



TRABAJO FIN DE GRADO

Diseño y construcción de una galga dimensional para una empresa puntera en el mercado de la fabricación de piezas de vehículos

Design and construction of a dimensional gauge for a leading company in the vehicle parts manufacturing market

Autor

Raúl Samper Suárez (698907)

Director

Jesús Velázquez Sancho

Ingeniería Mecánica

Escuela de Arquitectura e Ingeniería

2022

Diseño y construcción de una galga dimensional para una empresa puntera en el mercado de la fabricación de piezas de vehículos

RESUMEN

El presente Trabajo de Fin de Grado (TFG) muestra cuál es el proceso que sigue la fabricación de una galga o posicionador desde que se encarga hasta que se entrega al cliente. La primera etapa que se desarrolla es la de diseño. En ella se plasman todas las características fundamentales que debe tener el posicionador a partir del CAD de la pieza de plástico que se quiere verificar. De esta manera, se podrán obtener los planos y programas CNC para poder fabricar dicho posicionador en los centros de mecanizado. Es precisamente esta la segunda etapa, aquella destinada a la fabricación. Por último, en la etapa final se hace el ajuste fino del posicionador, es decir, colocar cada una de las partes en la posición correcta dentro de las tolerancias de posición y forma, para ello, es indispensable la ayuda de una máquina de medir por coordenadas que compare las medidas reales con las medidas nominales. Finalmente, se entrega el posicionador con los informes tridimensionales que acreditan su correcta fabricación y que, por lo tanto, cumplirá con su objetivo, informar si existen errores en las dimensiones de las piezas de plástico que impedirían su buen funcionamiento y dotar de la posibilidad de poder modificarlas previamente a la fabricación del vehículo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO	5
1.1 Presentación y contexto	5
1.2 Objetivos.....	6
1.2.1 Objetivo general	6
1.2.2 Objetivos específicos.....	6
1.3 Alcance	7
1.4 Etapas	7
1.4.1 Diseño CAD	7
1.4.2 Planos y programación CNC	8
1.4.3 Ajuste fino e informes tridimensionales	8
2. DISEÑO CAD	9
2.1 Conceptos.....	9
2.1.1 RPS – DATUM- ISO	11
2.2 Diseño.....	13
2.2.1 Diseño de las piezas del posicionador	17
3. PLANOS Y PROGRAMAS CNC.....	22
3.1 Planos	22
3.2 Programas CNC.....	23
3.2.1 Información al operario.....	28
4. AJUSTE FINO E INFORMES TRIDIMENSIONALES	32
4.1 La máquina de medir por coordenadas	32
4.2 Amarre	34
4.3 Alineamiento	35
4.3.1 Tipos de alineamiento	36
4.4 Ajuste fino	37
4.5 Informes tridimensionales	42
5. CONCLUSIONES.....	44
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
7. ANEXO I – PLANOS PIEZAS POSICIONADOR	47
8. ANEXO II – INFORMES TRIDIMENSIONALES	70

ÍNDICE DE TABLAS E IMÁGENES

Imagen 1. Origen de coordenadas del vehículo	9
Imagen 2. CAD de la pieza	10
Imagen 3. Pieza fabricada por inyección	10
Imagen 4. Plano de la pieza con RPS	11
Imagen 5. Tabla de propiedades de aluminio y hierro	16
Imagen 6. CAD Pieza reloj comparador	17
Imagen 7. CAD Pieza del posicionador para RPS (Y-Z5).....	18
Imagen 8. CAD Pieza del posicionador para RPS (Z8-Z9).....	18
Imagen 9. CAD Pieza del posicionador para RPS (Z3-Z4).....	19
Imagen 10. CAD Pieza del posicionador para RPS (X1-X2-Z1-Z2-Z6-Z7).....	20
Imagen 11. CAD Posicionador con y sin pieza	21
Imagen 12. Posicionador en fabricación.....	22
Imagen 13. Interfaz programa GIBBSCAM.....	23
Imagen 14. Preforma	24
Imagen 15. Fresa normal y fresa esférica	25
Imagen 16. Configuración de la herramienta	26
Imagen 17. Generación de trayectorias	27
Imagen 18. Simulación del mecanizado	27
Imagen 19. Origen Marca 10	28
Imagen 20. Origen Marca 11	29
Imagen 21. Origen Marca 12 y 13.....	29
Imagen 22. Origen Marca 17	30
Imagen 23. Posicionador fabricado sin ajuste fino.....	31
Imagen 24. Máquina de medir por coordenadas	32
Imagen 25. CAD Posicionador en METROLOG.....	33
Imagen 26. Sujeción del posicionador con la mesa.....	34
Imagen 27. Palpador y bola máster	35
Imagen 28. Paralelas y láminas de diferentes espesores	39
Imagen 29. Ajuste fino de las diferentes piezas del posicionador	41
Imagen 30. Preparación de los informes tridimensionales	42
Imagen 31. Cotas de los centros de alineamiento.....	43

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Presentación y contexto

Cada año en el mundo se venden alrededor de 83 millones de vehículos (Statista, 2022), en España en torno a 1 millón (Bankinter, 2022). El sector del automóvil es uno de los más importantes y que más cambios está experimentando debido al continuo avance tecnológico y las diferentes restricciones ambientales. Por ello, la innovación y la constante investigación están a la orden del día.

Todos conocemos las cadenas de montaje de las fábricas de automóviles, y más todavía si vivimos en Zaragoza, donde tenemos una de las empresas más importantes del mundo a escasos kilómetros, STELLANTIS (antigua General Motors). Para este tipo de procesos productivos (configuración en línea), un fallo puede producir un paro en una de las líneas de producción ocasionando una enorme pérdida económica, por lo tanto, es más que necesario que todo aquello que se vaya a montar en el coche se haga de forma precisa. Este Trabajo de Fin de Grado (TFG) trata de explicar cuáles son los procesos que hacen esto posible.

