$$

La vida útil de la tuerca del husillo en revoluciones calculada en apartados anteriores es de $7,2 \times 10^7$, aplicamos el mismo valor al rodamiento.

$L = \left(\frac{C}{F_m} \right)^3 \cdot 10^6$	24	C	= capacidad de carga dinámica	(N)
		F _m	= carga combinada equivalente	(N)
		L	= Duración de vida nominal en revoluciones	(-)
		L _h	= duración de vida nominal en horas de trabajo	(h)
		n _m	= revoluciones medias	(min ⁻¹)
$L_h = \frac{16\,666}{n_m} \cdot \left(\frac{C}{F_m} \right)^3$	25			

Figura 213: cálculo de la duración de vida en horas del rodamiento.

La capacidad de carga dinámica (figura 213) equivale a:

$$C = \sqrt[3]{\frac{7,2 \times 10^7}{10^6}} \cdot F_m = 24,043 \text{ N}$$

Como era de suponer, el valor de carga dinámica está muy por debajo del valor máximo que es capaz de sostener el rodamiento seleccionado, por esto, damos por bueno el rodamiento axial seleccionado.

$$24,043 \text{ N} \ll 1340 \text{ N}$$

1.4 Dimensionado del cojinete de los pilares secundarios.

Para seleccionar la tuerca que servirá de segundo apoyo al soporte de la lámina nos dirigimos al catálogo de IGUS. Allí encontramos el cojinete R FJUM-02 (figura 214) que por su forma y dimensiones se ajusta a la aplicación que buscamos.



Figura 214: cojinete seleccionado.

El fabricante especifica las siguientes cargas dinámicas y estáticas (figura 215):

Fmáx. dinámica, P = 5 MPa	960 N
Fmáx. estática, P = 35 MPa	6.720 N

Figura 215: características de carga estática y dinámica del cojinete.

A continuación, se realizan una serie de cálculos para determinar si los esfuerzos que debe soportar el cojinete están por debajo del límite que especifica el fabricante.

Se determina en primer lugar las aceleraciones a las que va a estar sometida la tuerca. La velocidad lineal de esta es de:

$$v = \frac{d}{t} = \frac{200 \text{ mm}}{2 \text{ s}} = 200 \frac{\text{mm}}{\text{s}} = 0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_f = v_o + at ; 0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}} + a \cdot 2\text{s} ; a = 0,1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$d = v_o t + \frac{1}{2} at^2 ; d = \frac{1}{2} \cdot 0,1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2^2 \text{s} = 0,2 \text{ m}$$

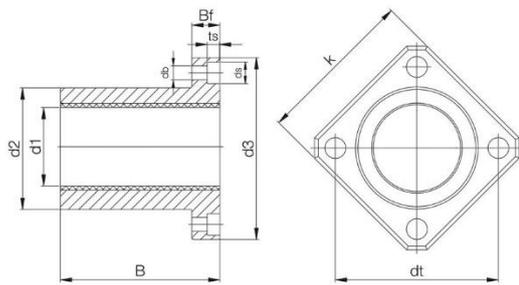
Con la aceleración obtenida, en 2 segundos la tuerca tan solo conseguiría recorrer 200 milímetros, es decir, la mitad de la distancia total. Se necesita por tanto el doble de aceleración.

$$a = 0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$d = \frac{1}{2} \cdot 0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2^2 \text{s} = 0,4 \text{ m}.$$

A partir de las características dimensionales de la tuerca (figura 216), se calcula el centro de gravitación de esta, ya que es allí donde se van a aplicar los esfuerzos.

$$Y_G = \frac{(17 + 4)(8 \cdot 25) + \left(\frac{17}{2}\right)(17 \cdot 16)}{(16 \cdot 17) + (8 \cdot 25)} 13,79 \text{ mm}$$



Art.-Nr.	FJZM-02-08
∅ d1	8,00 mm
∅ d2	16,00 mm
∅ d3	32,0 mm
dt	24 mm
k	25 mm
B	25,0 mm
Bf	8 mm
ts	3,1 mm
∅ dB	3,5 mm
∅ ds	6,0 mm

Figura 216: características dimensionales del cojinete seleccionado.

Ahora, calculamos la fuerza estática aplicada sobre el cojinete. Se supone el peor de los casos, en el que el soporte es sujetado solo por el cojinete guía sin tener el segundo apoyo del cojinete motriz. Por esto, se calcula que esfuerzos produce el peso total del soporte sobre esta tuerca cuando el sistema está parado. Para ello, se considera que el peso total del soporte se encuentra justo en el centro de este (figura 217).

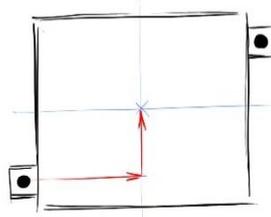


Figura 217: representación del centro del soporte.

La distancia del centro del soporte o cojinete guía, al centro de la tuerca es (figura 218):

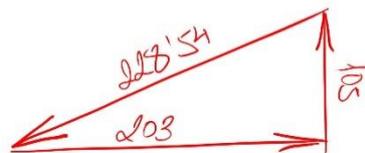


Figura 218: distancias al centro del soporte.

$$dist = \sqrt{203^2 + 105^2}$$

$$dist = 228,54 \text{ mm}$$

El momento creado en el centro de gravedad de la tuerca es:

$$M = 0,228 \text{ m} \cdot \left(2,8 \text{ Kgf} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{Kgf}} \right) = 6,26 \text{ Nm}$$

Por tanto, por el momento creado, el cojinete experimentará en sus extremos unos esfuerzos de:

$$\frac{M_t}{d_I} = F_1 = \frac{6,26 \text{ Nm}}{0,0138\text{m}} = 453,62 \text{ N}$$

$$\frac{M_t}{d_{II}} = F_2 = \frac{6,26 \text{ Nm}}{0,0112\text{m}} = 558,92 \text{ N}$$

Estos esfuerzos se pueden ver en el siguiente dibujo (figura 219).

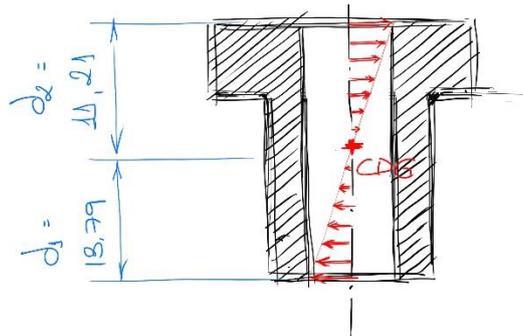


Figura 219: tensiones sobre el cojinete.

El extremo superior es el que más tensión sufre. Pero está por debajo del límite de carga estática que especifica el fabricante.

$$558,92 \text{ N} \ll 960 \text{ N}$$

En cuanto a la capacidad de carga dinámica, se supone otra vez el caso en el que el soporte de la lámina es sujetado únicamente por el cojinete guía y todo el sistema acelera con un valor de $0,2 \text{ m/s}^2$.

$$M = 0,228 \text{ m} \cdot \left(2,8 \text{ Kgf} \cdot \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + 0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \right) = 6,413 \text{ Nm}$$

El momento crea, en el extremo superior del alojamiento del eje, una fuerza de:

$$\frac{6,41 \text{ Nm}}{d_{II}} = \frac{6,413 \text{ Nm}}{0,0112\text{m}} = 572 \text{ N}$$

En este caso, la capacidad de carga dinámica, también se encuentra por debajo del límite especificado por el fabricante.

$$572 \text{ N} \ll 6720 \text{ N}$$

Se considera adecuado el cojinete seleccionado para el segundo apoyo del soporte.

1.5 Cálculo de la fuerza del ajuste de los pilares secundarios.

De la misma forma que el cojinete, el pilar también es proveído por IGUS. El fabricante, especifica las siguientes características para el eje (figura 220).

Eje de acero inoxidable drylin® R, EWM, 1.4112



- Alta resistencia a la corrosión
- Gran resistencia a químicos
- Solución ideal para aplicaciones húmedas
- Acero inoxidable, EWM 1.4112 (X90)

Referencia

EWM-08

Diámetro exterior d [mm]

8,0

Tamaños

Diseño	Eje sólido
Diámetro exterior d	8,0 mm
Longitud máx.	4.000 mm

Tolerancias de producción e instalación

Tolerancia-d	h6
--------------	----

Propiedades generales

Material	Acero inoxidable 1.4112
Superficie	Endurecido/ablandado
Profundidad del templado	0,9 mm

Figura 220: características de la guía seleccionada.

La clase de tolerancia que ofrece el fabricante es **h6**.

Para determinar la clase de tolerancia del agujero del plato o asiento (figura 221) que va a alojar la guía, nos dirigimos a las recomendaciones ISO de ajustes recomendados según aplicaciones.

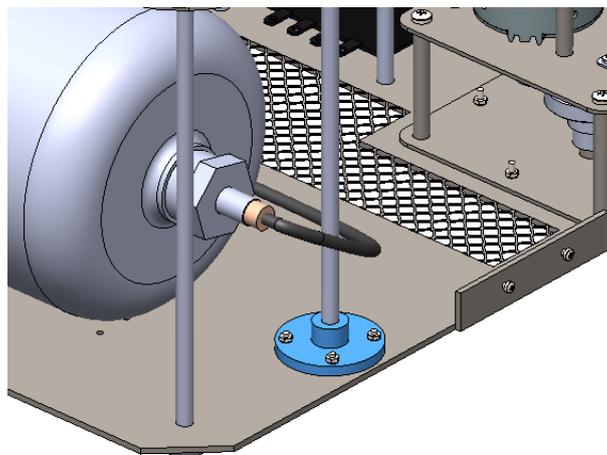


Figura 221: alojamiento de guía.

De todos los ajustes recomendados para un eje h6, seleccionamos aquellos que sean capaces de transmitir esfuerzos. En este caso, los indicados por ISO, son los ajustes P7 y R7. Ambos son ajustes con apriete capaces de transmitir esfuerzos, de colocación con martillo o mazo y desmontaje con deterioro.

Se selecciona el ajuste R7 y se realizan los cálculos pertinentes para averiguar el esfuerzo que es capaz de soportar.

8R7/h6

Para un agujero de 8 milímetros, la amplitud de la zona de tolerancia IT7 es de: 15 micras. La distancia superior es de -13 micras. Por tanto, la distancia inferior será de -28 micras.

$$8R7 \left\{ \begin{array}{l} IT7 = 15 \mu m \\ D_s = -13 \mu m \\ D_i = -13 - 15 = -28 \mu m \end{array} \right.$$

Para un eje de 8 milímetros, la amplitud de la zona de tolerancia IT6 es de 9 micras. La distancia superior es de 0 micras y la inferior de -9 micras.

$$8h6 \left\{ \begin{array}{l} IT6 = 9 \mu m \\ D_s = 0 \mu m \\ D_i = 0 - 9 = -9 \mu m \end{array} \right.$$

El caso más desfavorable es aquel en el que se monta el eje en su diámetro más pequeño y el agujero en su diámetro más grande. Los valores de los diámetros en ambos casos serían:

Agujero más grande: 7,987

Eje mas pequeño: 7,991

El valor de interferencia entre ambos es de:

$$7,991 - 7,987 = 0,004 \text{ mm} = 4 \mu m$$

Para determinar los esfuerzos producidos por la deformación, se utilizará la siguiente expresión:

$$\delta_{min} = \frac{P_{min} \cdot b}{E} \left(\frac{c^2 + b^2}{c^2 - b^2} + \frac{b^2 + a^2}{b^2 - a^2} \right)$$

Antes de continuar, para los materiales de los dos elementos que intervienen en el cálculo, se especifica un módulo de elasticidad de 207 GPa, propio de aceros inoxidables.

Los valores de radio interno, medio y externo son:

$$a = 0 \text{ (eje macizo)}$$

$$b = \frac{8}{2} = 4 = 0,004 \text{ m}$$

$$c = \frac{16}{2} = 8 = 0,008 \text{ m}$$

Continuando con la expresión anterior:

$$\delta_{min} = \frac{P_{min} \cdot 0,004}{2,07 \cdot 10^{11}} \left(\frac{0,008^2 + 0,004^2}{0,008^2 - 0,004^2} + \frac{0,004^2 + 0^2}{0,004^2 - 0^2} \right)$$

$$4 \cdot 10^{-6} = \frac{P_{min} \cdot 0,004}{2,07 \cdot 10^{11}} (2,667 + 1)$$

$$P_{min} = 207000000 \text{ Pa} = 207 \text{ MPa}$$

La fuerza que es capaz de dar este apriete es definida mediante la siguiente expresión:

$$P_{min} = \frac{F}{2\pi b\mu L}$$

El coeficiente de rozamiento utilizado para un par de materiales como el acero inoxidable es de 0,15 mientras que la longitud o profundidad a la que penetra el eje dentro del alojamiento es de 3 milímetros.

$$207 \text{ MPa} = \frac{F}{2\pi \cdot 0,004 \cdot 0,15 \cdot 0,003}$$

La fuerza es:

$$F = 2341 \text{ N}$$

El resultado es más que satisfactorio, por tanto, damos el ajuste seleccionado por bueno.

1.6 Cálculo de la potencia calorífica del proceso.

En este apartado se tiene como objetivo determinar el número de resistencias que van a ser necesarias en cada momento según el material y las dimensiones de la lámina para conseguir elevar su temperatura hasta la temperatura de termoconformado en un tiempo máximo de 1 minuto.

Para realizar los cálculos, los materiales que se van a tener en cuenta, son:

- PS: poliestireno.
- HDPE: polietileno de alta densidad.
- PC: policarbonato.
- PVC: policloruro de vinilo.
- PET: tereftalato de polietileno.
- ABS: acrilonitrilo butadieno estireno.
- SB: estireno butadieno.

Para cada uno de los materiales, hay que considerar características propias como densidad, calor específico y temperatura de termoconformado (tabla 32).

Polímero	Densidad (g/cm ³)	Calor específico (KJ/(Kg*K))	Temperatura de termoconformado(°C)
PS	1,05	1,3	80
HDPE	0,95	2,4	105
PC	1,2	1,17	150
PVC	1,39	0,9	90
PET	1,27	1,1	82
ABS	1,05	1,3	100
SB	1,05	1,3	100

Tabla 32: propiedades físicas según material.

En cuanto a las dimensiones, se toma en consideración una lámina estándar de 320 x 320 milímetros. Los grosores de lámina que se van a tener en cuenta para hacer los cálculos son:

- 0,5 mm
- 1 mm
- 1,5 mm
- 2 mm

Se hace un primer cálculo para una lámina de poliestireno de dimensiones:

$$320 \times 320 \times 1$$

El volumen de una lámina de estas características sería de:

$$320 \cdot 320 \cdot 1 = 102400 \text{ mm}^3$$

El peso de la lámina, teniendo en cuenta la densidad del poliestireno:

$$102,4 \text{ cm}^3 \cdot 1,05 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 107,52 \text{ g.}$$

Para determinar la cantidad de energía necesaria a aportar a la lámina con las características anteriores, se utiliza la siguiente fórmula:

$$C = \frac{\Delta Q}{m\Delta T}$$

Donde cada uno de los términos significa:

$$C: \text{ calor específico de una sustancia en } \frac{\text{Cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} \text{ o } \frac{\text{Cal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}$$

$$\Delta Q = \text{ incremento de energía en Calorías o Joules.}$$

$$m = \text{ masa de la sustancia en g o Kg}$$

$$\Delta T = \text{ incremento de temperatura en grados centígrados.}$$

La potencia calorífica a aplicar a una lámina de poliestireno con las dimensiones dadas es:

$$C = \frac{\Delta Q}{m\Delta T} ; \Delta Q = Cm\Delta T$$

$$\Delta Q = 1300 \frac{\text{J}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \cdot 0,10752 \text{ g} \cdot (80^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$\Delta Q = 8386,56 \text{ Cal}$$

Si deseamos realizar el proceso en 1 minuto:

$$\frac{8386,56 \text{ Cal}}{60 \text{ s}} = 139,776 \frac{\text{Cal}}{\text{s}}$$

Realizamos los cambios de unidades pertinentes:

$$139,776 \frac{\text{Cal}}{\text{s}} \cdot \frac{3600\text{s}}{1\text{h}} = 503193 \frac{\text{Cal}}{\text{hora}}$$

$$503193 \frac{\text{Cal}}{\text{hora}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot \frac{4,18 \text{ J}}{1 \text{ Cal}} = 585,12 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 582,12 \text{ W}$$

Finalmente se observa que, para una lámina de poliestireno de 320x320x1 se necesita una potencia calorífica de 582,12 W para conseguir aumentar su temperatura hasta la de transición vítrea en un intervalo de tiempo de 1 minuto.

Si tenemos en cuenta que cada una de las resistencias utilizadas para calentar la lámina a termoconformar tienen una potencia calorífica de 600 W, la cantidad de resistencias necesarias para este caso sería de:

$$\frac{582,12W}{600W} = 0,97$$

Para calentar una lámina de poliestireno con las características dimensionales ya especificadas necesitaríamos 1 resistencia trabajando para elevar su temperatura de la ambiental hasta la de termoconformado.

Dado que el método de cálculo del número de resistencias necesarias para termoconformar las láminas es sistemático y no varía más que en grosores de lámina, densidades y temperaturas de termoconformado, se configura una hoja de cálculo (figura 222) para cada uno de los materiales y sus características que de forma automática nos muestra la cantidad de resistencias necesarias para el proceso.

Material	Tiempo deseado (s)									
Poliestireno(PS)	60									
Densidad(g/cm ³)	Calor e.(KJ/(Kg*K))	Calor e.(J/(Kg*°C))	Temperatura termoc (°C)	ΔT (°C)	Resistencia (W)					
1,05	1,3	1300	80	60	600					
Grosor (mm)	Grosor (cm)	Altura (mm)	Altura (cm)	Anchura (mm)	Anchura (cm)	Volumen (cm ³)	Peso (g)	Peso (Kg)		
0,5	0,05	320	32	320	32	51,2	53,76	0,05376		
1	0,1	320	32	320	32	102,4	107,52	0,10752		
1,5	0,15	320	32	320	32	153,6	161,28	0,16128		
2	0,2	320	32	320	32	204,8	215,04	0,21504		
ΔQ (Cal)	Q/t (Cal/s)	Q/t (Cal/h)	Trabajo (J/s o W)	Nº Resistencias						
4193,28	69,888	251596,8	292,6070784	0,487678464						
8386,56	139,776	503193,6	585,2141568	0,975356928						
12579,84	209,664	754790,4	877,8212352	1,463035392						
16773,12	279,552	1006387,2	1170,428314	1,950713856						

Figura 222:cálculo de la potencia calorífica para el PS.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se va a programar la máquina para que esta encienda un determinado número de resistencias en función de la lámina a termoconformar y el grosor de esta. El número de resistencias se puede ver en la siguiente tabla (tabla 33):

Grosor	Resultado cálculo	Número de resistencias.
0,5	0,48	1
1	0,97	1
1,5	1,46	2
2	1,95	2

Tabla 33: número de resistencias para el PS.

El número de resistencias a encender siempre será mayor al número decimal ofrecido por los cálculos, es decir, siempre se redondeará hacia arriba. Esto se debe a que se prefiere obtener una temperatura en la lámina mayor y con una distribución más uniforme a obtener una lámina que no haya llegado a la temperatura de transición vítrea o esté muy próxima a esta.

Estireno Butadieno.

El número de resistencias necesarias según los cálculos realizados se pueden ver en la siguiente imagen (figura 223).

Material	Tiempo deseado (s)								
SB	60								
Densidad(g/cm ³)	Calor e.(KJ/(Kg*K))	Calor e.(J/(Kg*°C))	Temperatura termoc (°C)	ΔT (°C)	Resistencia (W)				
1,05	1,3	1300	100	80	600				
Grosor (mm)	Grosor (cm)	Altura (mm)	Altura (cm)	Anchura (mm)	Anchura (cm)	Volumen (cm ³)	Peso (g)	Peso (Kg)	
0,5	0,05	320	32	320	32	51,2	53,76	0,05376	
1	0,1	320	32	320	32	102,4	107,52	0,10752	
1,5	0,15	320	32	320	32	153,6	161,28	0,16128	
2	0,2	320	32	320	32	204,8	215,04	0,21504	
ΔQ (Cal)	Q/t (Cal/s)	Q/t (Cal/h)	Trabajo (J/s o W)	Nº Resistencias					
5591,04	93,184	335462,4	390,1427712	0,650237952					
11182,08	186,368	670924,8	780,2855424	1,300475904					
16773,12	279,552	1006387,2	1170,428314	1,950713856					
22364,16	372,736	1341849,6	1560,571085	2,600951808					

Figura 223: cálculo de la potencia calorífica para el SB.

El número de resistencias a encender por la máquina se puede ver en la siguiente tabla (tabla 34):

Grosor	Resultado cálculo	Número de resistencias.
0,5	0,65	1
1	1,3	2
1,5	1,95	2
2	2,60	3

Tabla 34: número de resistencias según grosor para el SB.

Acrlonitrilo butadieno estireno.

El número de resistencias necesarias según los cálculos realizados se pueden ver en la siguiente imagen (figura 224).

Material	Tiempo deseado (s)								
ABS	60								
Densidad(g/cm ³)	Calor e.(KJ/(Kg*K))	Calor e.(J/(Kg*°C))	Temperatura termoc (°C)	ΔT (°C)	Resistencia (W)				
1,05	1,3	1300	100	80	600				
Grosor (mm)	Grosor (cm)	Altura (mm)	Altura (cm)	Anchura (mm)	Anchura (cm)	Volumen (cm ³)	Peso (g)	Peso (Kg)	
0,5	0,05	320	32	320	32	51,2	53,76	0,05376	
1	0,1	320	32	320	32	102,4	107,52	0,10752	
1,5	0,15	320	32	320	32	153,6	161,28	0,16128	
2	0,2	320	32	320	32	204,8	215,04	0,21504	
ΔQ (Cal)	Q/t (Cal/s)	Q/t (Cal/h)	Trabajo (J/s o W)	Nº Resistencias					
5591,04	93,184	335462,4	390,1427712	0,650237952					
11182,08	186,368	670924,8	780,2855424	1,300475904					
16773,12	279,552	1006387,2	1170,428314	1,950713856					
22364,16	372,736	1341849,6	1560,571085	2,600951808					

Figura 224: cálculo de la potencia calorífica para el ABS.

El número de resistencias a encender por la máquina se puede ver en la siguiente tabla (tabla 35):

Grosor	Resultado cálculo	Número de resistencias.
0,5	0,65	1
1	1,3	2
1,5	1,95	2
2	2,60	3

Tabla 35: número de resistencias según grosor para el ABS.

Tereftalato de polietileno.

El número de resistencias necesarias según los cálculos realizados se pueden ver en la siguiente imagen (figura 225).

Material	Tiempo deseado (s)								
PET	60								
Densidad(g/cm ³)	Calor e.(KJ/(Kg*K))	Calor e.(J/(Kg*°C))	Temperatura termoc (°C)	ΔT (°C)	Resistencia (W)				
1,27	1,1	1100	82	62	600				
Grosor (mm)	Grosor (cm)	Altura (mm)	Altura (cm)	Anchura (mm)	Anchura (cm)	Volumen (cm ³)	Peso (g)	Peso (Kg)	
0,5	0,05	320	32	320	32	51,2	65,024	0,065024	
1	0,1	320	32	320	32	102,4	130,048	0,130048	
1,5	0,15	320	32	320	32	153,6	195,072	0,195072	
2	0,2	320	32	320	32	204,8	260,096	0,260096	
ΔQ (Cal)	Q/t (Cal/s)	Q/t (Cal/h)	Trabajo (J/s o W)	Nº Resistencias					
4434,6368	73,91061333	266078,208	309,4489559	0,51574826					
8869,2736	147,8212267	532156,416	618,8979118	1,03149652					
13303,9104	221,73184	798234,624	928,3468677	1,54724478					
17738,5472	295,6424533	1064312,832	1237,795824	2,062993039					

Figura 225: cálculo de la potencia calorífica para el PET.

El número de resistencias a encender por la máquina se puede ver en la siguiente tabla (tabla 36).

Grosor	Resultado cálculo	Número de resistencias.
0,5	0,52	1
1	1,03	1
1,5	1,55	2
2	2,06	2

Tabla 36: número de resistencias según grosor para el PET.

Policloruro de vinilo.

El número de resistencias necesarias según los cálculos realizados se pueden ver en la siguiente imagen (figura 226).

Densidad(g/cm ³)	Calor e.(KJ/(Kg*K))	Calor e.(J/(Kg*°C))	Temperatura termoc (°C)	ΔT (°C)	Resistencia (W)				
1,39	0,9	900	90	70	600				
Grosor (mm)	Grosor (cm)	Altura (mm)	Altura (cm)	Anchura (mm)	Anchura (cm)	Volumen (cm ³)	Peso (g)	Peso (Kg)	
0,5	0,05	320	32	320	32	51,2	71,168	0,071168	
1	0,1	320	32	320	32	102,4	142,336	0,142336	
1,5	0,15	320	32	320	32	153,6	213,504	0,213504	
2	0,2	320	32	320	32	204,8	284,672	0,284672	
ΔQ (Cal)	Q/t (Cal/s)	Q/t (Cal/h)	Trabajo (J/s o W)	Nº Resistencias					
4483,584	74,7264	269015,04	312,8644915	0,521440819					
8967,168	149,4528	538030,08	625,728983	1,042881638					
13450,752	224,1792	807045,12	938,5934746	1,564322458					
17934,336	298,9056	1076060,16	1251,457966	2,085763277					

Figura 226: cálculo de la potencia calorífica para el PVC.

El número de resistencias a encender por la máquina se puede ver en la siguiente tabla (tabla 37).

Grosor	Resultado cálculo	Número de resistencias.
0,5	0,52	1
1	1,04	1
1,5	1,56	2
2	2,08	2

Tabla 37: número de resistencias según grosor para el PVC.

Policarbonato.

El número de resistencias necesarias según los cálculos realizados se pueden ver en la siguiente imagen (figura 227).

Densidad(g/cm ³)	Calor e.(KJ/(Kg*K))	Calor e.(J/(Kg*°C))	Temperatura termoc (°C)	ΔT (°C)	Resistencia (W)			
1,2	1,17	1170	150	130	600			
Grosor (mm)	Grosor (cm)	Altura (mm)	Altura (cm)	Anchura (mm)	Anchura (cm)	Volumen (cm ³)	Peso (g)	Peso (Kg)
0,5	0,05	320	32	320	32	51,2	61,44	0,06144
1	0,1	320	32	320	32	102,4	122,88	0,12288
1,5	0,15	320	32	320	32	153,6	184,32	0,18432
2	0,2	320	32	320	32	204,8	245,76	0,24576
ΔQ (Cal)	Q/t (Cal/s)	Q/t (Cal/h)	Trabajo (J/s o W)	Nº Resistencias				
9345,024	155,7504	560701,44	652,0957747	1,086826291				
18690,048	311,5008	1121402,88	1304,191549	2,173652582				
28035,072	467,2512	1682104,32	1956,287324	3,260478874				
37380,096	623,0016	2242805,76	2608,383099	4,347305165				

Figura 227: cálculo de la potencia calorífica para el PC.

El número de resistencias a encender por la máquina se puede ver en la siguiente tabla (tabla 38).

Grosor	Resultado cálculo	Número de resistencias.
0,5	1,08	1
1	2,17	3
1,5	3,26	4
2	4,34	5

Tabla 38: número de resistencias según grosor para el PC.

Polietileno de alta densidad.

El número de resistencias necesarias según los cálculos realizados se pueden ver en la siguiente imagen (figura 228).

Densidad(g/cm ³)	Calor e.(KJ/(Kg*K))	Calor e.(J/(Kg*°C))	Temperatura termoc (°C)	ΔT (°C)	Resistencia (W)			
0,95	2,4	2400	105	85	600			
Grosor (mm)	Grosor (cm)	Altura (mm)	Altura (cm)	Anchura (mm)	Anchura (cm)	Volumen (cm ³)	Peso (g)	Peso (Kg)
0,5	0,05	320	32	320	32	51,2	48,64	0,04864
1	0,1	320	32	320	32	102,4	97,28	0,09728
1,5	0,15	320	32	320	32	153,6	145,92	0,14592
2	0,2	320	32	320	32	204,8	194,56	0,19456
ΔQ (Cal)	Q/t (Cal/s)	Q/t (Cal/h)	Trabajo (J/s o W)	Nº Resistencias				
9922,56	165,376	595353,6	692,3962368	1,153993728				
19845,12	330,752	1190707,2	1384,792474	2,307987456				
29767,68	496,128	1786060,8	2077,18871	3,461981184				
39690,24	661,504	2381414,4	2769,584947	4,615974912				

Figura 228: cálculo de la potencia calorífica para el HDPE.

El número de resistencias a encender por la máquina se puede ver en la siguiente tabla (tabla 39).

Grosor	Resultado cálculo	Número de resistencias.
0,5	1,15	2
1	2,30	3
1,5	3,46	4
2	4,61	5

Tabla 39: número de resistencias según grosor para el HDPE.

1.7 Selección del tanque y la bomba de vacío.

Para determinar la capacidad del tanque de vacío que se debería de emplear y las características de la bomba de vacío, nos basamos en el siguiente cálculo.

La zona de la lámina perforada a través de la cual se succionará todo el aire tiene unas dimensiones de 300x300 milímetros (figura 229).

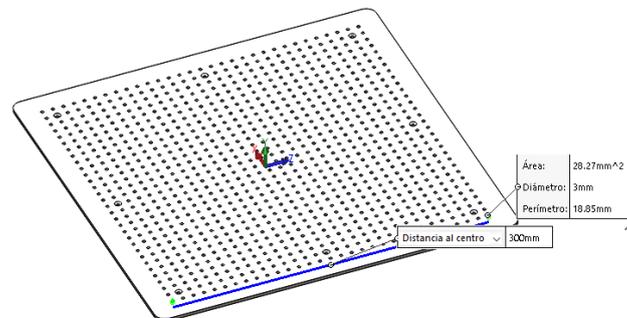


Figura 229: dimensiones del área de termoconformado.

Suponiendo un caso desfavorable, nos imaginamos que el usuario puede depositar a termoconformar un objeto de 200 x 200 x 100 milímetros (figura 230):

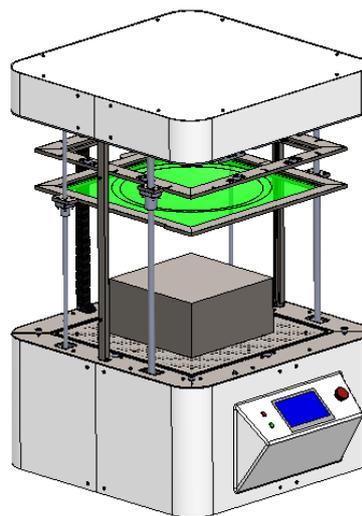


Figura 230: molde de 200x200x100 milímetros.

La lámina se ajustará sobre la pieza de la siguiente forma (figura 231):

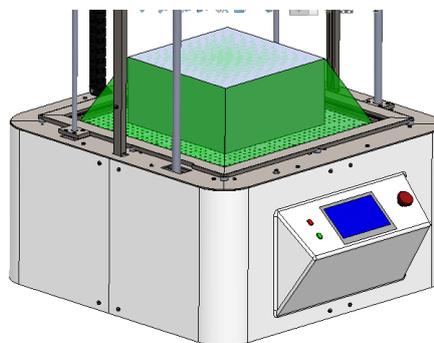


Figura 231: lámina estirada sobre el molde antes de la succión del aire.

Ante un caso así, el aire a succionar presente entre el molde y la lámina sería del siguiente volumen (figura 232).

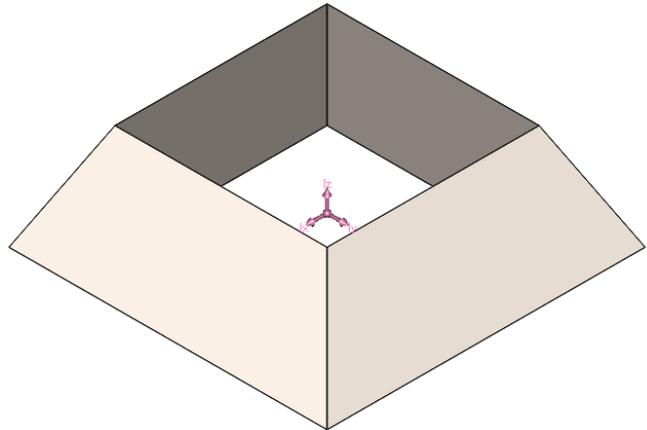
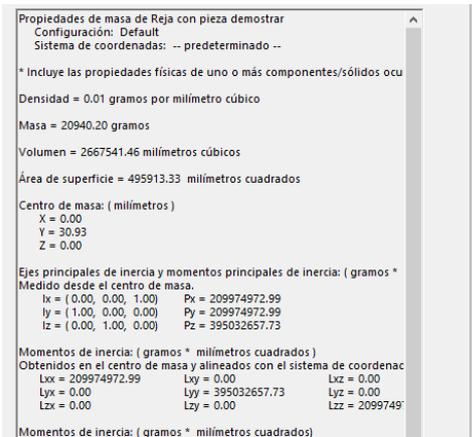


Figura 232: representación del volumen del aire mediante un modelo 3D.

Como se muestra en la imagen anterior, habría que sacar un total de 2667541.46 milímetros cúbicos.

$$2667541.46 \text{ mm}^3 = 2,6675 \text{ dm}^3$$

Por tanto, se necesita un tanque de vacío que sea al menos del doble de este volumen. Se selecciona **CALVAL5L** del distribuidor oficial del producto **DIPRAX SL** (figura 233).

	5	Calderín de aluminio, volumen 5 litros, roscas de conexión G3/4" y G1/2" gas. <i>Aluminium reserve tank, 5 litres volume, thread connections G3/4" and G1/2" gas.</i>	15,5 bar	1,7 kg	CALVAL5L
--	----------	--	----------	--------	-----------------

Figura 233: características del tanque de vacío seleccionado.

Ahora, una vez determinado el tanque, hay que seleccionar la bomba de vacío.

En el momento en el que se saquen 2,66 litros del tanque, la presión en atmosferas en el interior de este será de:

$$\frac{2,66}{5} = 0,532 \text{ Atm}$$

Para una mayor seguridad, redondeamos el valor obtenido a 3 litros.

$$\frac{3}{5} = 0,4 \text{ Atm}$$

Por tanto, es necesario encontrar una bomba que sea capaz de generar una descompresión de 0,4 atmosferas, que tenga una velocidad 3 litros/minuto como mínimo y que pueda ser alimentada con 12 voltios.

Una opción sería la referencia **APN – 085 – W** ofrecida por la marca **IWAKI**, capaz de generar un vacío máximo de 34,66 kPa que son 0,342 Atm y una velocidad máxima de 4l/m (figura 234):

Max. capacity (Gas-liquid) **0.5 L/min**
Max. flow (Gas) **4.0 L/min**
Max. vacuum **34.66 to 37.33 kPa**
Max. discharge pressure **0.05 MPa**

Adjustment valve of fluid, please to be installed on the suction side of the pump.



Model		Gas-liquid Max. capacity (L/min)	Gas Max. flow (L/min)	Max. vacuum (kPa)	Max. discharge pressure (MPa)	Output (W) DC12/24	Power consumption (W) DC12/24	Rated current (A) DC12/24	Rated voltage (V) DC12/24
APN-085-W	EX type	0.5	4.0	34.66	0.05	7.5/7.5	11.5/11.5	1.6/0.8	DC12/24
	VX type			37.33		-/15		-/28	-/1.2

Figura 234: características de la bomba de vacío seleccionada.

Con los elementos seleccionados, supongamos ahora que el usuario desea termoconformar un envase convencional con las siguientes dimensiones, típicas de un tupper (figura 235):

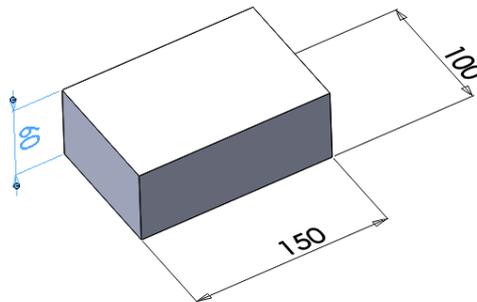


Figura 235: representación de un objeto con dimensiones parecidas a las de un envase convencional.

La cantidad total de aire a succionar sería de 2284208,13 milímetros cúbicos (figura 236):

```

Propiedades de masa de Lámina perforada
Configuración: Default
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

* Incluye las propiedades físicas de uno o más componentes/sólidos ocu
Densidad = 0,01 gramos por milímetro cúbico
Masa = 17931,03 gramos
Volumen = 2284208,13 milímetros cúbicos
Área de superficie = 450007,24 milímetros cuadrados

Centro de masa: ( milímetros )
X = 0,00
Y = 18,54
Z = 0,00

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( gramos *
Medido desde el centro de masa.
Ix = ( 1,00, 0,00, 0,00) Px = 124644709,77
Iy = ( 0,00, 0,00, -1,00) Py = 131194553,52
Iz = ( 0,00, 1,00, 0,00) Pz = 248376668,15

Momentos de inercia: ( gramos * milímetros cuadrados )
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenac
Lxx = 124644709,77 Lxy = 0,00 Lxz = 0,00
Lyx = 0,00 Lyy = 248376668,15 Lyz = 0,00
Lzx = 0,00 Lzy = 0,00 Lzz = 131194553,52

```

Figura 236: volumen de aire a succionar a partir del modelo anterior.

Por tanto, habría que sacar 2,28 litros de aire, la máquina, lo podría hacer sin ningún problema.

2. Análisis por elementos finitos (MEF).

Se desea conocer cómo se comportarán las piezas que forman parte del bastidor de la máquina ante los esfuerzos y pesos que tienen que soportar. Se proponen para el análisis por elementos finitos las siguientes piezas:

- Chapa base.
- Chapa superior pico.
- Soporte lámina inferior.
- Soporte lámina superior.

2.1 Análisis estático.

2.1.1 Análisis chapa base.

En primer lugar, sea quiere conocer como deformará la base (figura 237) cuando tenga que soportar los pesos de los elementos que se depositen encima de esta. Para ello, hacemos un cálculo aproximado del peso total por regiones que la base tiene que soportar.

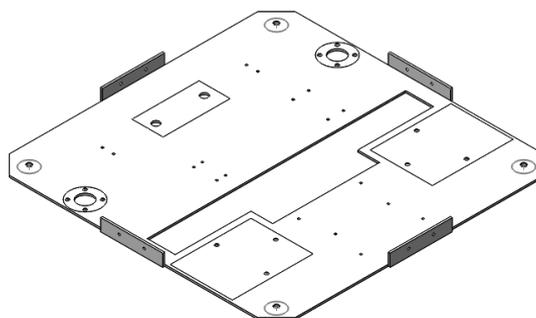


Figura 237: pieza base con separación por áreas.

Cada uno de los pesos de los objetos de fabricación propia, teniendo en cuenta el material con el que se conforman, ha sido proporcionado por Solidworks. Los materiales para cada una de las piezas se pueden conocer con mayor detalle en el apartado de selección de materiales.

En cuanto a los pesos de los elementos comerciales, se han obtenido consultando las fichas técnicas de estos.

Cálculo de pesos.

1. Conjunto depósito (tabla 40).

Pieza	Unidades	Peso
Depósito.	1	3,67 Kg.
Lámina perforada.	1	2,62 Kg.
Juntas.	2	0,011 Kg.
Pilar depósito.	8	0,0035 Kg.
Adaptador.	1	0,035 Kg.
Electroimán.	8	0,008 Kg.
Peso total.		6,394 Kg.

Tabla 40: sumatorio de pesos del conjunto depósito.

El peso total es de: 6,394 Kg.

2. Conjunto pico (tabla 41).

Pieza.	Unidades.	Peso.
Chapa pico inferior.	1	0,996 Kg.
Chapa pico superior.	1	1,690 Kg.
Pilar.	4	0,024 Kg.
Sujeción guías secundarias.	2	0,078 Kg.
Rodamientos axiales de contacto angular.	2	0,120 Kg.
Tapa unidad superior.	1	0,293 Kg.
Carcasa superior.	2	0,141 Kg.
Tapa superior.	1	0,438 Kg.
Peso total.		4,155 Kg.

Tabla 41: sumatorio de pesos del conjunto pico.

El peso total es de: 4,155 Kg.

3. Unidad calefactora (tabla 42).

Pieza	Unidades.	Peso.
Pared caja.	1	0,354 Kg.
Tapa caja.	1	0,225 Kg.
Rejilla.	1	0,104 Kg.
Tapa superior.	1	0,798 Kg.
Soporte lateral resistencias.	2	0,186 Kg.
Soporte frontal resistencias.	2	0,170 Kg.
Reflector.	1	0,765 Kg.
Resistencias.	5	0,200 Kg.
Peso total.		3,958 Kg.

Tabla 42: sumatorio de pesos de la unidad calefactora.

El peso total de la unidad calefactora es de: 3,958 Kg.

El peso total de la unidad calefactora sumándole el conjunto pico es de: 8,104 Kg.

4. Conjunto Resguardos (tabla 43).

Pieza	Unidades.	Peso.
Carcasa transparente puerta.	1	0,547 Kg.
Carcasa transparente trasera.	1	0,513 Kg.
Carcasa transparente pared.	2	0,342 Kg.
Carcasa base delantera.	1	0,462 Kg.
Carcasa base trasera.	1	0,420 Kg.
Peso total.		2,626 Kg.

Tabla 43: sumatorio de pesos del conjunto resguardos.

Algunas piezas que forman parte de este conjunto como la tapa superior, la carcasa superior delantera y la carcasa superior trasera, no se contabilizan junto a los elementos del conjunto de los resguardos porque estos ya han sido contabilizados más arriba junto con las piezas del conjunto pico.

El peso total del conjunto resguardos es de: 2,626 Kg.

5. Soporte lámina superior (tabla 44).

Pieza	Unidades	Peso
Soporte	1	2,709 Kg.
Electroimán.	8	0,008 Kg.
Peso total.		2,773 Kg.

Tabla 44: sumatorio de pesos del soporte superior de lámina.

El peso total es de: 2,773 Kg.

6. Soporte lámina inferior (tabla 45).

Pieza	Unidades	Peso
Soporte.	1	2,805 Kg.
Junta.	1	0,011 Kg.
Peso total.		2,816 Kg.

Tabla 45: sumatorio de pesos del soporte inferior de lámina.

El peso total es de: 2,816 Kg.

7. Subconjunto motorreductor (tabla 46).

Pieza	Unidades.	Peso.
Motor.	1	0,80 Kg
KGH1 – 22.	2	0,04 Kg.
KHG1 – 44.	1	0,14 Kg.
KHG1 – 36.	1	0,09 Kg.
Pilar sujeción motor.	3	0,034 Kg.
Tapa superior reductor.	1	0,201 Kg.
Tapa inferior reductor.	1	0,177 Kg.
Rodamiento	2	0,120 Kg.
Chapa sujeción motor.	1	0,019 Kg.
Peso total.		1,813 Kg.

Tabla 46: sumatorio de pesos del subconjunto motorreductor.

El peso total de la unidad calefactora es de: 1,813 Kg.

8. Tanque de vacío y adaptadores (tabla 47).

Pieza	Unidades.	Peso.
Tanque de vacío	1	1,7 Kg.
Vacuostato	1	0,069 Kg.
Adaptadores	3	0,035 Kg.
Peso total.		1,804 Kg.

Tabla 47: sumatorio de pesos del tanque de vacío y los adaptadores.

El peso total de la unidad calefactora es de: 1,804 Kg.

Reparto de pesos.

Una vez determinados los pesos de todos los elementos que se sostendrán de forma directa o indirecta sobre la base, queda repartirlos según cada región de esta.

La zona remarcada en azul (figura 238) corresponde al apoyo del tanque de vacío, por esto el peso a repartir en esta zona es el del tanque de vacío, adaptadores y vacuostato: 1,804 Kg, lo que equivale a 17,64 N.

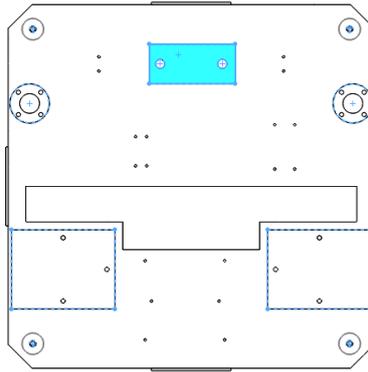


Figura 238: peso tanque de vacío.

En cuanto a las superficies donde apoyan los subconjuntos motorreductores (figura 239), hacemos la siguiente repartición de pesos.

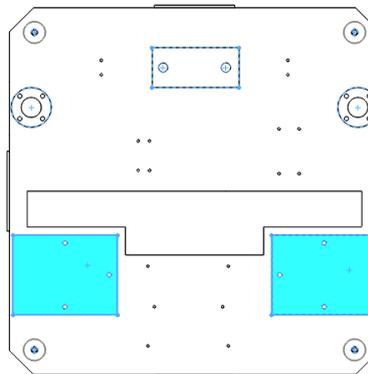


Figura 239: reparto de pesos área motorreductor.

El peso del conjunto motorreductor (sin tener en cuenta el husillo y la tuerca ya que los sumamos por separado), más la mitad del peso del soporte de la lámina superior (el soporte tiene dos apoyos por esto el peso se divide a la mitad), más la mitad del peso del soporte de la lámina inferior (el soporte tiene dos apoyos por esto el peso se divide a la mitad), más un cuarto de la suma entre el conjunto pico y la unidad calefactora (este peso tiene cuatro puntos de apoyo), más un husillo y una tuerca:

$$1,813 + \frac{2816}{2} + \frac{2773,96}{2} + \frac{8,104}{2} + 0,75 + 0,085 = 7,45 \text{ Kg} = 73 \text{ N.}$$

En cuanto a las superficies donde apoyan las sujeciones de las guías secundarias (figura 240), hacemos la siguiente repartición de pesos.

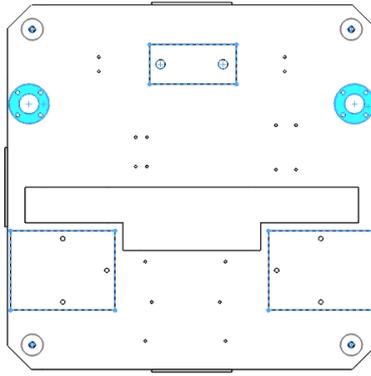


Figura 240: peso correspondiente a las guías secundarias.

La mitad del peso del soporte de lámina superior (el soporte tiene dos apoyos por esto el peso se divide a la mitad), más la mitad del peso del soporte de lámina inferior (el soporte tiene dos apoyos por esto el peso se divide a la mitad), más un cuarto de la suma entre el conjunto pico y la unidad calefactora (este peso tiene cuatro puntos de apoyo), más una guía y su tuerca, más el peso de una sujeción el cual es de 0,077 Kg.

$$\frac{2,816}{2} + \frac{2,773}{2} + \frac{8,104}{2} + 0,75 + 0,085 + 0,077 = 5,722 \text{ Kg} = 56,13 \text{ N.}$$

Finalmente, en las zonas donde apoyan los pilares del conjunto base (figura 241), hacemos la siguiente repartición de pesos.

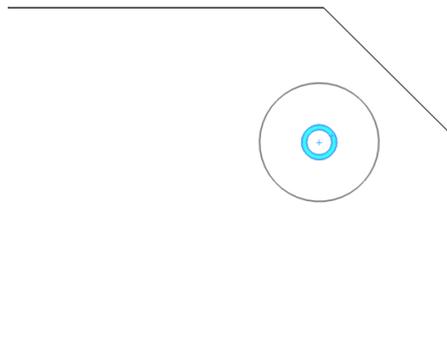


Figura 241: reparto de pesos en la zona del apoyo de los pilares.

El peso del conjunto depósito y el conjunto de los resguardos se divide entre 4 ya que estos de forma indirecta transmiten todo su peso sobre los pilares del conjunto base.

$$\frac{6,394}{4} + \frac{2,626}{4} = 2,255 \text{ Kg} = 22,12 \text{ N.}$$

Análisis.

A continuación, se configura la pieza para su análisis teniendo en cuenta la repartición de pesos obtenida anteriormente.

En primer lugar, aplicamos el material a la pieza, Acero normalizado AISI 4340 (figura 242).

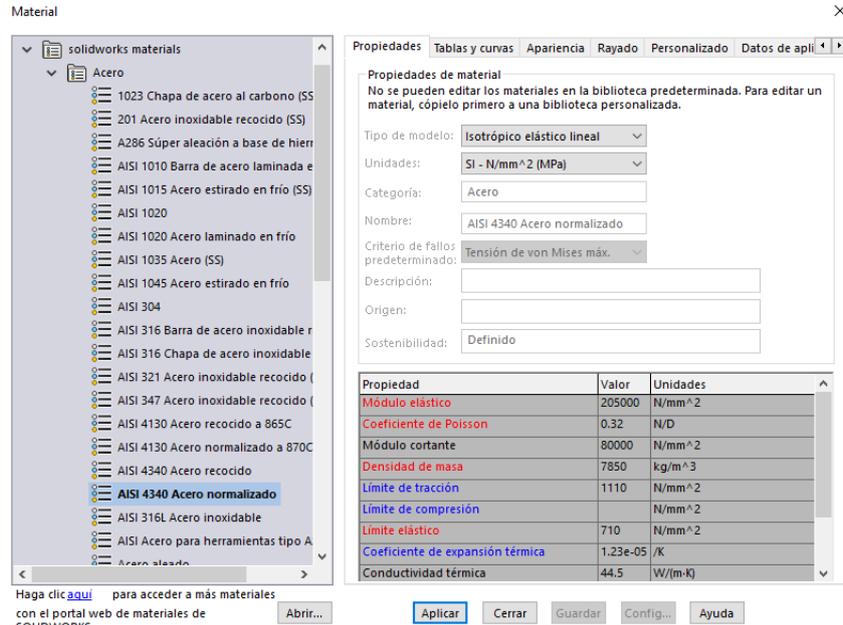


Figura 242: propiedades AISI 4340.

Este acero, presenta las siguientes características mecánicas (tabla 48):

Parámetro	Valor	Unidades
Módulo elástico.	205000	N/mm ²
Coefficiente de Poisson.	0,32	
Densidad de masa.	7850	Kg/m ³
Límite elástico.	710	N/mm ²

Tabla 48: características principales a tener en cuenta para el análisis del acero AISI 4340.