Realizar las prácticas en una empresa te permite comprender y aprender cosas que no sabías. Una de ellas es que sin todo el trabajo de ingeniería previo a la fabricación no podríamos gozar de acabados tan correctos en nuestros vehículos ni los operarios tendrían tanta facilidad para realizar el montaje.

Muchas partes del interior de nuestros vehículos están fabricadas en plástico y el proceso utilizado puede ocasionar que la pieza tenga fallos que bajo ningún concepto pueden llegar a la línea de montaje. Concretamente en este TFG nos centraremos en explicar el proceso para fabricar el posicionador de dichas piezas. El posicionador mostrará los fallos y las desviaciones que existan antes de su fabricación en serie y permitirá al cliente poder modificar el diseño y/o los parámetros de fabricación para acabar con los defectos.

1.2 Objetivos

1.2.1 *Objetivo general*

El principal propósito de este proyecto es explicar todos los procedimientos y procesos que se deben llevar a cabo para poder fabricar la galga dimensional/posicionador que permita verificar la calidad de las piezas de plástico del interior del vehículo antes de su fabricación, y así, asegurar el correcto funcionamiento y ajuste en el automóvil.

1.2.2 *Objetivos específicos*

A continuación, se enumeran algunos de los objetivos específicos que se pretenden alcanzar:

- Diseñar una galga dimensional/posicionador a partir del CAD de la pieza de plástico.
- Utilizar Solid Works para obtener los planos de las diferentes piezas.
- Crear los programas CNC para los centros de mecanizado.
- Realizar el ajuste fino de cada una de las piezas.
- Comprender y diferenciar las tolerancias dimensionales y de forma.
- Utilizar el programa METROLOG.
- Manejar una máquina de medir por coordenadas manual.

1.3 Alcance

En este proyecto tomamos como referencia el *Cuaderno de Cargas Protocolo de Aceptación sobre las Normas de Construcción para Galgas de Control y Límites Lisos* que nos proporciona el cliente. Por temas de confidencialidad no se adjuntará en el ANEXO. Este documento es el punto de partida en el cuál figuran las condiciones del proyecto. En resumen:

Establece los requisitos necesarios para que dichos útiles cumplan todas las normas para el correcto funcionamiento de los calibres, galgas de control y accesorios que se utilizan para la inspección, medición y evaluación de la pieza. Tales MDC (medio de control) comprenden sistemas de control por atributo, mediciones por variables, posicionadores CMM o cualquier combinación de los mencionados anteriormente. Generalmente, los calibres y accesorios se definen como:

POSICIONADOR CMM: Dispositivo que se usa como soporte de una o más partes para poder ser evaluada en la CMM.

GALGA: Un instrumento que se utiliza para medir la pieza. Una galga de control es un accesorio que debe garantizar el montaje y suele venir con controles de atributo y/o mediciones por variables. (Comparadores digitales).

1.4 Etapas

1.4.1 Diseño CAD

Para poder desarrollar el diseño, el cliente nos ha proporcionado un plano donde quedan señalados los puntos más importantes de la pieza. Además, se aporta un archivo CAD con la pieza en sí. A partir de ahí, el trabajo a realizar consiste en diseñar un utilaje para la pieza que cumpla dos condiciones.

1. Que fije la pieza en el espacio.
2. Que asegure la posición correcta de aquellos puntos que el cliente considera más significativos.

A partir de ahí, la geometría de la pieza determinará la del posicionador. Es decir, en función de los diferentes apoyos, superficies y agujeros que haya, se deberán construir diferentes tipos de elementos y formas para que se adapte a la perfección a la superficie.

1.4.2 Planos y programas CNC

Concluida la parte del diseño, debemos obtener los planos y programas que permitan fabricar las diferentes piezas que forman el posicionador. Como se podrá comprobar en el ANEXO, hay dos tipos piezas, aquellas cuya geometría es muy simple y, por lo tanto, con un plano es posible fabricarlas en un centro de mecanizado y, otras en cambio, tienen geometrías complejas que necesitan programas de control numérico para poder realizarlas.

1.4.3 Ajuste fino e informes tridimensionales

Por último, comienza la etapa de ajuste fino. Hasta ahora, hemos conseguido diseñar y fabricar las piezas que conformarán el posicionador, pero para que el cliente acepte el producto final es necesario colocar dentro de las tolerancias las diferentes piezas y elaborar un informe tridimensional que lo acredite.

Para el ajuste fino se necesita una máquina tridimensional conectada a un ordenador. En él debe estar instalado un programa que permita comparar el posicionador real con el posicionador CAD, en nuestro caso ese programa será METROLOG.

Con la ayuda del palpador y de unas pequeñas piezas de plástico paralelas iremos moviendo las piezas para que queden dentro de las tolerancias para después fijarlas con unos pasadores. Por último, se sacarán los informes donde se podrá observar que todo está dentro de los límites establecidos.

2. DISEÑO CAD

2.1 Conceptos

En cualquier campo de ingeniería que implique utilizar dimensiones espaciales es necesario utilizar un origen de coordenadas. En el sector del automóvil, como no podía ser de otra manera, esto es imprescindible. La mayoría de los fabricantes suelen utilizar un sistema de referencia cuyo origen está posicionado en el eje de las ruedas delanteras justo en el centro como se puede apreciar en la Imagen 1.

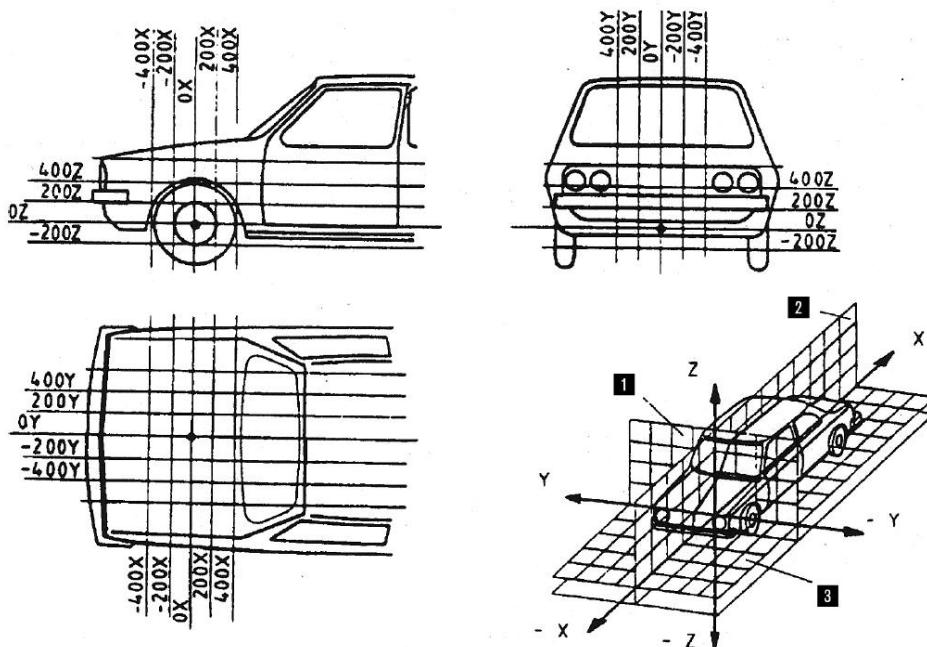


Imagen 1. Origen de coordenadas del vehículo

Por ello, todos los elementos que forman parte del chasis tienen una posición exacta respecto del origen. También en el caso de las piezas de plástico que conformarán las diferentes partes del vehículo. De hecho, cuando se recibe el CAD de la pieza, además de su forma geométrica se puede identificar claramente cuáles serán los puntos de apoyo y dónde estarán las sujeteciones que impedirán que la pieza se mueva. Estos puntos que tienen una gran importancia se denominan de una forma concreta, más adelante nos centraremos en ellos.



Imagen 2. CAD de la pieza

La mayoría de las piezas que se quieren comprobar son de plástico y, normalmente, se han fabricado mediante un proceso de inyección o soplado. En este caso, dada la geometría que podemos observar en la imagen de arriba, nuestra pieza se ha elaborado por inyección. El propio proceso de fabricación puede generar defectos por lo que es necesario saber antes de fabricar el vehículo si la pieza es correcta, o si en cambio, se deben ajustar los parámetros de fabricación para modificar su forma final.

Debajo del texto podemos ver una de las piezas fabricadas, en este caso la pieza tenía varios defectos. Fundamentalmente, estos defectos se han debido a un mal diseño de los moldes de inyección de forma que impedían que el material se distribuya correctamente. Otra posibilidad es que sea debido a un enfriamiento desigual de la pieza. Como sabemos, el volumen depende de la temperatura y, conforme se van enfriando las piezas, hay zonas que se contraen y pueden llegar a producirse altas tensiones que acaben deformando y doblando la pieza. El objetivo, por lo tanto, es que la pieza tenga las dimensiones y forma diseñadas, pero a temperatura ambiente.



Imagen 3. Pieza fabricada por inyección

2.1.1 RPS – DATUM – ISO

Anteriormente, hemos mencionado que había una serie de puntos que le permitían al cliente deciros qué partes son las más importantes y que, necesariamente, debemos tener en cuenta a la hora de diseñar. Dependiendo del país o continente de origen del vehículo podemos distinguir tres formas de llamar a estos puntos.

- RPS: si el vehículo es de origen alemán.
- DATUM: si el vehículo es de origen americano.
- ISO: si el vehículo es de origen francés.

En nuestro caso, puesto que el cliente es alemán, continuaremos a lo largo del texto denominando a esos puntos RPS. La norma que se sigue es la Reference Point System - RPS – (1996).

Como hemos mencionado, los RPS son aquellos puntos que debemos tener en cuenta para poder diseñar el posicionador que, valga la redundancia, posicionará la pieza en lo que llamamos “posición coche”. Aquí podemos ver el plano que el cliente nos proporciona sobre la pieza en cuestión que abarca este TFG.