A continuación, se establecen unas restricciones de tipo fijo que simulan las patas sobre las que se apoya la base de la máquina (figura 243).

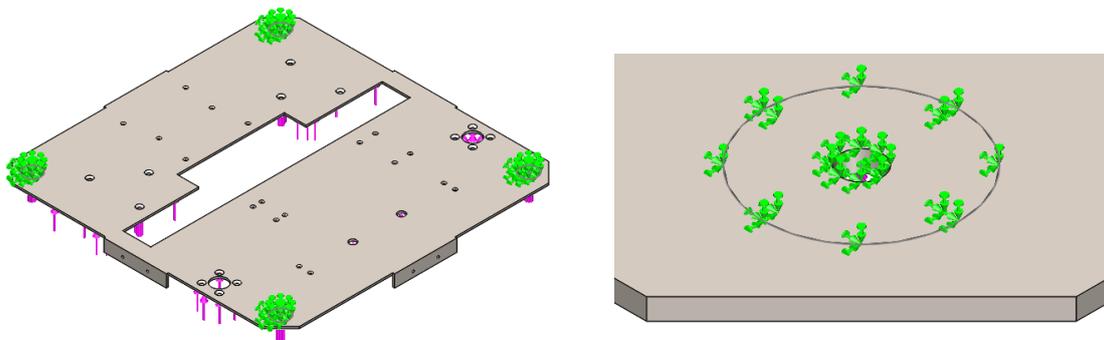


Figura 243: restricciones de carácter fijo.

Se hace la repartición de pesos según los cálculos anteriores (figura 244):

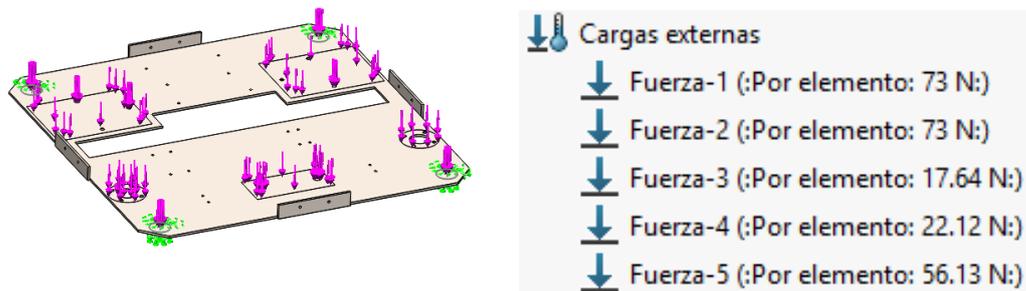


Figura 244: pesos repartidos según cada zona.

Se crea una malla estándar con carácter fino, tamaño global de elemento 10 milímetros y tolerancia 1 (figura 245):

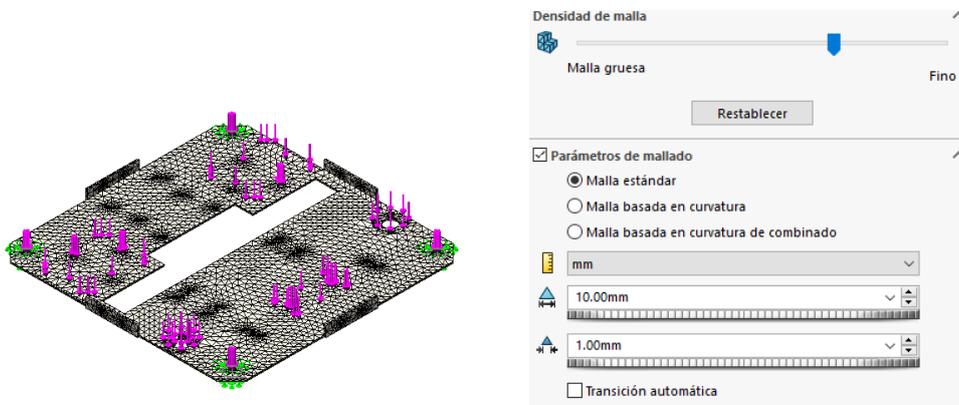


Figura 245: características de malla.

Se ejecuta el programa:

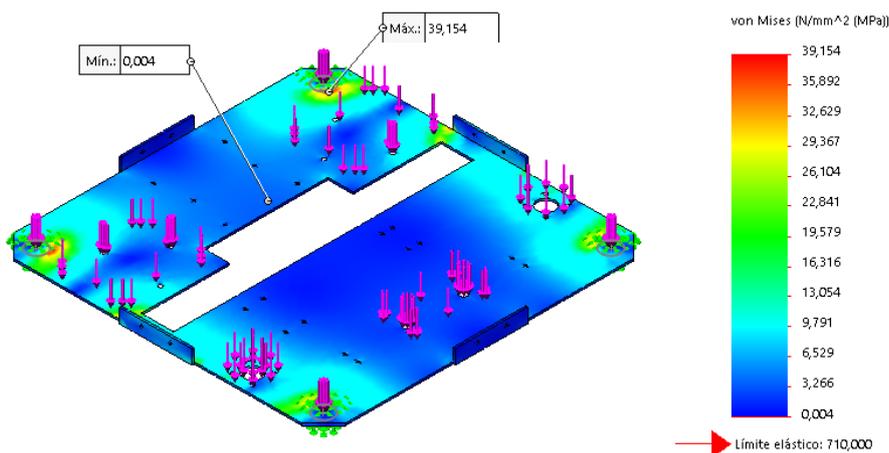


Figura 246: resultados análisis estático chapa base.

Se observa que la tensión resultante máxima es de **39,154 MPa** (figura 246) y se da en zonas cercanas a las patas. Esto se debe principalmente a que todo el peso de la máquina se apoya sobre ellas. El límite elástico se establece en **710 MPa** (figura 246), valor muy superior a la tensión resultante obtenida.

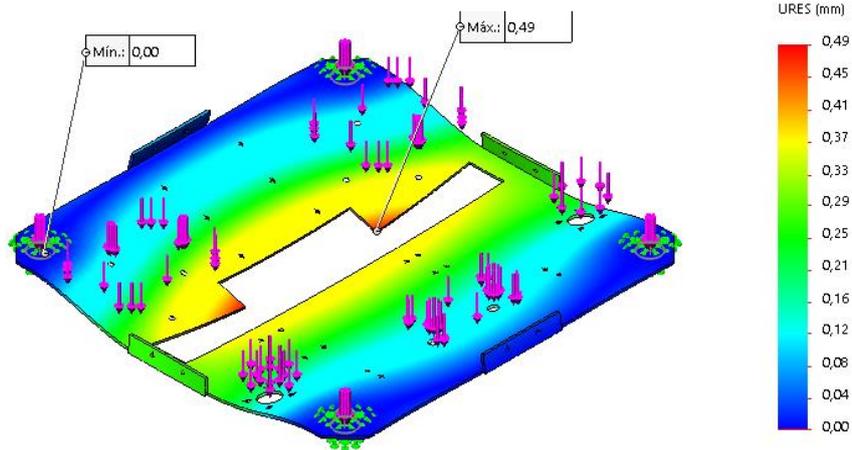


Figura 247: deformaciones chapa base.

En cuanto a los desplazamientos, se observa una deformación resultante de **0,49** milímetros en las puntas del hueco de ventilación de la base (figura 247). No se considera una deformación crítica teniendo en cuenta la gran cantidad de peso que debe soportar esta pieza.

2.1.2 Análisis chapa superior pico.

La chapa superior del pico, tiene que soportar el peso de la unidad calefactora sobre las solapas especialmente diseñadas para ello. Anteriormente, se había visto que el peso de la unidad calefactora es de 3,958 Kg. Se desea ver a continuación, como afecta este peso al comportamiento de la pieza encargada de sostenerlo.

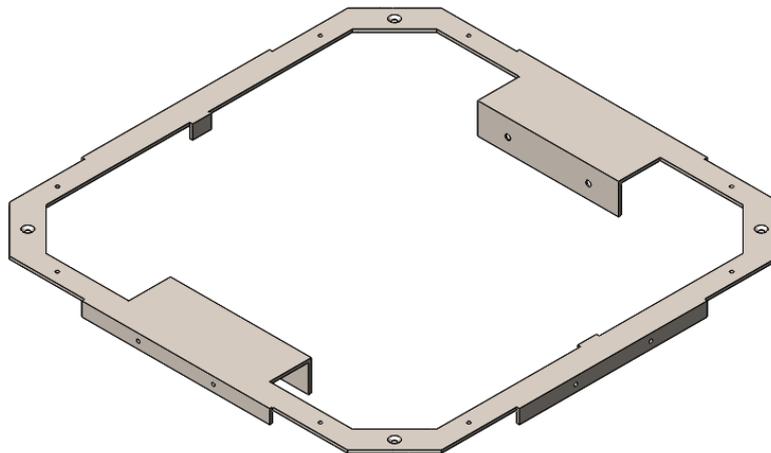


Figura 248: componente chapa superior pico.

El material aplicado, al igual que en caso anterior, es un acero normalizado AISI 4340 (figura 249).

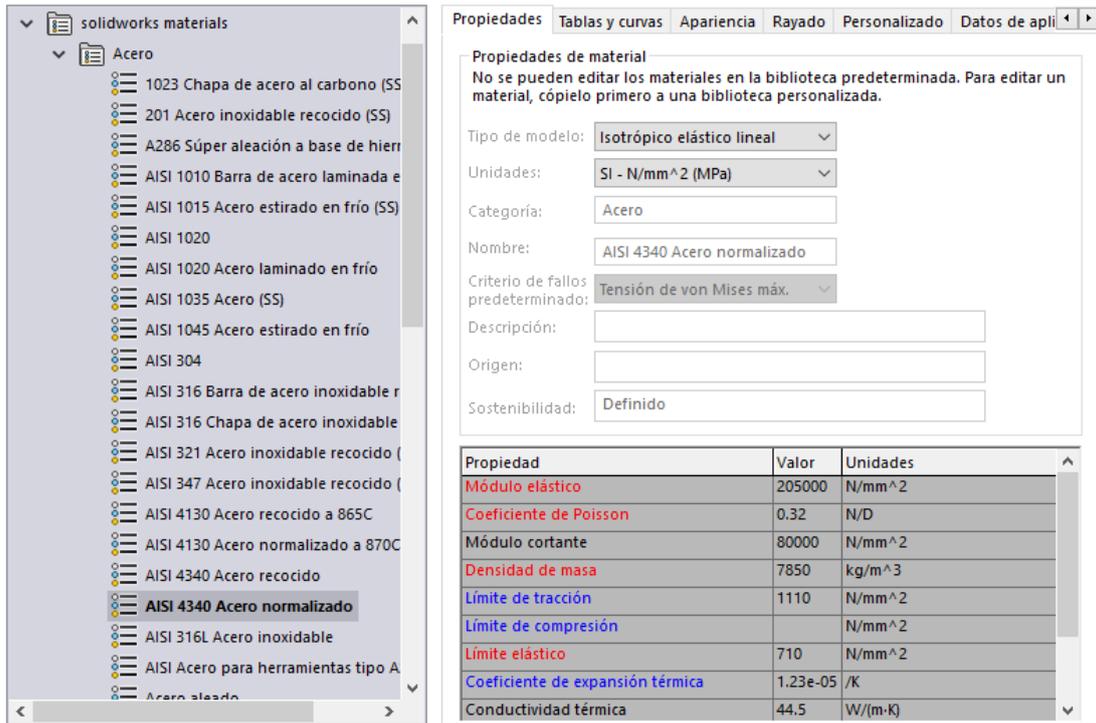


Figura 249: propiedades AISI 4340.

Las restricciones de carácter fijo se establecen sobre aquellas partes de la superficie que apoyan en los pilares del conjunto pico (figura 250).

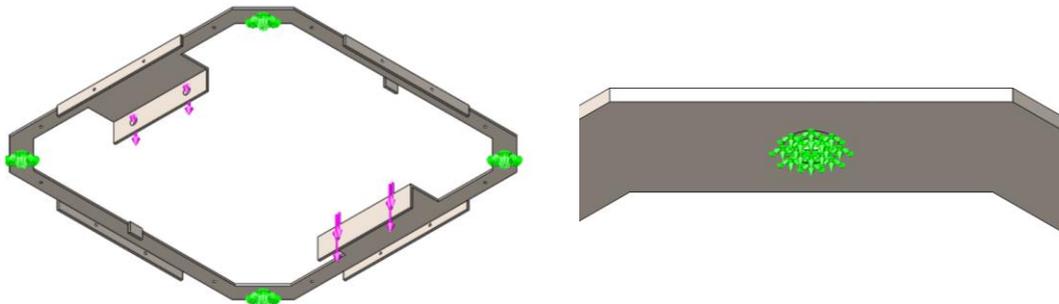


Figura 250: restricciones fijas sobre la pieza.

En cuanto a los esfuerzos, se conoce que la caja de las resistencias se sostendrá por medio de una unión atornillada. Por esto, para hacer que la simulación sea lo más próxima posible a la realidad, se divide el peso del subconjunto en cuatro partes. Este peso dividido se ubica sobre los taladros donde apoyarán los tornillos (figura 251). El valor de la fuerza por tanto es de 10N.

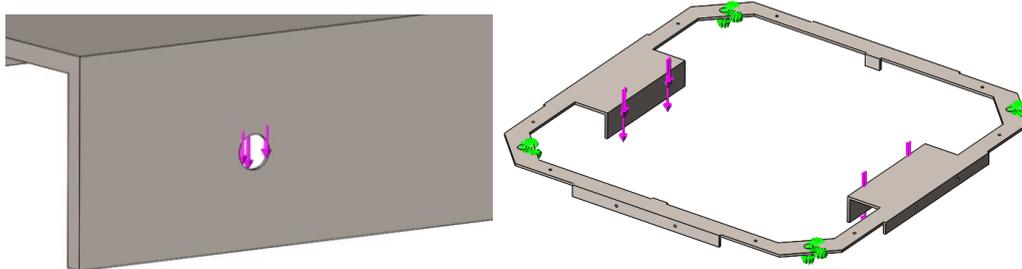


Figura 251: esfuerzos sobre chapa superior pico.

Se configura, otra vez, una malla estándar con un carácter fino para una pieza de esta geometría y tamaño (figura 252).

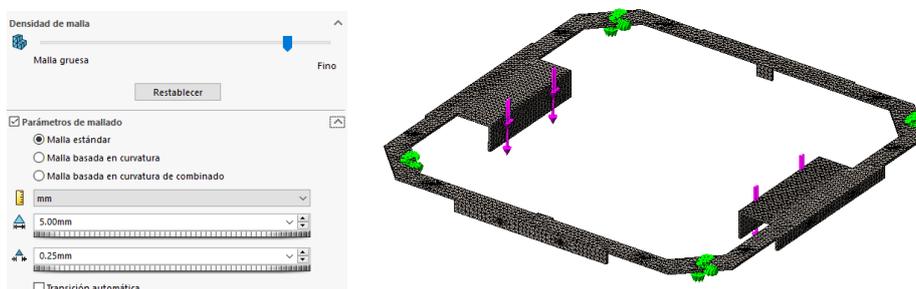


Figura 252: características del mallado.

Se ejecuta el análisis.

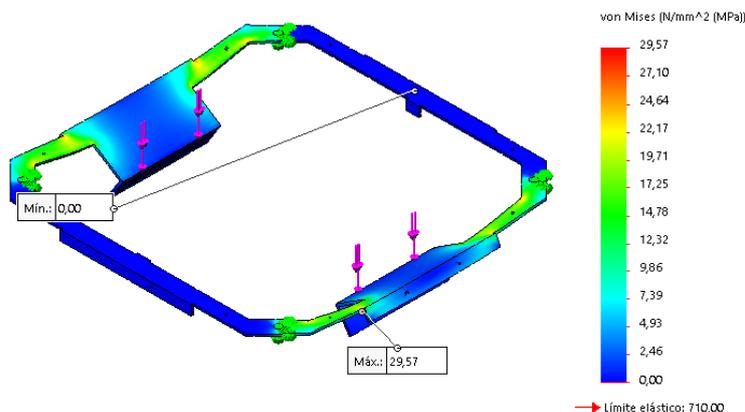


Figura 253: resultados análisis estático de la pieza chapa superior pico.

Las mayores tensiones resultantes aparecen en las esquinas posteriores a las solapas con un valor de **29,57 MPa**, valor muy inferior al límite elástico del material (figura 253). Estas tensiones se deben principalmente al ángulo recto que forma esa parte y al momento cortante producido por el peso. Por esto, utilizando un radio de acuerdo conseguiríamos reducir esa tensión de forma considerable.

En cuanto a las deformaciones, se puede apreciar una deformación resultante máxima de **0,40 milímetros** (figura 254).

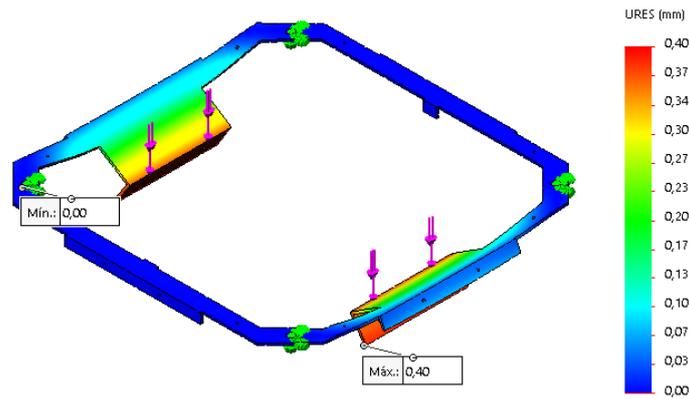


Figura 254: deformaciones chapa superior pico.

Se trata de una deformación muy pequeña para la aplicación y por tanto se acepta este valor.

2.1.3 Análisis soportes de lámina.

Los soportes de la lámina, tanto el superior como el inferior, también son unos elementos de interés para realizar un análisis mediante elementos finitos y observar su comportamiento. Este interés viene motivado por la configuración de las sujeciones de estos soportes. En ambos casos, los soportes tienen un apoyo fijo, el de la tuerca motriz, y un apoyo móvil, el de la tuerca guía.

Teniendo en cuenta estos apoyos, se desea estudiar las deformaciones que experimentarán estos soportes por sus propios pesos.

Soporte lámina superior.

Para realizar el análisis, en el caso del soporte superior (figura 255), no se van a tener en cuenta los pesos de los electroimanes, así como los de las piezas que sujetan los cables que alimentan estos electroimanes, estos se pueden despreciar.

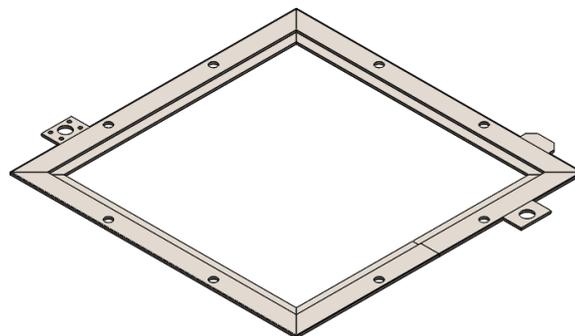


Figura 255: soporte superior de lámina antes del análisis.

Se aplica el material para el análisis de la pieza. El material seleccionado es el acero normalizado AISI 4340, el mismo que en los casos anteriores.

En cuanto a las sujeciones, por un lado, se aplica una restricción de tipo fijo sobre una parte que representa la superficie de contacto entre la tuerca y el soporte (figura 256).

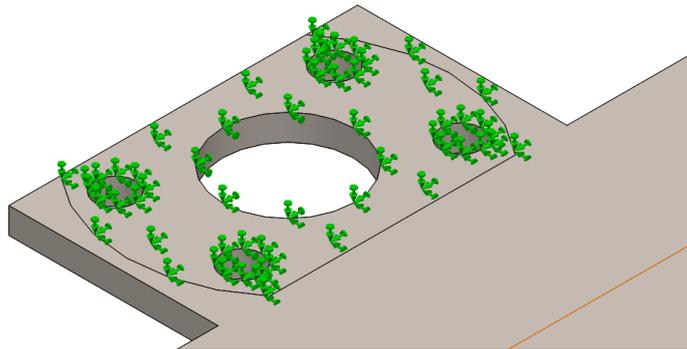


Figura 256: restricción con carácter fijo sobre el soporte superior de lámina.

Por otro lado, se aplica una restricción sobre caras cilíndricas con los posibles movimientos radiales y circunferenciales bloqueados. El único movimiento libre que queda es el axial (figura 257).

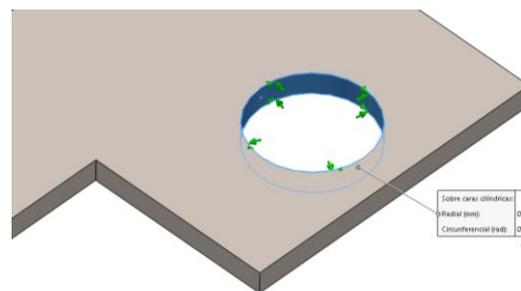


Figura 257: restricción sobre caras cilíndricas para el soporte superior de lámina.

Mediante este tipo de restricción, conseguimos representar de una forma realista el apoyo de la pieza sobre la tuerca de la guía secundaria.

Un elemento de gran importancia a tener en cuenta si se desea estudiar las deformaciones por el propio peso de la pieza, es la gravedad (figura 258).

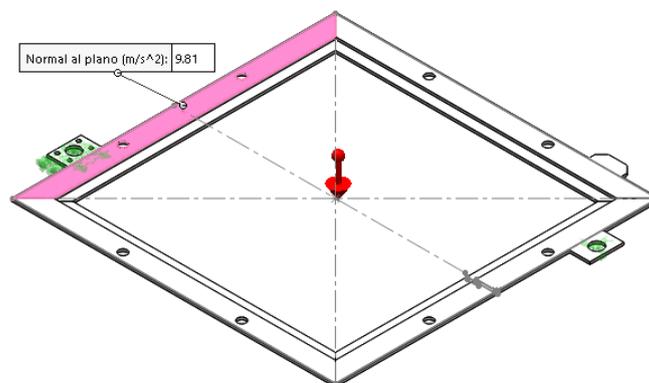


Figura 258: implementación de la gravedad para el análisis.

En cuanto a la malla, se crea una malla estándar de carácter fino con un tamaño de elemento de 5 milímetros y tolerancia 0,25 milímetros (figura 259).

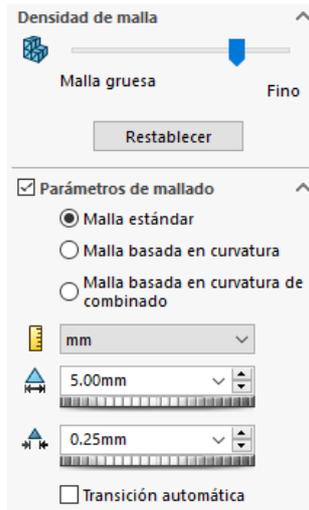


Figura 259: parámetros de mallado.

En primer lugar, se observa que el comportamiento de la pieza es justo el que se buscaba. La deformación experimentada corresponde a las sujeciones aplicadas para el análisis.

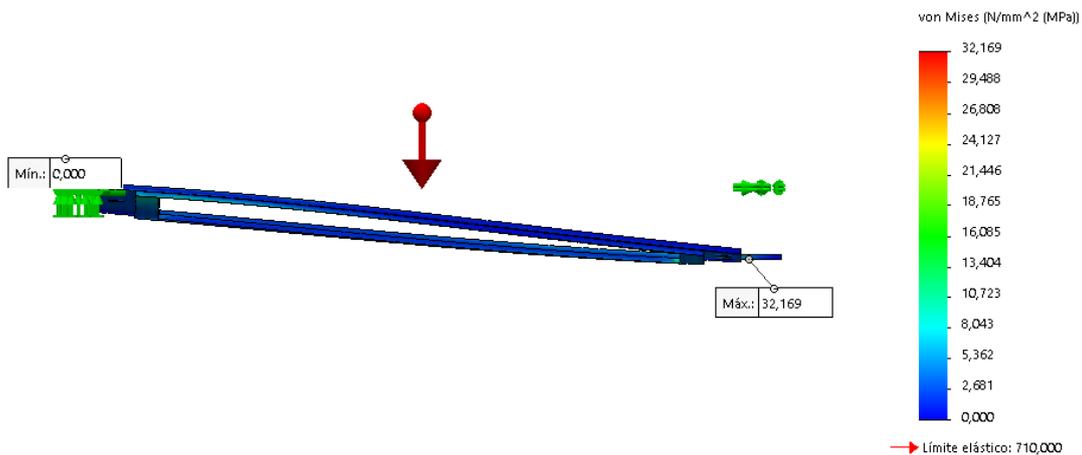


Figura 260: resultados análisis estático del soporte superior de lámina.

Las tensiones obtenidas, siguiendo el criterio de Von Mises, tienen un valor muy reducido, **32,169 MPa**, y están muy alejadas de límite elástico del material, **710 MPa** (figura 260). Estas tensiones se originan en las esquinas interiores del agujero por donde pasa la guía secundaria. Aplicando redondeos en esa zona, esas tensiones se pueden reducir de forma considerable.

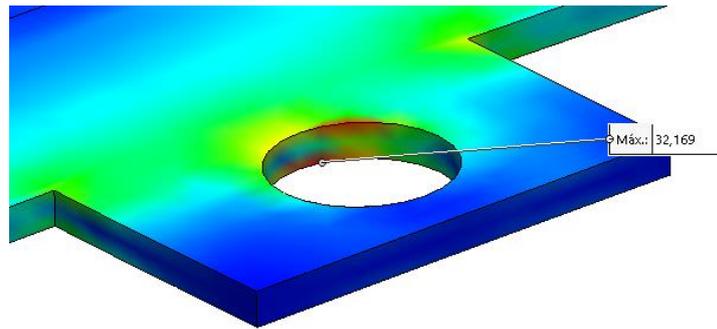


Figura 261: tensiones máximas.

En cuanto a las deformaciones, razón principal de este análisis, se observa que son de 1,42 milímetros (figura 262). Este valor es muy grande e inaceptable si tenemos en cuenta el carácter dinámico de esta pieza.

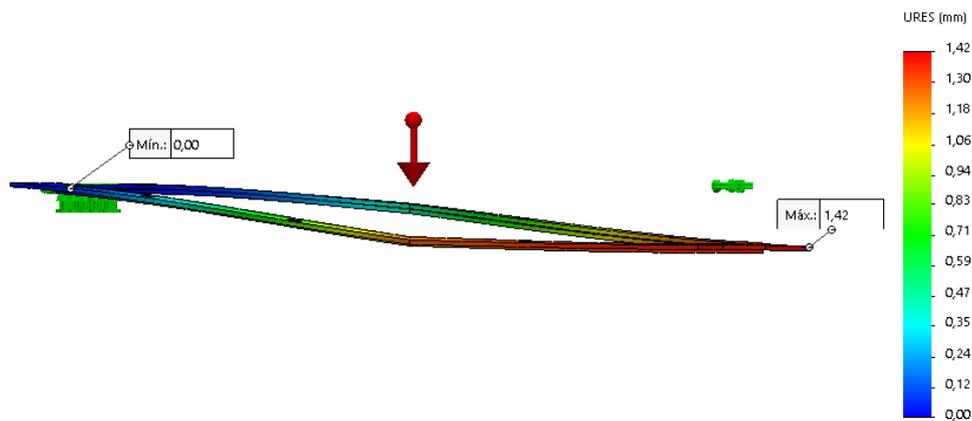


Figura 262: deformaciones del soporte superior de lámina.

En un intento de disminuir las deformaciones obtenidas, se propone la pieza analizada para un estudio de diseño.

Estudio de diseño soporte de lámina superior.

Para hacer el estudio de diseño del soporte de lámina superior, se proponen cuatro cotas que definen la sección transversal de este.

Estas cotas las podemos definir como:

- **GSup:** Grosor Superior.
- **GInf:** Grosor Inferior.
- **GrPar:** Grosor Pared.
- **AlPar:** Altura Pared.

En todos los casos, el valor inicial es de 3 milímetros (figura 263), ya que así es como ha sido diseñada la pieza desde un principio.

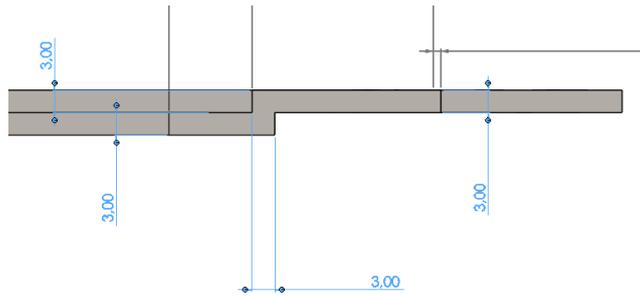


Figura 263: grosores iniciales del soporte.

En primer lugar, lo que se va a hacer es un estudio de sensibilidad para ver cómo afecta el cambio de grosor de las cuatro cotas por separado a la masa de la pieza.

Para el grosor superior se establece el siguiente rango de valores y paso (figura 264).

Variables			
Gsup	Intervalo con	Min: 2mm	Máx: 5mm
Paso: 0.5mm			
Haga clic aquí para agregar Variabl			

Figura 264: rango de valores para el grosor superior.

Esto nos permite obtener las siguientes 7 configuraciones (figura 265).

		Actual	Inicial	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6	Escenario 7
Gsup		3mm	3mm	2mm	2.5mm	3mm	3.5mm	4mm	4.5mm	5mm
Masa1	Sólo monitoreo	1300.544697 g	1300.544697 g	1044.990812 g	1172.767755 g	1300.544697 g	1428.32164 g	1556.098583 g	1683.875525 g	1811.652468 g

Figura 265: masa según distintos grosores para el grosor superior.

La variación de la masa del objeto es directamente proporcional a la variación del grosor superior. Se puede observar en el siguiente gráfico (figura 266).

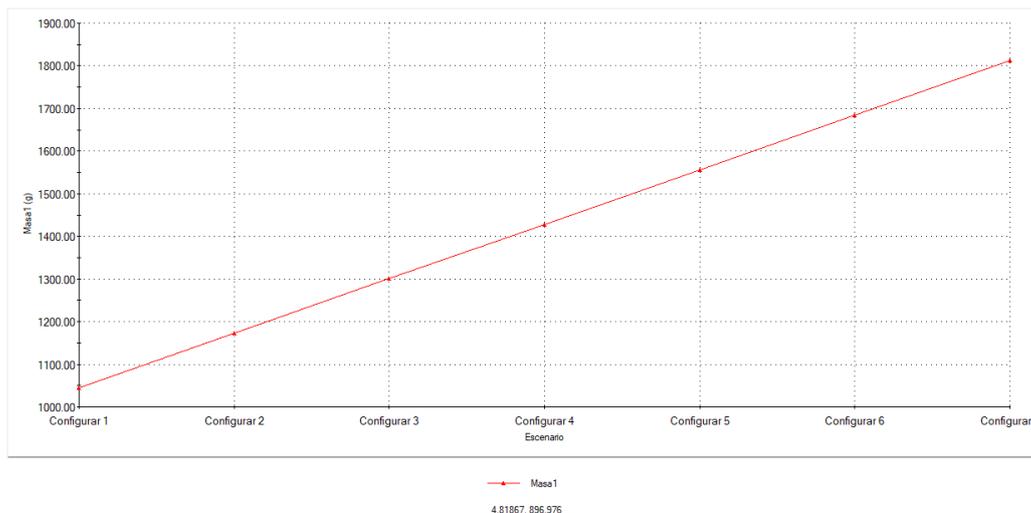


Figura 266: aumento de masa según aumenta el grosor superior.

Para el grosor inferior se establece el siguiente rango de valores y paso (figura 267).



Figura 267: rango de grosores para el grosor inferior.

Esto nos permite obtener las siguientes 7 configuraciones (figura 268).

		Actual	Inicial	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6	Escenario 7
Ginf		3mm	3mm	2mm	2.5mm	3mm	3.5mm	4mm	4.5mm	5mm
Masa1	Sólo monitoreo	1300.544697 g	1300.544697 g	1158.114297 g	1229.329497 g	1300.544697 g	1371.759897 g	1442.975097 g	1514.190297 g	1585.405497 g

Figura 268: masa según cada grosor inferior.

La variación de la masa del objeto es directamente proporcional a la variación del grosor inferior. Se puede observar en el siguiente gráfico (figura 269).

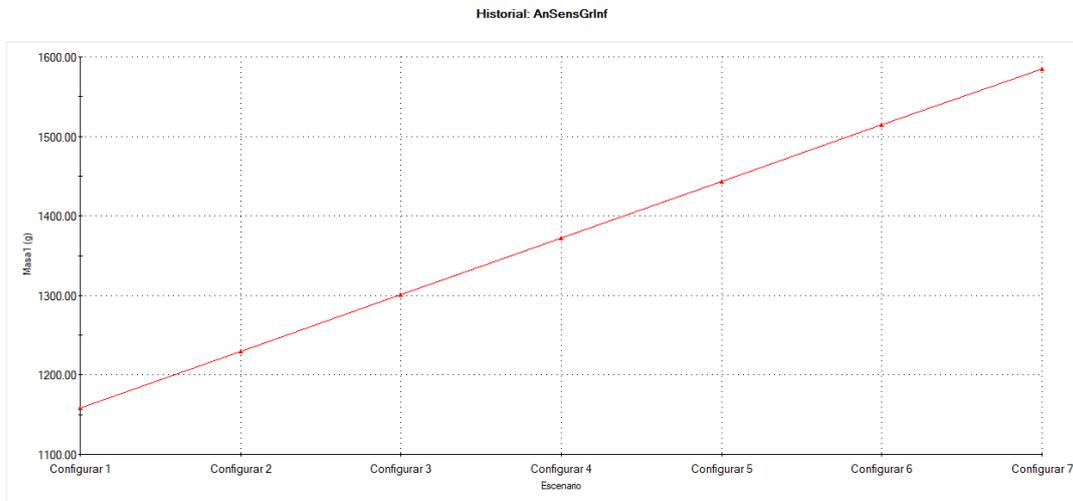


Figura 269: aumento de masa según aumenta el grosor inferior.

Para el grosor de la pared, se establece el siguiente rango de valores y paso, (figura 270).



Figura 270: rango de valores para el grosor de pared.

Esto nos permite obtener las siguientes 7 configuraciones (figura 271).

		Actual	Inicial	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6	Escenario 7	Escenario 8
GrPar		3mm	3mm	1.5mm	2mm	2.5mm	3mm	3.5mm	4mm	4.5mm	5mm
Masa1	Sólo monitoreo	1300.544697 g	1300.544697 g	1252.997247 g	1268.799297 g	1284.648447 g	1300.544697 g	1316.488047 g	1332.476497 g	1348.516047 g	1364.600697 g

Figura 271: variación de masa por distintos grosores de pared.

La variación de la masa del objeto es también en este caso directamente proporcional a la variación del grosor de la pared. Se puede observar en la siguiente gráfica (figura 272).

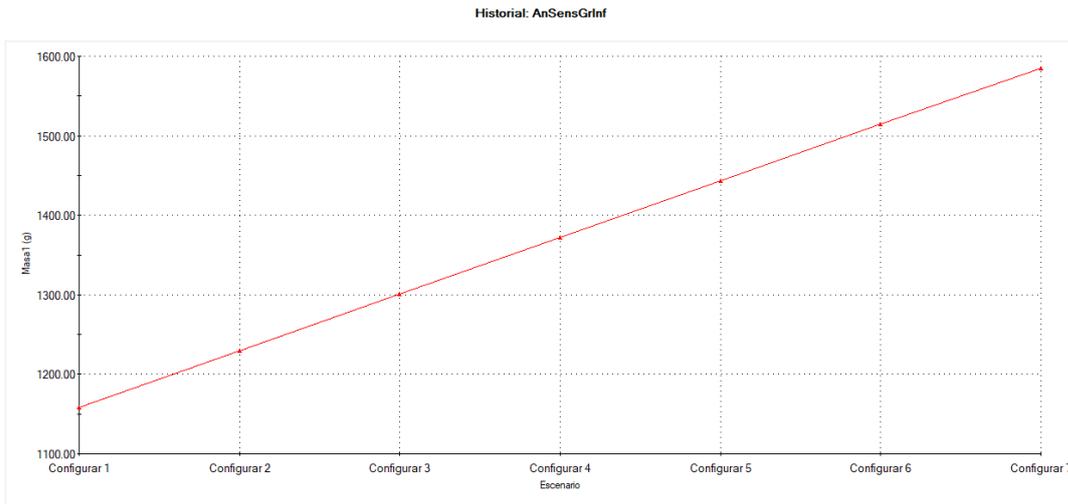


Figura 272: aumento de masa según aumenta el grosor de pared.

Finalmente, para la cota que define la altura de la pared, se establece el siguiente rango de valores y paso (figura 273).

Variables

AlPar Intervalo con Min: 3mm Máx: 8mm Paso: 0.5mm

Haga clic aquí para agregar Variabl

Figura 273: rango para la altura de pared.

Esto nos permite obtener las siguientes 11 configuraciones (figura 274).

	Actual	Inicial	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6	Escenario 7	Escenario 8	Escenario 9	Escenario 10	Escenario 11
AlPar	3mm	3mm	3.5mm	4mm	4.5mm	5mm	5.5mm	6mm	6.5mm	7mm	7.5mm	8mm
Masa1	Sólo monitoreo	1300.544697 g	1316.323197 g	1332.101697 g	1347.880197 g	1363.658697 g	1379.437197 g	1395.215697 g	1410.994197 g	1426.772697 g	1442.551197 g	1458.329697 g

Figura 274: masa según diferentes alturas de pared.

Finalmente, en este caso también, la variación de la masa es directamente proporcional al aumento de la altura de la pared. Se puede observar en el siguiente gráfico (figura 275).

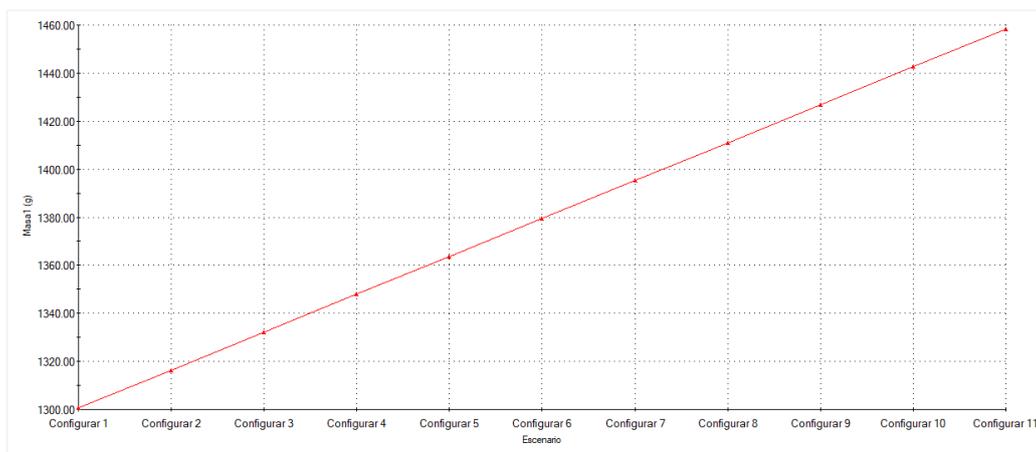


Figura 275: aumento de la masa según aumenta la altura de pared.

Después de hacer los análisis de sensibilidad, es claramente visible que la cota que más influye en el proceso es la correspondiente al grosor superior. Variando esa cota es cuando un mayor

aumento en la masa del objeto se obtiene. También se puede creer que la variación de la altura de la pared tiene una gran influencia en el peso, pero esto se debe sobre todo a que el rango de variación es más grande y por tanto llega a extremos superiores a diferencia del grosor superior.

Teniendo esto en cuenta, se debería intentar variar en la menor medida posible la cota que define el grosor superior dada la gran repercusión que esta tiene sobre el peso final de la pieza.

Optimización.

Se procede a realizar el estudio de optimización teniendo como variables las cuatro cotas anteriormente indicadas (figura 276).

Variables						
Ginf	Intervalo	▼	Mín: 1.5mm	▲	Máx: 6mm	▲
Gsup	Intervalo	▼	Mín: 1.5mm	▲	Máx: 6mm	▲
AlPar	Intervalo	▼	Mín: 3mm	▲	Máx: 6mm	▲
GrPar	Intervalo	▼	Mín: 3mm	▲	Máx: 7mm	▲
Haga clic aquí para agregar Variabl						

Figura 276: máximos y mínimos para cada dimensión que forma parte del análisis.

Como objetivo se establece **minimizar** el desplazamiento existente (figura 277).

Objetivos			
Desplazamiento1	Minimizar	▼	Análisis estático
Haga clic aquí para agregar Objetiv			

Figura 277: minimización del desplazamiento.

Se monitoriza la variación de la **masa** en todos los casos (figura 278).

Restricciones		
Masa1	Sólo monitoreo	▼
Haga clic aquí para agregar Restric		

Figura 278: monitorización de la masa.

Después de ejecutar el análisis y obtener 25 iteraciones, obtenemos que las dimensiones óptimas para reducir el desplazamiento de la pieza son las siguientes (figura 279).

		Actual	Inicial	Óptimo
Ginf		5.95324mm	3mm	5.95324mm
Gsup		5.67193mm	3mm	5.67193mm
AlPar		5.97302mm	3mm	5.97302mm
GrPar		6.95925mm	3mm	6.95925mm
Masa1	Sólo monitoreo	2763.702632 g	1300.544697 g	2763.702632 g
Desplazamiento1	Minimizar	Los datos no están disponibles.	Los datos no están disponibles.	Los datos no están disponibles.

Figura 279. obtención del resultado óptimo.

Comprobación del resultado.

A continuación, aplicamos las dimensiones obtenidas en el estudio de diseño sobre el soporte de la lámina. En el caso del grosor de pared, en lugar de modificar la cota a 6,95 milímetros, así

como nos indica el estudio de diseño, se prefiere dejar esta cota en 6 milímetros, para evitar posteriores problemas de interferencia (figura 280).

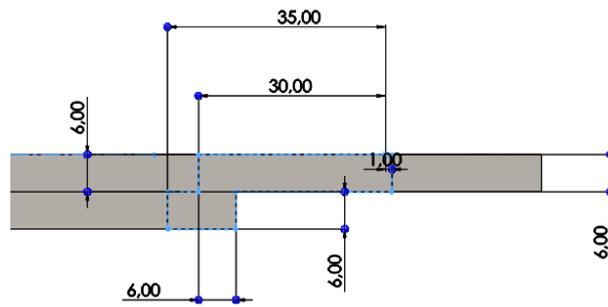


Figura 280: nuevas dimensiones del soporte después del análisis.

Con las mismas condiciones del análisis estático inicial, hacemos un nuevo análisis para ver como el cambio en la sección ha influido en los desplazamientos (figura 281).

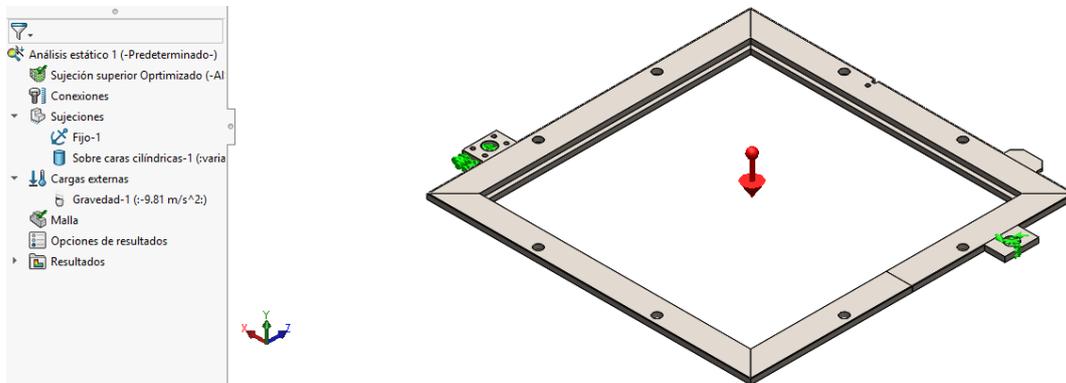


Figura 281: parametrización del análisis.

Los resultados obtenidos en el nuevo análisis estático son los siguientes (figura 282).

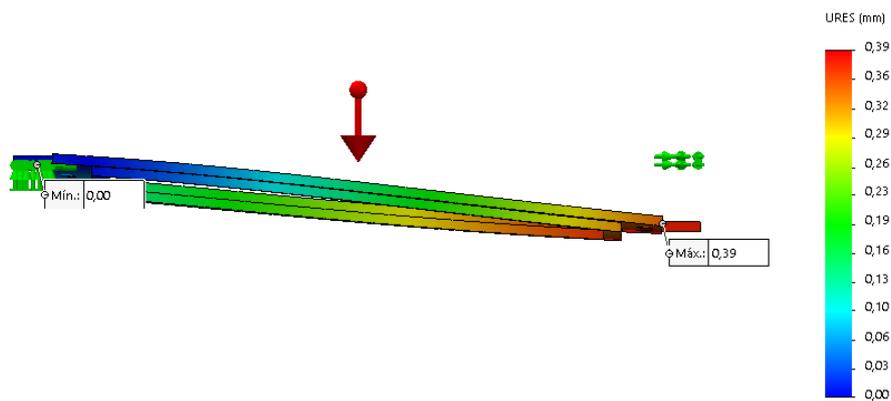


Figura 282: deformación experimentada después del análisis realizado.

Gracias al estudio de diseño realizado, se ha conseguido disminuir la deformación del soporte desde **1,42** a **0,39** milímetros.

Soporte de lámina inferior.

Ya que el soporte de la lámina inferior (figura 283), desde un principio, ha sido diseñado con las mismas características dimensionales que el soporte superior, se presupone que deformará de una forma muy similar a este.

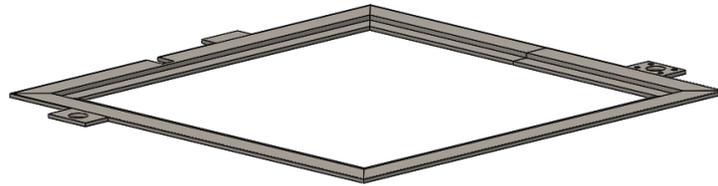


Figura 283: soporte inferior de lámina.

Se aplican las mismas condiciones de análisis (figura 284) que al soporte de lámina superior.

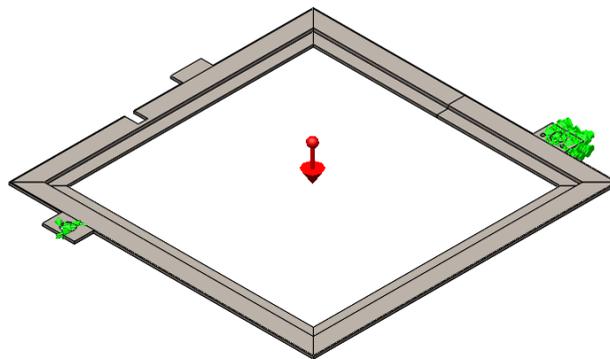


Figura 284: restricciones de carácter fijo y sobre caras cilíndricas con activación de la gravedad.

Se observa que el valor de la deformación es ligeramente inferior que en el caso del soporte superior de **1,22 milímetros** (figura 285).

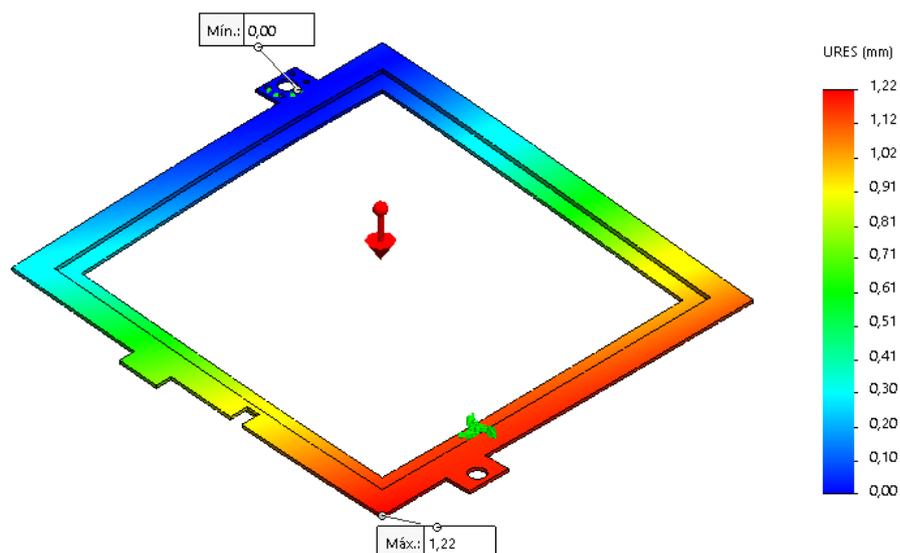


Figura 285: deformación del soporte inferior de lámina.

En este caso, se evita hacer un nuevo estudio de diseño, simplemente se aplican los mismos cambios dimensionales que en el caso anterior. Se ejecuta el análisis y se observa cómo ha mejorado la pieza en cuanto a deformaciones.

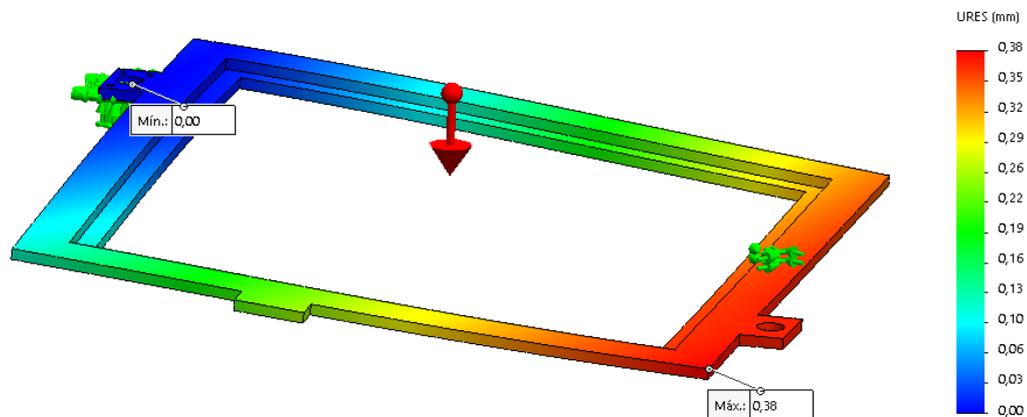


Figura 286: deformación del soporte después de aplicar los cambios dimensionales.

Se ha conseguido disminuir la deformación desde **1,22** a **0,38** milímetros (figura 286).

Tanto en el caso del soporte superior como inferior, los resultados obtenidos nos parecen muy satisfactorios y por esto se dan por buenos.

2.2 Análisis dinámico.

Para finalizar, se realiza un análisis dinámico para determinar cómo afecta el movimiento de subida y bajada del sistema a los soportes de la lámina. Para completar el análisis se va a tener en consideración tan solo un soporte por el mero motivo de que estos son prácticamente iguales, así como se ha podido observar en los apartados anteriores.

En primer lugar, lo que se pretende es asegurarse de que el movimiento de subida y bajada vertical no provoca vibraciones excesivas en el soporte. En otras palabras, lo que se quiere averiguar es si la frecuencia de avance del soporte por cada revolución de husillo en cualquier dirección, ya sea ascendente o descendente, no coincide con las frecuencias naturales del soporte de la lámina.

Para esto, se obtienen las 12 primeras frecuencias naturales del rígido (figura 287).

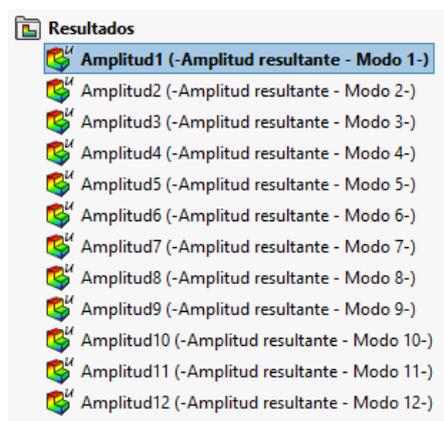


Figura 287: frecuencias naturales del rígido.

De estas, se selecciona el modo de vibración con menor frecuencia que nos interesa, es decir, aquel que corresponda al movimiento vertical ascendente y descendente del soporte. Corresponde al primer modo de vibración (figura 288).



Figura 288: modo de vibración.

Este primer modo de vibración muestra una frecuencia natural del **28,721 Hz** (figura 289).

Tipo de resultado: Frecuencia Amplitud1
Forma modal: 1 Valor = 28.721 Hz
Escala de deformación: 0.0447634

Figura 289: valor de la frecuencia obtenida.

Sabemos que:

- El soporte sube o baja 10 milímetros por cada vuelta de husillo.
- **El husillo gira a 20 vueltas por segundo.**
- La distancia de 400 milímetros es vencida en dos segundos.

Suponemos un caso en el que el movimiento ascendente, por ejemplo, del soporte no es constante si no que, es un movimiento interrumpido debido a un error de fabricación en el husillo. Esta interrupción, a priori, no es perceptible por el ojo humano ni afecta a la funcionalidad del husillo. Se podría decir que son pequeños defectos inherentes al propio proceso de fabricación.

Bien, ante un caso como el descrito, lo que se obtendría es un movimiento de ascensión que es interrumpido 20 veces por segundo ya que, como se ha visto, el husillo gira a una velocidad de 1206 revoluciones por minuto que son aproximadamente 20 revoluciones por segundo. Todos estos datos se pueden conocer con mayor detalle en el apartado de los cálculos.

Por tanto, la frecuencia de interrupción, de 20 Hz, no coincide con la frecuencia natural del sólido, aunque sí que son muy próximas.

A continuación, se desea estudiar cómo afecta el movimiento del soporte a la deformación de este cuando acelera y frena al llegar a la parte superior de la máquina o viceversa. Para ello, de las frecuencias naturales anteriormente obtenidas, se listan aquellos modos de vibración que tengan una mayor participación de masa (figura 290).

Participación de masa (Normalizada)

Nombre de estudio: Estudio de frecuencia 1

Nº de modo	Frecuencia (Hertz)	Dirección X	Dirección Y	Dirección Z
1	28.721	1.3541e-06	0.67399	5.2041e-08
2	69.053	4.2049e-06	0.017592	3.9735e-05
3	112.86	1.2343e-05	0.093277	5.8907e-06
4	242.1	8.1022e-05	0.021486	0.0001535
5	310.18	0.0057096	0.041361	0.0067913
6	462.7	0.00045289	0.00076659	0.0022039
7	538.67	0.00068433	0.024538	9.3184e-05
8	645.7	0.0017694	0.03437	0.0009937
9	755.57	0.10252	0.0010958	0.050276
10	782.52	0.013289	0.00045935	0.00089745
11	918.53	0.10183	0.0069926	0.28872
12	977.62	0.0006232	0.00075835	1.7309e-05
		Sum X = 0.22698	Sum Y = 0.91668	Sum Z = 0.3502

Cerrar Guardar Ayuda

Figura 290: participaciones de masa.

Se seleccionan las 9 primeras frecuencias naturales.

Para simular el movimiento, se va a aplicar una fuerza variable en un extremo del soporte (figura 291).

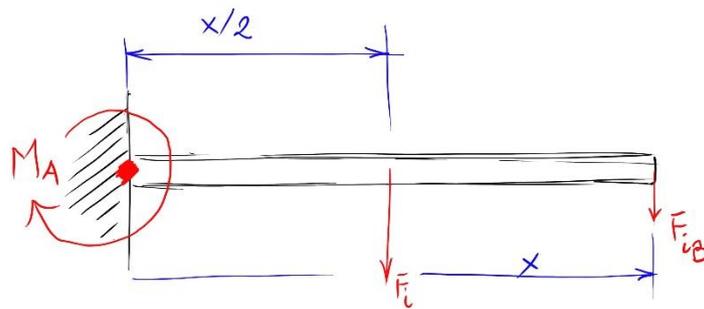


Figura 291. modelo utilizado para el cálculo de la fuerza en el extremo.

Para determinar el valor de la fuerza en el extremo del soporte, se realiza el siguiente cálculo que representa la fuerza de inercia sobre el soporte por peso propio y aceleración cuando el soporte se pone en marcha:

$$F_i = g + a = 9,81 \left(\frac{m}{s^2}\right) + 0,2 \left(\frac{m}{s^2}\right) = 10,1 \left(\frac{m}{s^2}\right)$$

Esta fuerza de inercia, crea un momento en el punto A de:

$$M_A = \frac{382}{2000} \cdot F_i = 5,35 \text{ Nm.}$$

La fuerza equivalente en el extremo del soporte por el momento creado será de:

$$5,35 \text{ (Nm)} = F_{iB} \cdot x$$

$$F_{iB} = \frac{5,35}{0,382} = 14 \text{ N}$$

Teniendo ya la fuerza del extremo, se configura la siguiente función (figura 292):

Curva de tiempo

Información de curva

Nombre: Curva de tiempo

Forma: Definido por el u

Vista preliminar

Datos de curva

Unid: sec N/A

Punto	X	Y
1	0	0
2	0.001	14
3	2	14
4	2.001	0

Obtener curva...

Guardar curva...

Ver

Aceptar Cancelar Ayuda

Figura 292: configuración de la fuerza variable.

Se simula de esta manera la fuerza de aceleración sobre el límite del soporte desde el instante 0 hasta pasar los 2 segundos, tiempo necesario para llegar desde la parte inferior de la máquina hasta la superior, donde es interrumpido de forma brusca.

Se observa para un nodo seleccionado del extremo de la malla que define el soporte, unos valores de deformación de 0,58 milímetros como máximo (figura 293).

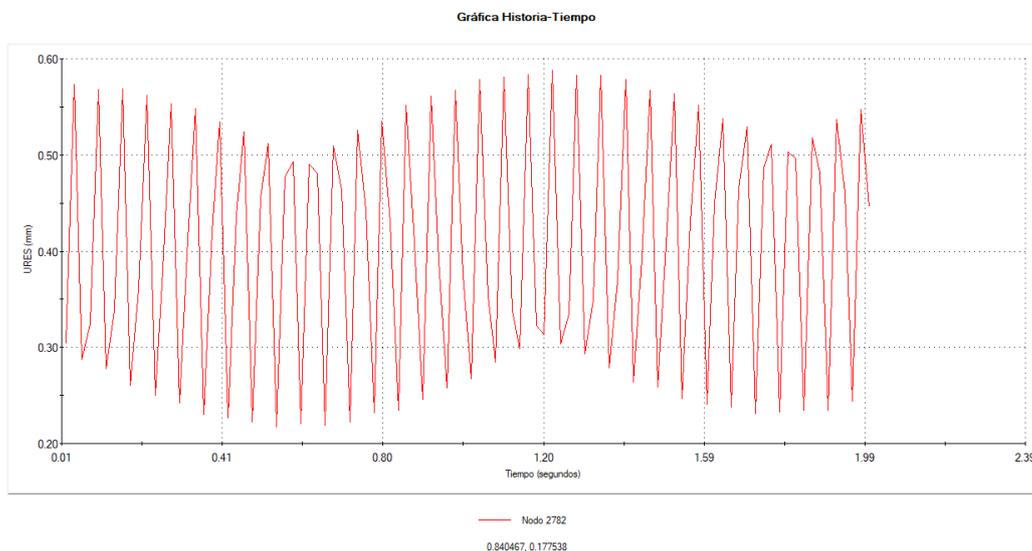


Figura 293: deformaciones experimentadas en el soporte por la fuerza variable.

Las tensiones obtenidas de **26,690 MPa**, como siempre, están muy alejadas del valor del límite elástico, **710 MPa** (figura 294).

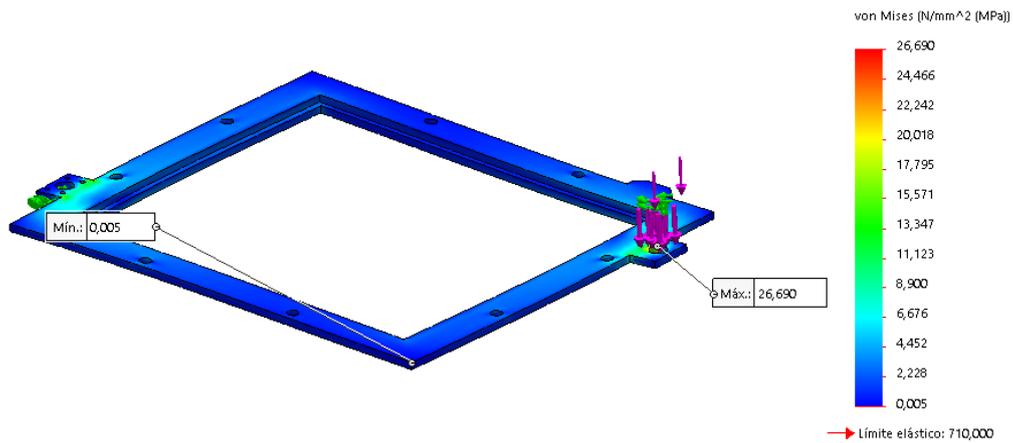


Figura 294: valor de las deformaciones.

2.3 Conclusiones.

Después de los análisis realizados se puede verificar que los elementos sometidos a análisis cumplen con los mínimos exigidos bajo los criterios de resistencia y rigidez seleccionados y que sus comportamientos bajo las cargas aplicadas son adecuados y los deseados para el correcto funcionamiento de la máquina.

3. Análisis cinemático.

Se realiza un análisis cinemático del sistema para reproducir el movimiento de los soportes de las láminas accionadas por los motores eléctricos. Se pretende además verificar que los cálculos realizados a la hora de seleccionar el motor, el husillo y las relaciones entre engranajes son correctos.

Los elementos que forman parte del análisis cinemático son los siguientes (figura 295):

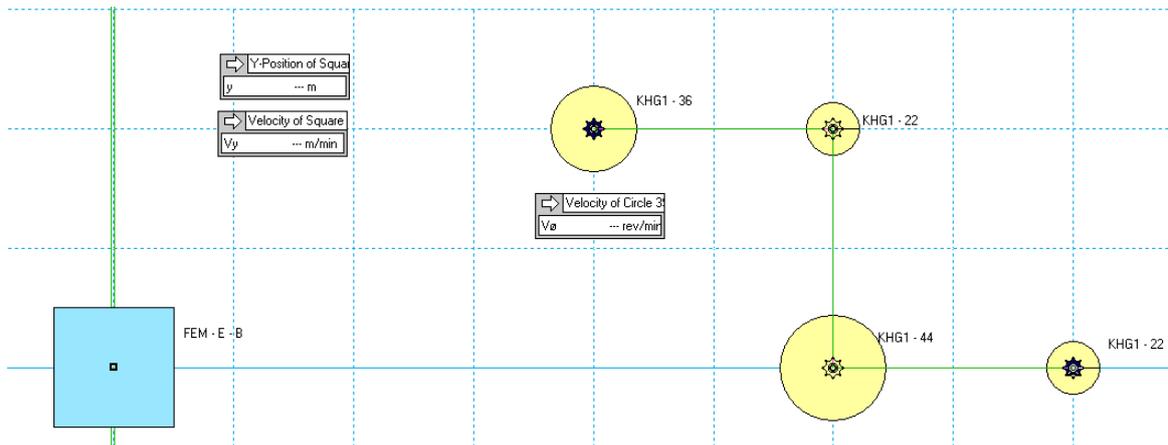


Figura 295: elementos que forman parte del análisis cinemático.

En primer lugar, se ha configurado un motor (figura 296) que gira a una velocidad igual a la del motor de corriente continua seleccionado, 3950 revoluciones por minuto. Este motor está unido al engranaje KHG1.

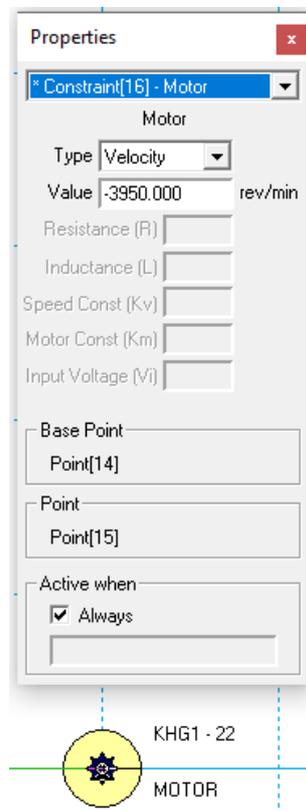


Figura 296: configuración del motor y su velocidad.

En segundo lugar, se han representado todos los engranajes utilizados en el reductor (figura 297). Cada uno de los engranajes es nombrado según el número de dientes que tiene. Este valor, además, coincide con el diámetro de paso.

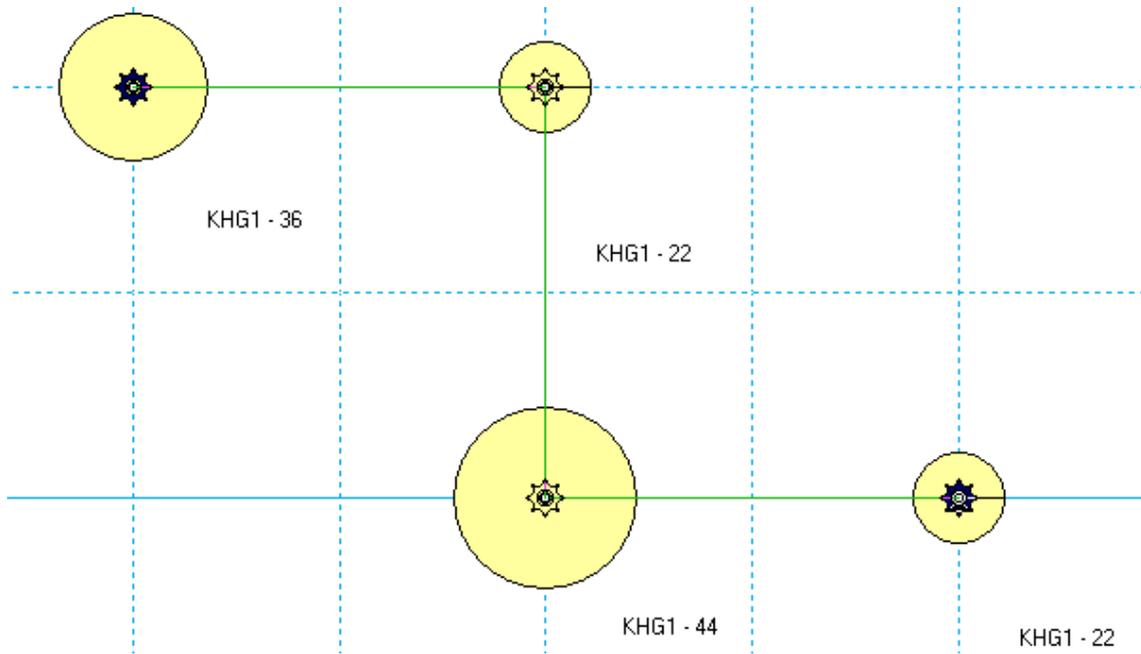


Figura 297: representación de los engranajes según el número de dientes.

Cada uno de los elementos, en tamaño, son iguales a los diámetros de paso del engranaje que representan. Por esto, el cociente de relación entre engranajes es fijado directamente por el propio programa en base a los diámetros de estos.

Por ejemplo, entre los engranajes KHG1 – 44 y KHG1 – 22, el coeficiente que se obtiene es de 0,5 (figura 298):

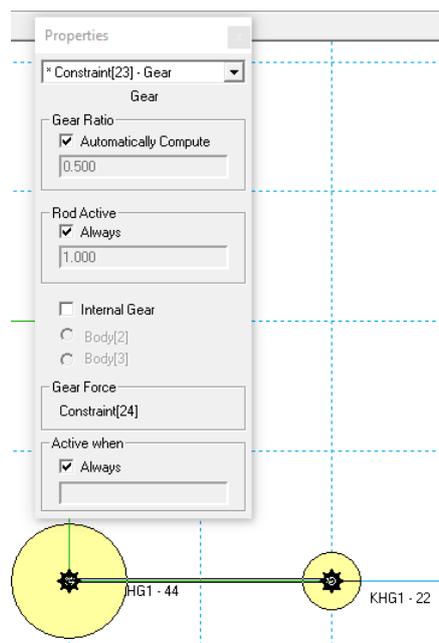


Figura 298: coeficiente de reducción entre KHG1-44 y KHG1-22.

Entre los engranajes KHG1 – 36 y KHG1 – 22, el coeficiente que se obtiene es de 1,636 (figura 299):

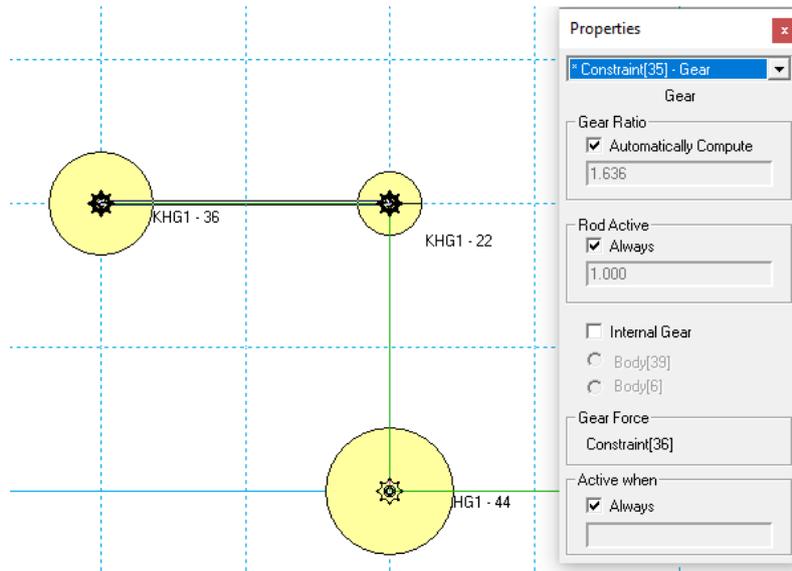


Figura 299: coeficiente entre KHG1-36 y KHG1-22.

Sin embargo, para los engranajes del medio, KHG1-44 y KHG1-22, el coeficiente de relación se establece de forma manual ya que estos dos giran sobre el mismo eje, es decir, giran de forma solidaria uno respecto al otro a la misma velocidad angular (figura 300).

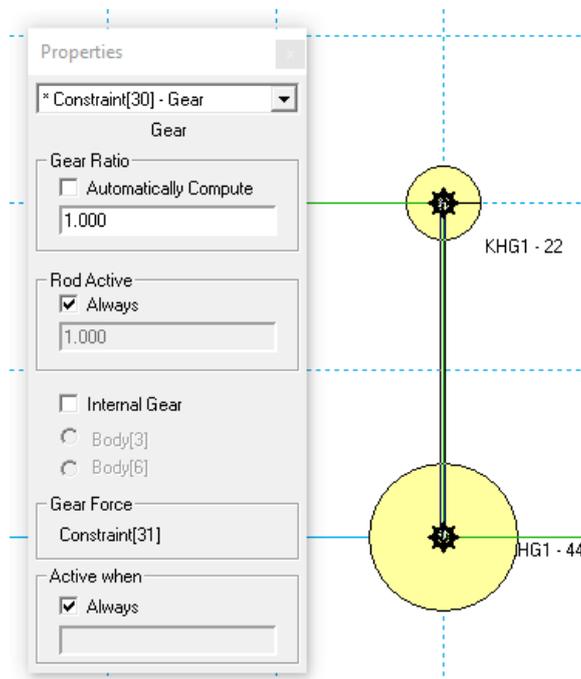


Figura 300: aplicación de un coeficiente manual.

Para representar de forma correcta el movimiento del soporte de la lámina, se configura un cuadrado en color azul que lo representa. Este, en su base dispone de un actuador que sigue la siguiente fórmula.

$$\text{Body}[39].p.r*6.283*0.01/(2*3.14)$$

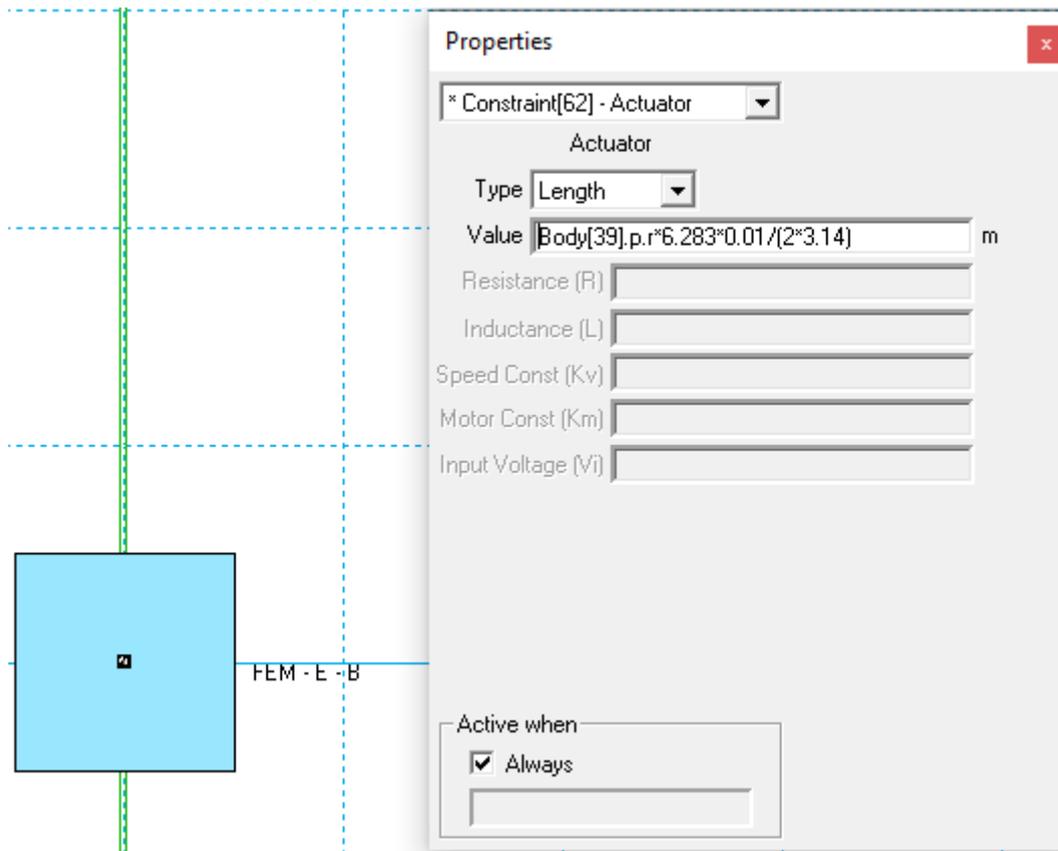


Figura 301: fórmula definitoria del movimiento del elemento que representa los soportes de lámina.

De esta manera, se programa el prisma para que ascienda 0,01 metros por cada vuelta del elemento *Body(39)*, que en este caso, es el engranaje KHG1-36, aquel unido al husillo de la máquina (figura 301).

Antes de poner en marcha el programa, se configura una pausa a los 2 segundos (figura 302), tiempo teórico que el soporte debe tardar para llegar hasta el extremo superior, y así observar los resultados obtenidos en pasar ese tiempo.

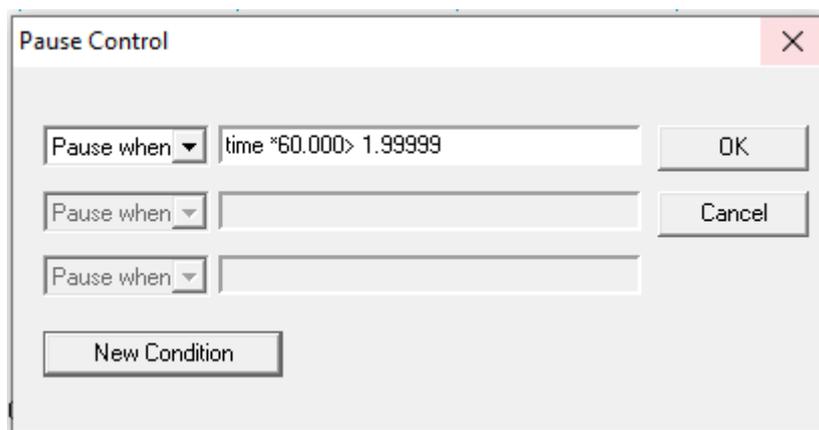


Figura 302: configuración de parada a los 2 segundos.

Se acciona el programa y se observa que la velocidad de salida del último engranaje de la cadena, de **1206 RPM**, es la deseada y coincide con los cálculos realizados en la selección de los engranajes (figura 303).

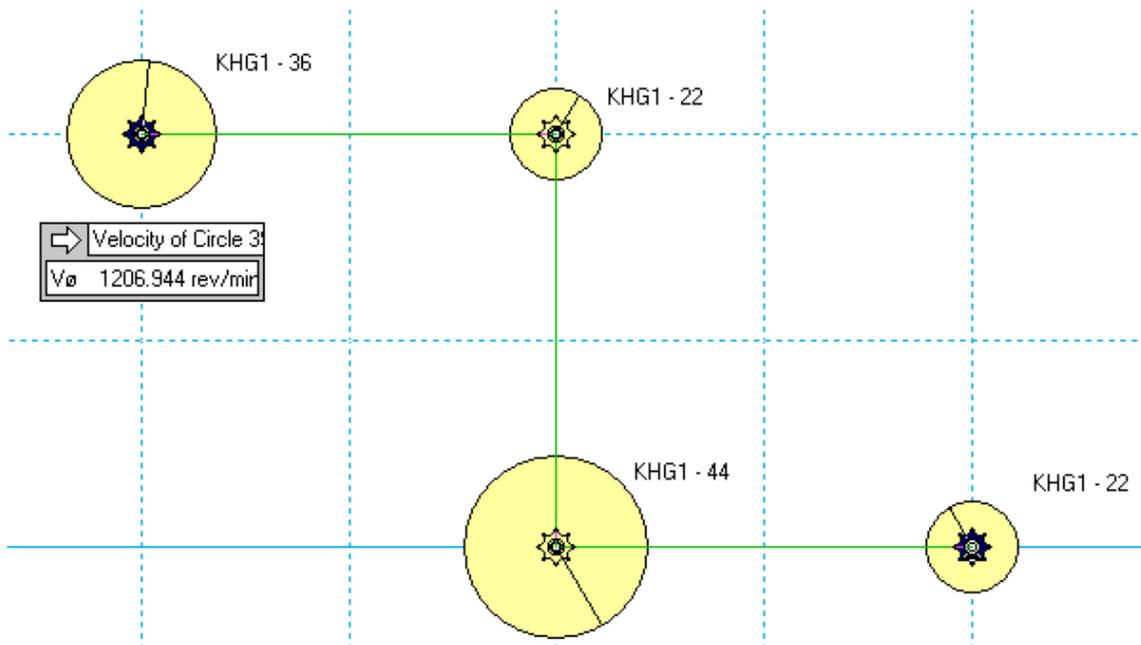


Figura 303: velocidad de salida del reductor.

Además, se puede ver también que el prisma que representa el soporte de la lámina, vence la distancia de **400 milímetros**, a una velocidad de **12 metros por minuto**, en el tiempo deseado, de **2 segundos** (figura 304).

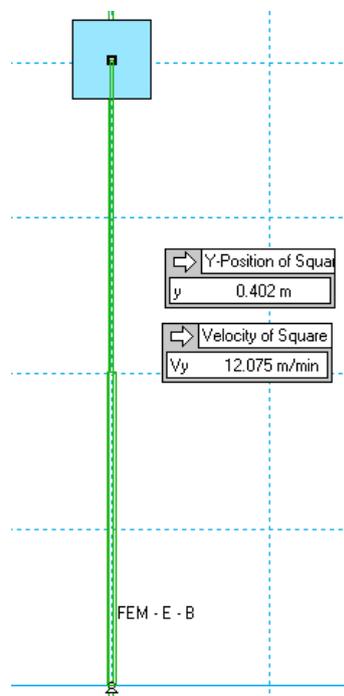


Figura 304: resultados del movimiento del prisma.

Después del análisis cinemático realizado, se verifica que los engranajes seleccionados son correctos y, por tanto, con las relaciones que proporcionan se consigue reducir la velocidad de del motor hasta el valor deseado a la salida del reductor. Con esta velocidad de rotación a la salida, el soporte de lámina utilizado, gracias al husillo seleccionado, consigue llegar hasta el límite de su recorrido en el tiempo deseado.

Pliego de condiciones.

Índice Pliego de Condiciones.

1. Objeto.....	195
2. Condiciones generales y legales.....	195
3. Garantías.....	197
4. Control de calidad.....	197
5. Uso de la máquina.....	198
6. Condiciones de seguridad.....	199
7. Pliego de condiciones técnicas y ejecución.....	200

1. Objeto.

El objetivo de este pliego de condiciones es determinar las condiciones generales y legales, así como las especificaciones técnicas y de ejecución que se deben cumplir para la realización del proyecto “Máquina de termoconformado”.

2. Condiciones generales y legales.

2.1 Normativa aplicable.

Todas las normas que se citarán a continuación han sido extraídas de documentos que proporcionan informaciones procedentes de las instituciones, órganos y organismos de la Unión Europea en lo relativo a las máquinas y su seguridad.

Concretamente se trata de la Directiva 2006/42/CE publicada el 03 del 2019 con referencia 2018/C 092/01 en el diario oficial de la Unión Europea y por la cual se modifica la Directiva 95/16/CE.

Se muestran las normas que son de aplicación a este proyecto según su clasificación A, B o C.

A: Principios y conceptos fundamentales de seguridad para todo tipo de máquinas.

- EN ISO 12100:2010 Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo. (ISO 12100:2010)

B: Aspectos de seguridad aplicables a una amplia gama de máquinas.

- EN 547-3:1996+A1:2008 Seguridad de las máquinas. Medidas del cuerpo humano. Parte 3: Datos antropométricos.
- EN 614 Seguridad de las máquinas. Principios de diseño ergonómico.
- EN 842:1996+A1:2008 Seguridad de las máquinas. Señales visuales de peligro. Requisitos generales, diseño y ensayos.
- EN 894 Seguridad de las máquinas. Requisitos ergonómicos para el diseño de dispositivos de información y mandos.
- EN 981:1996+A1:2008 Seguridad de las máquinas. Sistemas de señales de peligro y de información auditivas y visuales.
- EN ISO 4414:2010 Transmisiones neumáticas. Reglas generales y requisitos de seguridad para los sistemas y sus componentes. (ISO 4414:2010).
- EN ISO 4871:2009 Acústica. Declaración y verificación de los valores de emisión sonora de máquinas y equipos. (ISO 4871:1996).
- EN ISO 13850:2015 Seguridad de las máquinas. Función de parada de emergencia. Principios para el diseño. (ISO 13850:2015).
- EN ISO 14119:2013 Seguridad de las máquinas. Dispositivos de enclavamiento asociados a resguardos. Principios para el diseño y la selección. (ISO 14119:2013).
- EN ISO 14120:2015 Seguridad de las máquinas. Resguardos. Requisitos generales para el diseño y construcción de resguardos fijos y móviles. (ISO 14120:2015).

C: Prescripciones de seguridad para la máquina en concreto.

- EN 12409:2008+A1:2011 Máquinas para plástico y caucho. Máquinas de termoformado. Requisitos de seguridad.

Además de las normas armonizadas anteriores, se aplican también:

- Directiva de Baja Tensión 2006/95/CE.
- Certificación de calidad ISO 9001.
- Certificación ISO 14001 sobre el sistema de gestión medioambiental.
- Ley 31/1995 del 8 de noviembre, prevención de riesgos laborales.

2.2 Mercado CE.

A través del cumplimiento de todas las normas y directivas anteriormente expuestas, el fabricante declara y asegura frente a las autoridades pertinentes y competentes que, tras un examen previo por un organismo notificado, el equipo o producto comercializado cumple con la legislación vigente y obligatoria en materia de directivas a aplicar por sus características y/o tipología.

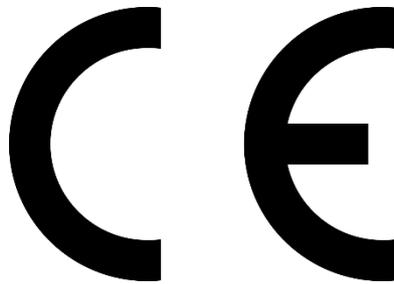


Figura 305: mercado CE.

Para el correcto marcado del producto deben seguirse las siguientes instrucciones:

- Se han de conservar las proporciones del logotipo.
- Se ha de colocar de forma visible, legible e indeleble sobre el producto/máquina o su placa descriptiva.
- De forma seguida al logotipo se ha de indicar el número de identificación del organismo notificado encargado de la concesión de la conformidad.
- Debe colocarse al final de la fase de control de producción.
- Debe ser colocado por el fabricante o su representante legal y/o autorizado.
- Queda estrictamente prohibida la colocación de otros logotipos que puedan ser confundidos por el logotipo del mercado CE.

Finalmente, una vez declarada la conformidad, ningún país miembro de la Unión Europea puede prohibir la libre circulación y venta del producto dentro del marco formado por los estados miembros de la Unión.

3. Garantías.

3.1 Garantía legal del producto.

El fabricante es obligado a ofrecer una garantía legal de 2 años, si se trata de un producto nuevo, a contar desde la fecha en la que se ha efectuado la compra por parte del cliente.

El cliente deberá recibir una factura de compra o albarán por parte del vendedor que tendrá que ser presentada en caso de necesitar hacer uso de la garantía legal del producto. En caso contrario, la garantía legal del producto quedaría anulada.

El cliente o comprador tiene derecho a la reparación de los defectos de origen del producto que incluye las piezas a sustituir, la mano de obra y los desplazamientos correspondientes siempre que no se trate de un defecto provocado por un mal uso, un uso inadecuado o no conforme ni respetuoso con las instrucciones de utilización de la máquina o producto.

En caso de no existir la posibilidad de reparación del producto, el producto defectuoso será sustituido por uno nuevo. El plazo de garantía del producto nuevo será el restante del plazo de garantía del producto anterior siempre que este no sea inferior a 6 meses.

Si no existiera la posibilidad de reparación ni renovación del producto el comprador sería indemnizado con la totalidad del importe abonado en su compra.

En ningún caso el comprador podrá exigir la sustitución del producto si el fabricante o vendedor consideran posible la reparación de este. Si después de una reparación, el comprador detecta el mismo u otros fallos que no sea conformes con lo declarado por el fabricante, este podrá exigir su sustitución siempre que se avise con un plazo inferior a dos meses a contar desde el día de la entrega del producto reparado.

Si un producto es aceptado para su reparación por garantía, la empresa vendedora deberá entregar un justificante de entrega donde conste la fecha y el motivo. Así mismo, a la recogida del producto reparado, el vendedor deberá de entregar un justificante de recogida en la que se indica fecha de recogida y la reparación efectuada.

3.2 Garantía comercial del producto.

En cuanto a la garantía comercial, dado que se trata de una garantía que amplía a la legal y que solo puede ser ofrecida por la voluntad del vendedor, esta queda a su total disposición.

4. Control de calidad.

Por cada máquina que se fabrique, el fabricante se compromete a:

- 1) Poner la máquina en marcha y hacer un ciclo de termoconformado de prueba para asegurarse que el funcionamiento normal de la máquina es correcto.
- 2) Poner la máquina en marcha y forzar un funcionamiento anormal, como un tiempo superior de proceso automatizado al programado, para comprobar que el sistema de alarma funciona correctamente.

- 3) Poner la máquina en marcha y accionar la parada de emergencia en cualquier momento, para asegurarse del correcto funcionamiento de esta.

Todas las medidas anteriormente expuestas tienen como fin único la comprobación de un funcionamiento correcto de la máquina y acorde a lo declarado por el fabricante y/o vendedor.

5. Uso de la máquina.

El comprador guarda el derecho a consultar y pedir información al fabricante, o vendedor en el caso de que se posible, acerca de la máquina, su uso y funcionamiento. Toda la información relativa al fabricante como contacto y dirección se podrán encontrar en los documentos adjuntados en la caja de entrega de la máquina.

Se entiende que el usuario se hace responsable de todos los daños posibles que puedan ser causados sobre la máquina como consecuencia de un uso inadecuado de esta.

5.1 Instrucciones de uso.

Instrucciones para un uso normal:

- 1) Conectar la máquina a una toma de corriente alterna de 220-240V.
- 2) Encender la máquina con el botón On/Off ubicado en la parte trasera.
- 3) Abrir la puerta y depositar la lámina a termoconformar en el soporte del interior de la máquina.
- 4) Cerrar la puerta.
- 5) En pantalla, seleccionar la opción de subida del soporte de la lámina.
- 6) Esperar a que finalice el proceso automatizado.
- 7) Abrir la puerta.
- 8) Depositar el molde.
- 9) Cerrar la puerta.
- 10) Seleccionar el material a termoconformar.
- 11) Seleccionar el espesor del material.
- 12) En pantalla, seleccionar la opción de inicio.
- 13) Esperar a que finalice el proceso automatizado.
- 14) Abrir la puerta y retirar la lámina termoconformada y el molde.
- 15) En finalizar el uso de la máquina apagar con el botón On/Off.

Instrucciones en caso de encendido de la alarma acústica.

- 1) Pulsar el botón de parada de emergencia
- 2) Investigar y averiguar el motivo que produce el funcionamiento anormal.
- 3) Si es necesario, mientras la máquina está en parada de emergencia, acceder al interior de la máquina para solucionar el problema.
- 4) Resuelto el problema, desenclavar el pulsador de parada de emergencia, con la puerta cerrada.
- 5) Esperar a que la máquina vuelva a su posición inicial.

6. Condiciones de seguridad.

Es obligación del comprador o usuario de la máquina leerse las instrucciones de uso y las normas de uso seguro. El vendedor o fabricante no se hacen responsables de todos los daños que puedan ser ocasionados en el usuario por un mal uso de la máquina.

6.1 Normas de uso seguro.

- No abrir, desmontar ni manipular el interior de la máquina.
- Depositar la máquina sobre una superficie plana con un área suficiente para el apoyo de las 4 patas.
- No intentar abrir la puerta durante las fases automatizada de la máquina.
- No intentar intervenir en los procesos automáticos de la máquina.
- Evitar el contacto directo con las resistencias calefactoras una vez terminado el proceso de termoconformado.
- No desconectar el cable de alimentación durante una parada de emergencia para una mayor seguridad.
- En caso de avería, ponerse en contacto con el vendedor o fabricante.
- Sostener la máquina por la base para moverla de un sitio a otro. NUNCA coger la máquina por la parte superior.

6.2 Espacio de trabajo.

Para un correcto y cómodo uso de la máquina se aconseja:

- Ubicar la máquina sobre una mesa.
- La superficie de la mesa sobre la que se dispone la máquina debe ser totalmente plana y horizontal.
- Utilizar un asiento regulable en altura.
- Regular el asiento para que los codos queden a la altura de la superficie de la mesa.
- En el caso de que fuera necesario, utilizar una base de apoyo para los pies.
- Depositar la máquina una distancia de 30 centímetros respecto al borde de la mesa siempre que esto sea posible y no haya ningún objeto en la parte posterior, como una pared que lo impida.
- Adaptar la postura correcta de espalda recta durante el trabajo.

7. Pliego de condiciones técnicas y ejecución.

7.1 Mantenimiento.

El fabricante deberá describir de forma clara e inequívoca todos los procesos de mantenimiento que se deben realizar sobre la máquina y los intervalos de tiempo de repetición.

Todos los procesos de mantenimiento se centran únicamente en componentes comerciales como los rodamientos axiales. Se trata básicamente de tareas de lubricación.

El fabricante Rexroth especifica que se debe realizar una relubricación, según DIN 51825, cada 10 millones de revoluciones de los rodamientos axiales de contacto angular LGL con grasa KE2P-35 y una cantidad de 0,22 cm³ aproximadamente. En cuanto al husillo de bolas, el fabricante especifica que, por norma general, la primera lubricación es suficiente para la duración del servicio del husillo durante toda su vida útil.

En cambio, el fabricante IGUS, especifica que sus cojinetes de fricción realizados con el material iglidur, propiedad intelectual registrada por IGUS, son libres de mantenimiento y por tanto no necesitan relubricación.

Independientemente de todo lo descrito en este apartado, el usuario de la máquina, ha de prestar atención a todos los posibles comportamientos indebidos y ruidos alarmantes en la máquina que puedan ocasionar daños en esta. En caso de notar comportamientos o ruidos inadecuados se recomienda cesar toda actividad posible de la máquina y ponerse en contacto con el vendedor o fabricante.

7.2 Materiales.

El fabricante del producto se compromete a utilizar materiales libres de cualquier sustancia química nociva para la salud del ser humano y el medio ambiente que esté recogida en el reglamento REACH de la Unión Europea con referencia 1907/2006.

En cuanto a los componentes comerciales, el fabricante se compromete a pedir, estudiar y valorar todos los certificados de material posibles de todos los materiales que intervengan en un determinado componente comercial para asegurarse que, como ya se ha explicado anteriormente, son materiales compuestos por elementos que no están prohibidos por el reglamento REACH.

7.3 Expediente técnico de la máquina.

El expediente técnico a entregar con la máquina deberá de juntar las siguientes partes:

- Descripción general de la máquina.
- Plano de conjunto de la máquina.
- Plano del despiece por subconjuntos principales.
- Resumen de las normas aplicadas que verifican la conformidad con los requisitos esenciales de salud y seguridad.
- Documentación de evaluación de riesgos realizada.
- Manual de instrucciones de uso de la máquina.

- Manual de buenas prácticas con respecto a la máquina.
- Copia de la declaración de conformidad CE.

Además de toda la información anterior, sobre la propia máquina, en un sitio visible de forma clara e indeleble, también se deberá de colocar la siguiente información:

Información relativa al fabricante:

- Nombre, dirección, CIF y datos de contacto del fabricante.

Información relativa a la máquina:

- Número de serie de la máquina.
- Año de fabricación de la máquina.
- Potencia eléctrica.
- Capacidad de litros/minutos de la bomba de vacío.
- Valor de descompresión máxima alcanzable en el tanque de vacío.
- Peso de la máquina.
- Velocidades de trabajo.

7.4 Condiciones de ejecución.

La instalación y puesta en marcha de la máquina, deberá de cumplir la normativa vigente ya especificada.

La máquina se entregará al comprador en su estado final, siendo esto un estado en el que la máquina está completamente montada y por esto no necesita ninguna intervención adicional parte del usuario.

Todos los tornillos que intervengan en la máquina tendrán que ser controlados en el momento del roscado siguiendo la normativa UNE 17-108-81: tornillos y tuercas de acero, momentos de apriete, para garantizar que los pares de apriete son adecuados y evitar posibles sobrepares que en un futuro puedan derivar en la rotura del tornillo y como consecuencia desmontaje de la unión atornillada.

La puesta en marcha de la máquina se realiza, como medida de calidad, por el propio fabricante una vez finalizado el montaje de esta. Dado que el cliente recibe la máquina en su estado final, para su puesta en marcha tan solo será necesaria la conexión de esta a la toma de corriente adecuada y encendido mediante el botón On/Off.

Presupuesto.

Índice Presupuesto.

1. Presupuesto.....	207
1.1 Coste de los componentes de fabricación propia.....	207
1.2 Costes piezas comerciales.....	218
1.3 Mano de obra.....	220
1.4 Total.....	220
1.5 PVP.	221

1. Presupuesto.

Para calcular el coste de los componentes de fabricación propia, se utiliza el modelo de determinación de costes de procesado desarrollado por **K.G. Swift** y **J.D. Booker**.

Los procesos de fabricación seleccionados para cada una de las piezas son los que ya se han especificado en el apartado de **selección de procesos de fabricación y hojas de ruta**.

Los materiales que se han seleccionado para cada una de las piezas son los que se han especificado en el apartado de **selección de materiales**.

Las **tablas de coste** que se ven a continuación muestran todos los parámetros que se han tenido en cuenta para determinar el precio de las piezas. Estas tablas, en primer lugar, muestran el coeficiente a aplicar en base al proceso de fabricación seleccionado y el lote de fabricación. En todos los casos, el lote de fabricación es de 1000 unidades.

A continuación, en la misma tabla, se muestran todos los coeficientes a aplicar en base a las características geométricas de la pieza. En todos los casos, el coeficiente de espesor muestra la dimensión máxima de la pieza que se está analizando, en cuanto al espesor en sí, este se puede consultar en el apartado de los planos de las piezas. La tolerancia para cada una de las piezas se selecciona en función del proceso de fabricación, material y dimensiones de esta.

Finalmente, en la misma tabla, se muestra el material genérico seleccionado y el volumen de la pieza.

Para todas las piezas, el valor de divisa aplicado para obtener el precio en euros, es de 1,1.

1.1 Coste de los componentes de fabricación propia.

Chapa Base Inferior.

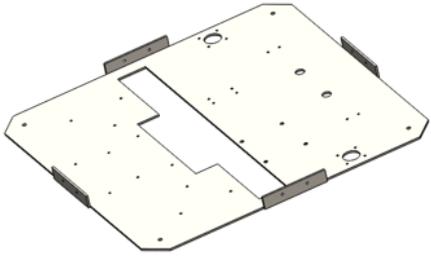
Pieza	Parámetro	Uds	Coeficiente	CFI(Cmat-Vol+Cproc-Rc)	
Chapa Base Inferior	Cproc	1000	80	Penny	
				1115,85806	
	Parámetro	Característica	Coeficiente	Euro	
	Cm-p	Aleaciones de acero	1,5	12,27443866	
	Ccomp	C1	1	Comentarios Cambio de moneda de libras a euros = x1,1	
	Cesp	400	1,5		
	Ctol	± 0,5	1		
	Crug	-	1		
	Cdesp	C1	1,2		
	Rc		2,7		
	Parámetro	Característica	Coeficiente		
	Cmat	Aleaciones de acero	0,00157		
Vol	mm3	573158			

Figura 306: tabla de coste de chapa base inferior.

Chapa Base Superior.

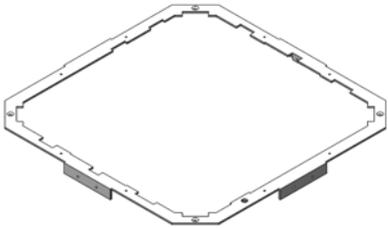
Pieza	Parámetro	Uds	Coeficiente	CFI(Cmat·Vol+Cproc·Rc)
	Cproc	1000	80	Penny
				415,67103
				Euro
				4,57238133
				Comentarios
				Cambio de moneda de libras a euros = x1,1

Figura 307: tabla de coste de chapa base superior

Chapa Pico Superior.

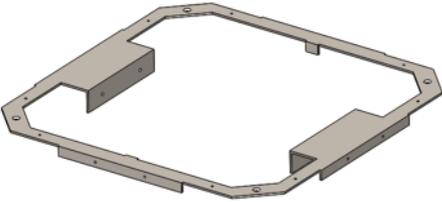
Pieza	Parámetro	Uds	Coeficiente	CFI(Cmat·Vol+Cproc·Rc)
	Cproc	1000	80	Penny
				555,76213
				Euro
				6,11338343
				Comentarios
				Cambio de moneda de libras a euros = x1,1

Figura 308: tabla de coste de chapa pico superior.

Chapa Pico Inferior.

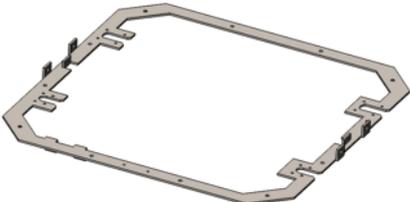
Pieza	Parámetro	Uds	Coeficiente	CFI(Cmat·Vol+Cproc·Rc)
	Cproc	1000	80	Penny
				417,19864
				Euro
				4,58918504
				Comentarios
				Cambio de moneda de libras a euros = x1,1

Figura 309: tabla de coste de chapa pico inferior.

Soporte Arduino.

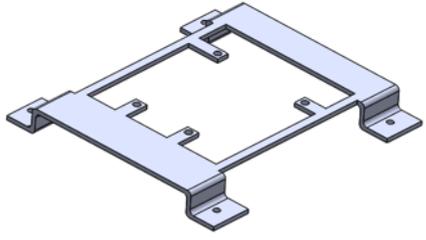
Pieza	Parámetro	Uds	Coeficiente	CFi(Cmat·Vol+Cproc·Rc)
	Cproc	1000	80	Penny
				206,4796
				Euro
				2,2712756
	Comentarios			
	Cambio de moneda de libras a euros = x1,1			

Figura 310: tabla de coste de soporte Arduino.

Soporte Solenoide.