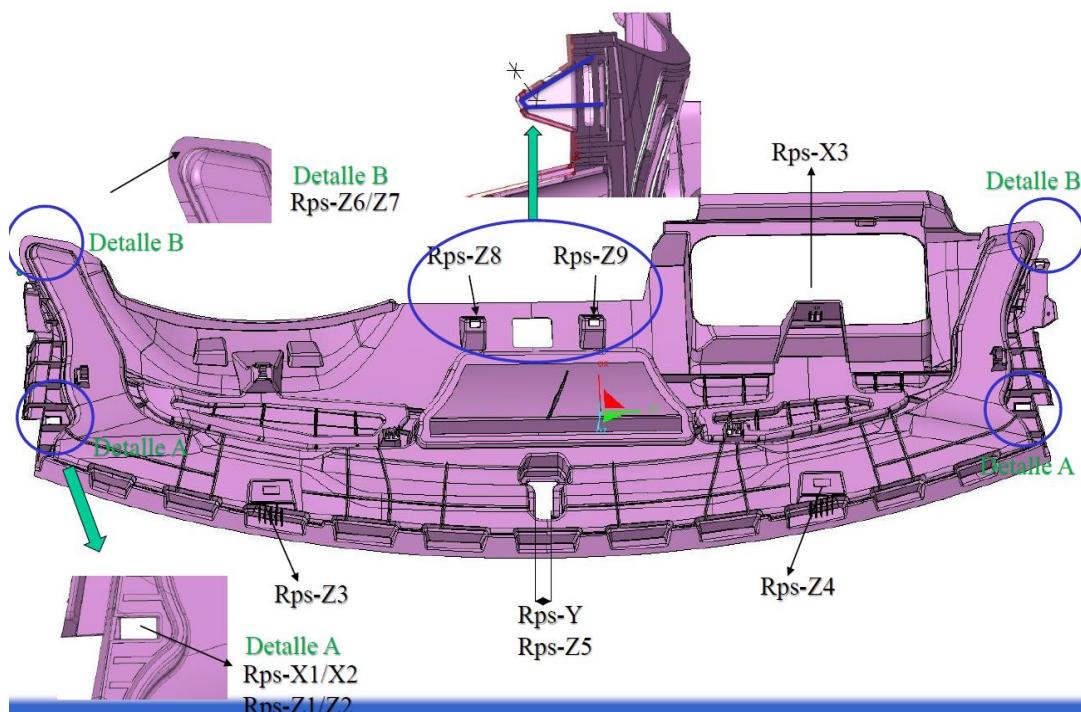


Imagen 4. Plano de la pieza con RPS

En esta ocasión, el cliente ha pedido que el posicionador además se diseñe de manera que la pieza quede posicionada haciendo coincidir los ejes coordenados del vehículo y los nuestros. En otras palabras, si la pieza va a estar en vertical cuando se monte en el vehículo el posicionador se debe fabricar para que la pieza también se coloque de igual forma. Esto puede llegar a complicar bastante su diseño y, en otros casos de menor importancia, el posicionador no se construirá según la posición real de la pieza en el coche.

¿Por qué en este caso se decide construir el posicionador así? La razón es simple, la gravedad es una fuerza que va a estar actuando cuando esté montada en el coche. Como el cliente ha considerado que la pieza es demasiado grande y que, además, tiene una gran importancia porque es una pieza muy visible, el posicionador se construye así para que se puedan apreciar los efectos de la gravedad y las posibles consecuencias de estos.

En la pieza que acabamos de ver podemos apreciar una serie de puntos y detalles marcados en el plano, los RPS. Estos puntos nos informan de que en el vehículo existirán unas piezas de unión con la pieza de plástico en las cuales debe encajar a la perfección y quedar fijada. ¿Por qué son tan importantes? Porque si no queda correctamente posicionada significaría que la pieza no lo hará tampoco cuando el vehículo se haya fabricado.

Dependiendo del tamaño de la pieza y de cuáles vayan a ser las conexiones con el resto, existirán uno o más RPS para cada eje. En este caso, puesto que la pieza es de gran tamaño, hay hasta nueve apoyos para el eje Z. De esta forma, se podrá verificar que la pieza realmente asienta en todas las partes y no está doblada por defectos del molde o de las contracciones. En cambio, en la dirección Y no ocurre lo mismo, solo es necesario un único RPS para centrar el posicionador.

Además, podemos distinguir dos tipos de RPS. Los que se denominan primarios y los que se denominan secundarios. La diferencia fundamental es que, en los primarios, cuando la pieza se monta en el vehículo, en ese preciso lugar, aparecerán allí sujetos o uniones, en cambio, en los secundarios no existirán dichas uniones y solo las podremos encontrar en el posicionador. Resumiendo, aquellas zonas cuya sujeción existe en el coche real son RPS primarios y el resto secundarios.

Las diferentes piezas del posicionador se fabrican en función de la geometría de los RPS. Por ejemplo, aquellos que fijen los ejes X e Y a menudo se hacen mediante agujeros. Por otra parte, los apoyos en Z se suelen hacer con machos como veremos más adelante. Por último, para fijar simplemente el eje X o Y habitualmente se fabrican torres con unas ranuras de forma que una pestaña de la pieza entre en ella y quede atrapada con una grapa.

Estas son esencialmente las geometrías más utilizadas para diseñar los apoyos de los RPS. Para el resto de las superficies y de puntos que debemos medir el abanico de posibilidades es mucho mayor. Al fin y al cabo, necesitaremos superficies que se adapten a la pieza y la mayoría de las veces no son geometrías regulares.

Es importante que en el proceso de medición que explicaremos más adelante puedan diferenciarse las superficies de las piezas que son RPS de las que no, el motivo es que dependiendo de su naturaleza la tolerancia será mayor o menor, siendo la de los RPS la menor.

2.2 Diseño

En este caso, el programa que se ha utilizado para desarrollar el posicionador ha sido SOLID WORKS aunque también se suele utilizar CATIA. Como yo no tenía la suficiente experiencia, en el diseño del posicionador he estado acompañado en todo momento por un ingeniero cualificado y con muchos años de experiencia en diseño avanzado por superficies.

El rol del ingeniero experimentado será, por tanto, supervisar y guiarme en el uso del programa puesto que no estoy familiarizado con él. Ahora veremos que para realizar el diseño del posicionador se necesita algo que va mucho más allá de saber manejar un programa. Diseñar es aplicar los conocimientos de ingeniería que permitan desarrollar las piezas con las características necesarias para cada parte concreta. Lo interesante de realizar el proyecto entero una sola persona es que puedes diseñar el posicionador pensando en las siguientes fases de forma que te facilites el trabajo a ti mismo.

Estos son algunos de los aspectos que he tenido en cuenta antes de empezar a realizar el diseño:

- En primer lugar, la creación de las diferentes piezas debe ser en capas diferentes. Puede parecer algo sin importancia, pero si no se tuviera esto en cuenta, cuando se realiza el ajuste fino que explicaremos más adelante habría zonas o piezas que no podríamos ocultar y que ocasionarían que alguna entidad no se pudiera definir ni medir. Este es un ejemplo que permite facilitarme el trabajo que tendrá que hacer a posteriori. En ocasiones donde el diseño ha sido realizado también por el cliente, todas las piezas estaban diseñadas en la misma capa y en la fase de medición surgían problemas para identificar las partes que se querían medir.
- Además de las piezas que son específicas de este posicionador, hay una serie de elementos comunes a muchas otras galgas y posicionadores. Siempre que sea posible intentaremos utilizar elementos comerciales. Optimizar costes implica fabricar solo aquello que sea estrictamente necesario, por ejemplo, los casquillos normalmente son elementos que se pueden comprar directamente y, así se evita su fabricación. En este caso, como veremos, hay bastantes piezas que podemos encontrar en el catálogo de cualquier proveedor y, por lo tanto, vamos a comprarlas directamente.