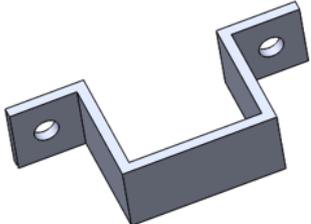
Pieza	Parámetro	Uds	Coeficiente	CFi(Cmat·Vol+Cproc·Rc)
	Cproc	1000	80	Penny
				188,84693
				Euro
				2,07731623
	Comentarios			
	Cambio de moneda de libras a euros = x1,1			

Figura 311: tabla de coste de soporte solenoide.

Tapa Reductor Inferior.

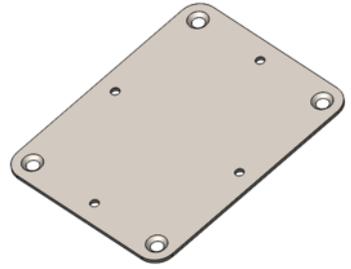
Pieza	Parámetro	Uds	Coeficiente	CFi(Cmat·Vol+Cproc·Rc)
	Cproc	1000	80	Penny
				256,23282
				Euro
				2,81856102
	Comentarios			
	Cambio de moneda de libras a euros = x1,1			

Figura 312: tabla de coste de tapa reductor inferior.

Sujeción Motor.

Pieza	Parámetro	Uds	Coeficiente	CFI(Cmat·Vol+Cproc·Rc)	
	Sujeción Motor	Cproc	1000	80	Penny
					183,92657
					Euro
					2,02319227
		Comentarios			
		Cambio de moneda de libras a euros = x1,1			

Figura 313: tabla de coste de sujeción motor.

Soporte Resistencias.

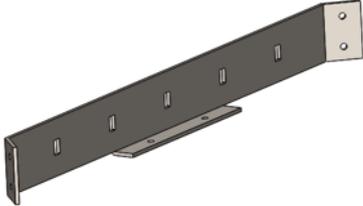
Pieza	Parámetro	Uds	Coeficiente	CFI(Cmat·Vol+Cproc·Rc)	
	Soporte Resistencias	Cproc	1000	80	Penny
					168,66682
					Euro
					1,85533502
		Comentarios			
		Cambio de moneda de libras a euros = x1,1			

Figura 314: tabla de coste de soporte resistencias.

Tapa Caja Resistencias.

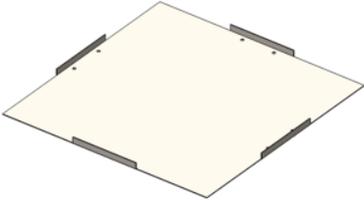
Pieza	Parámetro	Uds	Coeficiente	CFI(Cmat·Vol+Cproc·Rc)	
	Tapa Caja Resistencias	Cproc	1000	80	Penny
					304,25516
					Euro
					3,34680676
		Comentarios			
		Cambio de moneda de libras a euros = x1,1			

Figura 315: tabla de coste de tapa caja resistencias.

Tapa Inferior Caja Resistencias.

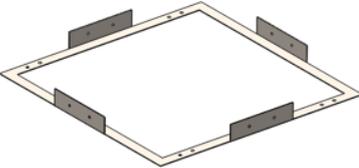
Pieza	Parámetro	Uds	Coeficiente	CFI(Cmat·Vol+Cproc·Rc)
Tapa Inferior Caja Resistencias	Cproc	1000	80	Penny
				179,69764
				Euro
				1,97667404
				Comentarios
				Cambio de moneda de libras a euros = x1,1
	Parámetro	Característica	Coeficiente	
	Cm-p	Aleaciones de aluminio	1	
	Ccomp	C1	1	
	Cesp	325	1,4	
	Ctol	± 0,5	1	
	Crug	-	1	
	Cdesp	C1	1,2	
	Rc		1,68	
	Parámetro	Característica	Coeficiente	
	Cmat	Aleaciones de acero	0,00157	
Vol	mm3	28852		

Figura 316: tabla de coste de tapa inferior caja resistencias.

Pared Caja Resistencias.

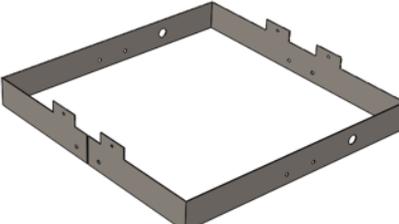
Pieza	Parámetro	Uds	Coeficiente	CFI(Cmat·Vol+Cproc·Rc)
Pared Caja	Cproc	1000	80	Penny
				251,614
				Euro
				2,767754
				Comentarios
				Cambio de moneda de libras a euros = x1,1
	Parámetro	Característica	Coeficiente	
	Cm-p	Aleaciones de aluminio	1	
	Ccomp	C1	1	
	Cesp	1280	1,8	
	Ctol	± 0,8	1	
	Crug	-	1	
	Cdesp	C1	1,2	
	Rc		2,16	
	Parámetro	Característica	Coeficiente	
	Cmat	Aleaciones de acero	0,00157	
Vol	mm3	50200		

Figura 317: tabla de coste de pared caja resistencias.

Envolvente.

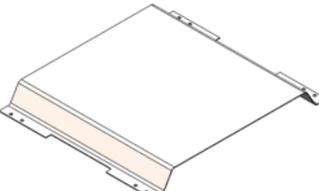
Pieza	Parámetro	Uds	Coeficiente	CFI(Cmat·Vol+Cproc·Rc)
Envolvente	Cproc	1000	80	Penny
				284,7275
				Euro
				3,1320025
				Comentarios
				Cambio de moneda de libras a euros = x1,1
	Parámetro	Característica	Coeficiente	
	Cm-p	Aleaciones de Acero	1	
	Ccomp	C1	1	
	Cesp	318	1,4	
	Ctol	± 0,5	1	
	Crug	-	1	
	Cdesp	C1	1,2	
	Rc		1,68	
	Parámetro	Característica	Coeficiente	
	Cmat	Aleaciones de acero	0,00157	
Vol	mm3	95750		

Figura 318: tabla de coste de envolvente.

Lámina Perforada.

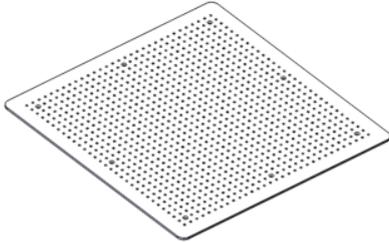
Pieza	Parámetro	Uds	Coeficiente	CFI(Cmat-Vol+Cproc-Rc)
Lámina Perforada	Cproc	1000	80	Penny
				668,70656
				Euro
				7,35577216
	Comentarios			
	Cambio de moneda de libras a euros = x1,1			
	Parámetro	Característica	Coeficiente	
	Cm-p	Aleaciones de aluminio	1	
	Ccomp	C1	1	
	Cesp	350	1,5	
	Ctol	± 0,5	1	
	Crug	-	1	
	Cdesp	C1	1,2	
	Rc		1,8	
Parámetro	Característica	Coeficiente		
Cmat	Aleaciones de acero	0,00157		
Vol	mm3	334208		

Figura 319: tabla de coste de lámina perforada.

Enganche Puerta.

Pieza	Parámetro	Uds	Coeficiente	CFI(Cmat-Vol+Cproc-Rc)
Enganche Puerta	Cproc	1000	80	Penny
				183,33468
				Euro
				2,01668148
	Comentarios			
	Cambio de moneda de libras a euros = x1,1			
	Parámetro	Característica	Coeficiente	
	Cm-p	Aleaciones de acero	1,5	
	Ccomp	C1	1	
	Cesp	30	1,25	
	Ctol	± 0,3	1	
	Crug	-	1	
	Cdesp	C1	1,2	
	Rc		2,25	
Parámetro	Característica	Coeficiente		
Cmat	Aleaciones de acero	0,00157		
Vol	mm3	2124		

Figura 320: tabla de coste de enganche puerta.

Carcasa Superior.

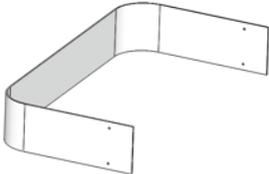
Pieza	Parámetro	Uds	Coeficiente	CFI(Cmat-Vol+Cproc-Rc)
Carcasa Superior	Cproc	1000	100	Penny
				202,23633
				Euro
				2,22459963
	Comentarios			
	Cambio de moneda de libras a euros = x1,1			
	Parámetro	Característica	Coeficiente	
	Cm-p	Termoplásticos	1	
	Ccomp	C2	1,2	
	Cesp	470	1,1	
	Ctol	± 0,2	1	
	Crug	-	1	
	Cdesp	C2	1,1	
	Rc		1,452	
Parámetro	Característica	Coeficiente		
Cmat	Termoplásticos	0,00041		
Vol	mm3	139113		

Figura 321: tabla de coste de carcasa superior.

Tapa Superior

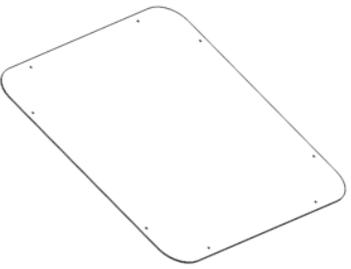
Pieza	Parámetro	Uds	Coeficiente	CFI(Cmat·Vol+Cproc·Rc)
Tapa Superior	Cproc	1000	100	Penny
	Parámetro Característica Coeficiente			297,24834
	Cm-p	Termoplásticos	1	Euro
	Ccomp	C1	1	3,26973174
	Cesp	466	1,1	Comentarios
	Ctol	± 0,2	1	Cambio de moneda de libras a euros = x1,1
	Crug	-	1	
	Cdesp	C1	1,1	
	Rc		1,21	
	Parámetro Característica Coeficiente			
	Cmat	Termoplásticos	0,00041	
	Vol	mm3	429874	

Figura 322: tabla de coste de tapa superior.

Tapa Inferior Pico.

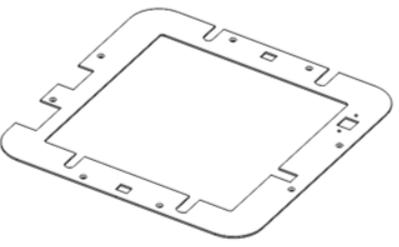
Pieza	Parámetro	Uds	Coeficiente	CFI(Cmat·Vol+Cproc·Rc)
Tapa Inferior Pico	Cproc	1000	100	Penny
	Parámetro Característica Coeficiente			232,19897
	Cm-p	Termoplásticos	1	Euro
	Ccomp	C1	1	2,55418867
	Cesp	466	1,1	Comentarios
	Ctol	± 0,2	1	Cambio de moneda de libras a euros = x1,1
	Crug	-	1	
	Cdesp	C1	1,1	
	Rc		1,21	
	Parámetro Característica Coeficiente			
	Cmat	Termoplásticos	0,00041	
	Vol	mm3	271217	

Figura 323: tabla de coste de tapa inferior pico.

Carcasa Delantera Base.

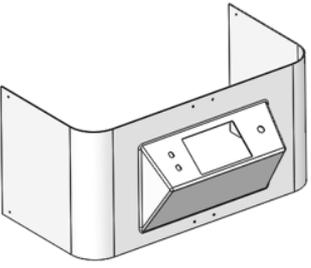
Pieza	Parámetro	Uds	Coeficiente	CFI(Cmat·Vol+Cproc·Rc)
Carcasa Delantera Base	Cproc	1000	100	Penny
	Parámetro Característica Coeficiente			402,84981
	Cm-p	Termoplásticos	1	Euro
	Ccomp	C3	1,8	4,43134791
	Cesp	470	1,1	Comentarios
	Ctol	± 0,2	1	Cambio de moneda de libras a euros = x1,1
	Crug	-	1	
	Cdesp	C3	1,1	
	Rc		2,178	
	Parámetro Característica Coeficiente			
	Cmat	Termoplásticos	0,00041	
	Vol	mm3	451341	

Figura 324: tabla de coste de carcasa delantera base.

Carcasa Trasera Base.

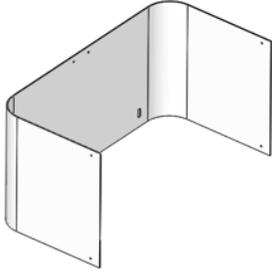
Pieza	Parámetro	Uds	Coeficiente	CFi(Cmat·Vol+Cproc·Rc)	
	Cproc	1000	100	Penny	
					318,03755
					Euro
					3,49841305
					Comentarios
					Cambio de moneda de libras a euros = x1,1
	Parámetro	Característica	Coeficiente		
	Cm-p	Termoplásticos	1		
	Ccomp	C2	1,2		
	Cesp	470	1,1		
	Ctol	± 0,2	1		
	Crug	-	1		
	Cdesp	C2	1,1		
	Rc		1,452		
	Parámetro	Característica	Coeficiente		
Cmat	Termoplásticos	0,00041			
Vol	mm3	421555			

Figura 325: tabla de coste de carcasa trasera base.

Alojamiento Electroimán.

Pieza	Parámetro	Uds	Coeficiente	CFi(Cmat·Vol+Cproc·Rc)	
	Cproc	1000	100	Penny	
					145,52718
					Euro
					1,60079898
					Comentarios
					Cambio de moneda de libras a euros = x1,1
	Parámetro	Característica	Coeficiente		
	Cm-p	Termoplásticos	1		
	Ccomp	C3	1,2		
	Cesp	38	1,1		
	Ctol	± 0,2	1		
	Crug	-	1		
	Cdesp	C3	1,1		
	Rc		1,452		
	Parámetro	Característica	Coeficiente		
Cmat	Termoplásticos	0,00041			
Vol	mm3	798			

Figura 326: tabla de coste de alojamiento electroimán.

Alojamiento Final de carrera.

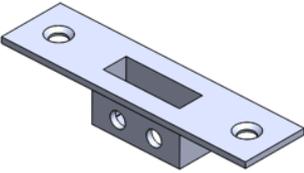
Pieza	Parámetro	Uds	Coeficiente	CFi(Cmat·Vol+Cproc·Rc)	
	Cproc	1000	100	Penny	
					146,14341
					Euro
					1,60757751
					Comentarios
					Cambio de moneda de libras a euros = x1,1
	Parámetro	Característica	Coeficiente		
	Cm-p	Termoplásticos	1		
	Ccomp	C3	1,2		
	Cesp	38	1,1		
	Ctol	± 0,2	1		
	Crug	-	1		
	Cdesp	C3	1,1		
	Rc		1,452		
	Parámetro	Característica	Coeficiente		
Cmat	Termoplásticos	0,00041			
Vol	mm3	2301			

Figura 327: tabla de coste de alojamiento final de carrera.

Pilar Base.

Pieza	Parámetro	Uds	Coeficiente	CFI(Cmat·Vol+Cproc·Rc)
	Pilar Base	Cproc	1000	10
				Penny
				82,26215
				Euro
				0,90488365
				Comentarios
				Cambio de moneda de libras a euros = x1,1

Figura 328: tabla de coste de pilar base.

Pilar Arduino.

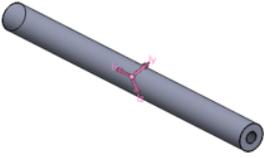
Pieza	Parámetro	Uds	Coeficiente	CFI(Cmat·Vol+Cproc·Rc)
	Pilar Arduino	Cproc	1000	10
				Penny
				72,66474
				Euro
				0,79931214
				Comentarios
				Cambio de moneda de libras a euros = x1,1

Figura 329: tabla de coste de pilar Arduino.

Pilar Sujeción Motor.

Pieza	Parámetro	Uds	Coeficiente	CFI(Cmat·Vol+Cproc·Rc)
	Pilar Sujeción Motor	Cproc	1000	10
				Penny
				71,90486
				Euro
				0,79095346
				Comentarios
				Cambio de moneda de libras a euros = x1,1

Figura 330: tabla de coste de pilar sujeción motor.

Pilar Depósito.

Pieza	Parámetro	Uds	Coeficiente	CFI(Cmat·Vol+Cproc·Rc)	
	Pilar Depósito	Cproc	1000	10	Penny
					65,67353
					Euro
					0,72240883
					Comentarios
					Cambio de moneda de libras a euros = x1,1

Figura 331: tabla de coste de pilar depósito.

Pilar Reductor.

Pieza	Parámetro	Uds	Coeficiente	CFI(Cmat·Vol+Cproc·Rc)	
	Pilar Reductor	Cproc	1000	10	Penny
					69,20132
					Euro
					0,76121452
					Comentarios
					Cambio de moneda de libras a euros = x1,1

Figura 332: tabla de coste de pilar reductor.

Pilar Pico.

Pieza	Parámetro	Uds	Coeficiente	CFI(Cmat·Vol+Cproc·Rc)	
	Pilar Pico	Cproc	1000	10	Penny
					70,06953
					Euro
					0,77076483
					Comentarios
					Cambio de moneda de libras a euros = x1,1

Figura 333: tabla de coste de pilar pico.

Sujeción Guía Secundaria.

Pieza	Parámetro	Uds	Coeficiente	CFI(Cmat·Vol+Cproc·Rc)
Sujeción Guía Secundaria	Cproc	1000	10	Penny
				57,36734
				Euro
				0,63104074
				Comentarios
				Cambio de moneda de libras a euros = x1,1
	Parámetro	Característica	Coeficiente	
	Cm-p	Aleaciones de acero	2,5	
	Ccomp	A1	1	
	Cesp	50	1	
	Ctol	± 0,25	1	
	Crug	-	1	
	Cdesp	A1	1,6	
	Rc		4	
	Parámetro	Característica	Coeficiente	
	Cmat	Aleaciones de acero	0,00157	
	Vol	mm3	11062	

Figura 334: tabla de coste de sujeción guía secundaria.

Sujeción Lámina.

Pieza	Parámetro	Uds	Coeficiente	CFI(Cmat·Vol+Cproc·Rc)
Sujeción Superior Lámina.	Cproc	1000	110	Penny
				2406,51189
				Euro
				26,47163079
				Comentarios
				Cambio de moneda de libras a euros = x1,1
	Parámetro	Característica	Coeficiente	
	Cm-p	Aleaciones de acero	2	
	Ccomp	C5	3,6	
	Cesp	382	1,5	
	Ctol	± 1	1,2	
	Crug	-	1	
	Cdesp	C5	1,3	
	Rc		16,848	
	Parámetro	Característica	Coeficiente	
	Cmat	Aleaciones de acero	0,00157	
	Vol	mm3	352377	

Figura 335: tabla de coste de sujeción lámina.

Depósito.

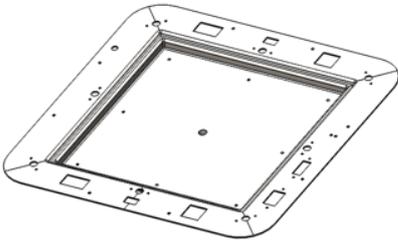
Pieza	Parámetro	Uds	Coeficiente	CFI(Cmat·Vol+Cproc·Rc)
Depósito.	Cproc	1000	110	Penny
				2094,4914
				Euro
				23,0394054
				Comentarios
				Cambio de moneda de libras a euros = x1,1
	Parámetro	Característica	Coeficiente	
	Cm-p	Aleaciones de acero	2	
	Ccomp	C5	3,6	
	Cesp	470	1,1	
	Ctol	± 1	1,2	
	Crug	-	1	
	Cdesp	C5	1,3	
	Rc		12,3552	
	Parámetro	Característica	Coeficiente	
	Cmat	Aleaciones de acero	0,00157	
	Vol	mm3	468420	

Figura 336: tabla de coste de depósito.

La suma del coste total de todos los componentes de fabricación propia se puede ver en la siguiente tabla (tabla 49).

Componente	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
Chapa Base Inferior.	1	12,27	12,27
Chapa Base Superior.	1	4,57	4,57
Chapa Pico Superior.	1	6,11	6,11
Chapa Pico Inferior.	1	4,58	4,58
Soporte Arduino.	1	2,27	2,27
Sujeción Solenoide.	1	2,07	2,07
Sujeción Final de Carrera.	1	1,60	1,60
Tapa Reductor Inferior.	1	2,82	2,82
Tapa Reductor Superior.	1	2,82	2,82
Sujeción Motor.	1	2,02	2,02
Soporte Resistencias.	2	1,85	3,7
Soporte Lateral Resistencias.	2	1,85	3,7
Tapa Inferior Caja Resistencias.	1	1,98	1,98
Tapa Caja Resistencias.	1	3,34	3,34
Pared Caja Resistencias.	1	2,76	2,76
Lámina perforada.	1	7,35	7,35
Enganche Puerta.	1	2,01	2,01
Sujeción cables.	8	0,12	0,96
Carcasa Superior.	2	2,22	4,44
Tapa Superior.	1	3,27	3,27
Envolvente.	1	3,13	3,13
Tapa Inferior Pico.	1	2,55	2,55
Carcasa Delantera Base.	1	4,43	4,43
Carcasa Trasera Base.	1	3,49	3,49
Alojamiento Electroimán.	1	1,6	1,6
Pilar Base.	4	0,9	3,6
Pilar Arduino.	4	0,8	3,2
Pilar Sujeción Motor.	4	0,79	3,16
Pilar Depósito.	4	0,72	2,88
Pilar Reductor.	4	0,76	3,04
Pilar Pico.	4	0,77	3,08
Sujeciones Lámina.	2	26,47	52,94
Depósito.	2	23,04	46,08
			207,82

Tabla 49: sumatorio de los costes de los componentes de fabricación propia.

1.2 Costes piezas comerciales.

Se muestra a continuación los costes de todas las piezas de compra. Aquí se incluyen tanto las piezas con carácter eléctrico o electrónico como aquellas que no lo son.

1.2.1 Piezas con carácter eléctrico o electrónico.

Pieza	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
Resistencia Calefactora	5	4,5	22,5
Bomba de vacío	1	149,9	149,9

Vacuostato	1	26,95	26,95
Electroválvula	1	27,34	27,34
Motor Eléctrico	2	67,08	134,16
Final de carrera	4	2,2	8,8
Solenoides	1	9,95	9,95
Electroimán	16	4,99	79,84
Parada de emergencia	1	10,19	10,19
Interruptor	1	1,93	1,93
LED	2	0,28	0,56
Arduino MEGA	1	35	35
Pantalla	1	16,99	16,99
			524,11

Tabla 50: sumatorio de costes de las piezas con carácter eléctrico o electrónico.

1.2.2 Piezas comerciales sin carácter eléctrico o electrónico.

Pieza	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
Bisagra de plástico	2	2,57	5,14
Asa tubular	1	14,23	14,23
Rejilla	1	1,99	1,99
Tubo para vacío	1	1,30	1,30
Tapón 3/4	1	2,68	2,68
Racor de 3/4 a 3/8	2	2,49	4,98
Pipe 3/8	2	2,00	4,00
Pipe 1/8	2	1,29	2,57
Imán Puerta	1	1,77	1,77
Carcasa Transparente Puerta	1	3,83	3,83
Carcasa Transparente Pared	2	5,30	10,60
Carcasa Transparente Trasera	1	5,30	5,30
Pilar ABS	1	1,22	1,22
Pata de goma	4	2,00	8,00
Junta cuadrada de goma	3	0,20	0,60
Cadena Arrastra cables	1	5,25	5,25
Engranaje 44	1	1,20	1,20
Engranaje 22	2	1,17	2,34
Engranaje 36	1	1,60	1,60
Rodamiento axial de bolas	2	5,48	10,96
Husillo	1	33,75	33,75
Guía secundaria	2	16,64	33,28
Cojinete guía secundaria	2	25,22	50,44
			207,03

Tabla 51: sumatorio de costes de las piezas sin carácter eléctrico ni electrónico.

Los precios de los componentes como la rejilla, el tubo para el vacío o la cadena arrastrables, son también precios unitarios calculados en función de la cantidad del material o piezas necesarias a utilizar por máquina.

1.2.3 Tornillería.

Referencia		Cantidad	Precio (€)	Total (€)
ISO 4017	M4x16	8	0,04292	0,34336
ISO 7045	M3x5	1	0,0239	0,0239
	M3x8	132	0,0296	3,9072
	M3x6	16	0,0296	0,4736
	M5x12	8	0,179	1,432
	M3x12	4	0,0341	0,1365
ISO 7046	M3x12	49	0,044	2,156
	M3x20	18	0,0652	1,1736
	M5x12	12	0,179	2,148
	M5x16	16	0,2110	3,3760
	M3x10	2	0,0406	0,0812
	M3x8	8	0,0358	0,2864
	M5x25	4	0,277	1,108
TUERCAS	M3	151	0,0572	8,6372
	M4	4	0,0688	0,2752
	M5	12	0,092	1,104
Total				26,67

Tabla 52: sumatorio de los costes derivados de la tornillería.

1.3 Mano de obra.

Además de todos los costes obtenidos hasta el momento, se han de tener en cuenta también otros costes como los derivados de las operaciones de montaje por parte de los operarios de línea, así como los costes del proceso de diseño realizado por el equipo de ingeniería.

Para determinar el total de horas empleadas en el montaje de la máquina, se presupone una necesidad de un cuarto de la jornada laboral del operario, es decir, dos horas, lo que sería equivalente a cuatro máquinas por día por persona (tabla 53).

Concepto	Coste €/h	Horas en total	Total €	Coste unitario €
Diseño	16	450	7200	7,2
Montaje	8	2	16 €	16
				23,2

Tabla 53: sumatorio de los costes derivados de la mano de obra.

1.4 Total.

El coste total de todos los componentes que forman parte de la máquina se describe en la siguiente tabla (tabla 54).

Concepto	Precio €
Piezas de fabricación propia	207,82
Piezas comerciales con carácter eléctrico	524,11
Piezas comerciales con carácter no eléctrico	207,03
Tornillería	26,67
Ingeniero de diseño	7,2

Ingeniero de montaje	16
Total	988,83

Tabla 54: sumatorio de los costes totales.

1.5 PVP.

Finalmente, una vez obtenido el coste total de fabricación de la máquina, calculamos cual será el coste de venta al público considerando un beneficio del 15% y unos costes indirectos del 10% (tabla 55).

Concepto	Precio €
Coste unitario	988,83
Costes indirectos 10%	1087,71
Beneficio 15%	1250,87
PVP	1251

Tabla 55: precio final de venta al público.

El precio final de venta al público de la máquina es de **1251** euros.

PLANOS

Índice de Planos

1. Tolerancias generales dimensionales y geométricas.....	227
1.1 Control de tolerancias dimensionales.....	227
1.2 Control de tolerancias dimensionales	227
1.3 Control de tolerancias en mecanizado.....	228
2. Planos	228
Máquina de termoconformado.....	229
Máquina de termoconformado.....	230
01.00 - Conjunto base	231
02.00 - Conjunto depósito.....	232
03.00 - Conjunto pico	233
04.00 - Conjunto resguardo	234
10.00 - Subconjunto motorreductor	235
11.00 - Subconjunto unidad calefactora	236
12.00 - Subconjunto soporte superior de lámina	237
13.00 - Subconjunto tapa inferior pico	238
17.00 - Subconjunto guía	239
14.00 - Subconjunto electroimán.....	240
15.00 - Subconjunto final de carrera.....	241
16.00 - Subconjunto solenoide	242
01.01 - Chapa base inferior	243
01.02 - Pilar base	244
01.03 - Chapa base superior.....	245
01.08 - Pilar Arduino.....	246
01.09 - Soporte Arduino	247
02.01 - Depósito	248
02.02 - Pilar depósito	249
02.03 - Junta A.....	250
02.05 - Junta B.....	251
02.04 - Lámina perforada	252
03.01 - Chapa pico inferior	253
03.02 - Pilar pico.....	254
03.03 - Chapa pico superior	255
04.01 - Tapa superior	256
04.02 - Carcasa superior.....	257
04.03 - Carcasa transparente puerta	258

04.04 - Carcasa transparente trasera.....	259
04.05 - Carcasa transparente pared.....	260
04.06 - Carcasa base delantera	261
04.07 - Carcasa base trasera	262
10.01 - Pilar sujeción motor	263
10.02 - Sujeción motor superior	264
10.03 - Tapa reductor.....	265
10.04 - Tapa reductor inferior.....	266
10.05 - Pilar reductor	267
11.01 - Soporte lateral resistencias.....	268
11.02 - Soporte resistencias	269
11.03 - Tapa caja	270
11.04 - Tapa caja superior	271
11.05 - Pared caja.....	272
11.06 - Envolvente.....	273
12.01 - Soporte de lámina superior.....	274
12.02 - Sujetacables	275
13.01 - Tapa unidad superior	276
17.01 - Sujeción guía	277
14.01 - Soporte electroimán	278
16.01 - Sujeción solenoide	279
00.01 - Junta soporte de lámina inferior.....	280
00.02 - Soporte inferior de lámina	281
00.03 - Pilar ABS	282

1. Tolerancias generales dimensionales y geométricas.

Para determinar todas las características dimensionales de las piezas de fabricación propia que forman parte de la máquina, en el caso de dimensiones funcionales que requieren un control estricto, se indica de forma explícita en el plano sus desviaciones mínimas y máximas admisibles.

En el caso de que se trate de características dimensionales que no requieren un control estricto, se emplean las tolerancias dimensionales generales descritas en la norma **UNE EN 22768**.

1.1 Control de tolerancias dimensionales.

En cualquier plano, de cualquier pieza, en el caso de todas aquellas cotas sobre las que no se expresa de forma explícita un control dimensional determinado, se aplicará la clase de tolerancia media, m, siendo las desviaciones permitidas, en base al tamaño dimensional, las siguientes:

Clase de tolerancia		Desviaciones admisibles respecto al valor nominal							
		0,5 ¹⁾ hasta 3	más de 3 hasta 6	más de 6 hasta 30	más de 30 hasta 120	más de 120 hasta 400	más de 400 hasta 1 000	más de 1 000 hasta 2 000	más de 2 000 hasta 4 000
Designación	Descripción								
f	fina	± 0,05	± 0,05	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,5	–
m	media	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2
c	grosera	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4
v	muy grosera	–	± 0,5	± 1	± 1,5	± 2,5	± 4	± 6	± 8

Figura 337: desviaciones admisibles para las tolerancias dimensionales.

En el caso de las dimensiones angulares, las desviaciones permisibles según la clase de tolerancia media se pueden ver en la siguiente tabla.

Clase de tolerancia		Desviaciones admisibles en función de la longitud del lado menor del ángulo considerado, en milímetros				
Designación	Descripción	hasta 10	más de 10 hasta 50	más de 50 hasta 120	más de 120 hasta 400	más de 400
f	fina	± 1°	± 0°30'	± 0°20'	± 0°10'	± 0°5'
m	media					
c	grosera	± 1°30'	± 1°	± 0°30'	± 0°15'	± 0°10'
v	muy grosera	± 3°	± 2°	± 1°	± 0°30'	± 0°20'

Figura 338: desviaciones admisibles para cotas angulares.

1.2 Control de tolerancias geométricas.

En el caso de las tolerancias geométricas, dado que la mayoría de las piezas de fabricación propia que forman parte de la máquina son elementos conformados en chapa, se especifica también una clase media, letra K.

Clases de tolerancia	Tolerancias de rectitud y planitud, por campos de longitudes nominales					
	hasta 10	más de 10 hasta 30	más de 30 hasta 100	más de 100 hasta 300	más de 300 hasta 1 000	más de 1 000 hasta 3 000
H	0,02	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4
K	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
L	0,1	0,2	0,4	0,8	1,2	1,6

Figura 339: tolerancias geométricas de forma generales.

Clases de tolerancia	Tolerancias de perpendicularidad, por campos de longitudes nominales, del lado más corto			
	hasta 100	más de 100 hasta 300	más de 300 hasta 1 000	más de 1 000 hasta 3 000
H	0,2	0,3	0,4	0,5
K	0,4	0,6	0,8	1
L	0,6	1	1,5	2

Figura 340: tolerancias geométricas de orientación generales.

Todas las tolerancias geométricas no especificadas vendrán definidas por los valores presentes en las tablas anteriores.

1.3 Control de tolerancias en mecanizado.

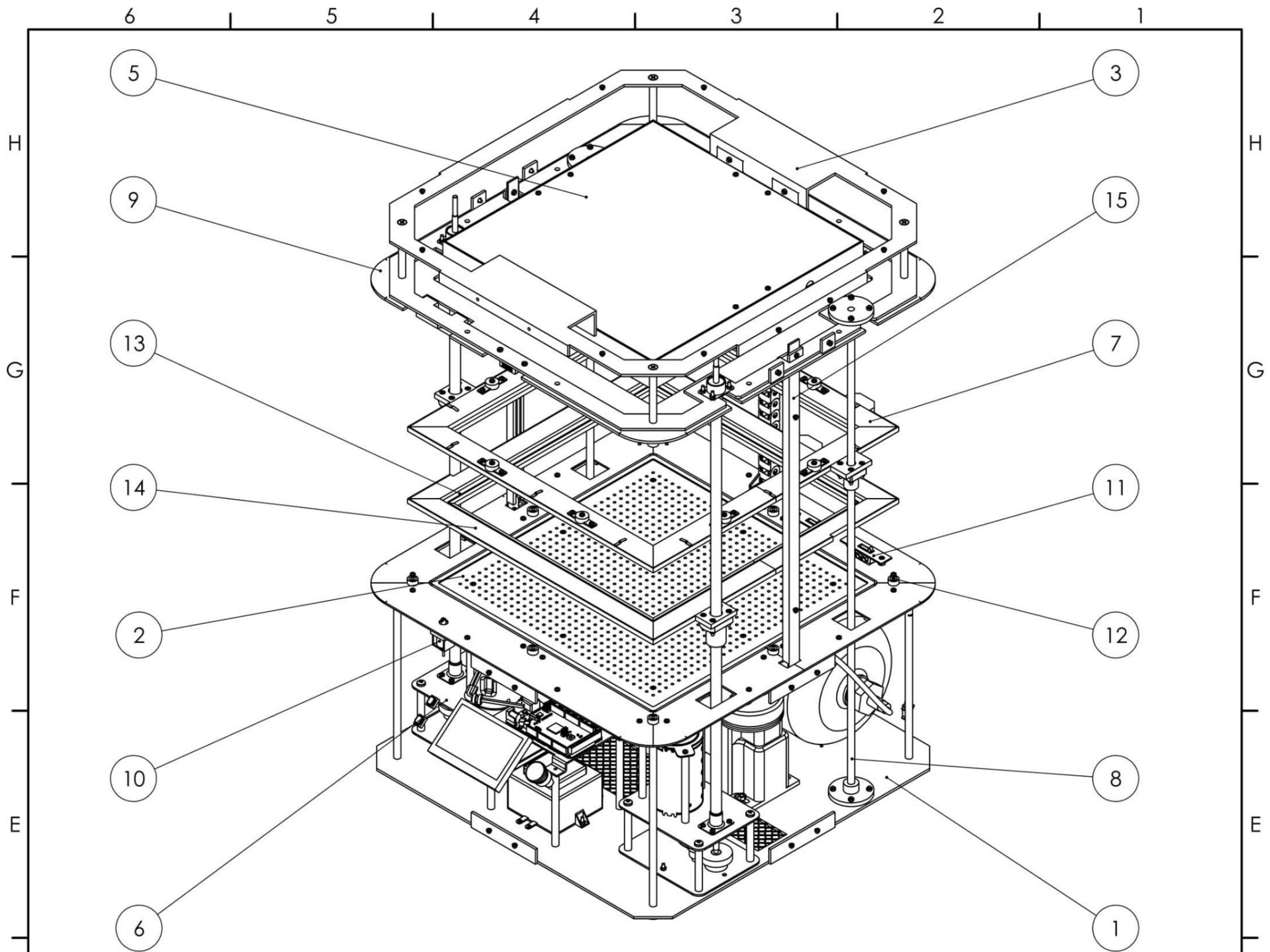
Para controlar la precisión dimensional y de posición de los elementos que derivan de operaciones de mecanizado, que en este caso son principalmente taladros, se utilizan los valores económicos ofrecidos por la siguiente tabla.

Proceso	Tolerancia Dimensional	Tolerancias de forma	Tolerancias de Orientación	Tolerancias de Situación / Posición
Taladrado	IT9-IT12	0,1-0,2	Económico: 0,1-0,3 Mayor coste: 0,03-0,1	Económico: 0,2-0,5 Mayor coste: 0,1-0,2
Escariado	IT7-IT8	0,01-0,025		
Fresado	IT7-IT10	0,01-0,05		
Torneado	IT6-IT9	0,01-0,02		
Mandrinado	IT6-IT7	<0,01		
Rectificado	IT4-IT7	<0,01		
Especiales de acabado	IT01-IT4	<0,005		

Figura 341: tolerancias recomendadas para operaciones de mecanizado.

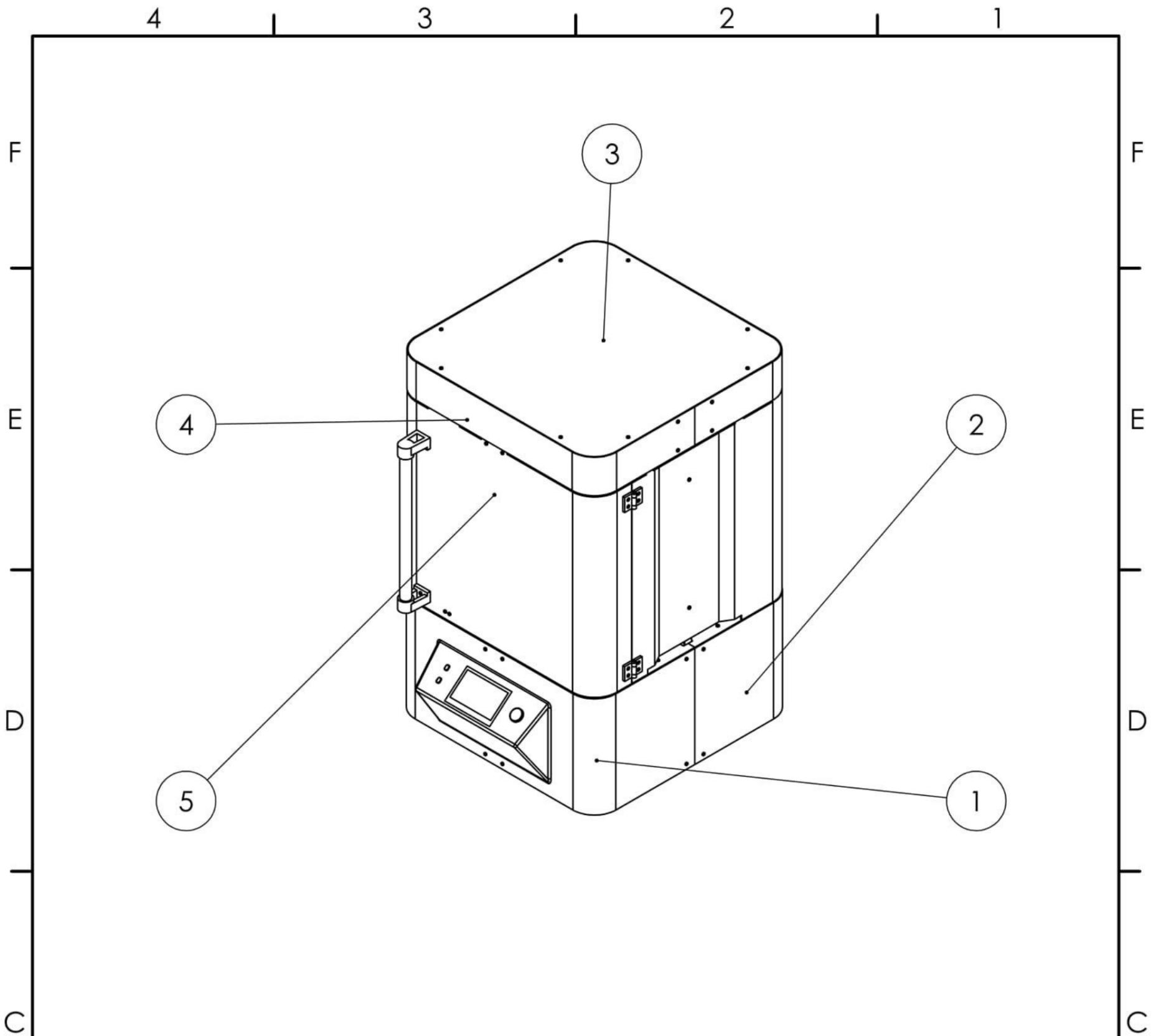
Finalmente, se desea hacer hincapié en que todas las tolerancias que se desean controlar se podrán obtener con mayor o menor precisión siempre en función de la precisión de los elementos de referencia utilizados, la precisión de los útiles utilizados en el agarre y posicionamiento de la pieza, así como la precisión de las propias herramientas a utilizar en el proceso de mecanizado.

2. Planos.

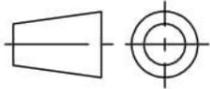


ITEM	PIEZA	PLANO
1	CONJUNTO BASE	01.00
2	CONJUNTO DEPÓSITO	02.00
3	CONJUNTO PICO	03.00
5	SUBCONJUNTO UNIDAD CALEFACTORA	11.00
6	SUBCONJUNTO MOTOREDUCTOR	10.00
7	SUBCONJUNTO SOPORTE SUPERIOR DE LÁMINA	12.00
8	SUBCONJUNTO GUÍA	17.00
9	SUBCONJUNTO TAPA INEFRIOR PICO	13.00
10	SUBCONJUNTO SOLENOIDE	16.00
11	SUBCONJUNTO FINAL DE CARRERA	15.00
12	SUBCONJUNTO ELECTROIMÁN	14.00
13	JUNTA SUPORTE DE LÁMINA INFERIOR	00.01
14	SOPORTE DE LÁMINA INFERIOR	00.02
15	PILAR ABS	00.03

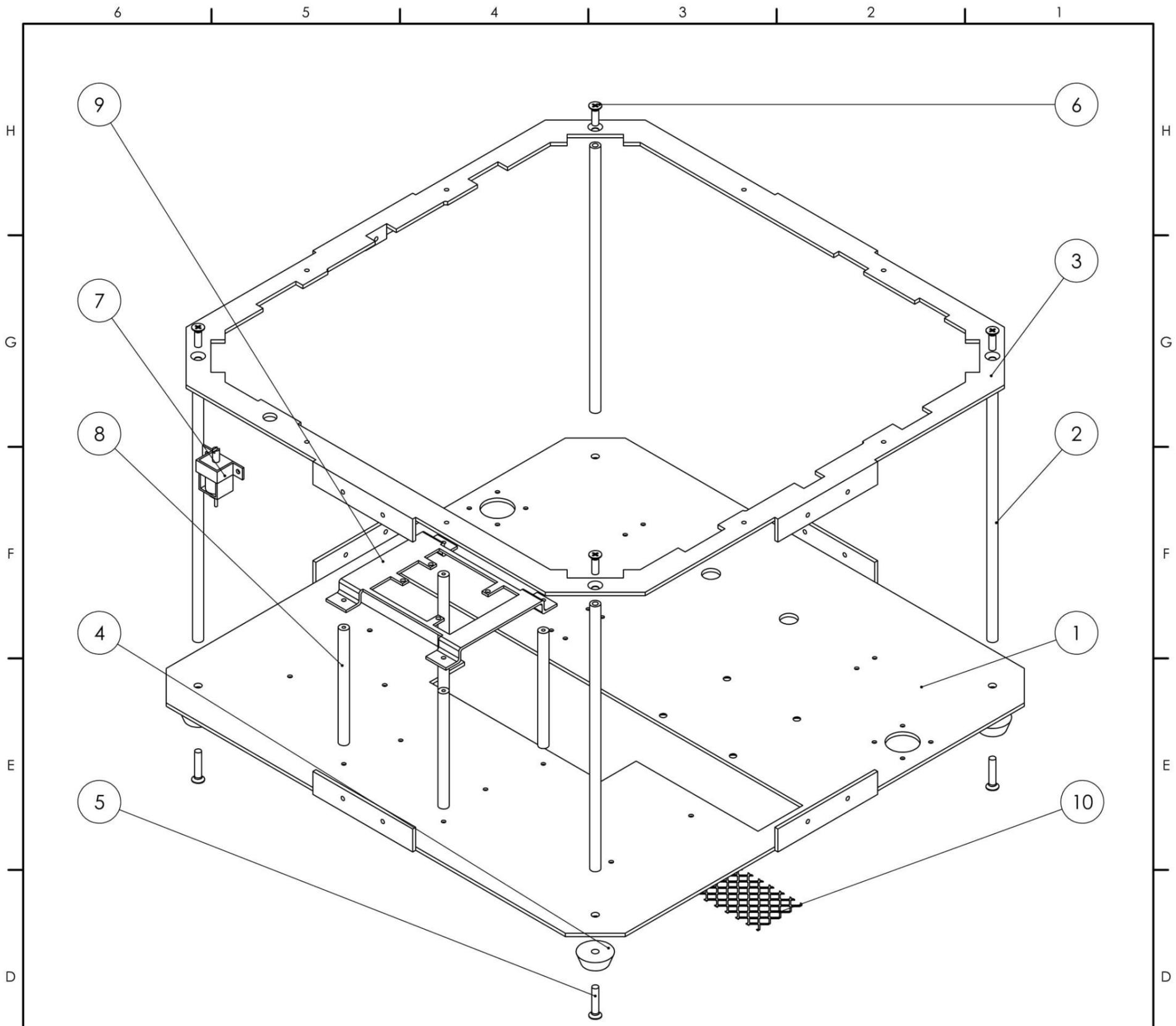
Material ---	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:5	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A3	Estado del documento: Editado
		Título del documento: Máquina de Termoconformado	Número del documento: ---	
		Revisión: -	Fecha de edición: 03/09/2019	Idioma: ES
			Hoja: ---	



ITEM	PIEZA	PLANO
1	CARCASA BASE DELANTERA	04.06
2	CARCASA BASE TRASERA	04.07
3	TAPA SUPERIOR	04.01
4	CARCASA SUPERIOR	04.02
5	CONJUNTO RESGUARDO	04.00

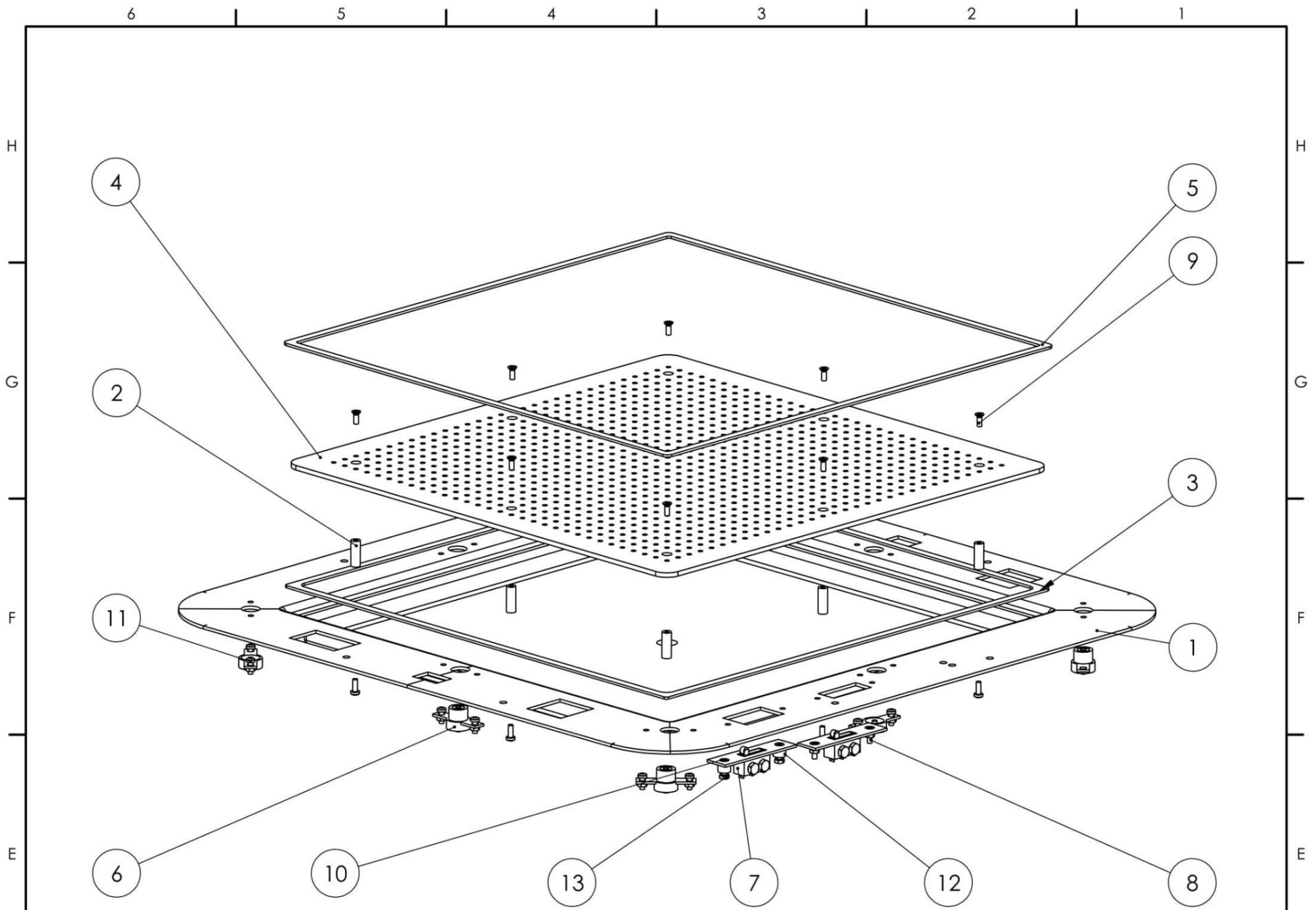
Material ---	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:10	Met. de Representación: 
-----------------	-----------------------------	---------------------------	-----------------	--

Propietario Legal:	Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A4	Estado del documento: Editado	
	Título del documento: ---		Número del documento: ---	
	Rev.: -	Fecha de edición: 03/09/2019	Idioma: ES	Hoja: ---



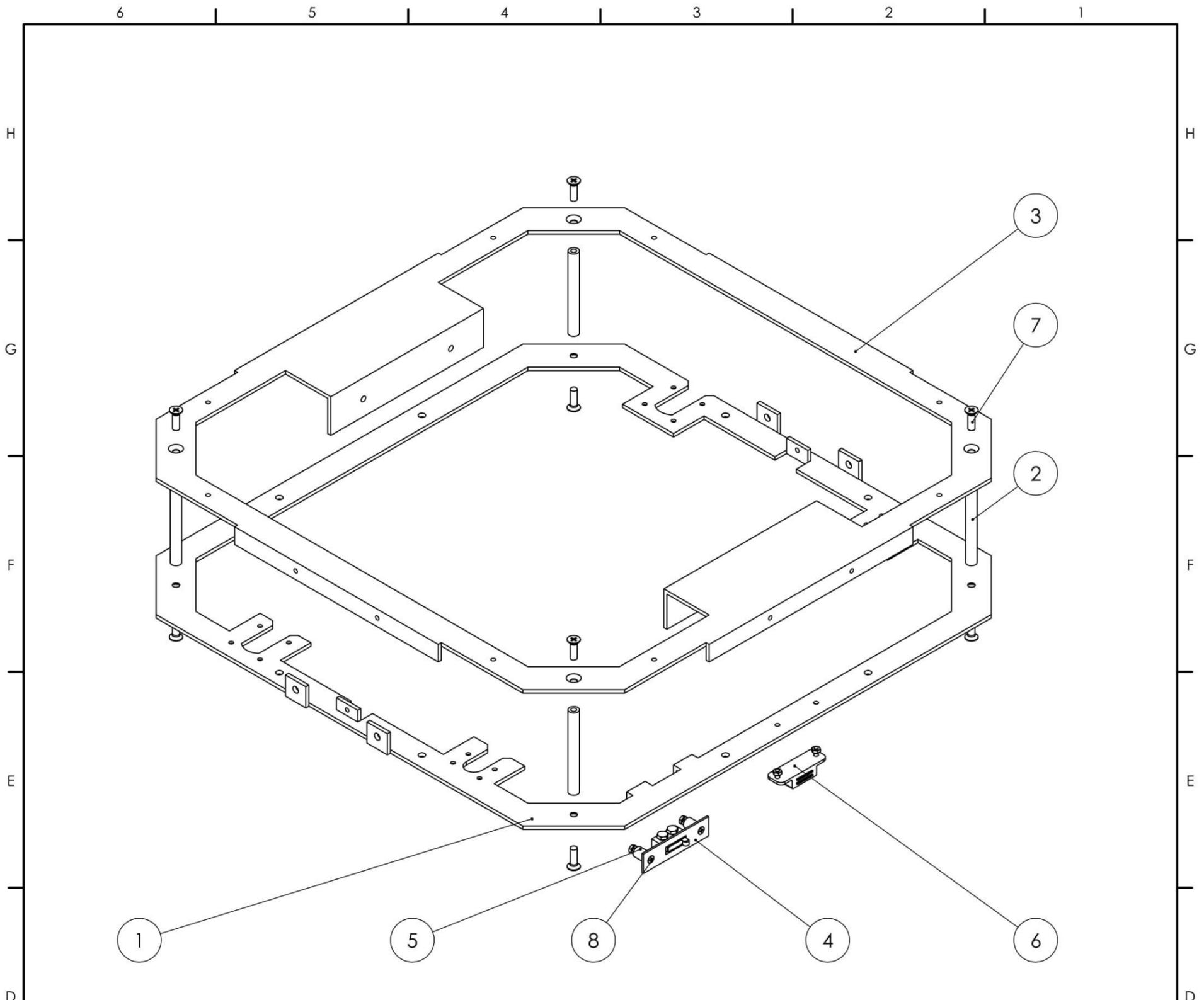
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CÓDIGO	CANTIDAD
1	Chapa Base Inferior	01.01	1
2	Pilar Base	01.02	4
3	Chapa Base Superior	01.03	1
4	Pata	---	4
5	ISO 7046-1 - M5 x 25 - Z - 25N	---	4
6	ISO 7046-1 - M5 x 16 - Z - 16N	---	4
7	Subconjunto Solenoide	16.00	1
8	Pilar Arduino	01.08	4
9	Soporte Arduino	01.09	1
10	Rejilla Base	---	1

Material ---	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:3	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A3	Estado del documento: Editado
		Título del documento: Conjunto Base	Número del documento: 01.00	
		Rev.: -	Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES
				Hoja: ---



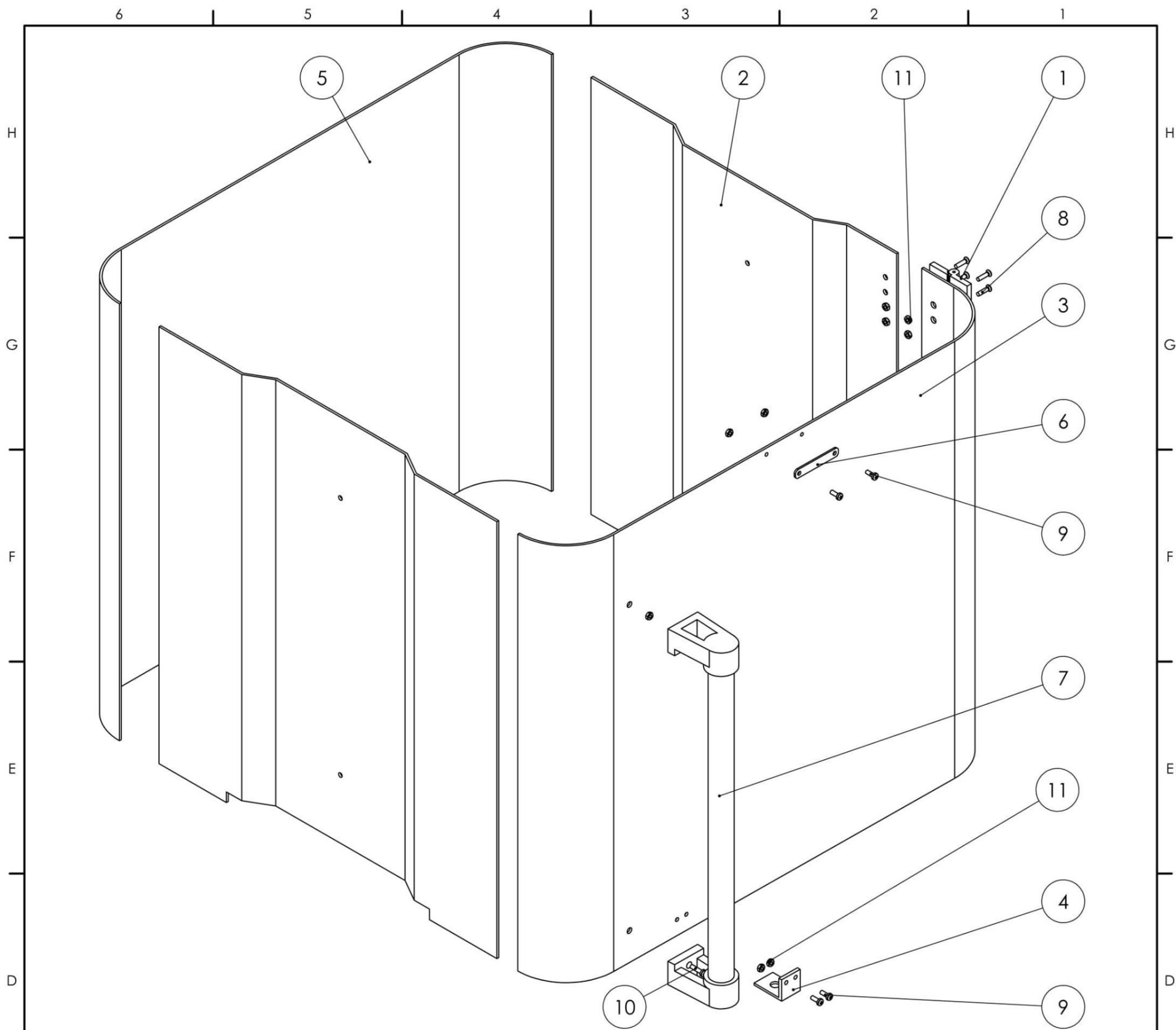
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Depósito	02.01	1
2	Pilar depósito	02.02	8
3	Junta A	02.03	1
4	Lámina perforada	02.04	1
5	Junta B	02.05	1
6	Subconjunto Electroimán	14.00	8
7	Subconjunto Final de Carrera	15.00	2
8	ISO 7046-1 - M3 x 10 - Z - 10N	---	2
9	ISO 7046-1 - M3 x 8 - Z - 8N	---	8
10	ISO 7046-1 - M3 x 12 - Z - 12N	---	2
11	ISO 7045 - M3 x 8 - Z - 8N	---	24
12	Casquillos Separadores	---	2
13	ISO - 4032 - M3 - W - N	---	20

Material ---	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:3	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A3	Estado del documento: Editado
		Título del documento: Conjunto Depósito	Número del documento: 02.00	
		Rev.: -	Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES
			Hoja: ---	



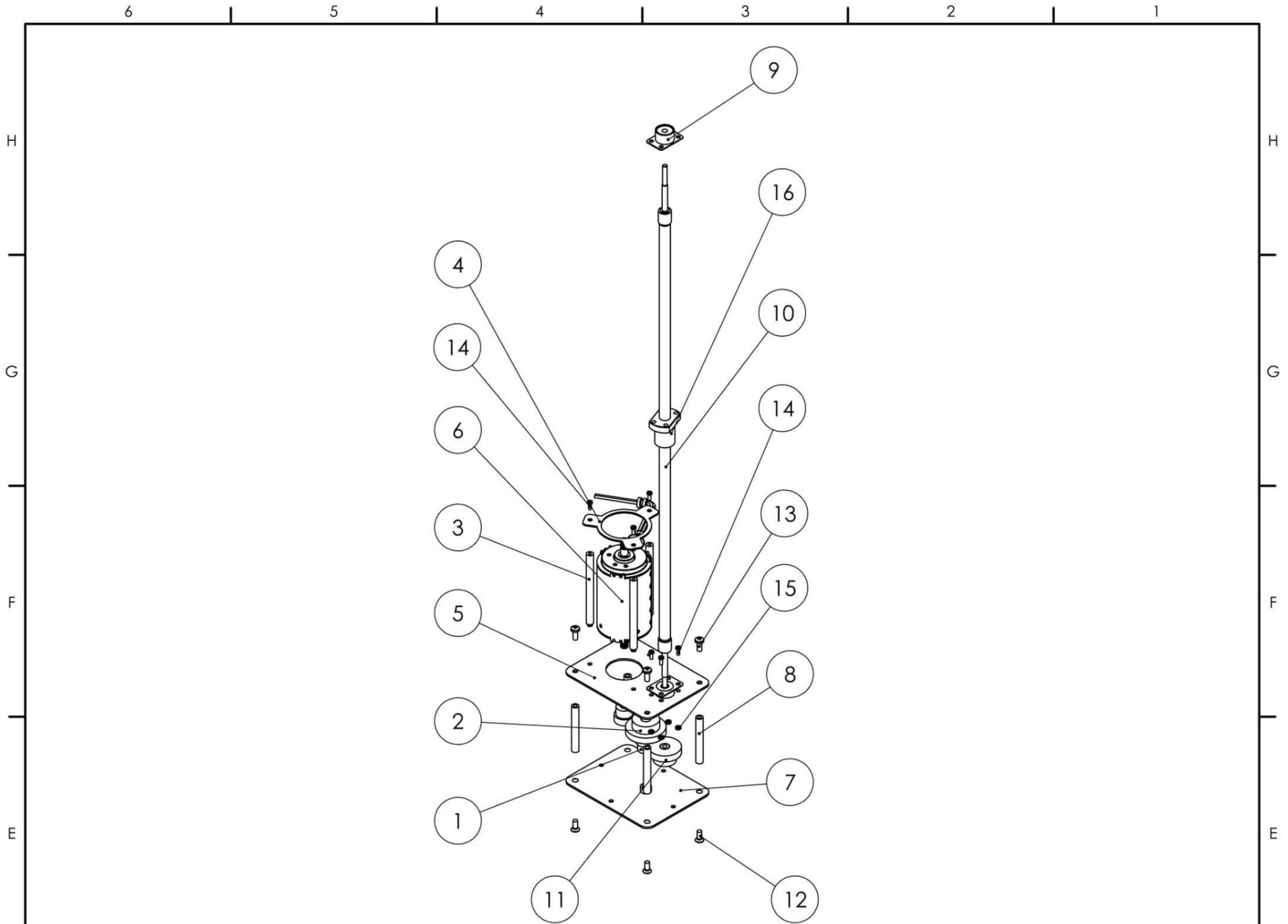
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Chapa Pico Inferior	03.01	1
2	Pilar Pico	03.02	4
3	Chapa Pico Superior	03.03	1
4	Subconjunto Final de Carrera	15.00	1
5	Casquillos Separadores Largos	---	2
6	Iman Máquina	---	1
7	ISO 7046-1 - M5 x 16 - Z - 16N	---	8
8	ISO 7046-1 - M3 x 20 - Z - 20N	---	2
9	ISO - 4032 - M3 - W - N	---	4
10	ISO 7045 - M3 x 8 - Z - 8N	---	2

Material ---	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:3	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A3	Estado del documento: Editado
		Título del documento: Subens Pico 2	Número del documento: 03.00	
		Rev.: -	Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES
				Hoja: ---



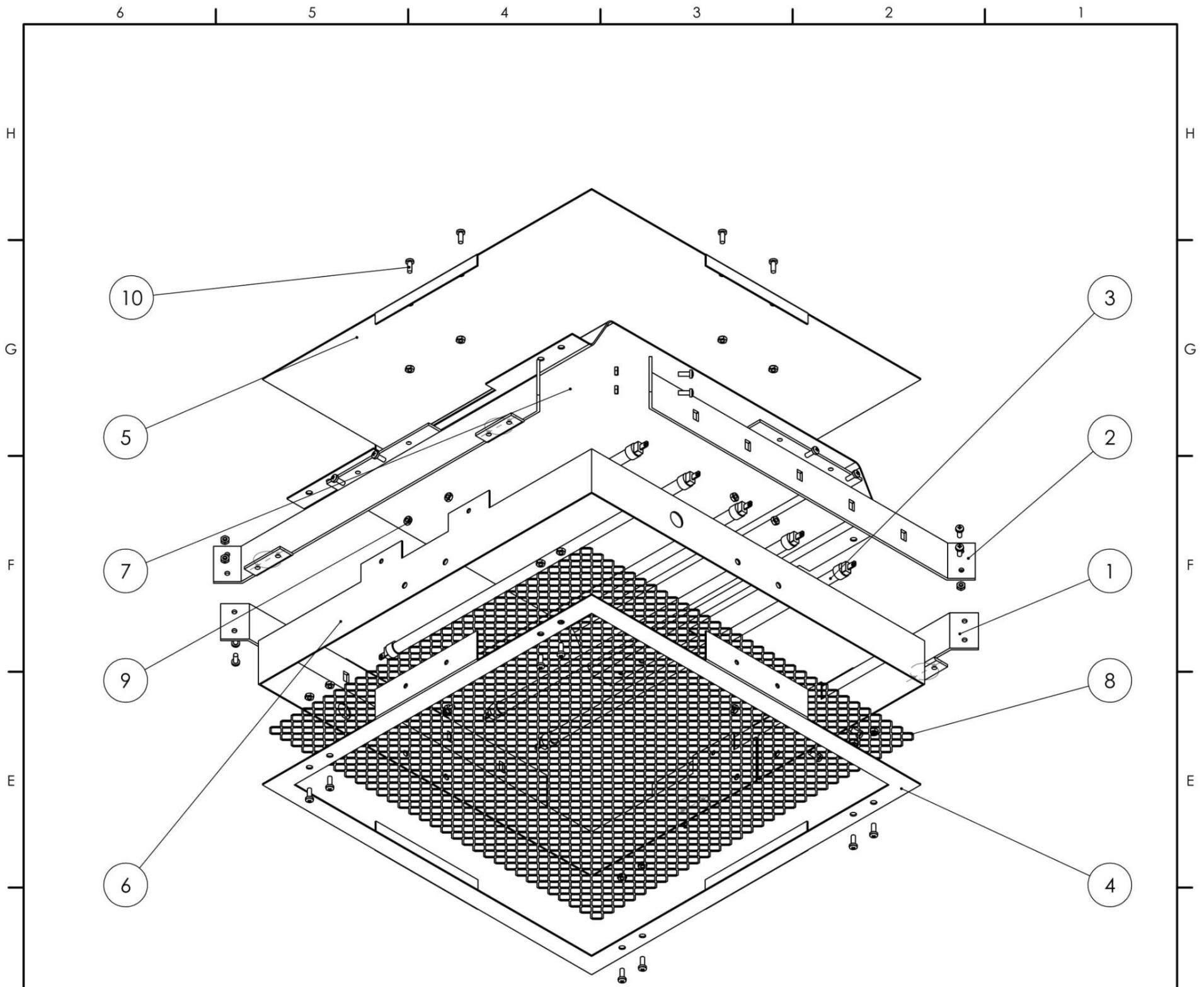
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Bisagra Plástico	---	2
2	Carcasa Transparente Pared	04.05	2
3	Carcasa Transparente Puerta	04.03	1
4	Enganche Solenoide	04.08	1
5	Carcasa Transparente Trasera	04.04	1
6	Imán Puerta	---	1
7	Asa de Tubo	---	1
8	ISO 7046-1 - M3 x 12 - Z - 12N	---	8
9	ISO 7045 - M3 x 8 - Z - 8N	---	4
10	ISO 7045 - M3 x 12 - Z - 12N	---	2
11	ISO - 4032 - M3 - W - N	---	14

Material ---	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:3	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A3	Estado del documento: Editado
		Título del documento: Conjunto Resguardo	Número del documento: 04.00	
		Rev.: -	Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES
			Hoja: ---	



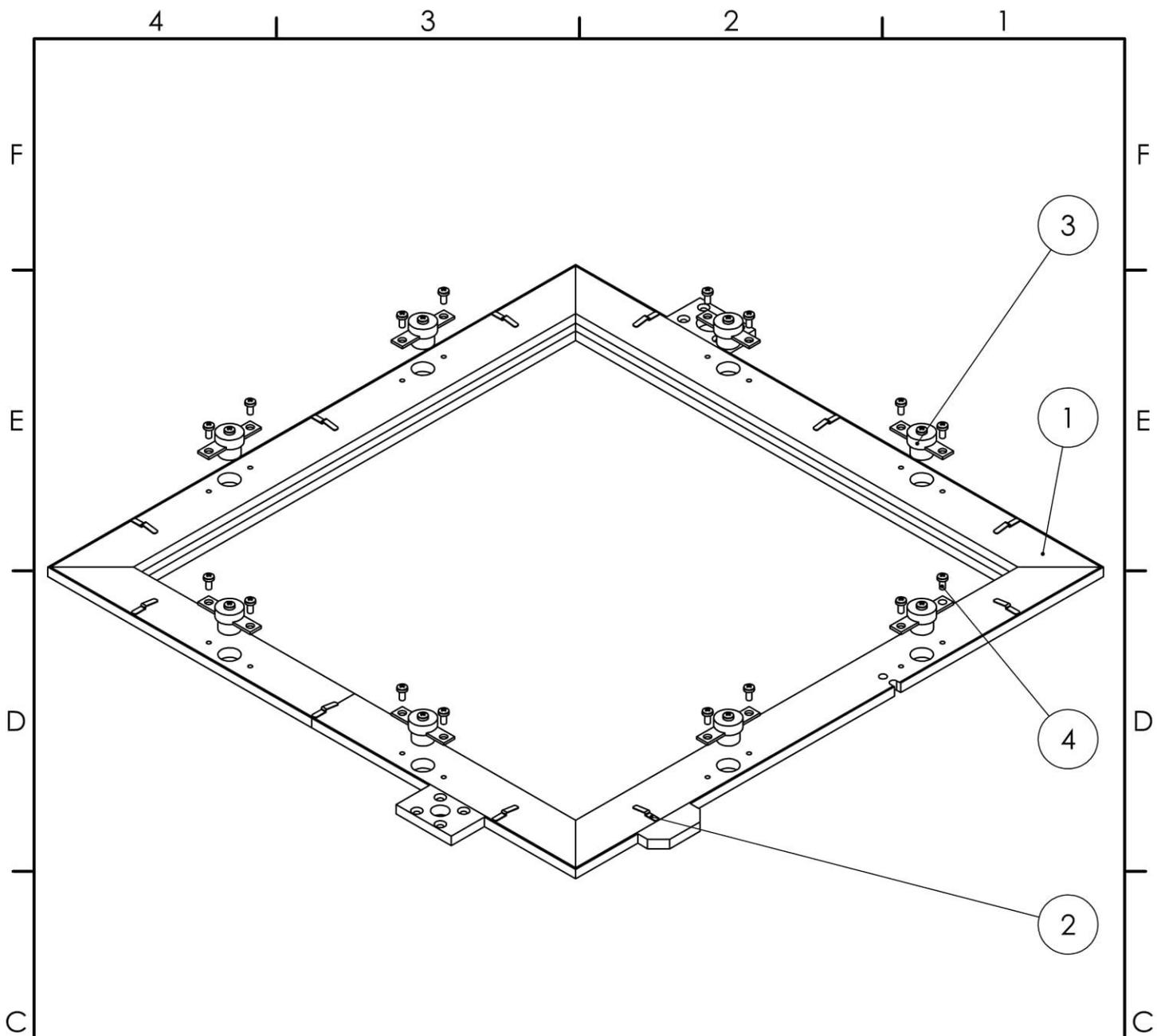
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	KHG1-22	---	2
2	KHG1-44	---	1
3	Pilar Sujeción Motor	10.01	3
4	Sujeción Motor Superior	10.02	1
5	Tapa Reductor Superior	10.03	1
6	Motor DC.stp	---	1
7	Tapa Reductor Inferior	10.04	1
8	Pilar Reductor	10.05	4
9	Rodamiento GLG	---	2
10	Husillo	---	1
11	KHG 36	---	1
12	ISO 7046-1 - M5 x 12 - Z - 12N	---	4
13	ISO 7045 - M5 x 12 - Z - 12N	---	4
14	ISO 7045 - M3 x 8 - Z - 8N	---	10
15	ISO - 4036 - M3 - N	---	4
16	Tuerca FEM-E-B	---	1

Material ---	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:5	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A3	Estado del documento: Editado
		Título del documento: Subconjunto Motoreductor	Número del documento: 10.00	
		Rev.: -	Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES
			Hoja: ---	



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Soporte Lateral Resistencias	11.01	2
2	Soporte Resistencias	11.02	2
3	Resistencia	---	5
4	Tapa Caja	11.03	1
5	Tapa Caja Superior	11.04	1
6	Pared Caja	11.05	1
7	Envolvente	11.06	1
8	Rejilla resistencias	---	1
9	ISO - 4032 - M3 - W - N	---	32
10	ISO 7045 - M3 x 8 - Z - 8N	---	33

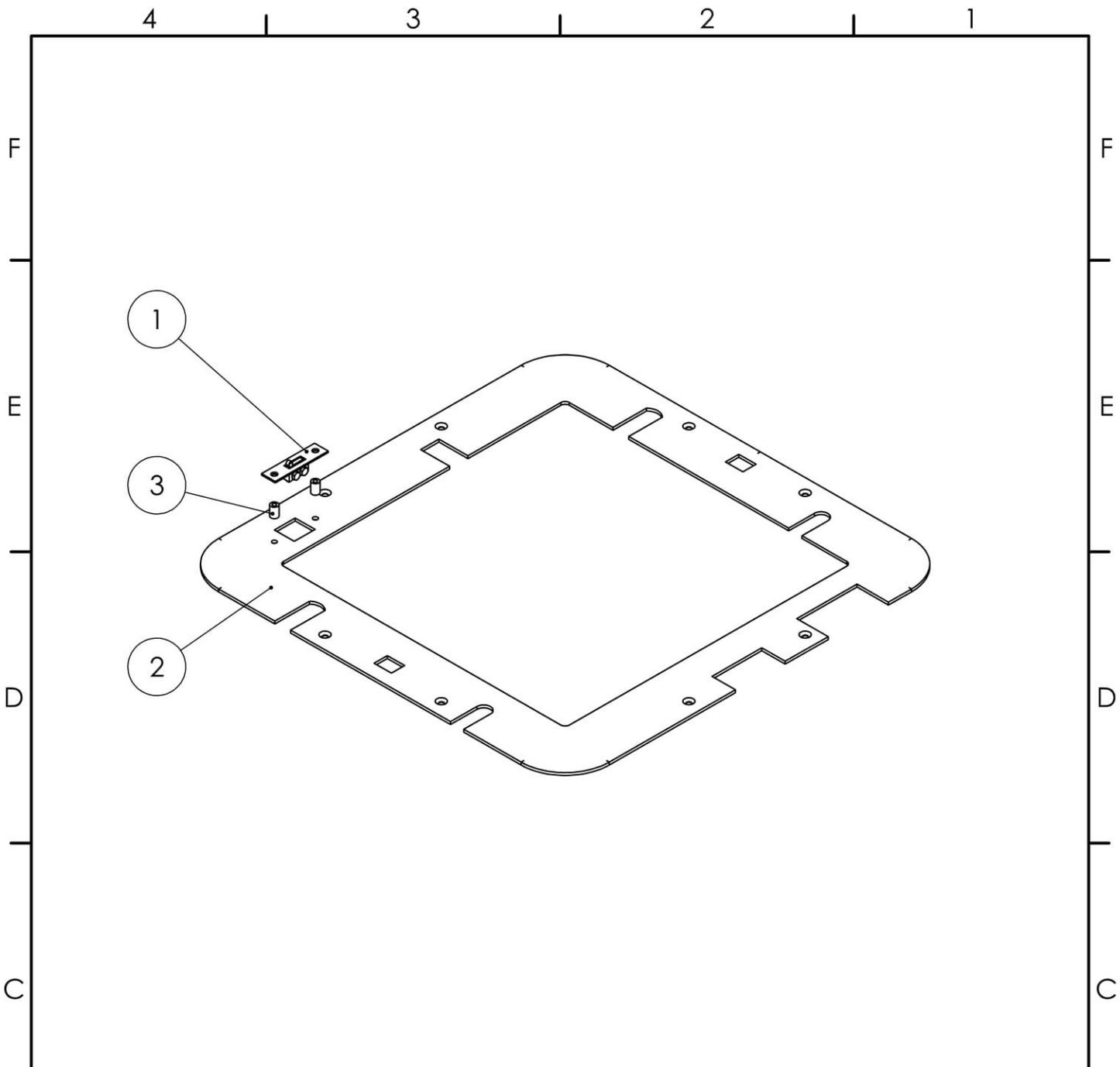
Material ---	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:3	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A3	Estado del documento: Editado
		Título del documento: Suconjunto unidad calefactora.	Número del documento: 11.00	
		Rev.: -	Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES
			Hoja: ---	



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Soporte lámina superior	12.01	1
2	Soporte Cable	12.02	11
3	Subconjunto Electroimán	14.00	8
4	ISO 7045 - M3 x 6 - Z - 6N	---	16

Material	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:3	Met. de Representación:
----------	-----------------------------	---------------------------	----------------	-----------------------------

Propietario Legal: 	Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A4	Estado del documento: Editado	
	Título del documento: Subconjunto soporte superior de lámina.		Número del documento: 12.00	
	Rev.: -	Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES	Hoja: ---



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Subconjunto Final de Carrera	15.00	1
2	Tapa Unidad Superior	13.01	1
3	Casquillos Separadores	---	2

Material	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:5	Met. de Representación:
----------	-----------------------------	---------------------------	----------------	-----------------------------

Propietario Legal: 	Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A4	Estado del documento: Editado	
	Título del documento: Subconjunto Tapa Inferior Pico		Número del documento: 13.00	
	Rev.: -	Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES	Hoja: ---

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

C

B

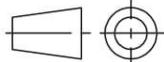
B

A

A



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Guía Secundaria	---	1
2	Sujeción guía	17.01	2

Material	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:5	Met. de Representación: 
----------	-----------------------------	---------------------------	----------------	--

Propietario Legal: 	Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A4	Estado del documento: Editado	
	Título del documento: Subconjunto guía.		Número del documento: 17.00	
	Rev.: -	Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES	Hoja: ---

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

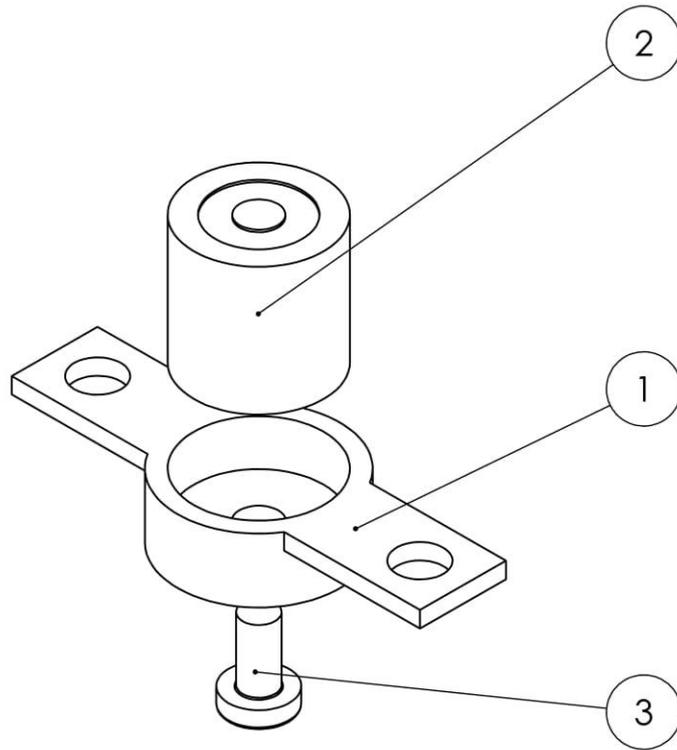
C

B

B

A

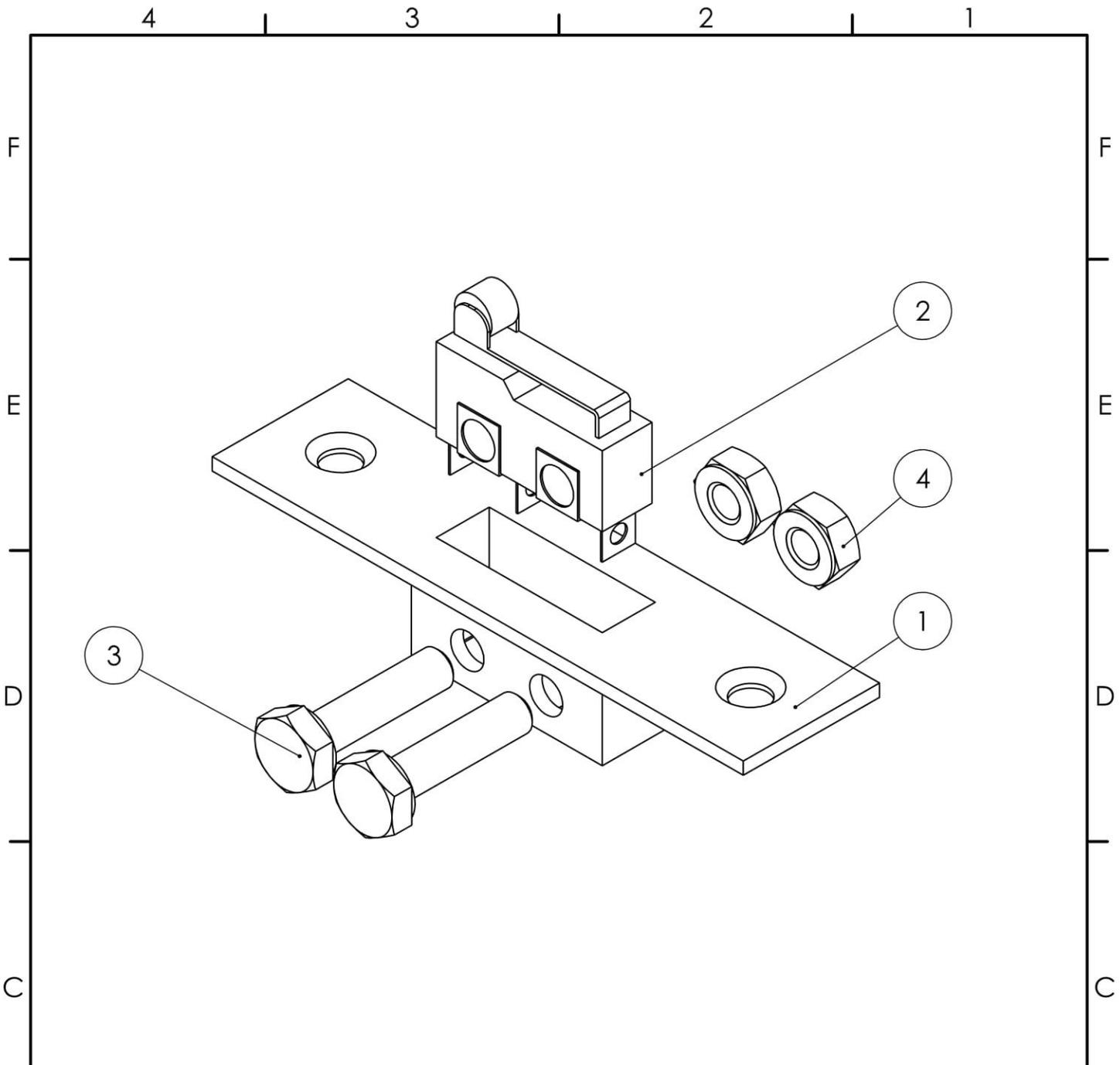
A



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Soporte Electroimán	14.01	1
2	Electroimán	---	1
3	ISO 7045 - M3 x 6 - Z - 6N	---	1

Material	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 2:1	Met. de Representación:
----------	-----------------------------	---------------------------	----------------	-----------------------------

Propietario Legal: 	Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A4	Estado del documento: Editado	
	Título del documento: Subconjunto Electroimán		Número del documento: 14.00	
	Rev.: -	Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES	Hoja: ---

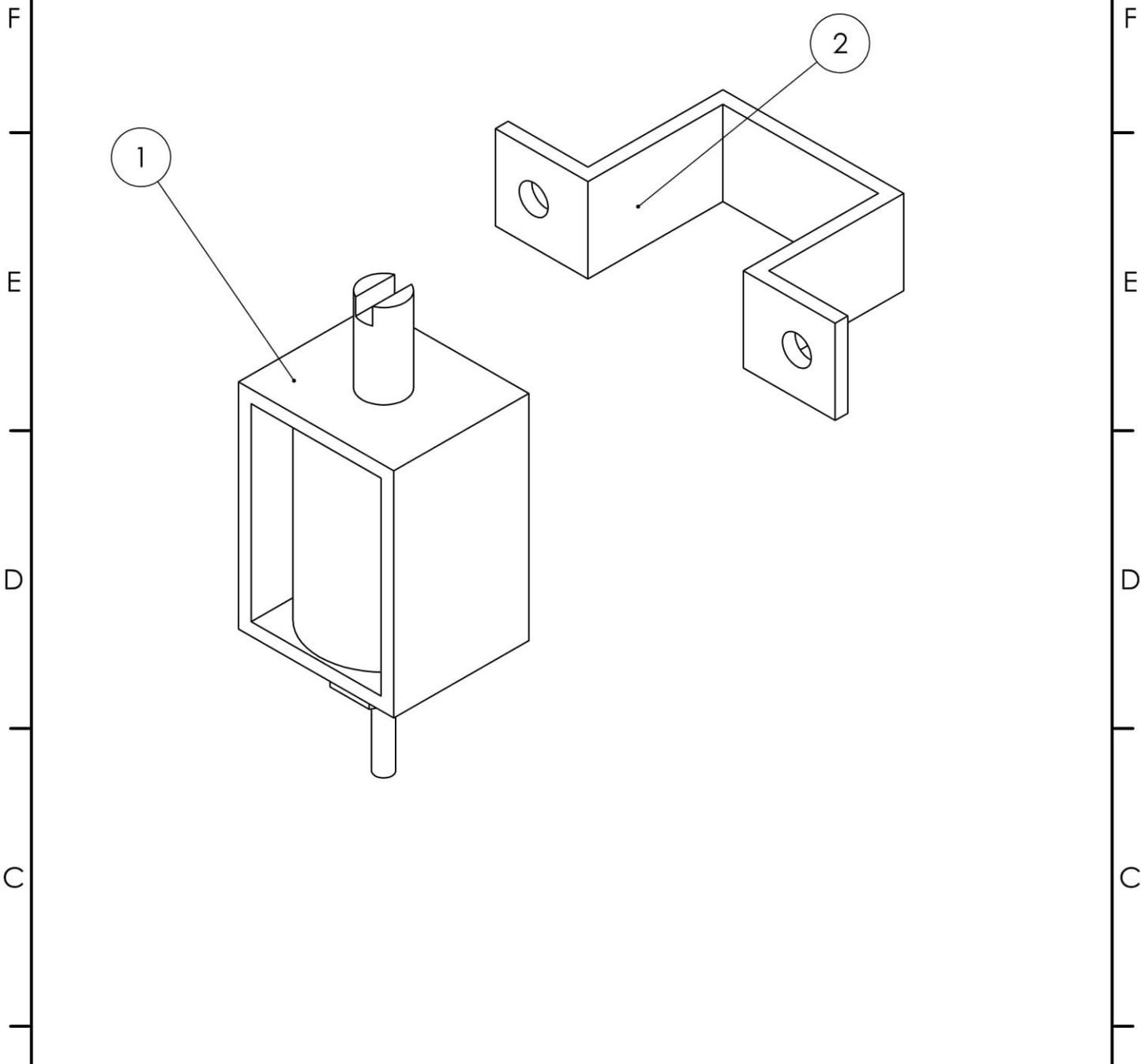


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Soporte Final de Carrera	15.01	1
2	Final de Carrera	---	1
3	ISO 4017 - M4 x 16-N	---	2
4	ISO - 4032 - M4 - W - N	---	2

Material	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 2:1	Met. de Representación:
----------	-----------------------------	---------------------------	----------------	-----------------------------

Propietario Legal: 	Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A4	Estado del documento: Editado	
	Título del documento: Subconjunto final de carrera		Número del documento: 15.00	
	Rev.: -	Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES	Hoja: ---

4 3 2 1

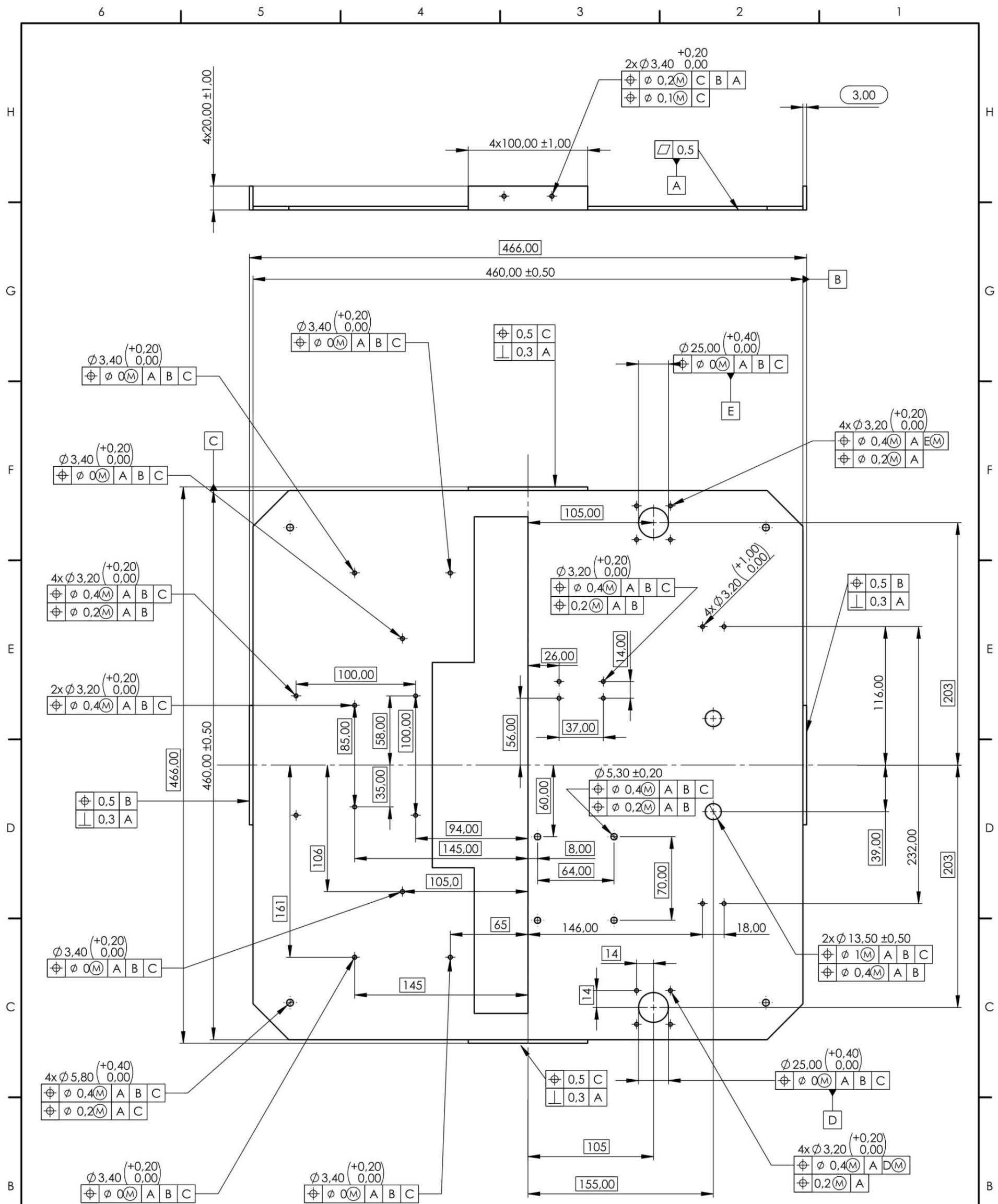


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	SM2 Farnell	---	1
2	Sujeción Solenoide	16.01	1

Material	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 2:1	Met. de Representación:
----------	-----------------------------	---------------------------	----------------	-----------------------------

Propietario Legal: 	Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A4	Estado del documento: Editado	
	Título del documento: Subconjunto solenoide		Número del documento: 16.00	
	Rev.: -	Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES	Hoja: ---

4 3 2 1

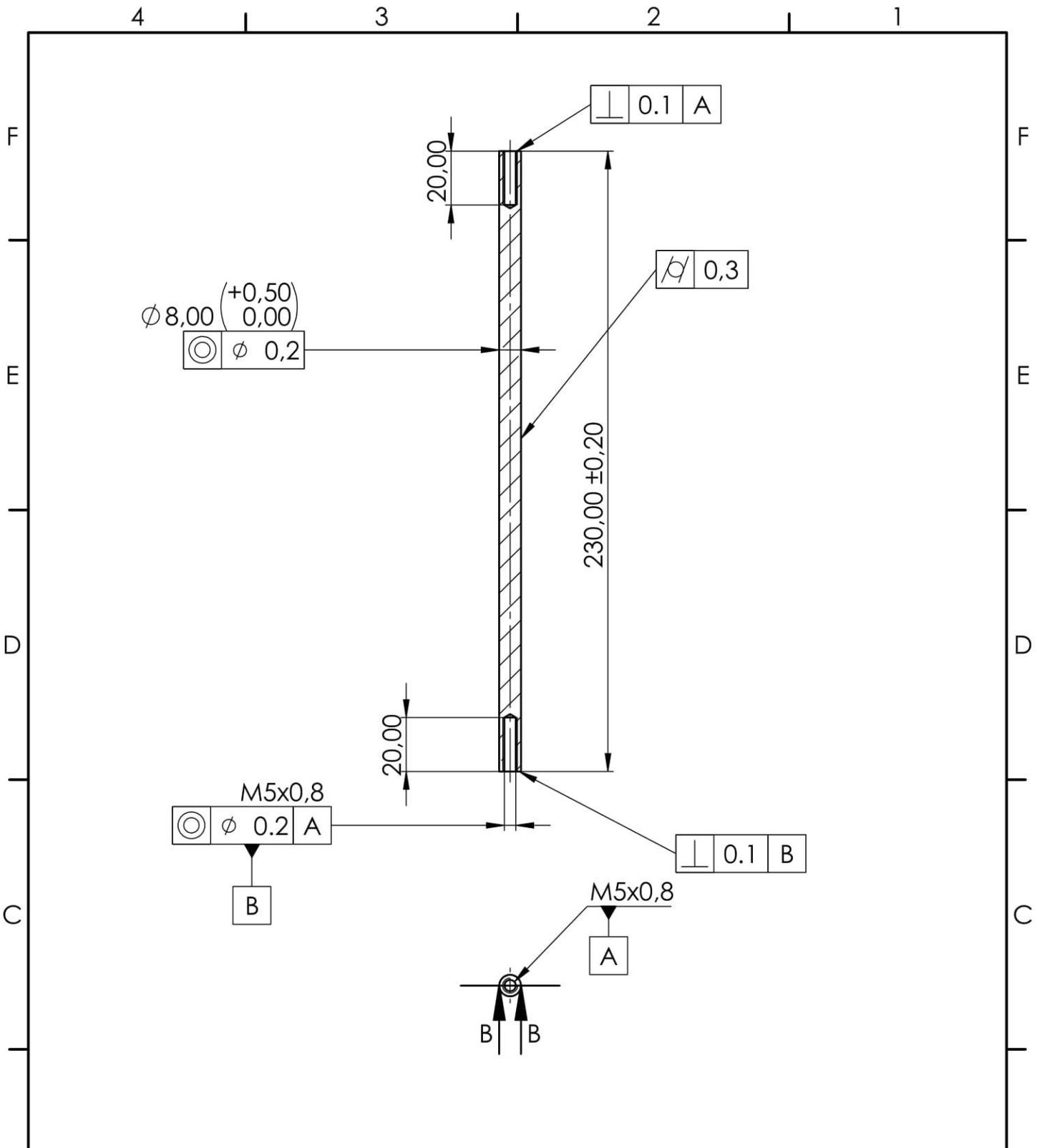


Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

Todos los taladros son pasantes.

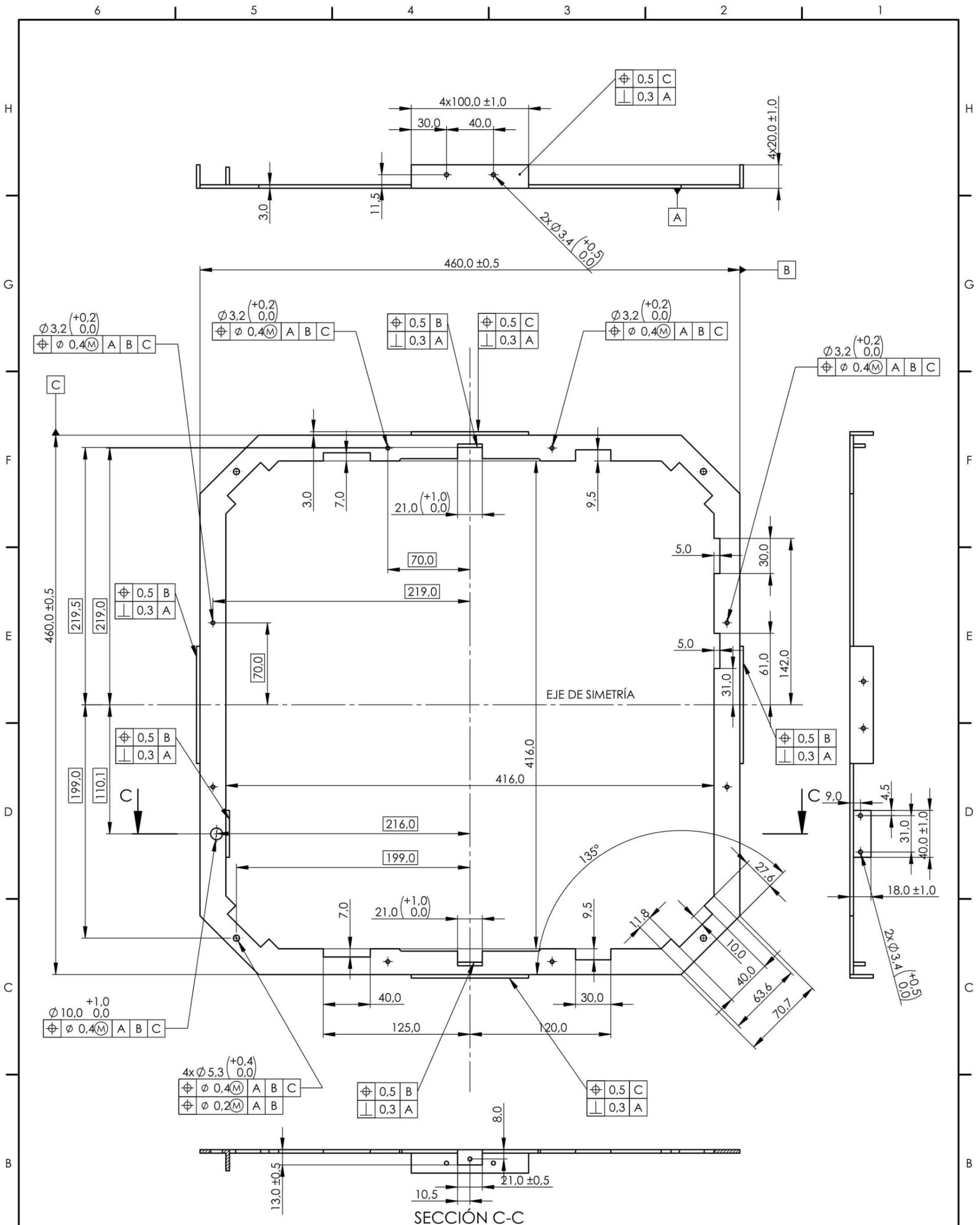
Espesor de chapa: 3 (mm)

Material AISI 4340	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:3	Met. de Representación:
Propietario Legal:		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A3	Estado del documento: Editado
		Título del documento: Chapa Base Inferior		Número del documento: 01.01
		Rev.: -	Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES



Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

Material AISI 1010	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:2	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A4	Estado del documento: Editado
		Título del documento: Pilar Base	Número del documento: 01.02	
		Rev.:	Fecha de edición:	Idioma:
		-	02/09/2019	ES
		Hoja:		---



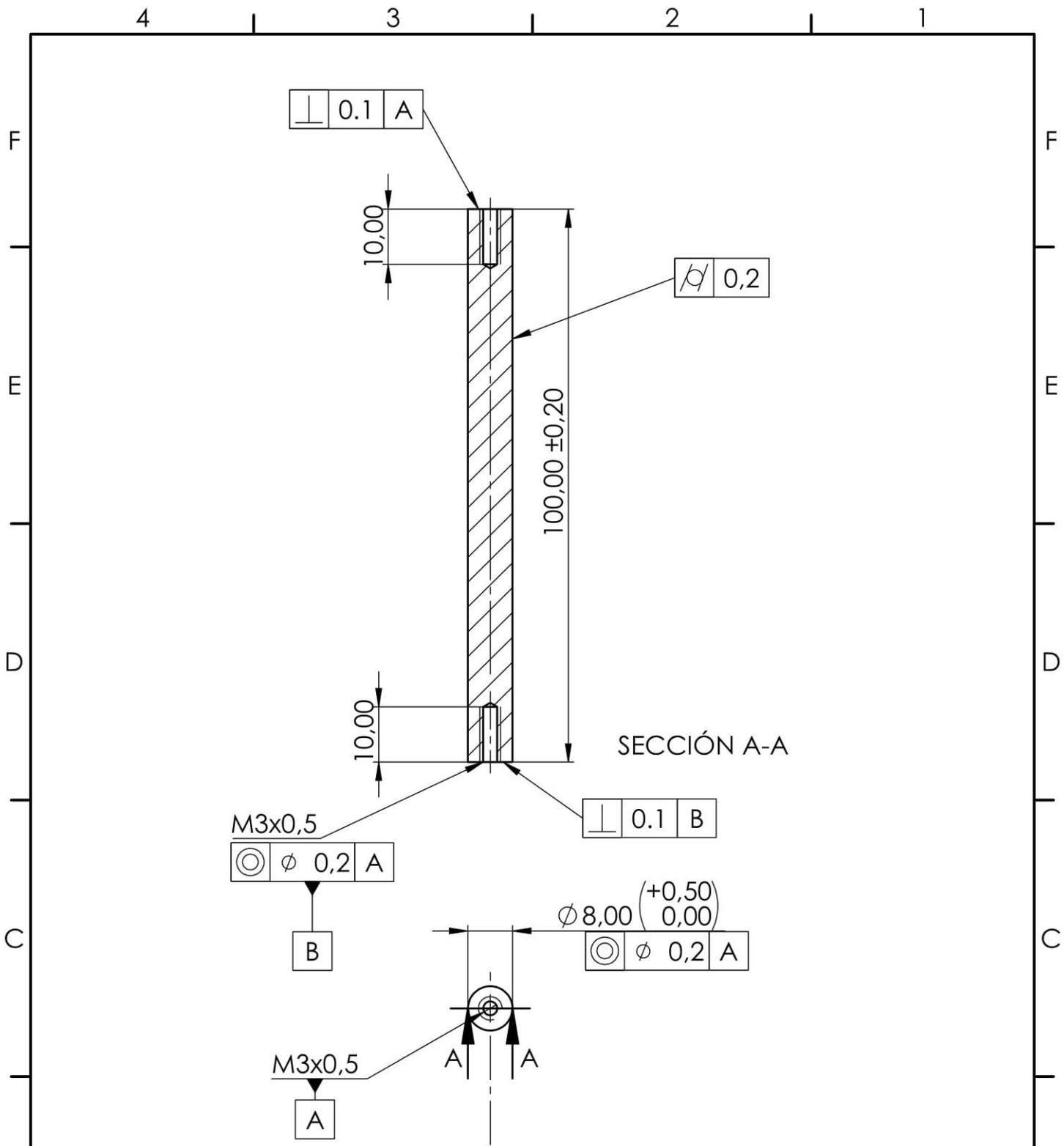
SECCIÓN C-C

Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

Todos los taladros son pasantes.