- Normalmente las piezas se suelen fabricar en aluminio por varias razones. La primera es que el óxido de aluminio, la alúmina, protege las piezas y, además, es visualmente agradable en comparación con el hierro. Otra de las razones es que el aluminio es más estable y pesa menos que el hierro. Otro de los motivos es que es mucho más fácil de mecanizar y, es que, a pesar de que el hierro sea mucho más barato, un mayor tiempo de mecanizado implicaría mayor coste. Asimismo, el hierro suele venir en grandes barras, en cambio, el aluminio en material bruto se puede encontrar en una gran diversidad de tamaños y, como consecuencia, a la hora de mecanizar se desperdicia muchísimo menos material puesto que podemos pedir un bloque de aluminio de un tamaño muy similar a la pieza ya acabada.
- Como acabamos de ver, el aluminio será generalmente el material que se utilizará, pero hay una serie de excepciones. Aquellas piezas que vayan a sufrir un gran desgaste suelen realizarse en acero, incluso se puede llegar a tratar para obtener más dureza o alcanzar unas determinadas características. Por ejemplo, un temple permitiría que la pieza soportara un roce continuado. Las piezas que son de grandes dimensiones se suelen añadir mediante estructuras de hierro soldado como por ejemplo en nuestro posicionador. Para evitar tensiones internas se debe llevar la estructura a estabilizar después del soldado. Este proceso consiste en calentar de forma progresiva y uniforme la estructura de hierro hasta llegar a una temperatura determinada para después mantenerla a esa temperatura durante varias horas. Como sabemos, la diferencia entre el hierro y el acero es la concentración de carbono. Si utilizáramos acero en vez de carbono, al soldar el carbono se concentraría en algunas partes y se endurecería lo que haría más complicado el mecanizado.

Elemento	Aluminio	Hierro
Densidad	2,7 g / cm ³	7,874 g / cm ³
Resistencia a la tracción	90 MPa (puro), 600 MPa (aleaciones)	540 MPa
Límite de elastacidad	11 MPa (puro), 400 MPa (aleaciones)	50 MPa
Módulo de Young	70 GPa	211 GPa
Escala de Mohs	2,8	4,5
Dureza Brinell	240 MPa	490 MPa
Dureza Vickers	167 MPa	608 MPa
Punto de fusión	660 ° C	1538 ° C
Punto de ebullición	2467 ° C	2861 ° C
Conductividad térmica	237 W / mK	80,2 W / mK
Coeficiente de expansión térmica	23,1 µm / mK	11,8 µm / mK
Calor específico	0,9 J / g K	0,44 J / g K
Calor de fusión	10,79 kJ / mol	13,8 kJ / mol
Calor de vaporización	293,4 kJ / mol	349,6 kJ / mol

Imagen 5. Tabla de propiedades de aluminio y hierro

Tal y como hemos mencionado anteriormente, toda galga o posicionador tienen una serie de piezas prácticamente iguales. Todas ellas suelen tener unas patas de material plástico, unas asas para poder transportarlas y una placa de aluminio rectificado de un espesor concreto. El grosor de la placa dependerá del tamaño y peso de los elementos y piezas que estarán atornilladas a ella.

En nuestro caso, como veremos más adelante, se van a utilizar tanto el aluminio como el hierro. Para las partes más pequeñas el aluminio, y para las columnas que permitirán poder tener la pieza en posición vertical se optará por el hierro.

Al realizar el diseño, como el CAD que nos entrega el cliente tiene como origen de coordenadas el del vehículo, conforme he ido creando las piezas del posicionador todas han ido quedando también referenciadas respecto a él, por ello, tanto la pieza como el posicionador quedarán perfectamente definidas en el espacio. Con motivo de facilitar el alineamiento y, puesto que es muy habitual realizarlo con tres puntos en la fase de medición se diseñarán en la placa tres agujeros con un casquillo comercial cada uno. Eso agujeros se definirán y se obtendrán sus coordenadas de posición. Por último, en este caso se fabricará una pieza para que pueda tarar un reloj comparador. Como veremos, habrá dos partes que simplemente se verificarán por comparación introduciendo un reloj comparador que previamente se ha tarado en la pieza.

2.2.1 Diseño de las piezas del posicionador

Empezando por esto último, he diseñado el tarador de forma que sea una pieza cilíndrica tal y como vemos en la imagen de abajo. La forma en sí es irrelevante, la distancia entre la parte de arriba del casquillo y la superficie de abajo es lo que es realmente importante ya que servirá para tarar el reloj comparador. Se procederá de la siguiente manera. Se introducirá el reloj comparador por el casquillo de la parte superior hasta que la aguja toque con la parte de abajo. Una vez introducido por completo se moverá hasta ponerlo a cero. Como la distancia entre la superficie de arriba y la de abajo estará comprobada con la máquina tridimensional siempre será tarado de la misma forma y con la distancia deseada por lo que nos informará de las desviaciones de dos zonas de la pieza de plástico.

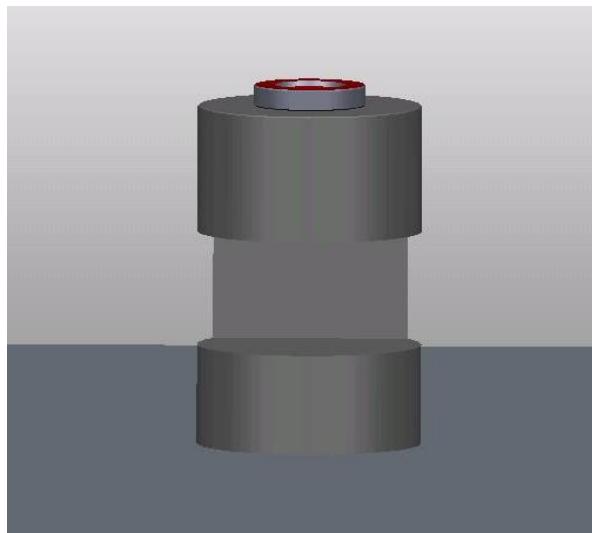


Imagen 6. CAD Pieza reloj comparador

Como se podrá comprobar en las diferentes imágenes, al diseñar el posicionador, he optado por pintar las superficies de diferentes colores en función de la tolerancia que tienen. Las zonas rojas tendrán una tolerancia de ($\pm 0.050\text{mm}$), en contraste con las zonas azules que tendrán una tolerancia de ($\pm 0.100\text{mm}$). Esto también me facilitará la fase de ajuste fino y de elaborar los informes tridimensionales al reconocer rápidamente las tolerancias de cada pieza.

En principio, este posicionador solo iba a contar con una pieza que nos centrara la pieza en el eje Y. Como la geometría de esta zona era irregular, además de que las paredes sirvan de centrador, se ha diseñado una superficie para que la pieza pueda apoyar también en Z. Si nos fijamos, esta pieza tiene como objetivo prioritario centrar en el eje Y, por eso, la superficie que se encarga de ello está pintada en rojo y el apoyo en Z que es un objetivo secundario en azul.

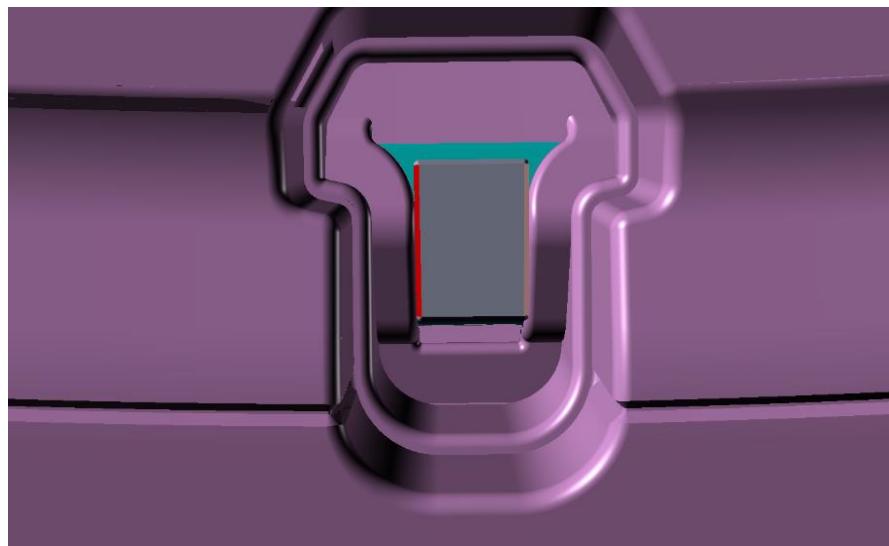


Imagen 7. CAD Pieza del posicionador para RPS (Y-Z5)

He considerado que quizá no era suficiente tener una única pieza para centrar en el eje Y y he decidido agregar una pieza extra similar a la anterior para la parte superior central del posicionador. De esta forma, se asegurará todavía más su correcta posición. A su vez, se fabricarán dos piezas en forma de cuña en ambos lados que sirvan como apoyos en Z.

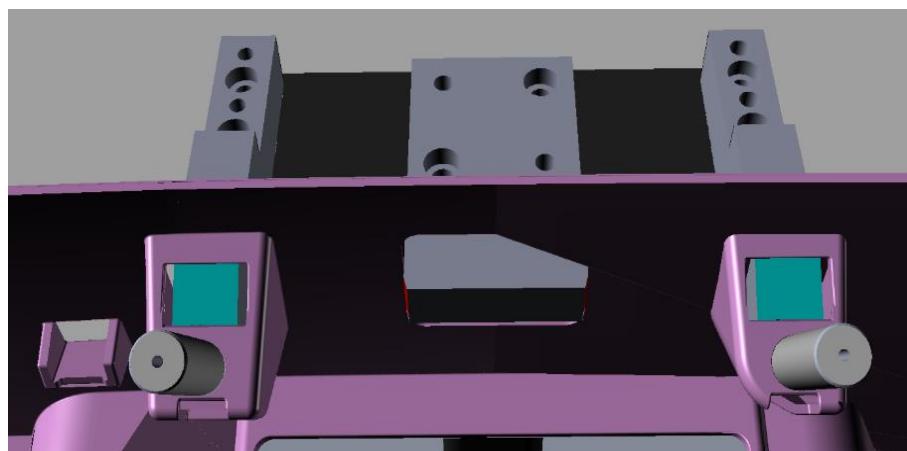


Imagen 8. CAD Pieza del posicionador para RPS (Z8-Z9)

Para los RPS siguientes, Z3 y Z4 se fabricarán unas torres con unos machos que se introducirán en las oberturas de cada lado de la pieza. De esta forma, y como se aprecia en la imagen, ambas caras del macho centrarán la pieza en Z.

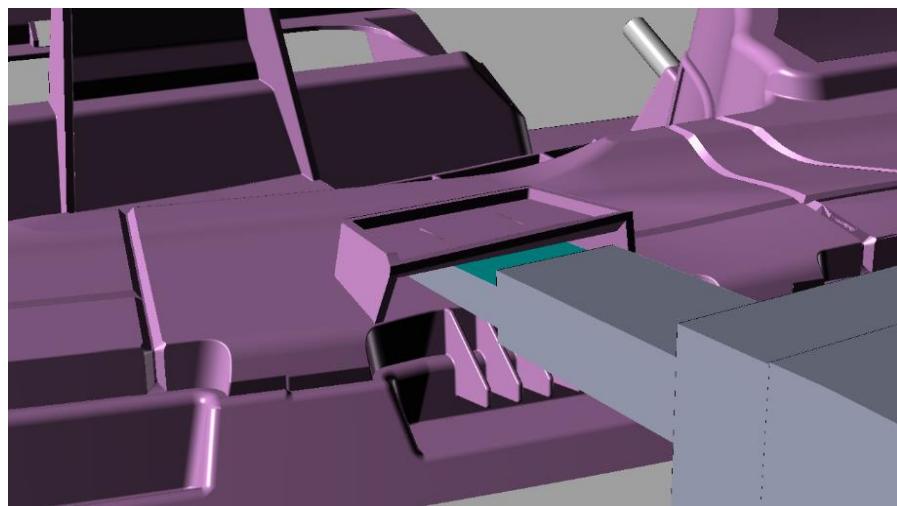


Imagen 9. CAD Pieza del posicionador para RPS (Z3-Z4)

Para finalizar, en los extremos izquierdo y derecho podremos encontrar tres piezas. Empezando por arriba, aunque en el coche no existirán piezas similares se han diseñado para ver como apoya la pieza. Para evitar que esté separada serán necesarias dos pinzas que aseguren su contacto.