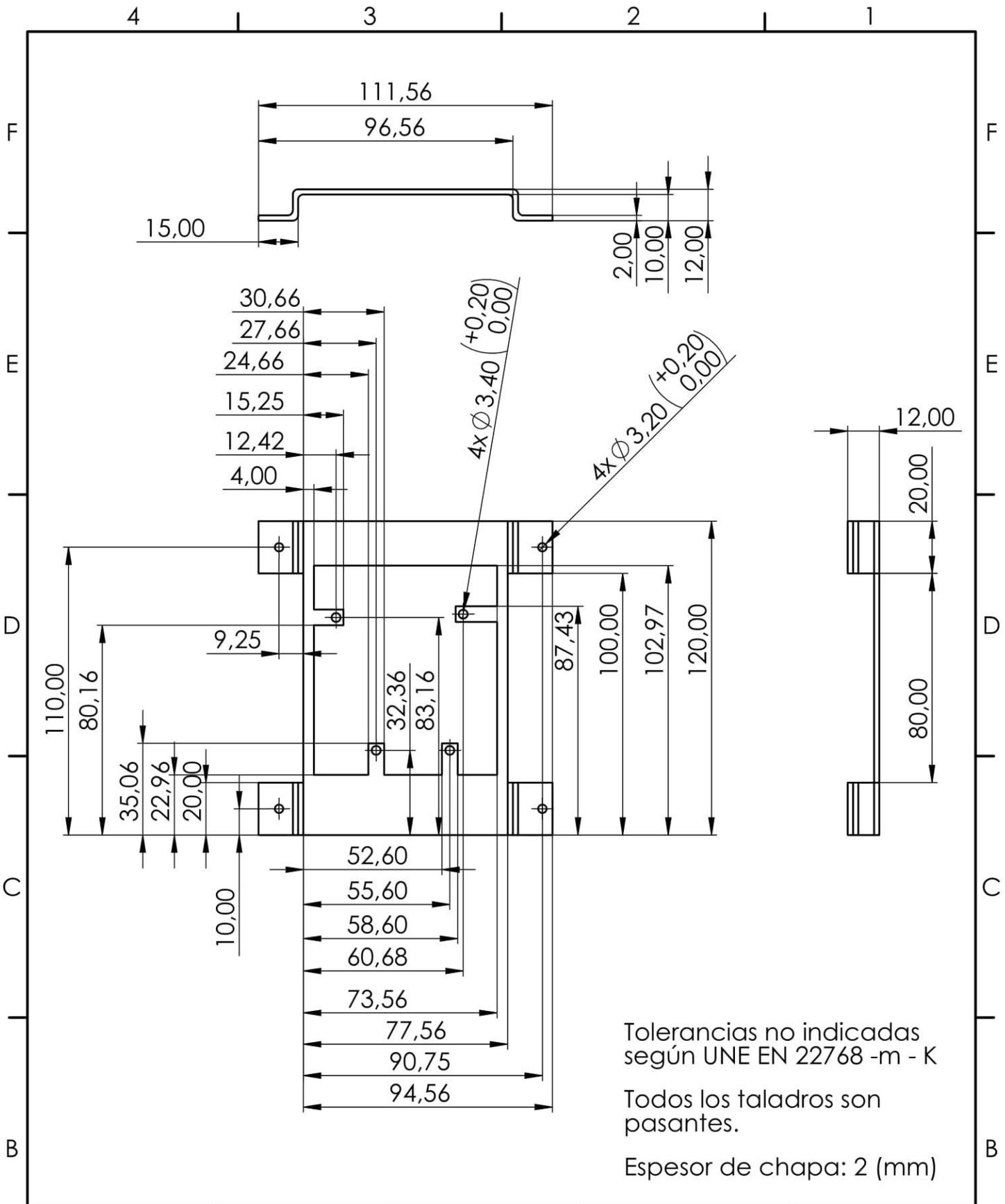
Espesor de chapa: 3 (mm)

Material AISI 4340	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:3	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A3	Estado del documento: Editado
Título del documento: Chapa Base Superior		Número del documento: 01.03		
		Rev.: -	Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES
				Hoja: ---



Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

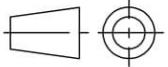
Material AISI 1010	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:1	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A4	Estado del documento: Editado
		Título del documento: Pilar Arduino	Número del documento: 01.08	
		Rev.: -	Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES
				Hoja: ---

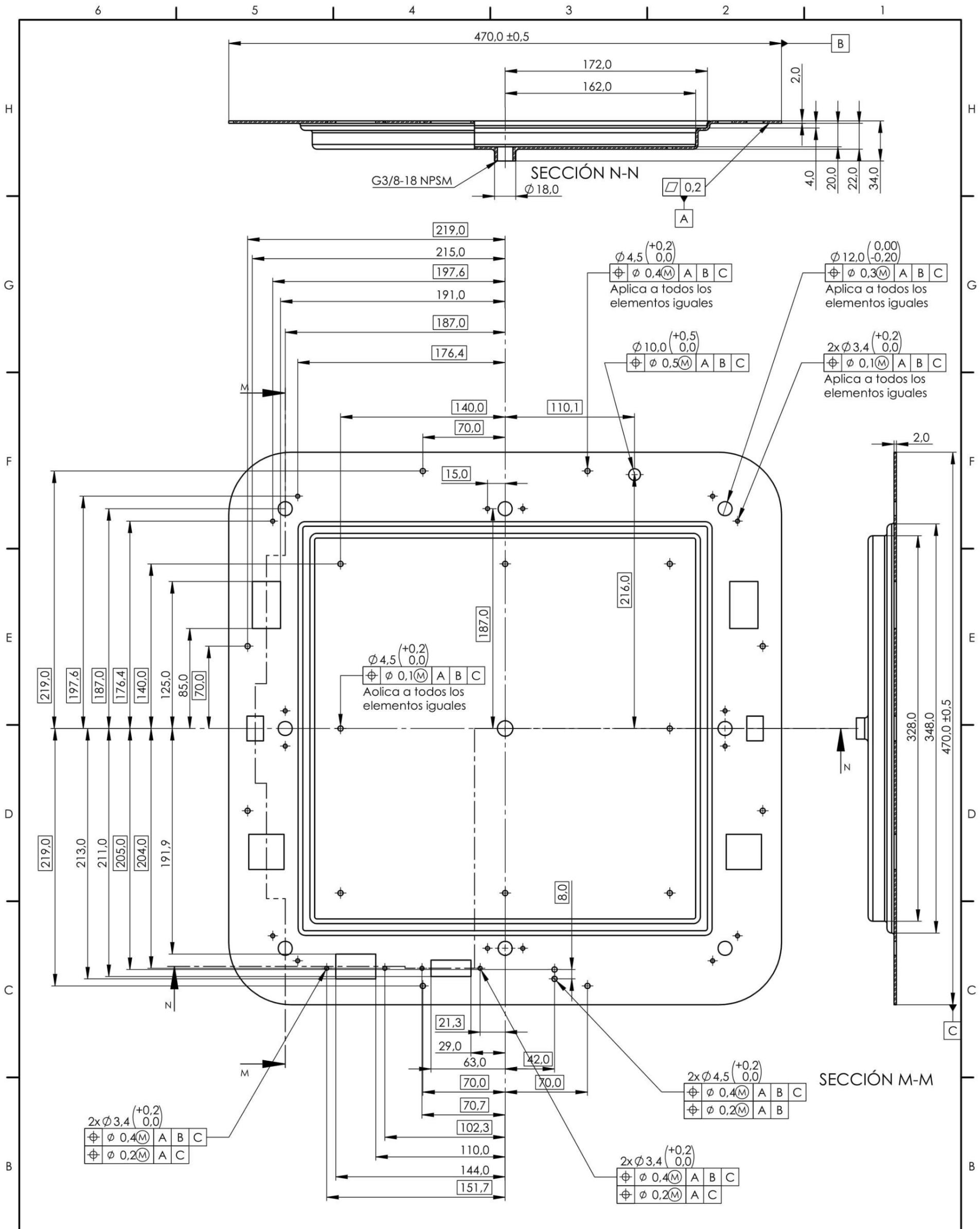


Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

Todos los taladros son pasantes.

Espesor de chapa: 2 (mm)

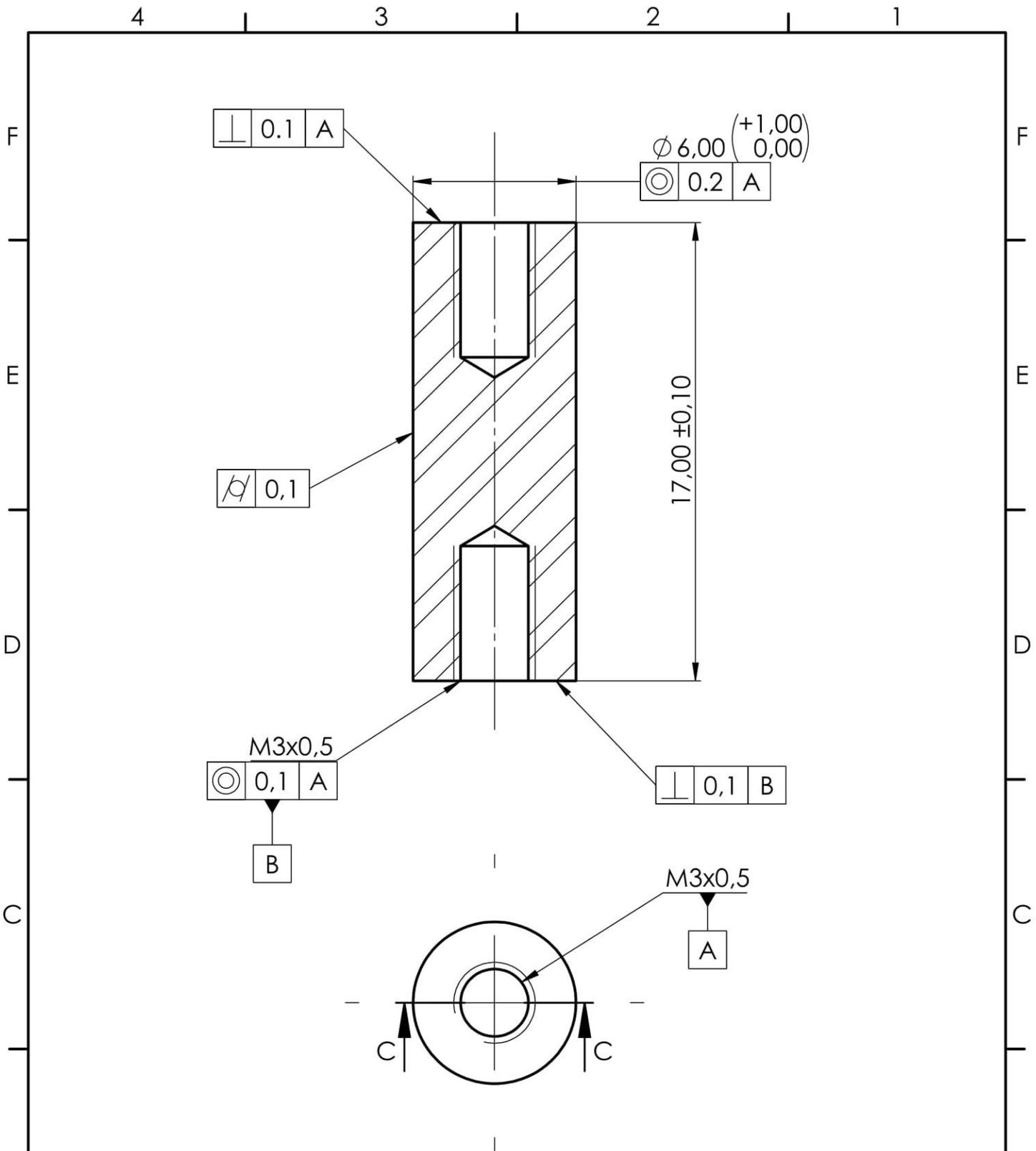
Material AISI 4340	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:2	Met. de Representación: 
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A4	Estado del documento: Editado
		Título del documento: Soporte Arduino	Número del documento: 01.09	
		Rev.: -	Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES
				Hoja: ---



Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

Todos los taladros y otros elementos rectangulares son pasantes.

Material AISI 4340	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:3	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A3	Estado del documento: Editado
Depósito		Número del documento: 02.01		
		Rev.: -	Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES
				Hoja: ---



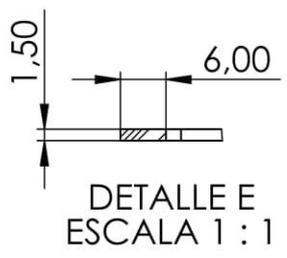
Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

Material AISI 1010	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 5:1	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A4	Estado del documento: Editado
		Título del documento: Pilar depósito	Número del documento: 02.02	
		Rev.:	Fecha de edición:	Idioma:
		-	02/09/2019	ES
		Hoja:		---

4 3 2 1

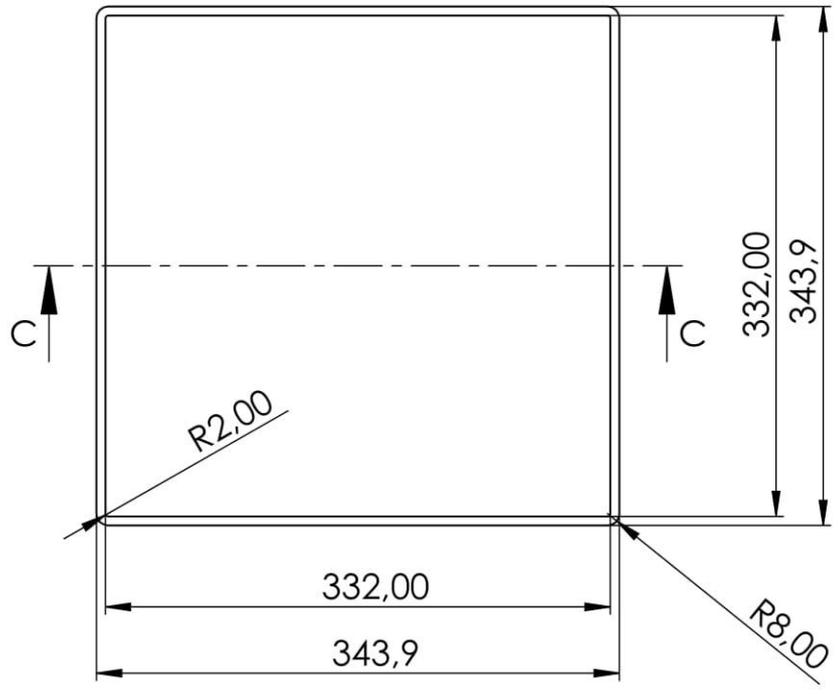
F

F



E

E



D

D

C

C

B

B

Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

A

A

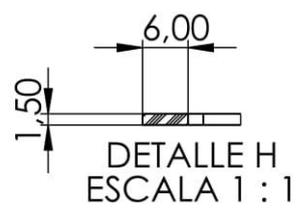
Material EPDM	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:5	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A4	Estado del documento: Editado
		Título del documento: Junta A	Número del documento: 02.03	
		Rev.: -	Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES
				Hoja: ---

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

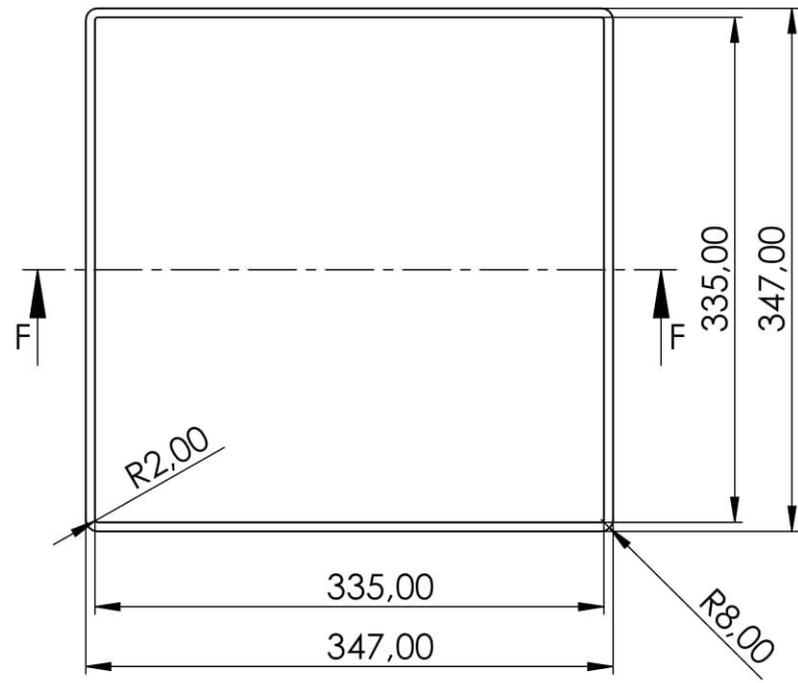


E

E

D

D



C

C

B

B

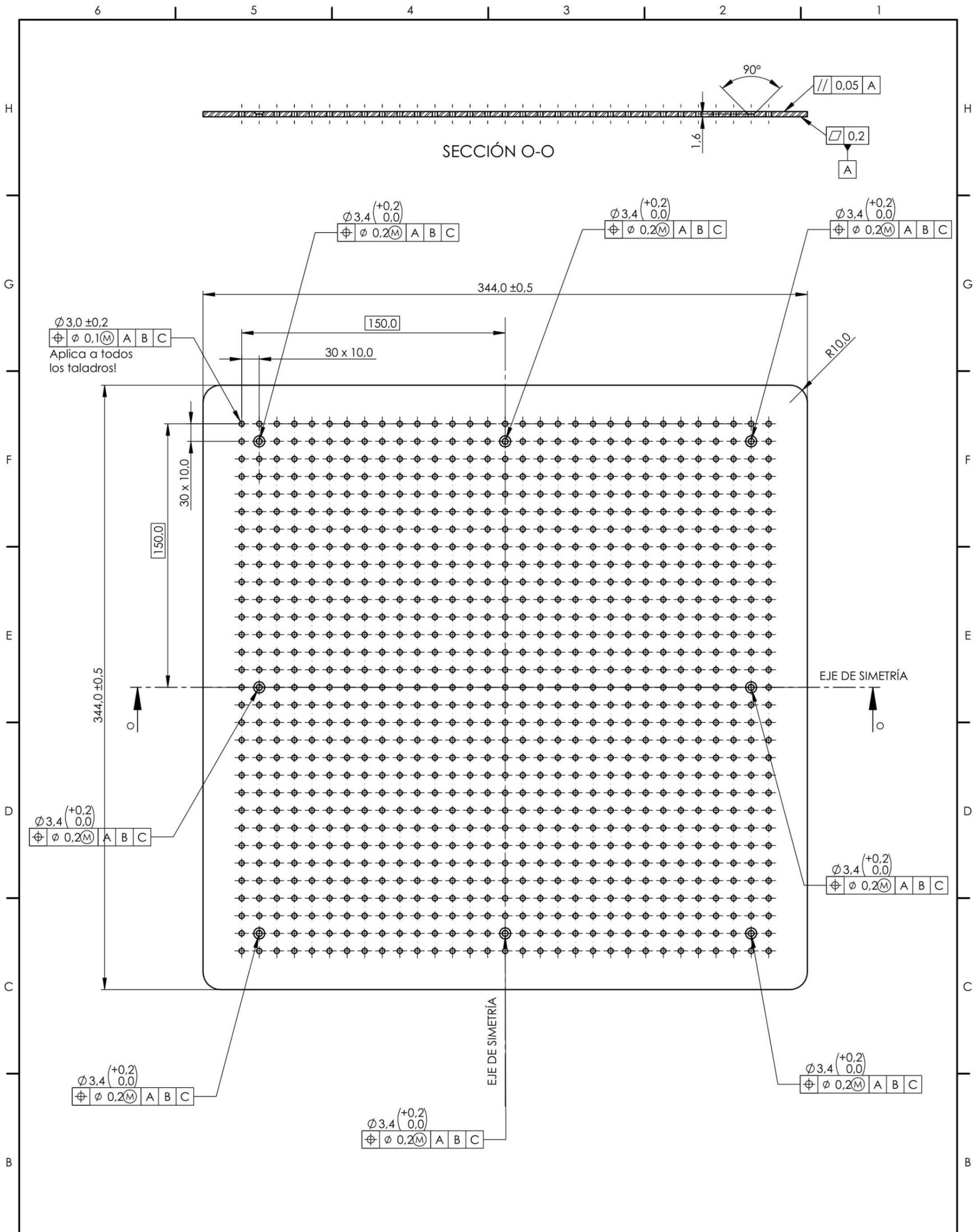
Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

A

A

Material EPDM	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:5	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A4	Estado del documento: Editado
		Título del documento: Junta B	Número del documento: 02.05	
		Rev.: -	Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES
				Hoja: ---

4 3 2 1

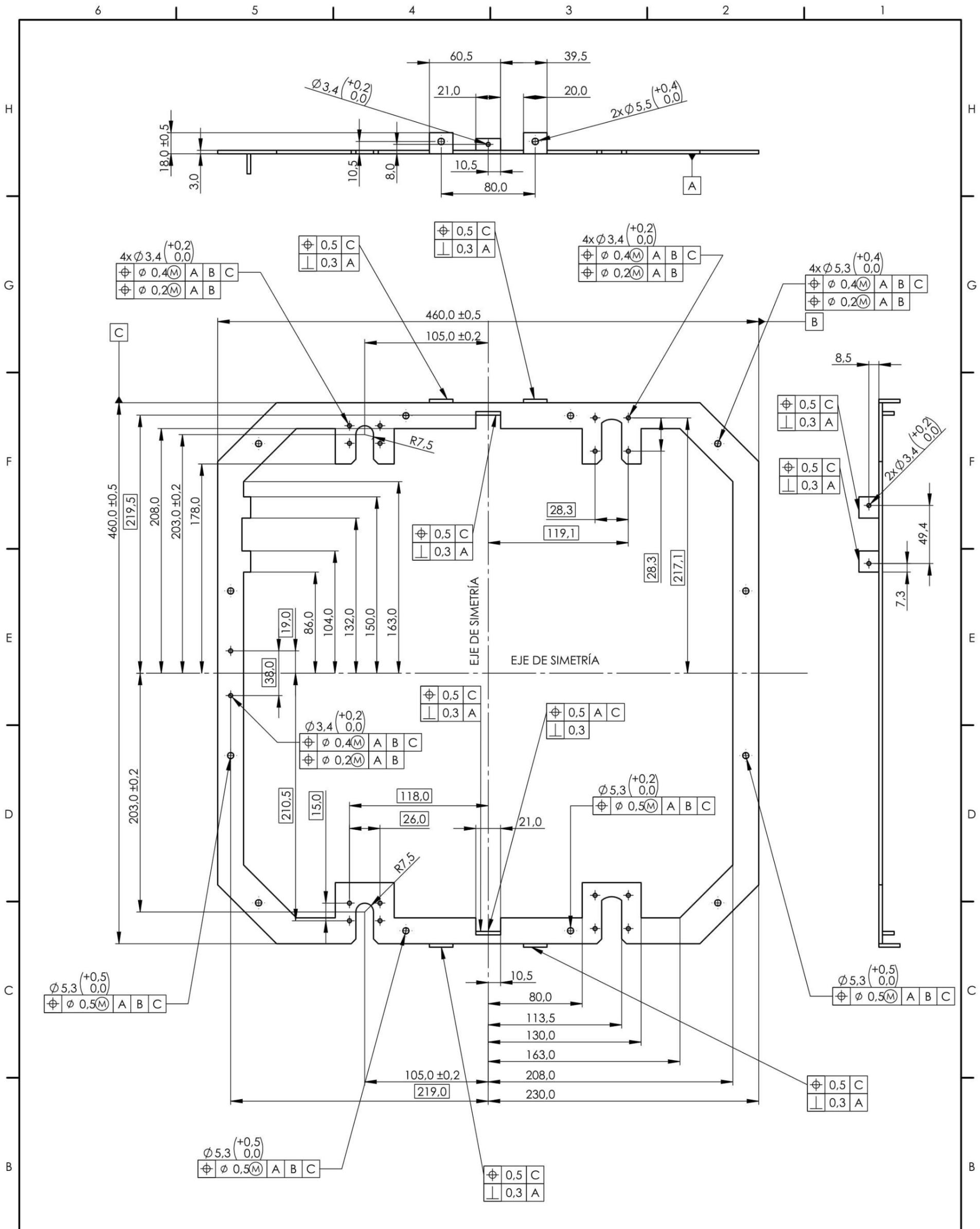


Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

Todos los taladros son pasantes.

Todos los taladros avellanados son para tornillos M3 ISO 7046 de cabeza avellanada

Material AISI 4340	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:2	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A3	Estado del documento: Editado
Título del documento: Lámina perforada		Número del documento: 02.04		
		Rev.: -	Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES
				Hoja: ---

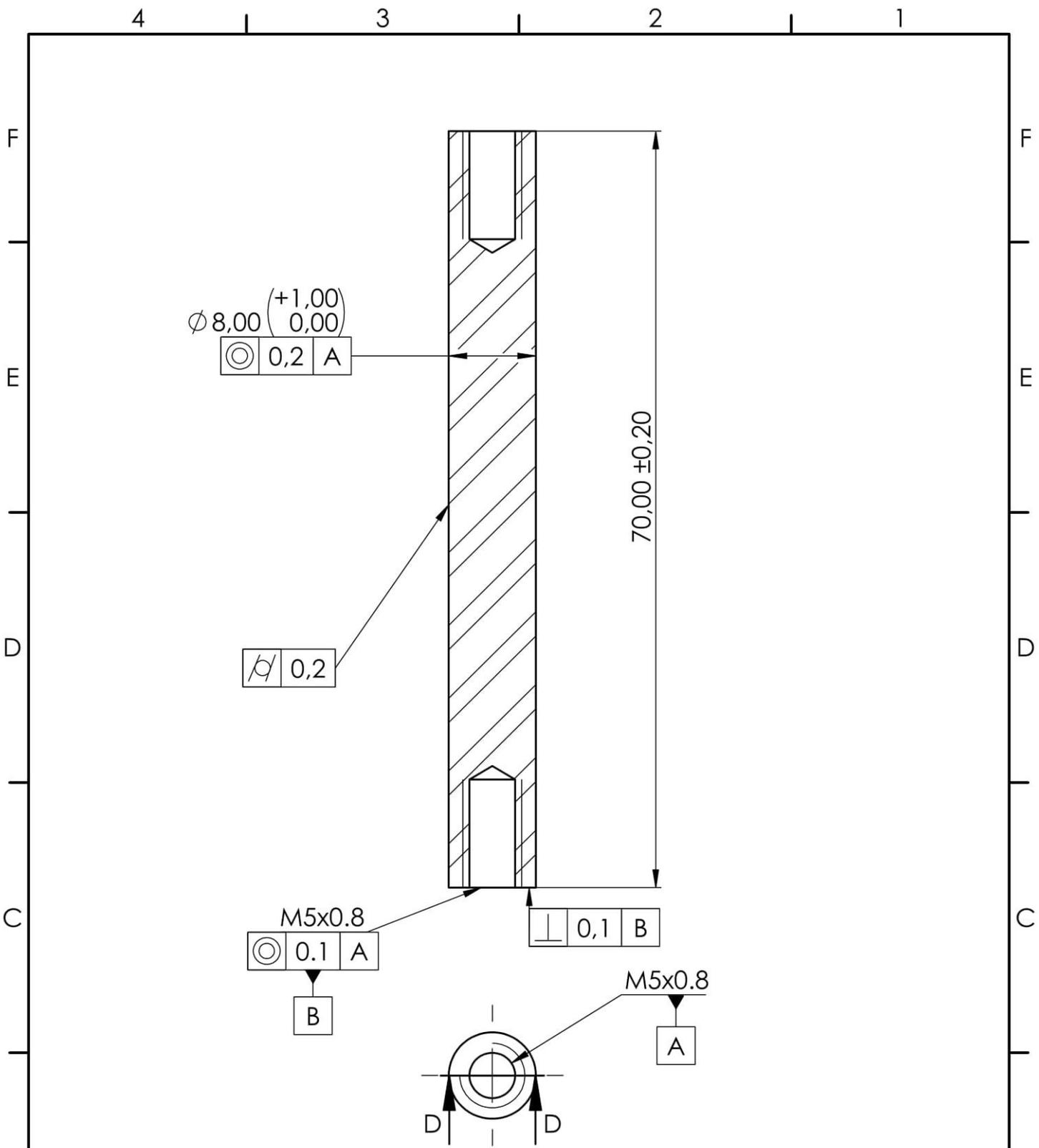


Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

Todos los taladros son pasantes.

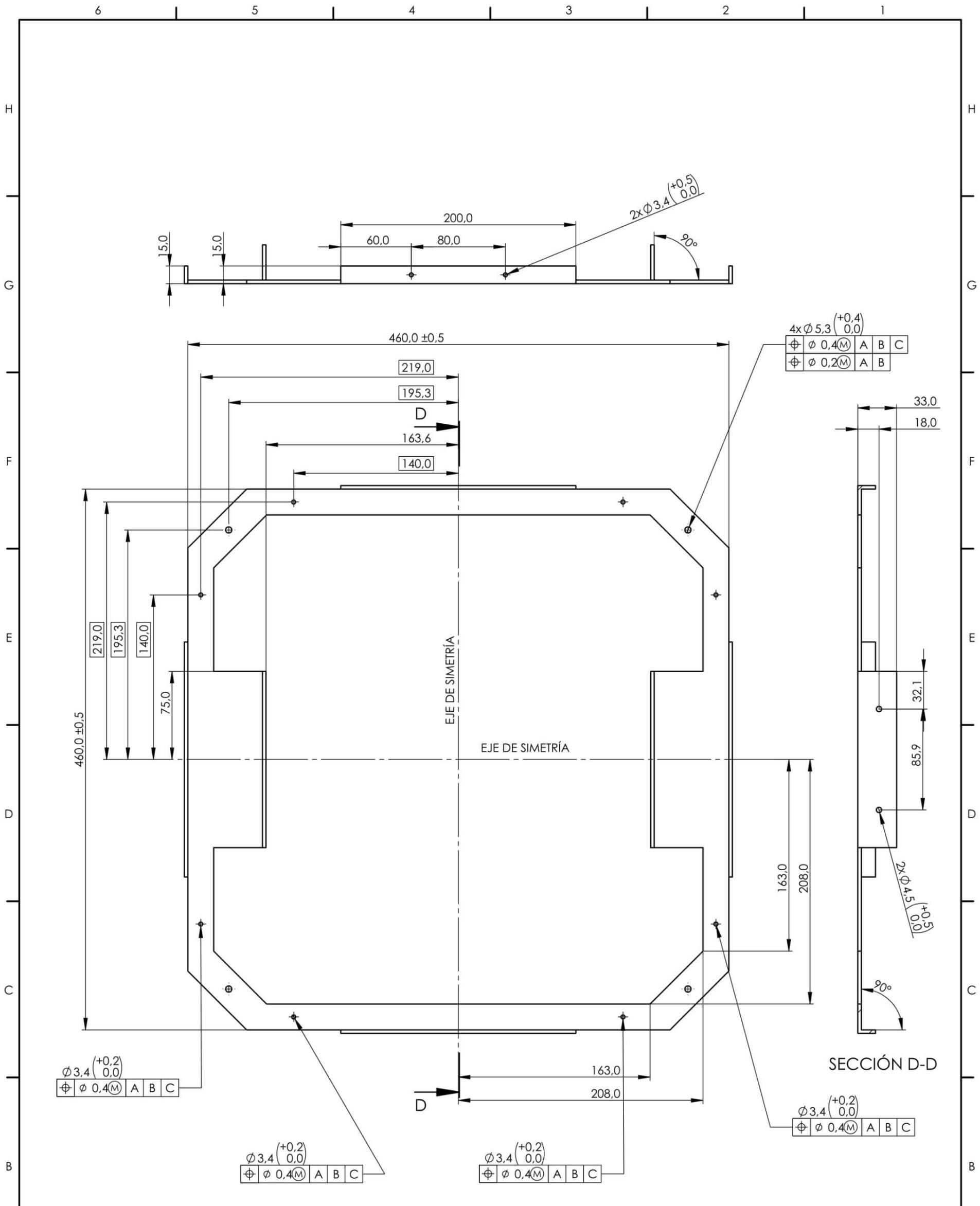
Espesor de chapa: 3 (mm)

Material AISI 4340	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:3	Met. de Representación:
Propietario Legal:		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A3	Estado del documento: Editado
		Título del documento: Chapa Pico Inferior		Número del documento: 03.01
		Rev.: -	Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES



Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

Material AISI 1010	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 2:1	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A4	Estado del documento: Editado
		Título del documento: Pilar Pico	Número del documento: 03.02	
		Rev.: -	Fecha de edición: 03/09/2019	Idioma: ES
				Hoja: ---

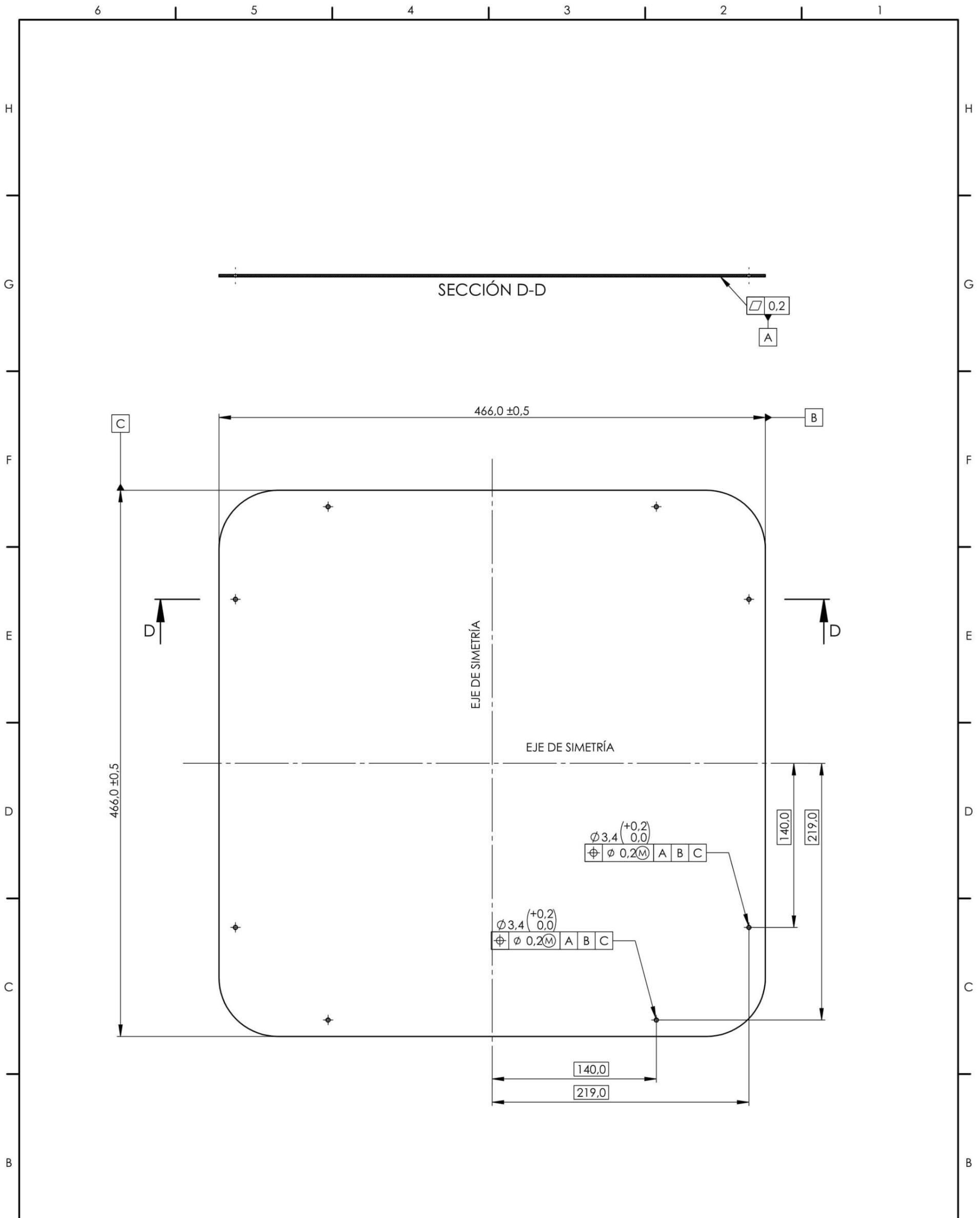


Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

Todos los taladros son pasantes.

Espeor de chapa: 3 (mm)

Material AISI 4340	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:3	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A3	Estado del documento: Editado
Título del documento: Chapa Pico Superior		Número del documento: 03.03		
Rev.: -		Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES	Hoja: ---

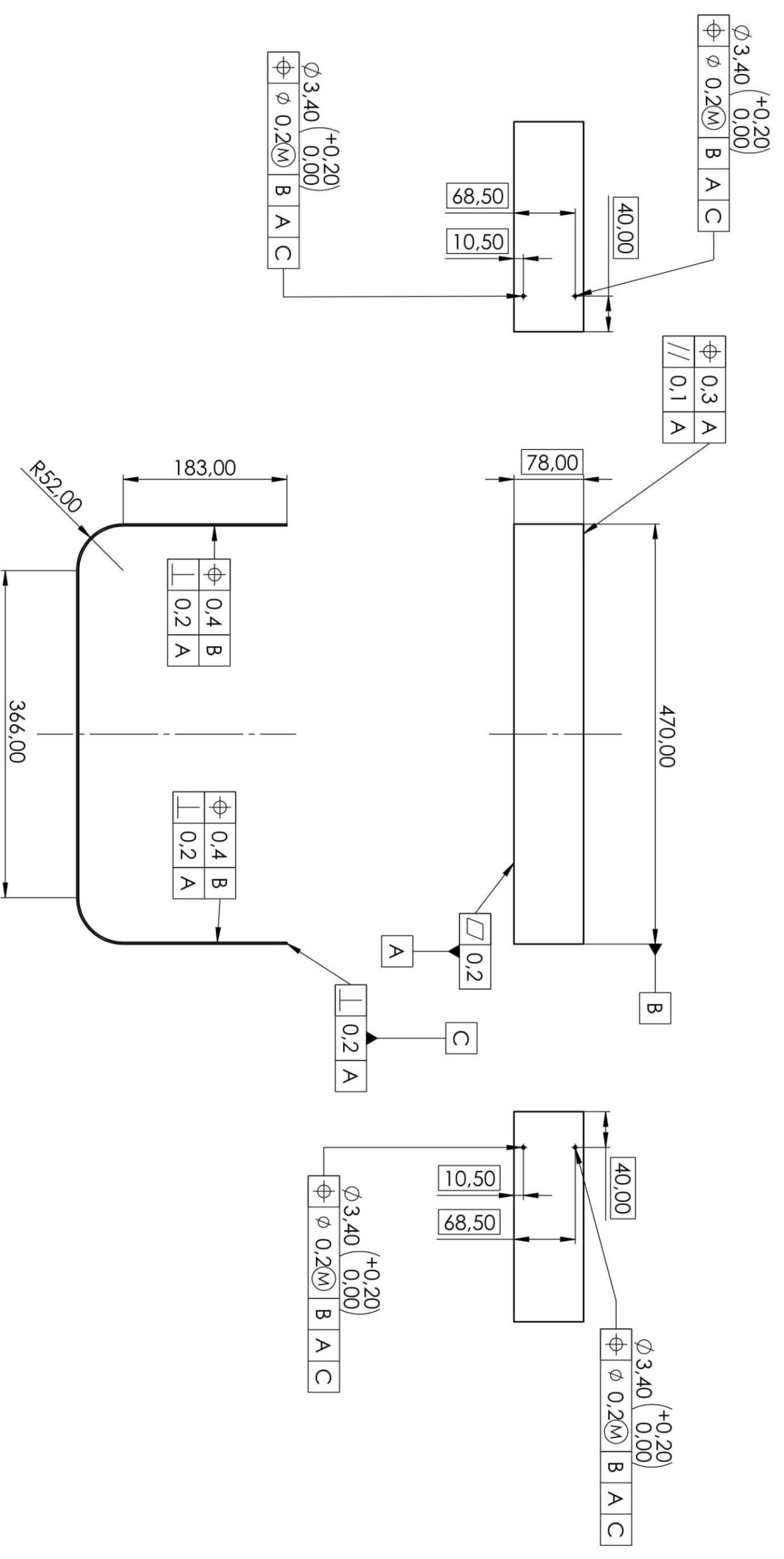


Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

Todos los taladros son pasantes.

Espesor: $2 \pm 0,1$

Material ABS	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:3	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A3	Estado del documento: Editado
Título del documento: Tapa Superior		Número del documento: 04.01		
		Rev.: -	Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES
				Hoja: ---

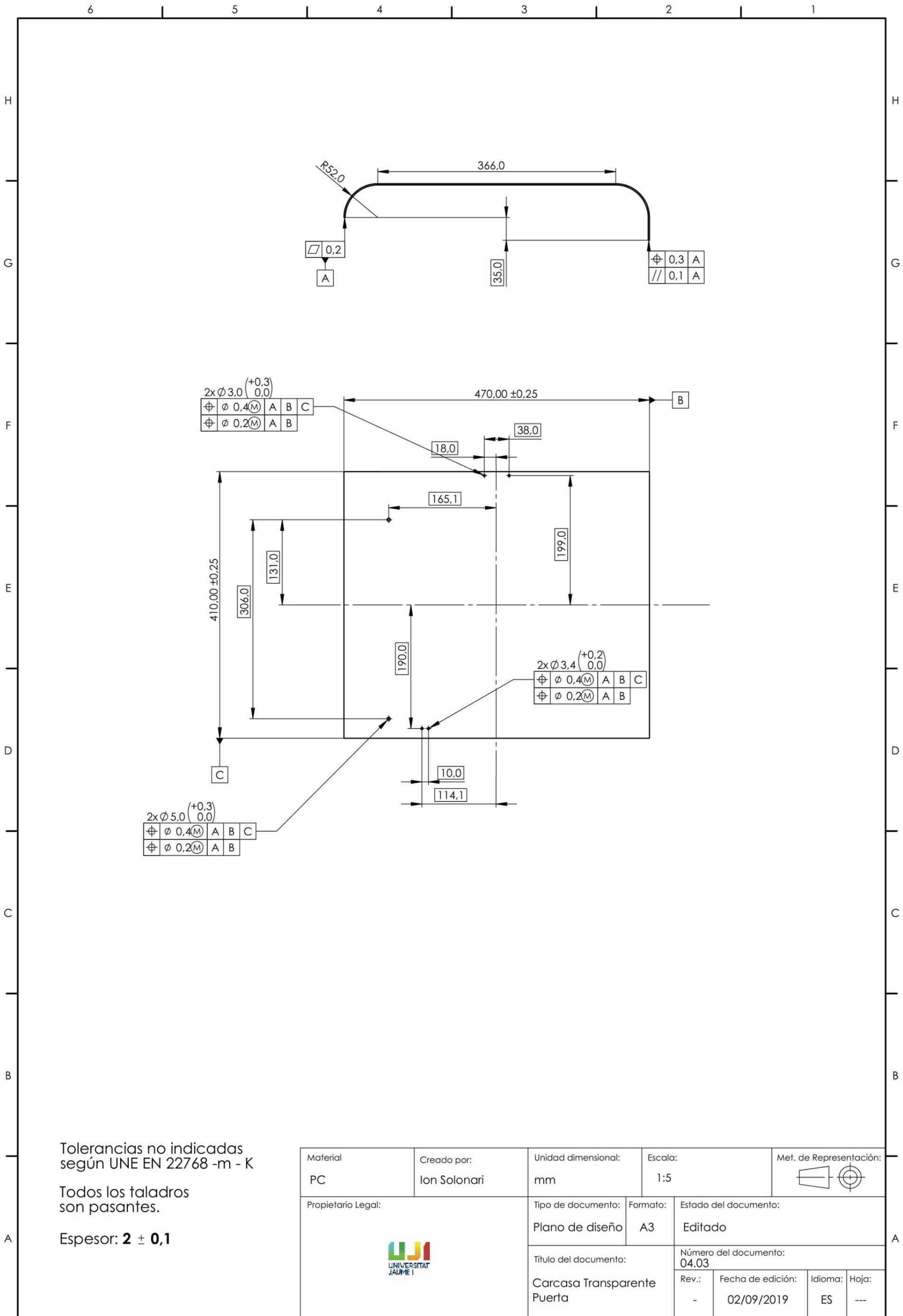


Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

Todos los taladros son pasantes.

ESPESOR: 2 ± 0,1

Material	ABS	Creado por:	Ion Solonari	Unidad dimensional:	mm	Escala:	1:5	Met. de Representación:				
Propietario Legal:				Tipo de documento:	Plano de diseño	Formato:	A3	Estado del documento:	Editado			
				Título del documento:	Carcasa Superior	Número del documento:	04.02	Rev.:	-	Fecha de edición:	02/09/2019	Idioma:

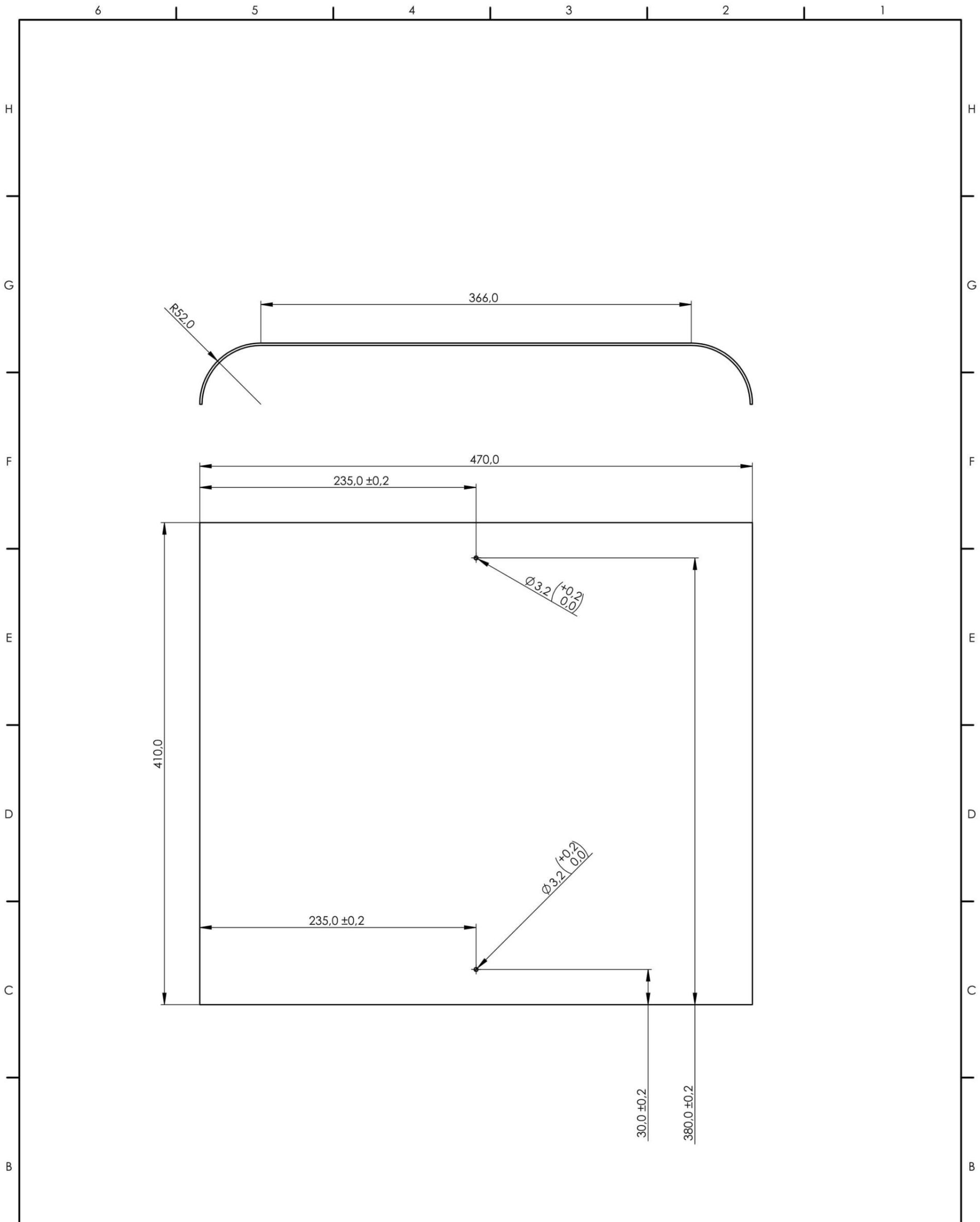


Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

Todos los taladros son pasantes.

Espesor: $2 \pm 0,1$

Material PC	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:5	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A3	Estado del documento: Editado
		Título del documento: Carcasa Transparente Puerta	Número del documento: 04.03	
		Rev.: -	Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES
				Hoja: ---

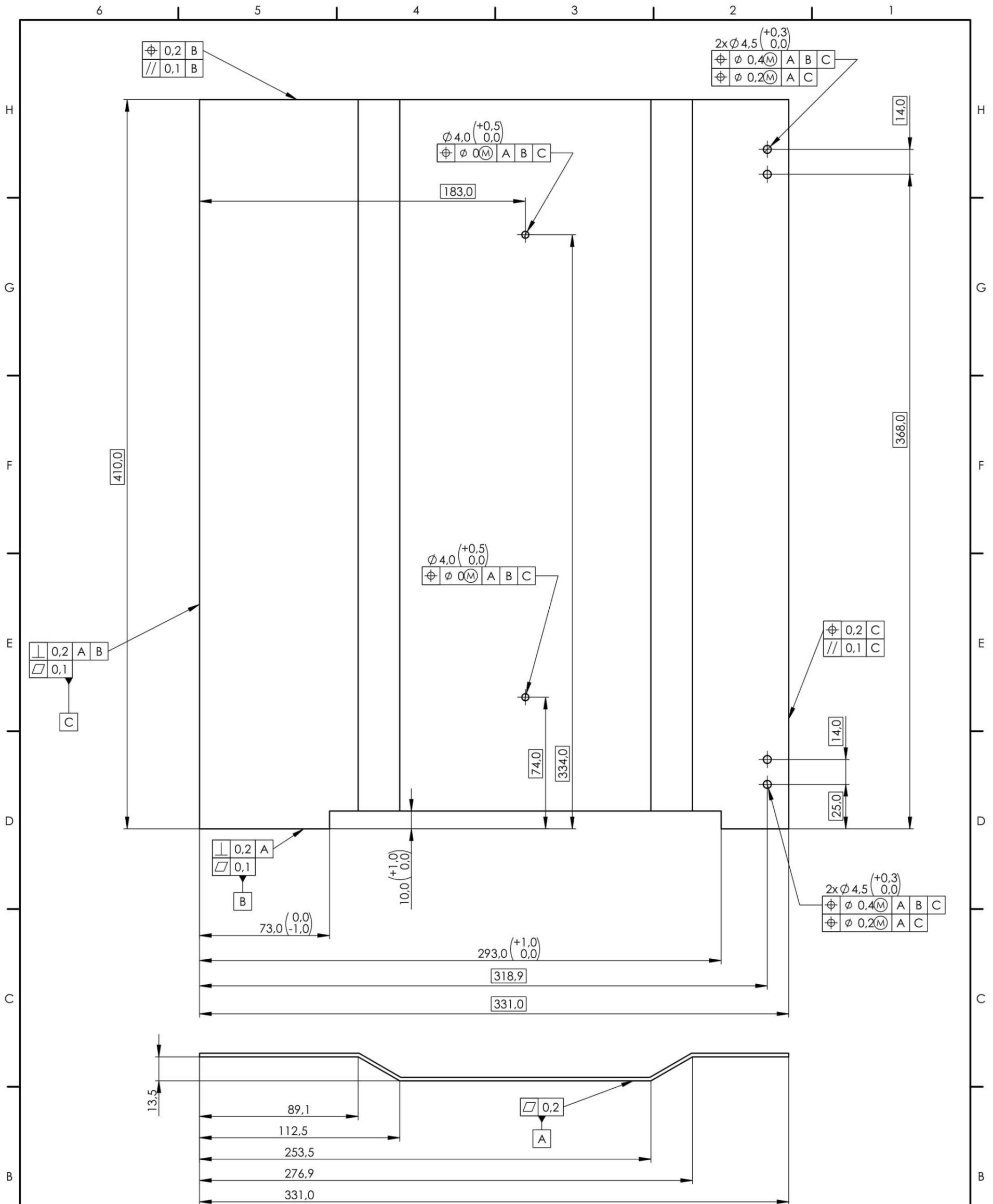


Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

Todos los taladros son pasantes.

Espesor: $2 \pm 0,1$

Material PC	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:3	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A3	Estado del documento: Editado
		Título del documento: Carcasa Transparente Trasera	Número del documento: 04.04	
		Rev.:	Fecha de edición:	Idioma:
		-	02/09/2019	ES
		Hoja:	---	

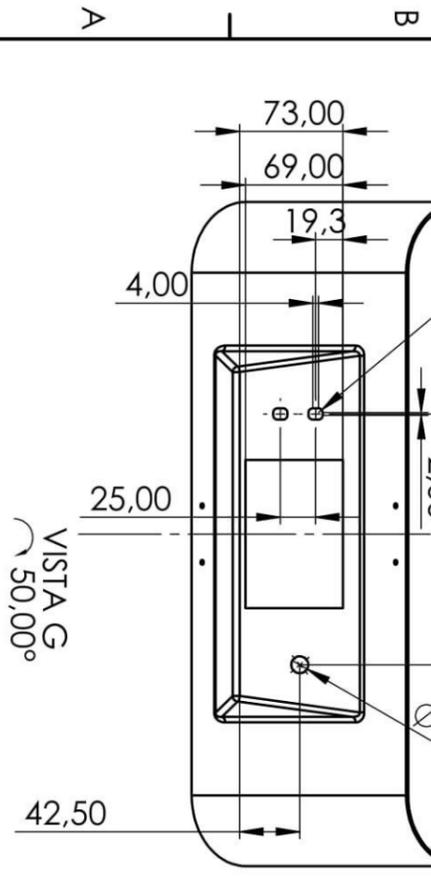
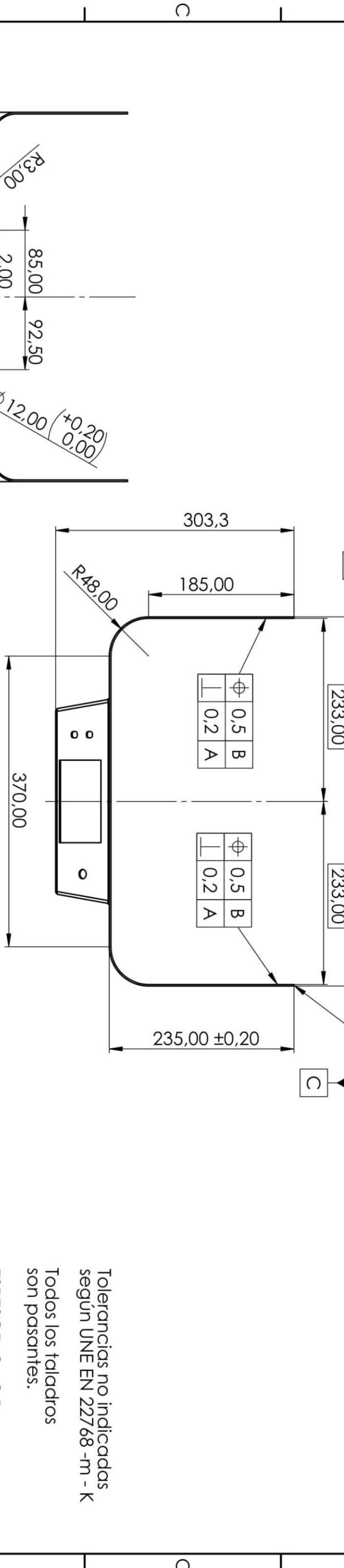
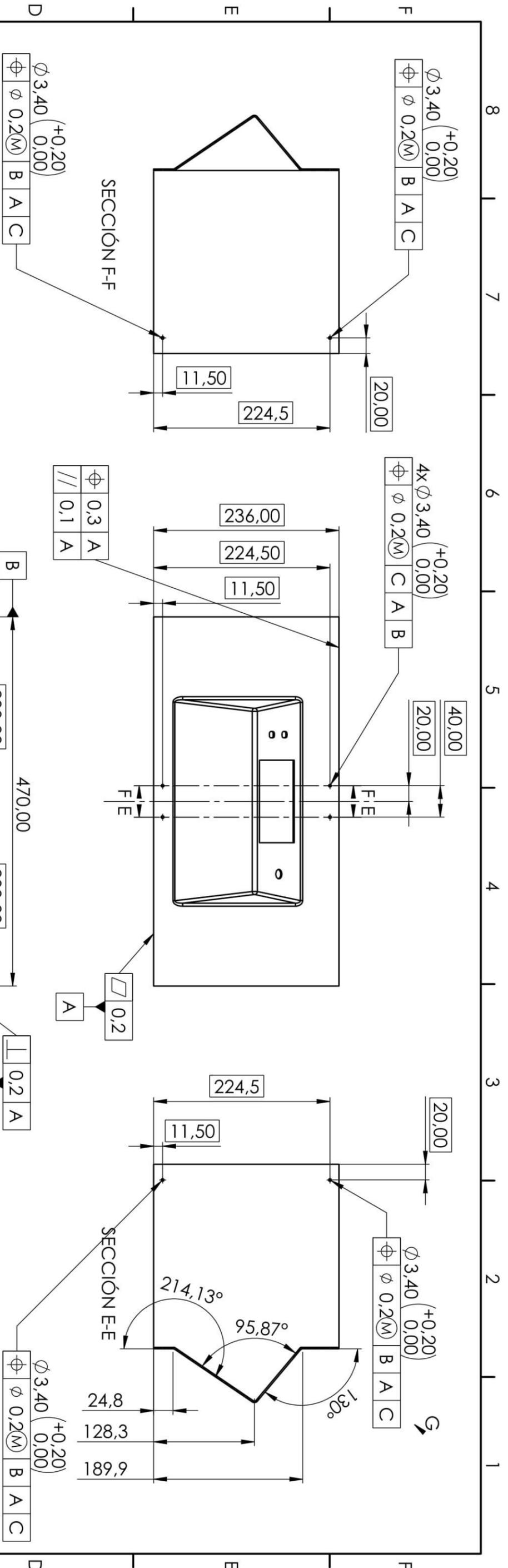


Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

Todos los taladros son pasantes.

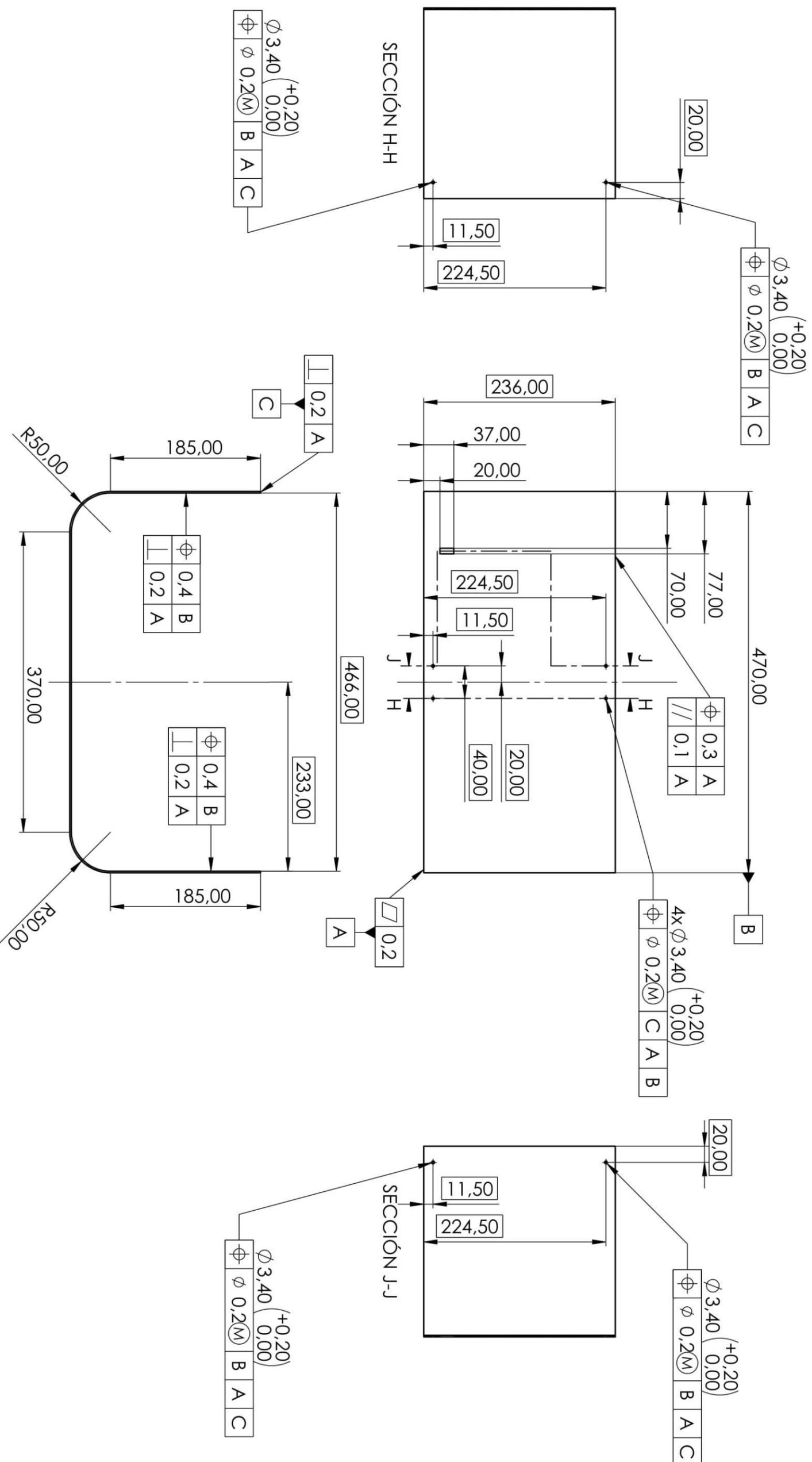
Espesor: $2 \pm 0,1$

Material PC	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:2	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A3	Estado del documento: Editado
Título del documento: Carcasa Transparente Pared		Número del documento: 04.05		
		Rev.: -	Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES
		Hoja: ---		



Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K
 Todos los taladros son pasantes.
ESPESOR: $2 \pm 0,1$

Material	ABS	Creado por:	Ion Solonari	Unidad dimensional:	mm	Escala:	1:5	Met. de Representación:	
Propietario Legal:	UNIVERSITAT JAUME I			Tipo de documento:	Plano de diseño	Formato:	A3	Estado del documento:	Editado
		Título del documento:	Carcasa Base Delantera	Número del documento:	04.06	Rev.:	-	Fecha de edición:	02/09/2019
				Idioma:	ES	Hoja:	---		

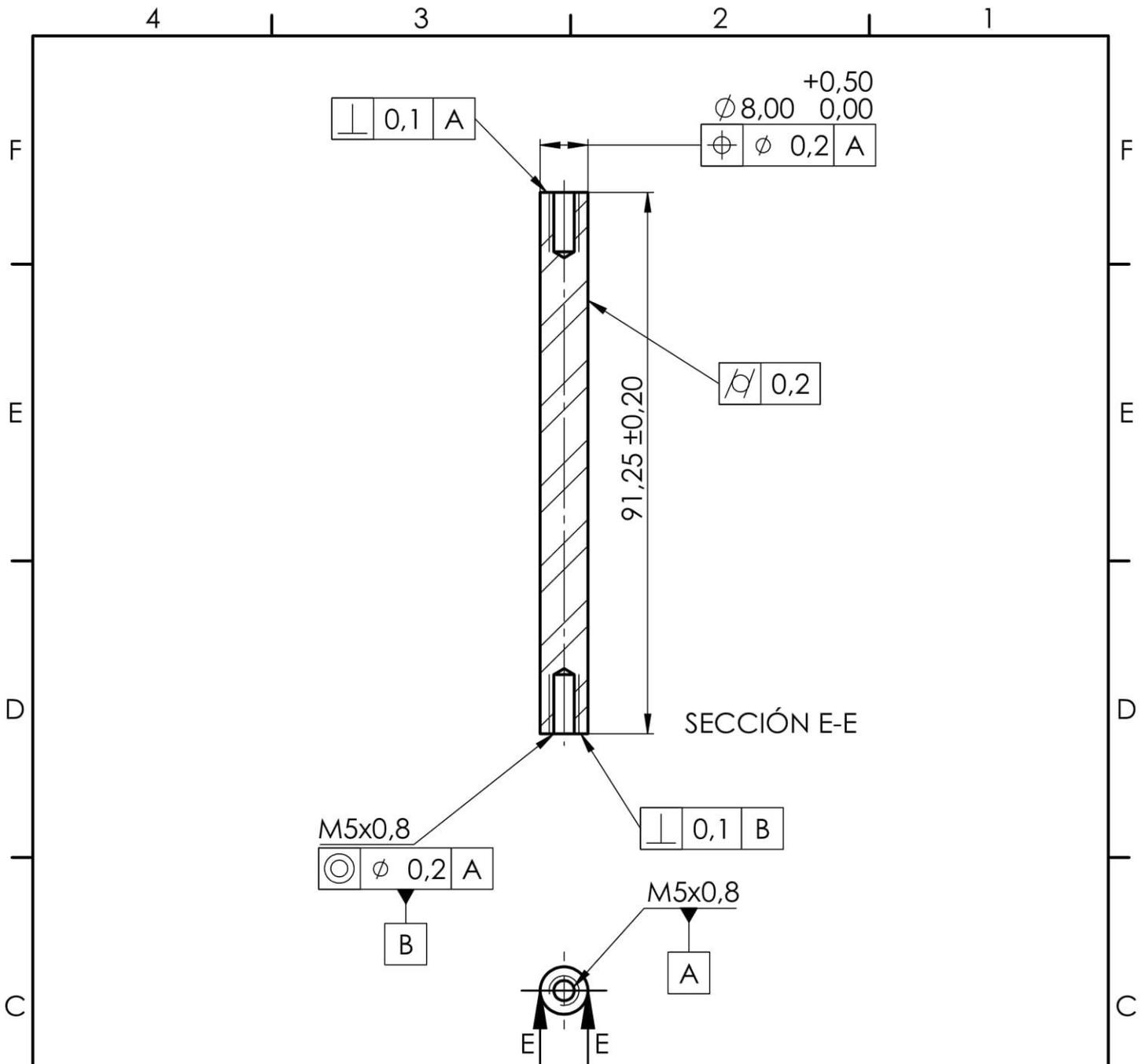


Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 - m - K
 Todos los taladros son pasantes.

ESPESOR: $2 \pm 0,1$

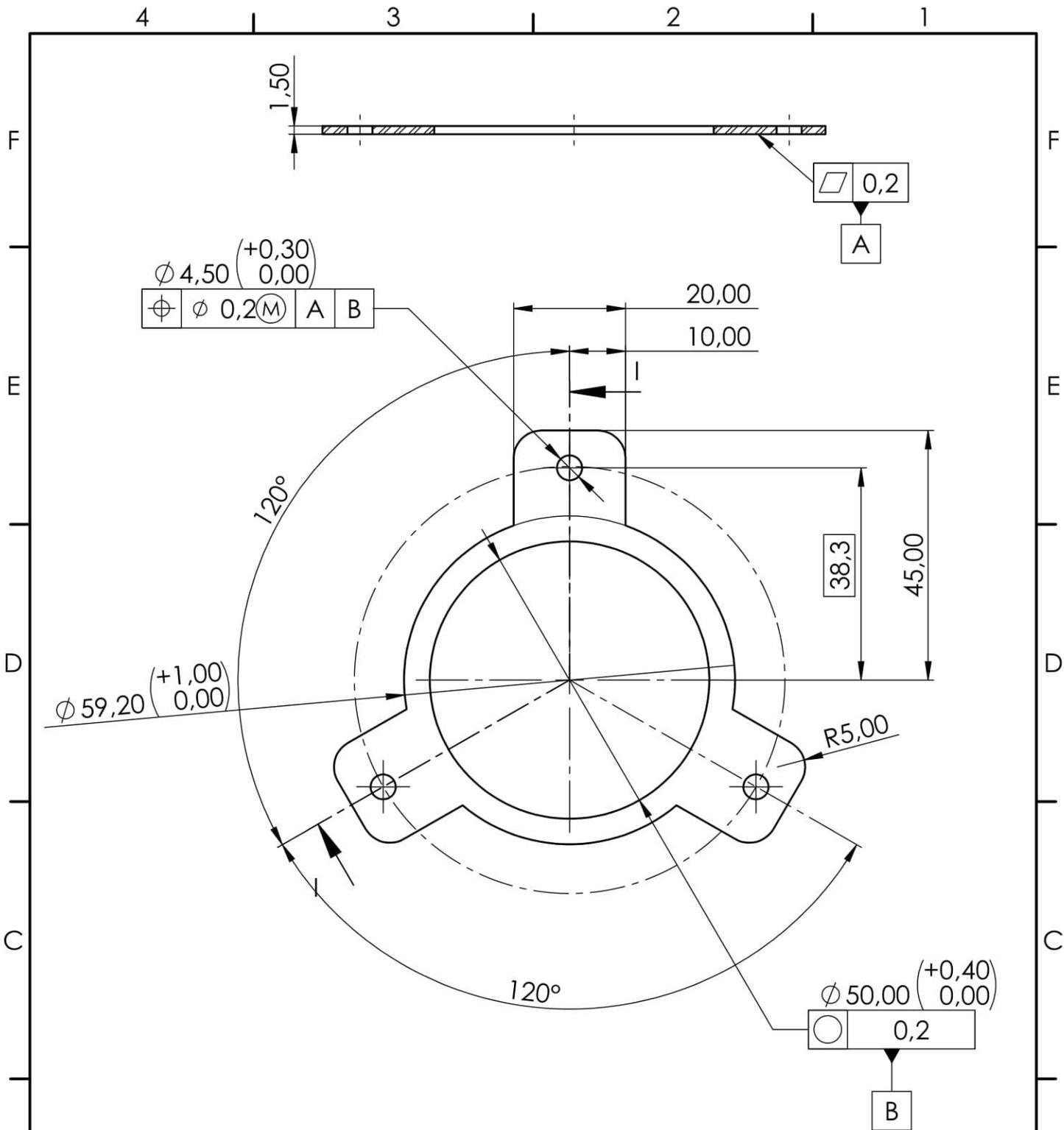
Material	ABS	Creado por:	Ion Solonari	Unidad dimensional:	mm	Escala:	1:5	Met. de Representación:	
Propietario Legal:				Tipo de documento:	Plano de diseño	Formato:	A3	Estado del documento:	Editado

Título del documento:		Número del documento:	
Carcasa Base Trasera		04.07	
Rev.:	Fecha de edición:	Idioma:	Hoja:
-	02/09/2019	ES	---



Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

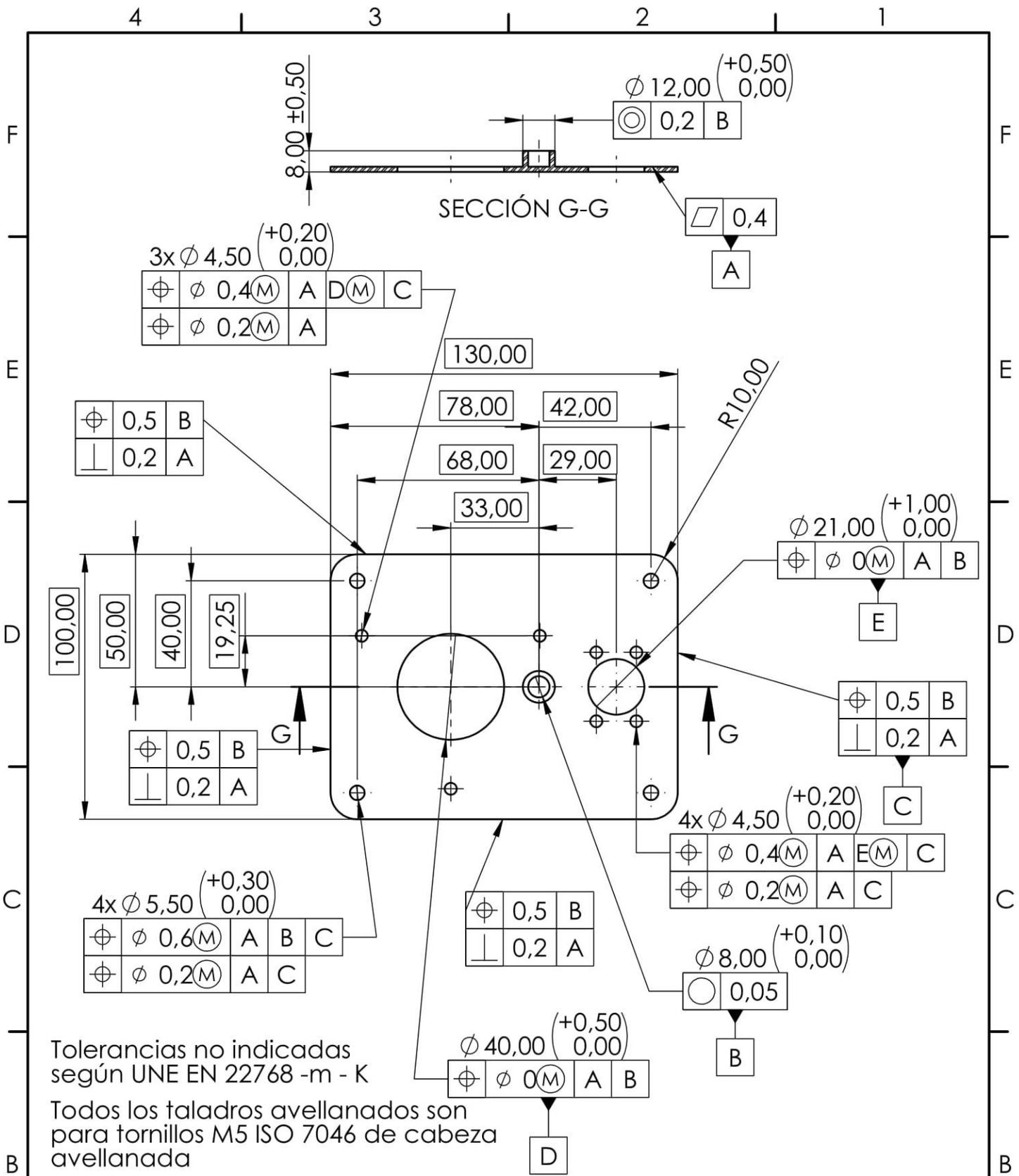
Material AISI 1010	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:1	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A4	Estado del documento: Editado
		Título del documento: Pilar Sujeción Motor	Número del documento: 10.01	
		Rev.: -	Fecha de edición: 03/09/2019	Idioma: ES
				Hoja: ---



Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

Todos los taladros son pasantes

Material AISI 4340	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:1	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A4	Estado del documento: Editado
		Título del documento: Sujeción Motor Superior	Número del documento: 10.02	
		Rev.:	Fecha de edición: 03/09/2019	Idioma: ES
				Hoja: ---

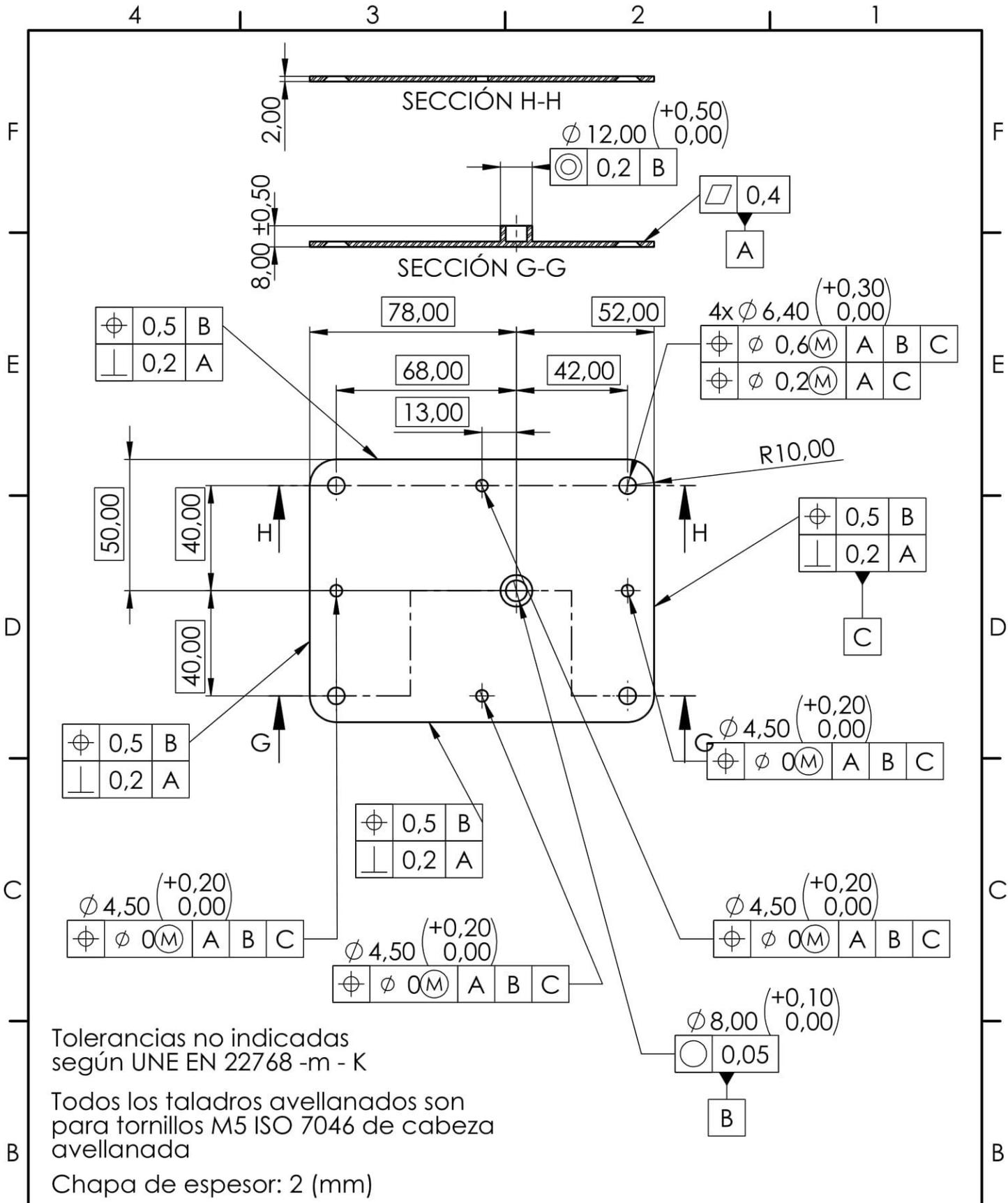


Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

Todos los taladros avellanados son para tornillos M5 ISO 7046 de cabeza avellanada

Chapa de espesor: 2 (mm)

Material AISI 4340	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:2	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A4	Estado del documento: Editado
		Título del documento: Tapa Reductor	Número del documento: 10.03	
		Rev.: -	Fecha de edición: 03/09/2019	Idioma: ES
				Hoja: ---

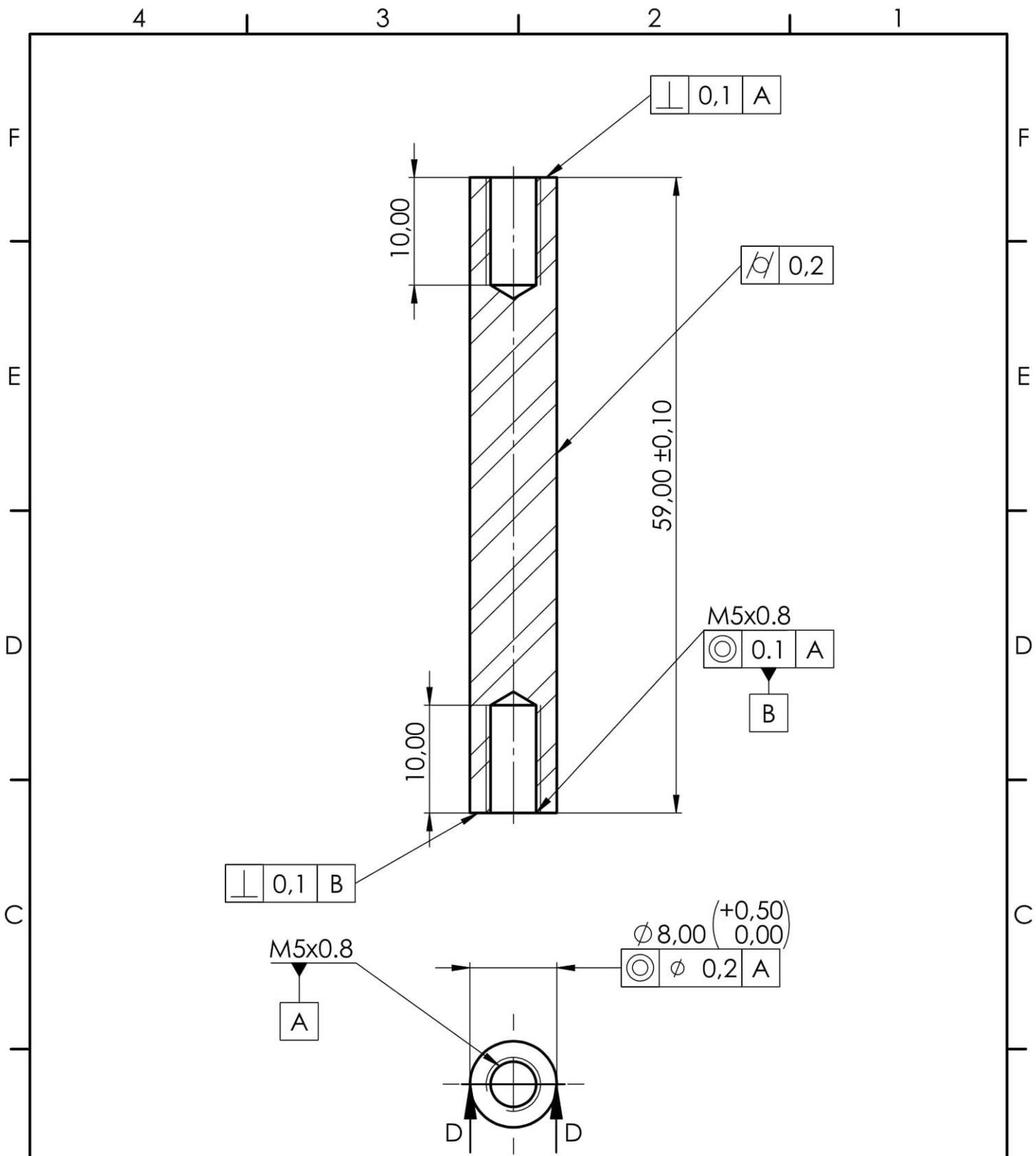


Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

Todos los taladros avellanados son para tornillos M5 ISO 7046 de cabeza avellanada

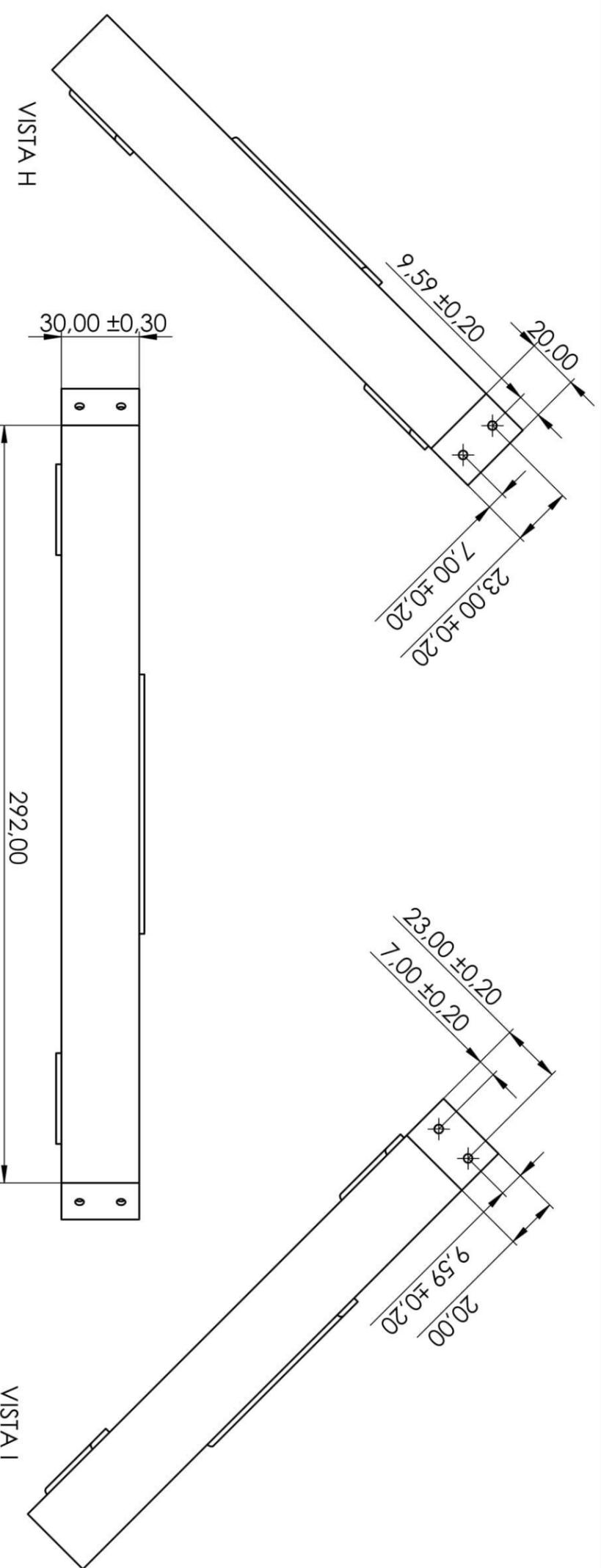
Chapa de espesor: 2 (mm)

Material AISI 4340	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:2	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A4	Estado del documento: Editado
		Título del documento: Tapa Reductor Inferior	Número del documento: 10.04	
		Rev.: -	Fecha de edición: 03/09/2019	Idioma: ES
				Hoja: ---

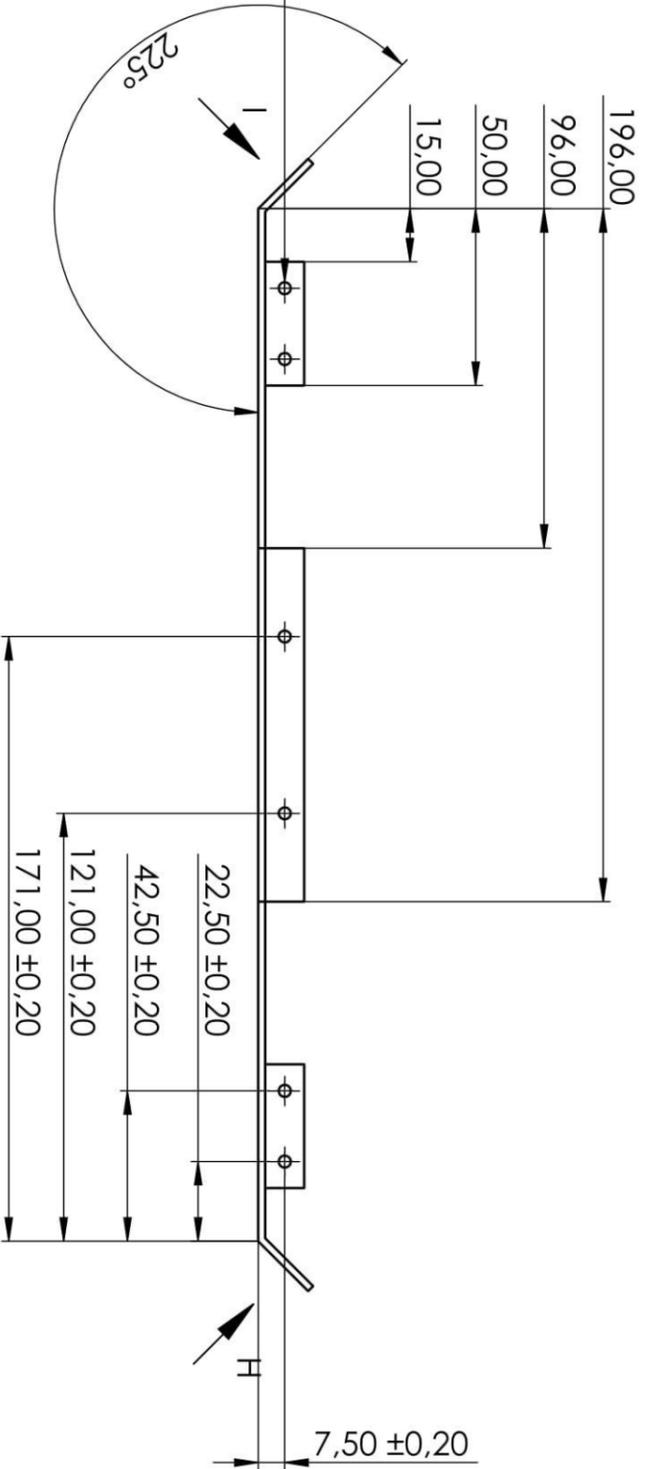


Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

Material AISI 1010	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 2:1	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A4	Estado del documento: Editado
		Título del documento: Pilar Reductor	Número del documento: 10.05	
		Rev.:	Fecha de edición:	Idioma: Hoja:
		-	03/09/2019	ES ---

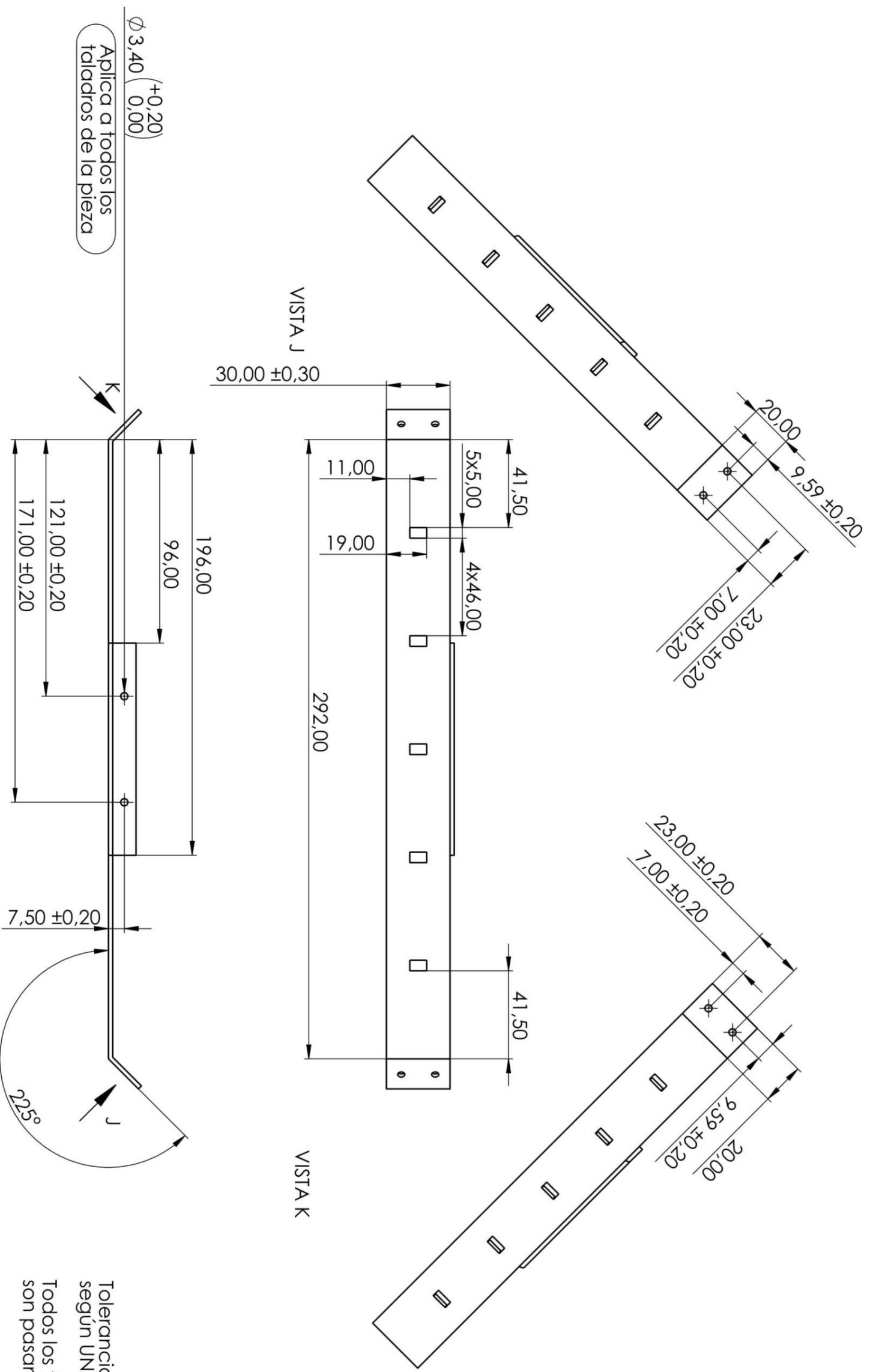


$\phi 3,40 \begin{matrix} +0,20 \\ 0,00 \end{matrix}$
 Aplica a todos los taladros de la pieza



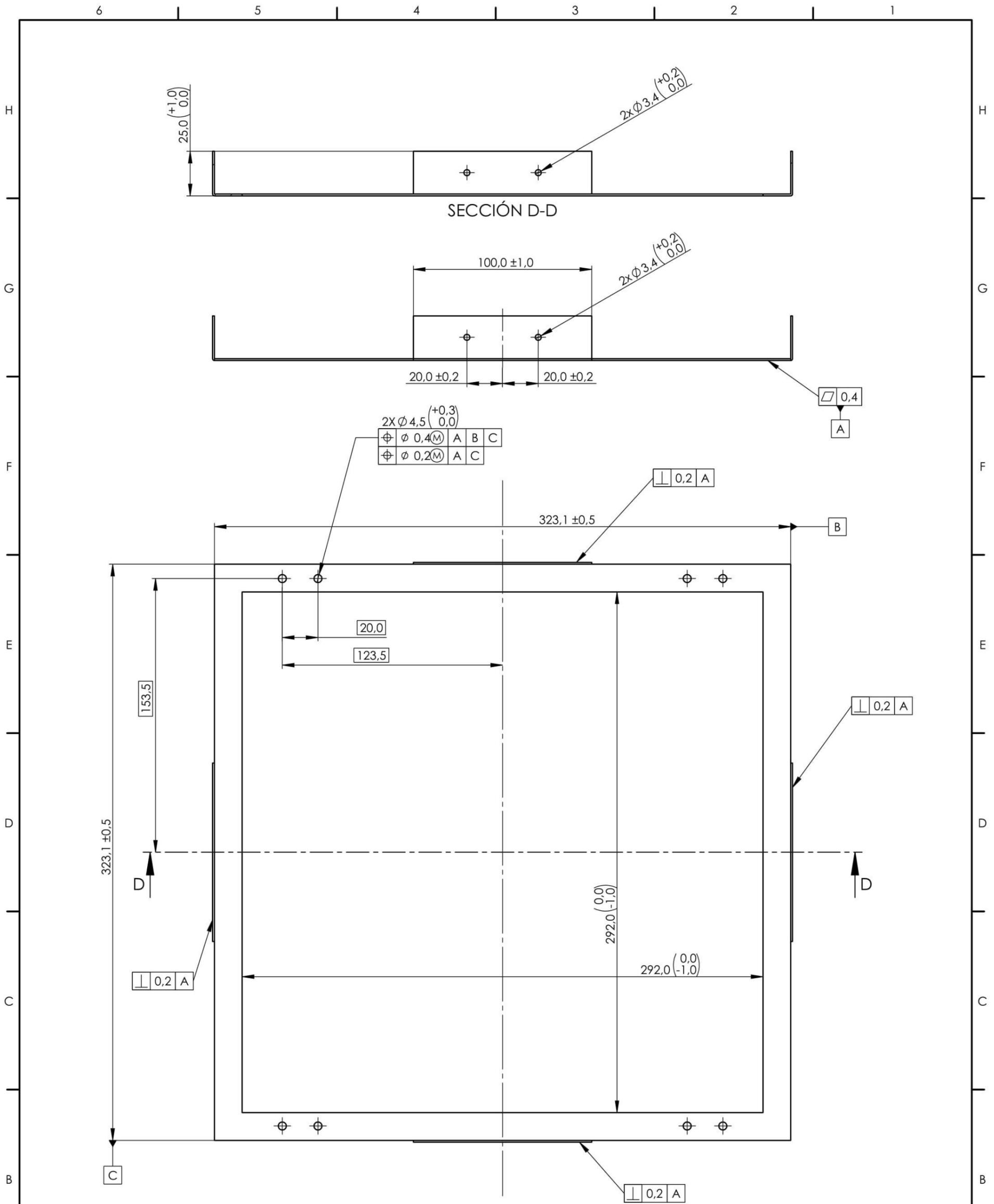
Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K
 Todos los taladros son pasantes.
Espesor chapa: 2 (mm)

Material	Al 6061	Creado por:	Ion Solonari	Unidad dimensional:	mm	Escala:	1:2	Met. de Representación:			
Propietario Legal:	UNIVERSITAT JAUME I		Tipo de documento:	Plano de diseño	Formato:	A3	Estado del documento:	Editado	Número del documento:	11.01	
Título del documento:		Soporte Lateral Resistencias		Rev.:	-	Fecha de edición:	02/09/2019	Idioma:	ES	Hoja:	---



Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K
 Todos los taladros son pasantes.
Espesor chapa: 2 (mm)

Material	AI 6061	Creado por:	Ion Solonari	Unidad dimensional:	mm	Escala:	1:2	Met. de Representación:	
Propietario Legal:	UNIVERSITAT JAUME I		Tipo de documento:	Plano de diseño	Formato:	A3	Estado del documento:	Editado	
			Título del documento:	Soporte Resistencias		Número del documento:	11.02		
			Rev.:	-	Fecha de edición:	02/09/2019	Idioma:	ES	Hoja:

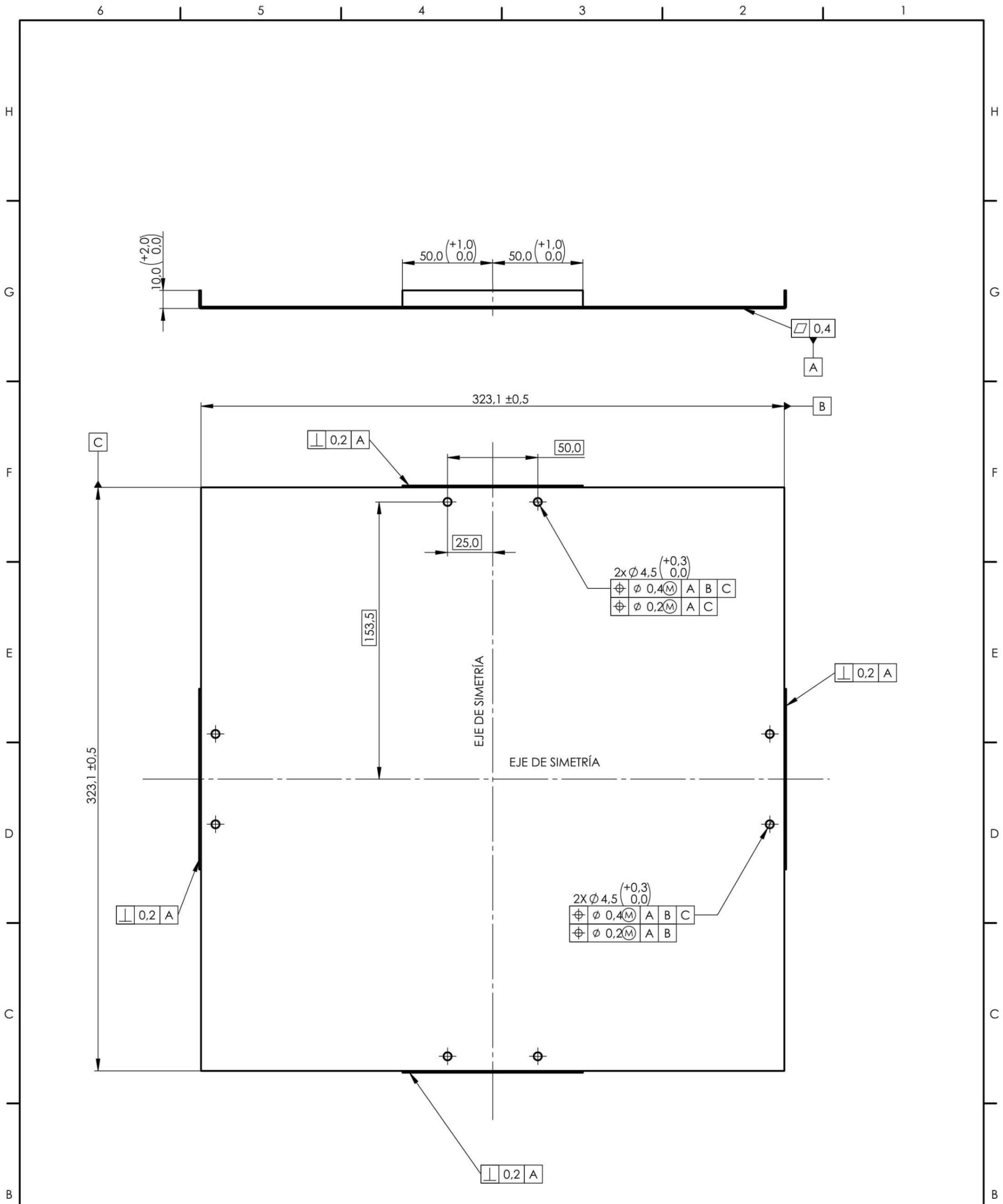


Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

Todos los taladros son pasantes.