En la parte de abajo, estarán los agujeros que centrarán la pieza en el eje X y, finalmente, una pieza similar al tarador. La diferencia es que ahí entrará el reloj comparador ya tarado y cuando la aguja toque con la pieza podremos ver cuál es la desviación respecto al cero.

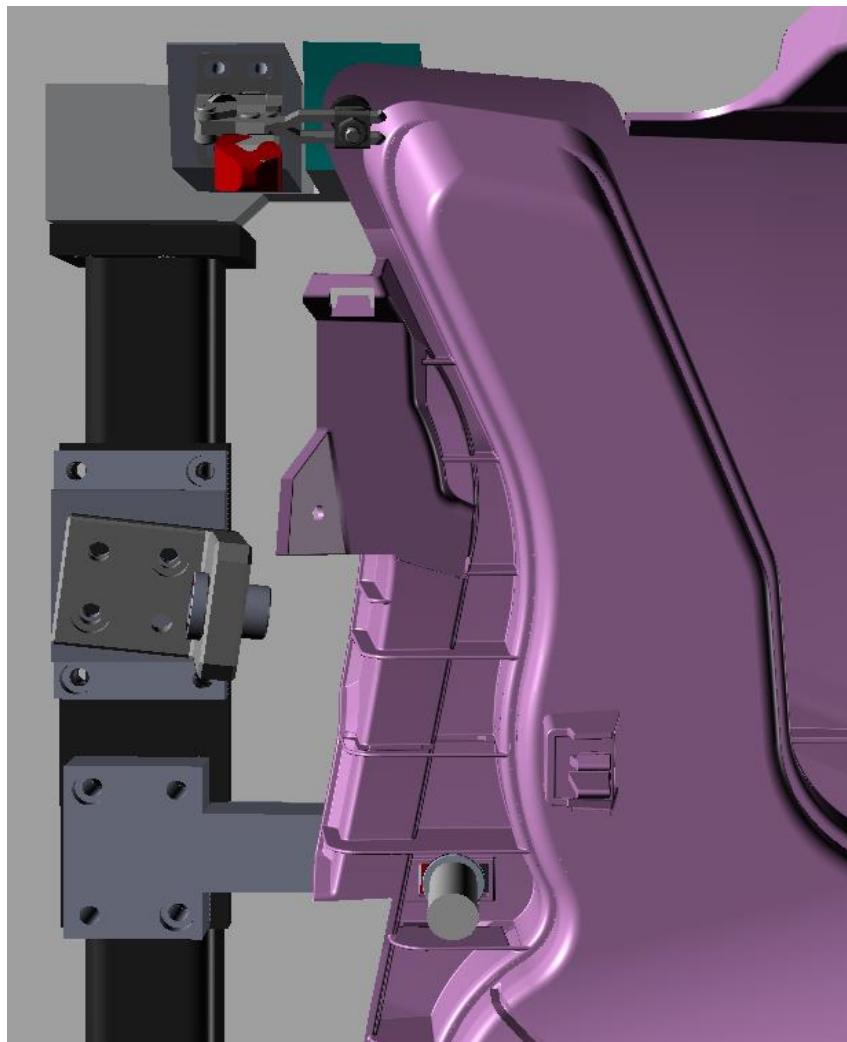


Imagen 10. CAD Pieza del posicionador para RPS (X1-X2-Z1-Z2-Z6-Z7)

Ensamblando todas las piezas que se han de fabricar junto con todos los elementos comerciales que hemos nombrado hemos obtenido el posicionador al completo. Abajo podemos ver tanto el posicionador con la pieza como sin ella. El trabajo de diseño ha acabado. He partido de una pieza libre en el espacio dada y he podido desarrollar una serie de piezas que se adapten a su geometría y que permitan fijarla en la posición deseada.