Espesor: 2 (mm)

Material Al 6061	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:2	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A3	Estado del documento: Editado
Título del documento: Tapa Caja		Número del documento: 11.03		
Rev.:	Fecha de edición:	Idioma:	Hoja:	
-	02/09/2019	ES	---	

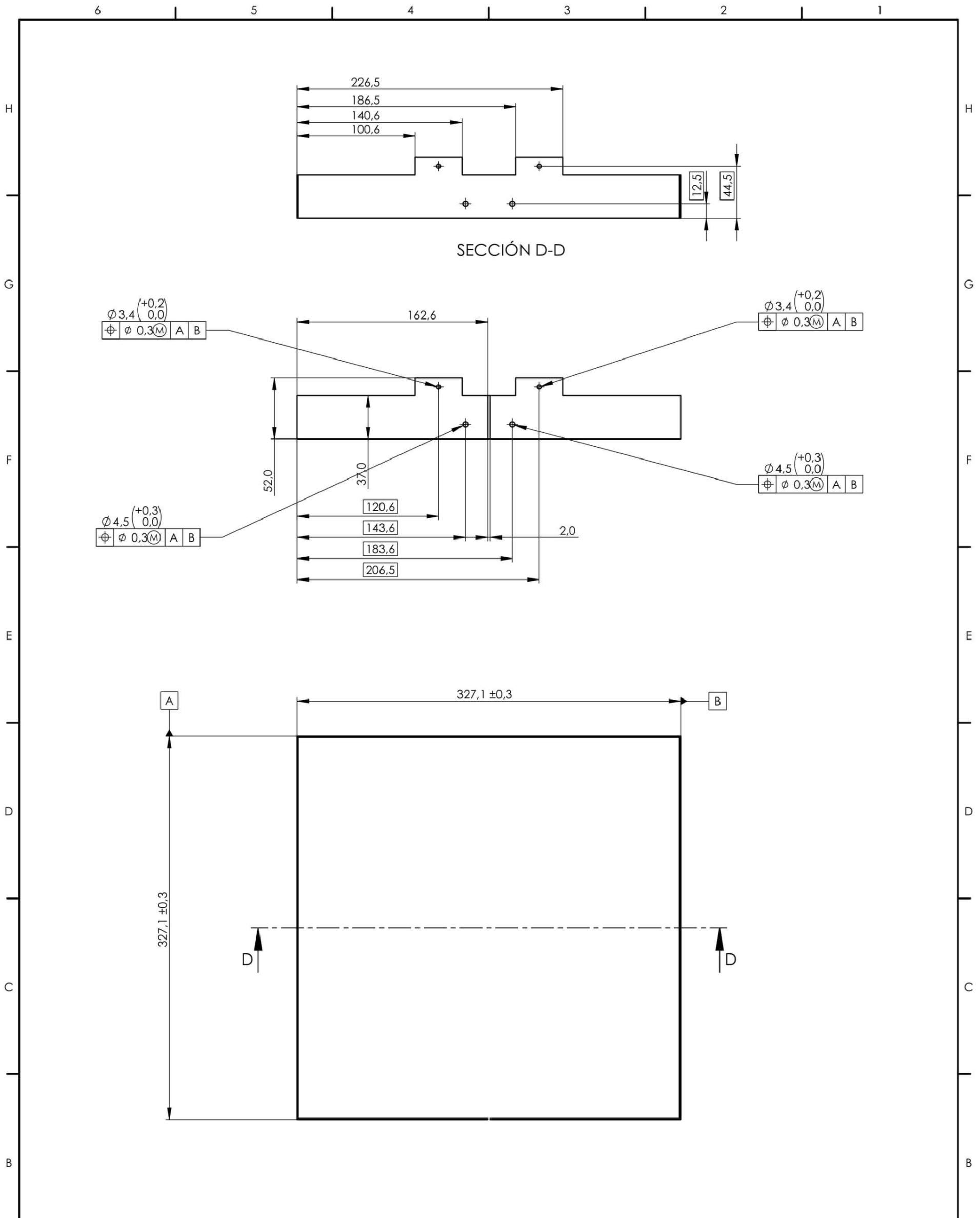


Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

Todos los taladros son pasantes.

Espesor: 2 (mm)

Material Al 6061	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:2	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A3	Estado del documento: Editado
		Título del documento: Tapa Caja Superior	Número del documento: 11.04	
		Rev.: -	Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES
				Hoja: ---

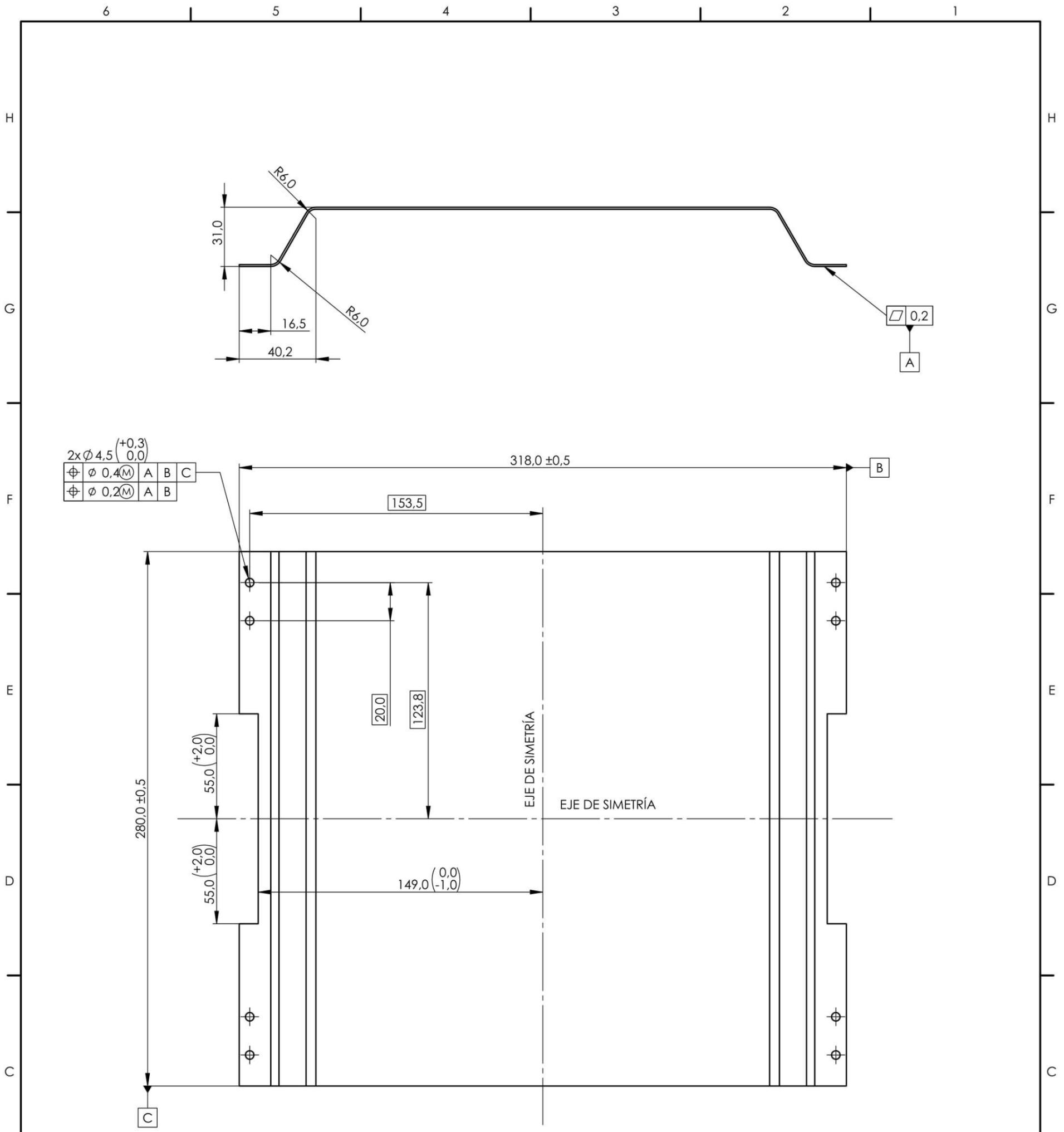


Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

Todos los taladros son pasantes.

Espesor de chapa: 2 (mm)

Material Al6061	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:3	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A3	Estado del documento: Editado
		Título del documento: Pared Caja	Número del documento: 11.05	
		Rev.: -	Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES
				Hoja: ---



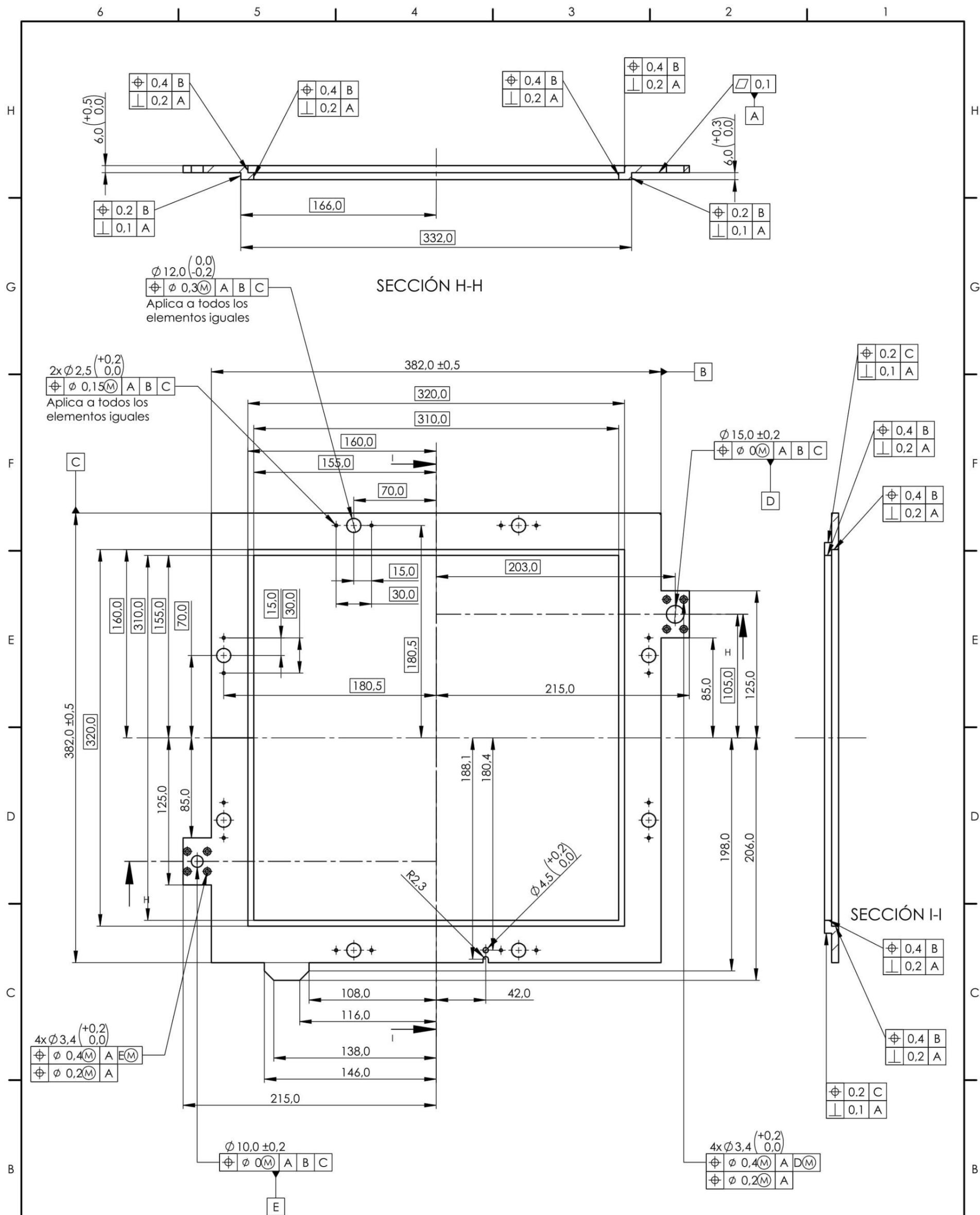
2x $\varnothing 4,5$ $\begin{pmatrix} +0,3 \\ 0,0 \end{pmatrix}$			
$\varnothing 0,4$ (M)	A	B	C
$\varnothing 0,2$ (M)	A	B	

Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

Todos los taladros son pasantes.

Espesor: 1 (mm)

Material Al 6061	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:2	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A3	Estado del documento: Editado
		Título del documento: Envolvente	Número del documento: 11.06	
		Rev.: -	Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES
				Hoja: ---

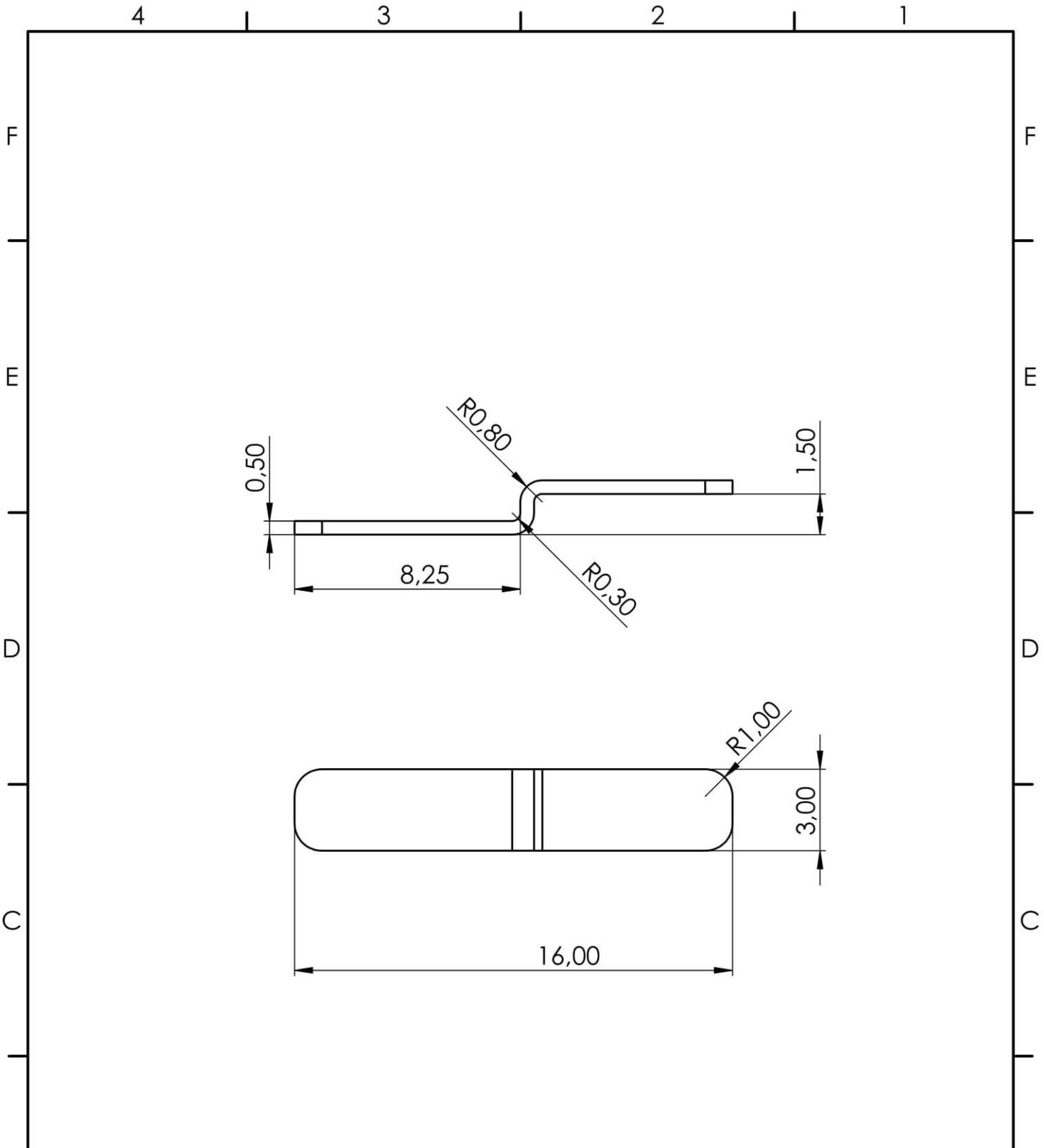


Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

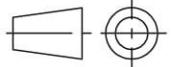
Todos los taladros son pasantes.

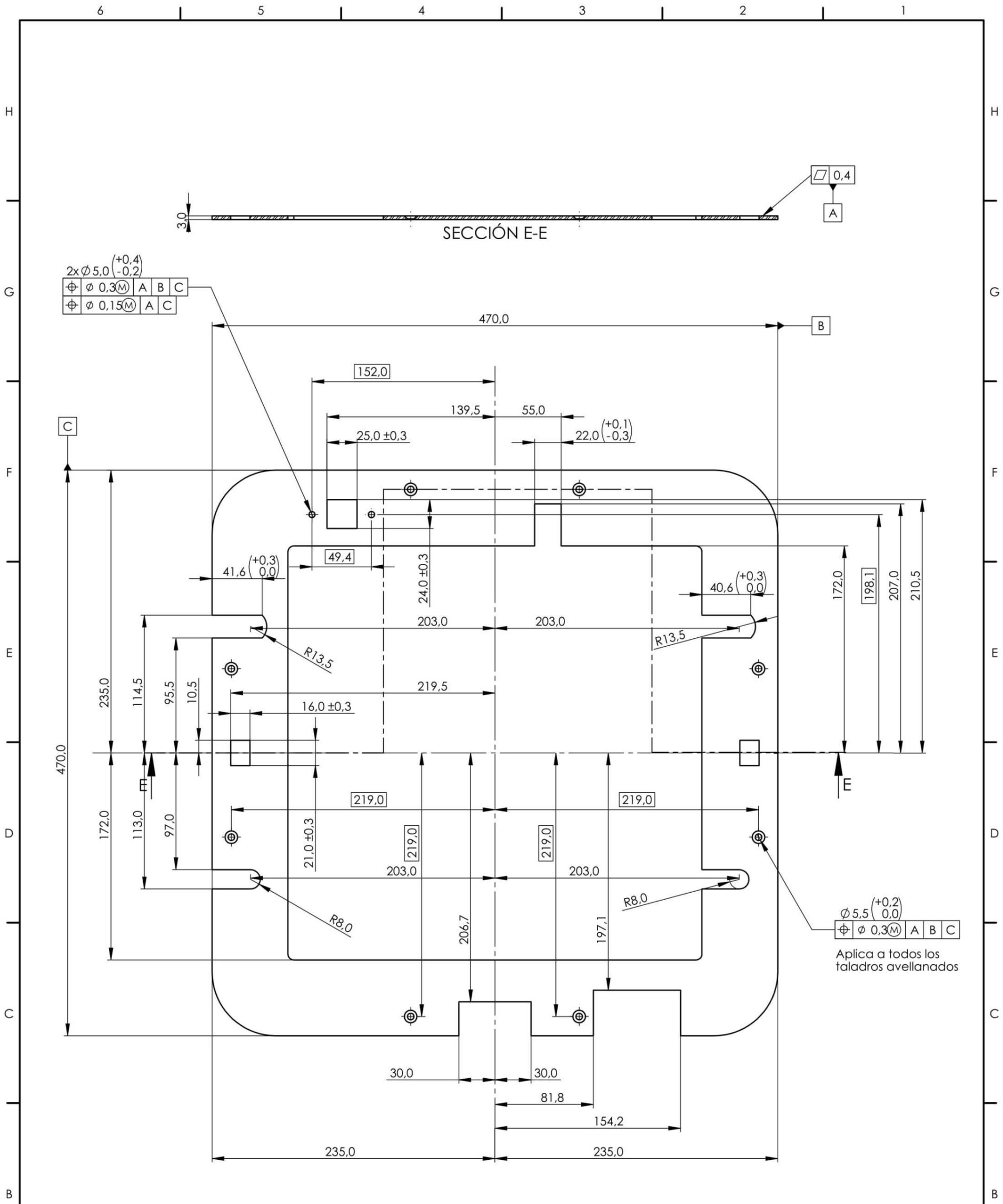
Todos los taladros avellanados son para tornillos M3 ISO 7046 de cabeza avellanada

Material AISI 4340	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:3	Met. de Representación:
Propietario Legal:		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A3	Estado del documento: Editado
		Título del documento:		
		Número del documento: 12.01		
Soporte de lámina superior		Rev.:	Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES
			Hoja: ---	



Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

Material AISI 4340	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 5:1	Met. de Representación: 
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A4	Estado del documento: Editado
		Título del documento: Sujetacables	Número del documento: 12.02	
		Rev.: -	Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES
				Hoja: ---



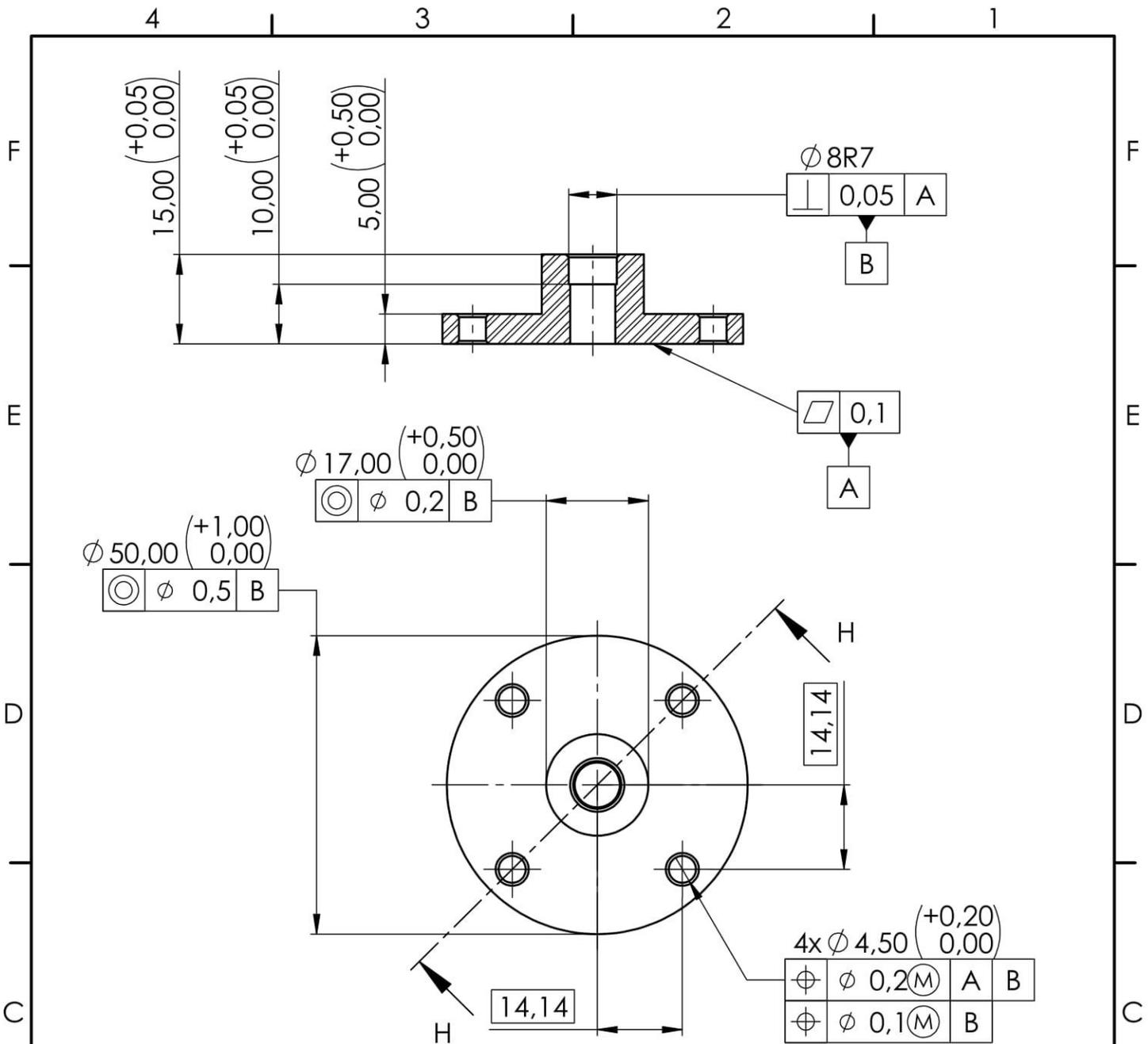
Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

Todos los taladros y otros elementos rectangulares son pasantes.

Todos los taladros avellanados son para tornillos M5 ISO 7046 de cabeza avellanada.

Espesor: $3 \pm 0,1$

Material ABS	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:3	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A3	Estado del documento: Editado
Título del documento: Tapa Unidad Superior		Número del documento: 13.01		
		Rev.: -	Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES
				Hoja: ---

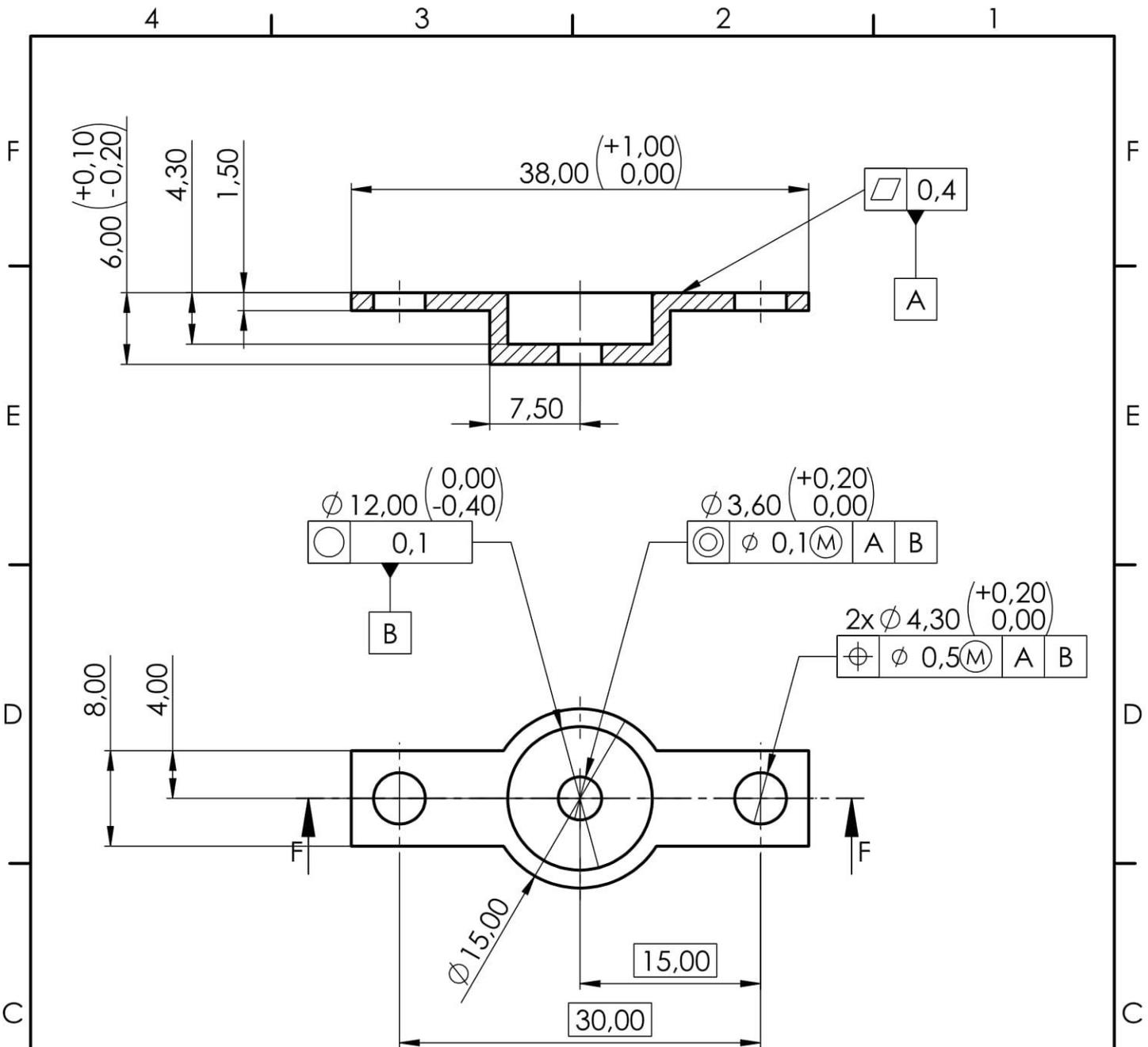


Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

Todos los taladros son pasantes

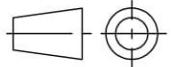
Todos los chaflanes son:
0,5x0,5 (mm)

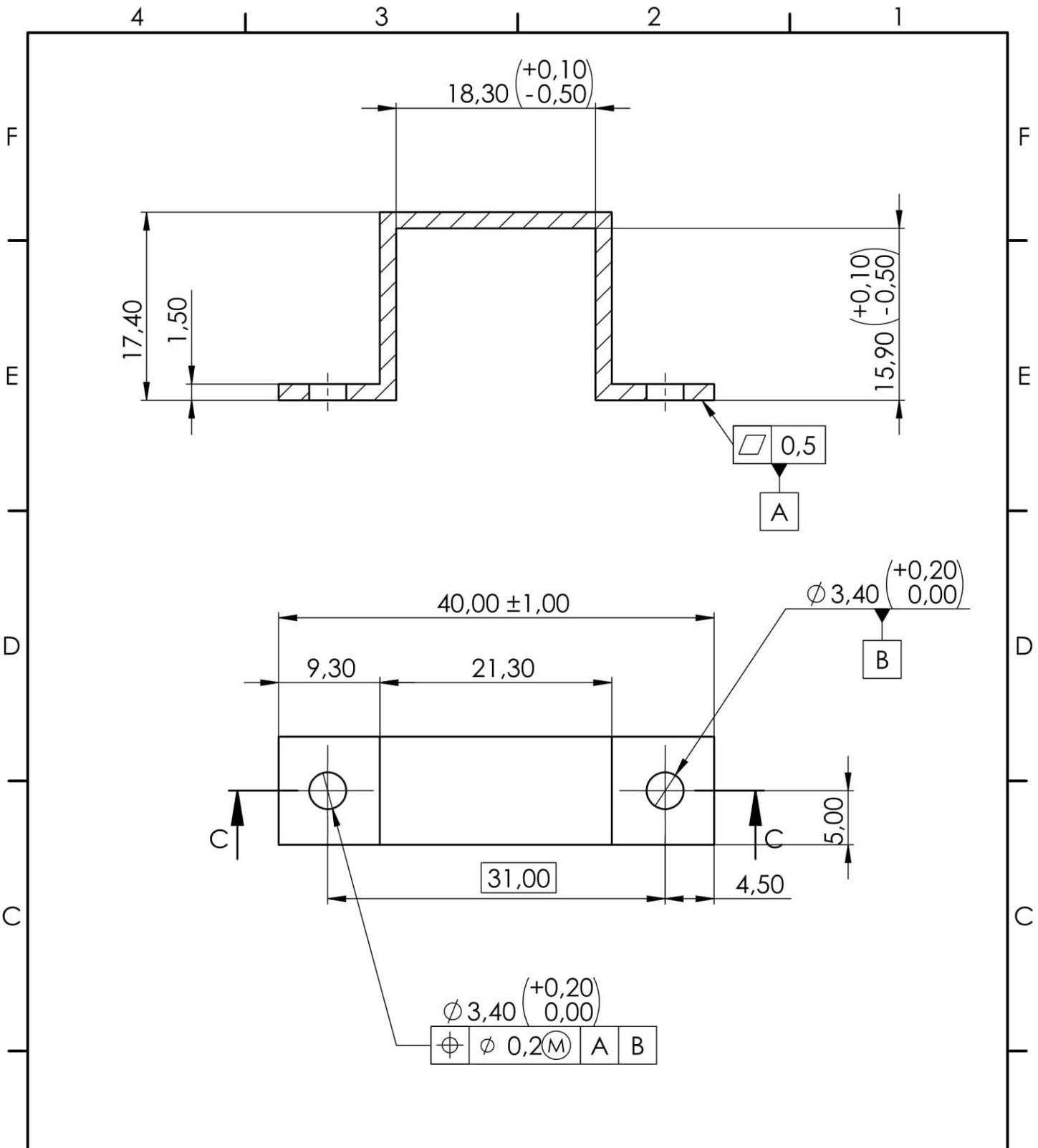
Material AISI 304	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:1	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A4	Estado del documento: Editado
Título del documento: Sujeción Guía		Número del documento: 17.01		
Rev.: -		Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES	Hoja: ---



Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

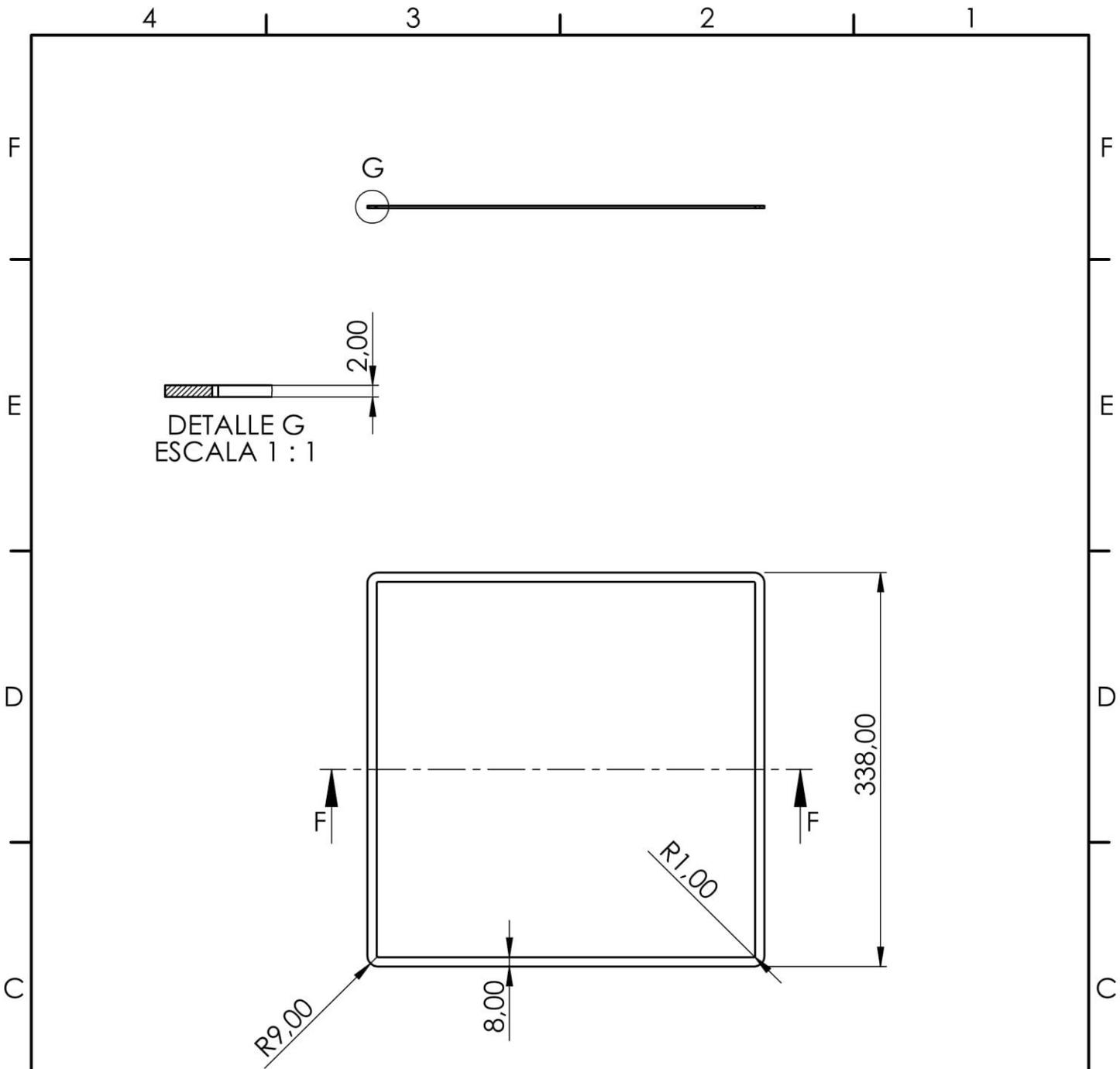
Todos los taladros son pasantes

Material ABS	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 2:1	Met. de Representación: 
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A4	Estado del documento: Editado
		Título del documento: Soporte Electroimán		Número del documento: 14.01
		Rev.:	Fecha de edición:	Idioma:
		-	02/09/2019	ES
		Hoja:		---



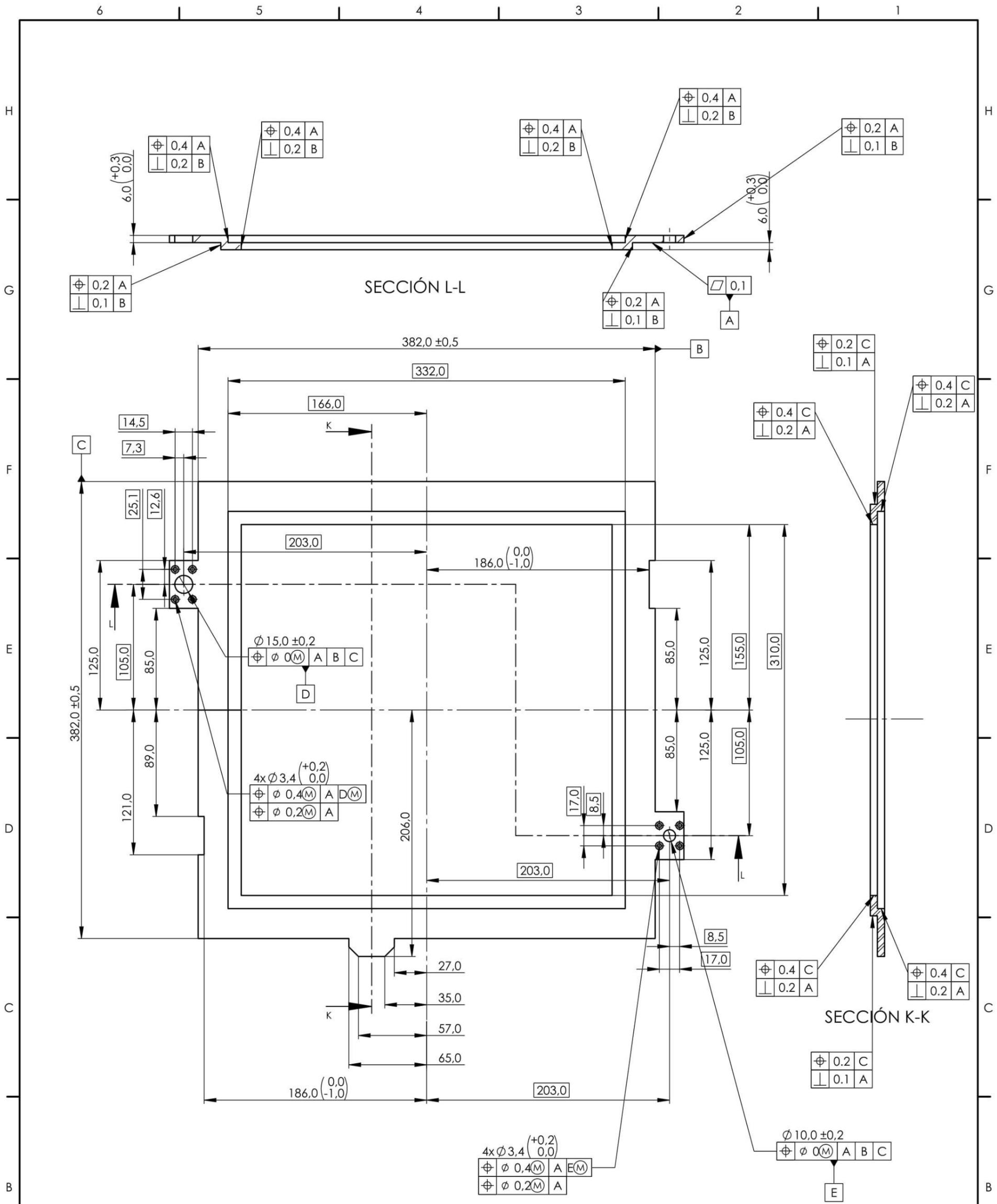
Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

Material AISI 4340	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 2:1	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseno	Formato: A4	Estado del documento: Editado
Título del documento: Sujeción Solenoide		Número del documento: 16.01		
Rev.: -		Fecha de edición: 02/09/2019	Idioma: ES	Hoja: ---



Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

Material EPDM	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:10	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A4	Estado del documento: Editado
		Título del documento: Junta Soporte de lámina inferior.	Número del documento: 00.01	
		Rev.: -	Fecha de edición: 03/09/2019	Idioma: ES
				Hoja: ---

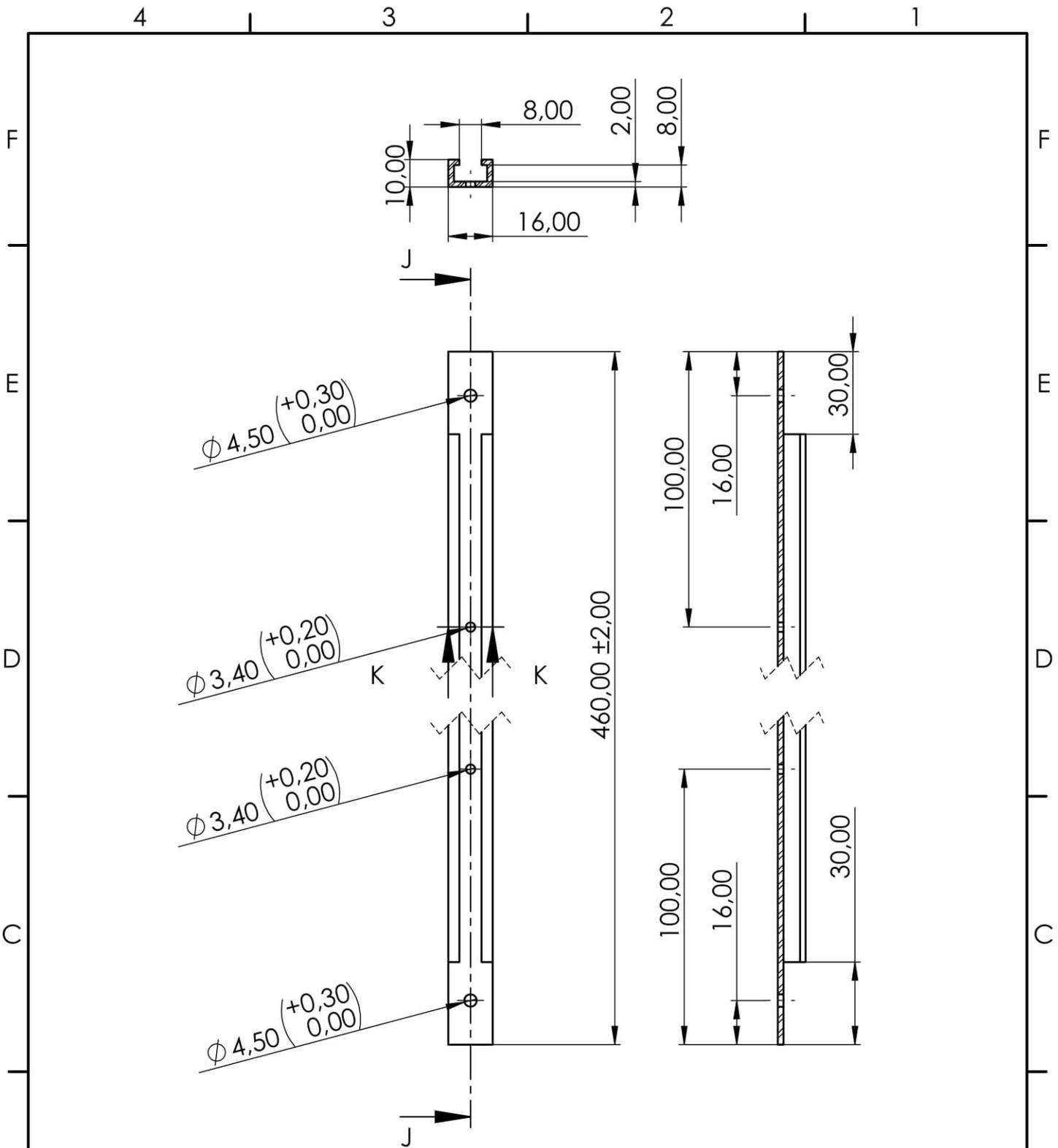


Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

Todos los taladros son pasantes.

Todos los taladros avellanados son para tornillos M3 ISO 7046 de cabeza avellanada

Material AISI 4340	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:3	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A3	Estado del documento: Editado
		Título del documento: Soporte inferior de lámina.	Número del documento: 00.02	
		Rev.:	Fecha de edición: 03/09/2019	Idioma: ES
			Hoja: ---	



Tolerancias no indicadas según UNE EN 22768 -m - K

Material ABS	Creado por: Ion Solonari	Unidad dimensional: mm	Escala: 1:2	Met. de Representación:
Propietario Legal: 		Tipo de documento: Plano de diseño	Formato: A4	Estado del documento: Editado
		Título del documento: Pilar ABS	Número del documento: 00.03	
		Rev.: -	Fecha de edición: 03/09/2019	Idioma: ES
				Hoja: ---