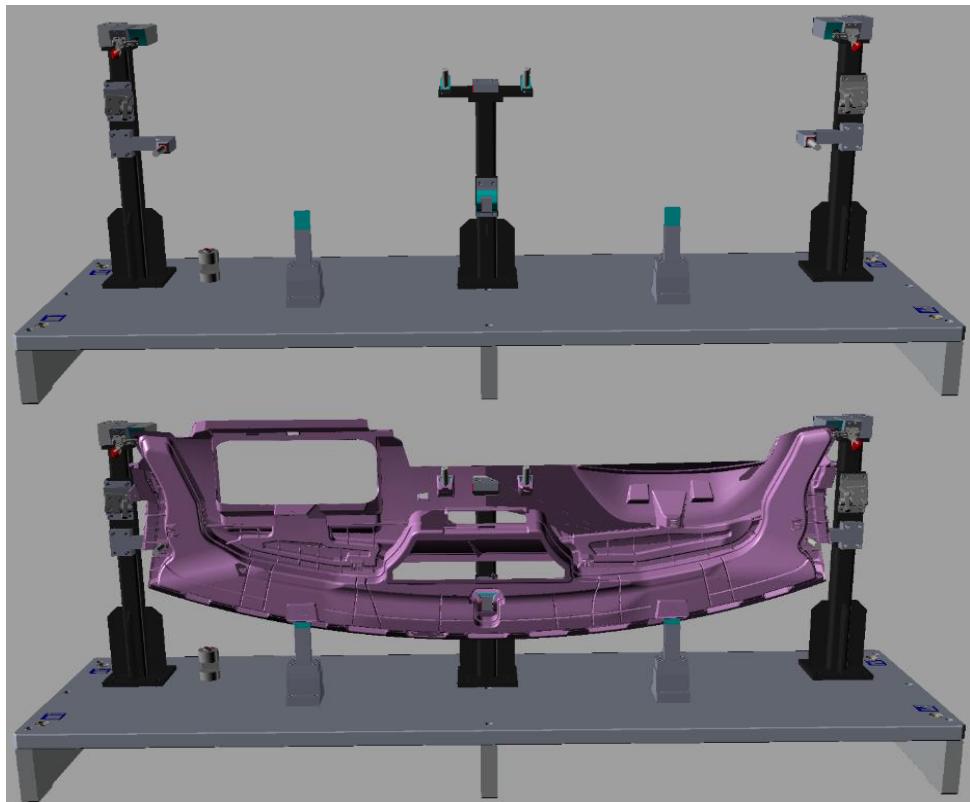


Imagen 11. CAD Posicionador con y sin pieza

3. PLANOS Y PROGRAMAS CNC

Finalizada ya la fase de diseño, empezamos ahora la etapa de fabricación. Todas las piezas se van a fabricar en una fresadora de control numérico y en un torno manual. Para poder llevar este proceso a cabo es necesario obtener unos planos para aquellas piezas con geometría sencilla. En contraposición, hay varias piezas que, para que se puedan adaptar perfectamente a la pieza, se han diseñado con una geometría irregular y, en consecuencia, es necesario un programa específico para cada una.

3.1 Planos

Para poder obtener los diferentes planos de las piezas utilizaremos el mismo programa con el que hemos trabajado para elaborar su diseño. Al trabajar con programas de este tipo, la obtención de los planos puede ser una tarea más o menos costosa, pero desde luego, no complicada. Simplemente tenemos que ir seleccionando las piezas que queremos e ir obteniendo las vistas y cortes necesarios para que el operario tenga claro cómo fabricarlas. Es posible que al comenzar a fabricarlas se haya podido olvidar alguna cota. Con el propósito de poder resolver ese problema, lo más rápido posible y recomendable es tener disponibles los planos en formato .dxf además de tenerlos impresos para poder comprobar in situ lo que sea necesario. Una vez tengamos los planos se puede empezar a fabricar.



Imagen 12. Posicionador en fabricación

3.2 Programas CNC

Como hemos visto, hay cinco piezas cuya geometría era lo suficientemente complicada como para no poder hacerse simplemente con los planos que he sacado previamente. Por eso, es necesario desarrollar un programa de control numérico que permita a la fresadora acabar las piezas.

En este caso, he utilizado el programa GIBBSCAM porque, aunque existen otros programas mucho más completos como por ejemplo NX CAM, la empresa no disponía de licencia para poder utilizarlo.

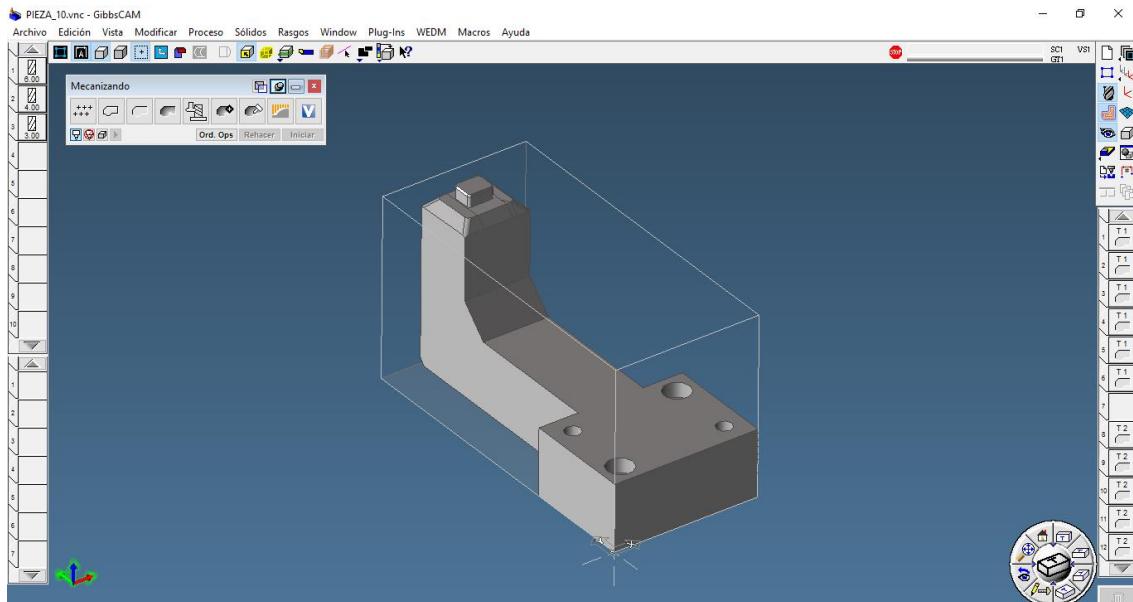


Imagen 13. Interfaz programa GIBBSCAM

Hemos expresado en varias ocasiones que las piezas que hemos diseñado tienen el origen de referencia del vehículo. Lo primero que debemos hacer al abrir el archivo 3D en el programa es generar otro nuevo sistema de referencia para cada pieza.

Esto es algo imprescindible, cuando se vaya a fabricar en la fresadora el operario necesitará saber qué punto debe tomar como origen. Es necesario que para que el programa funcione correctamente, al ejecutar el programa, la pieza y el programa tengan el mismo sistema de referencia.

A su vez, la elección del sistema de coordenadas debe ser tal que el operario que esté en la fresadora sea capaz de tocar con el palpador las superficies que generan ese origen de referencia.

Al realizar los programas, debemos saber cuál es la preforma de la que se parte. En nuestro caso, a partir de los planos es posible eliminar el material sobrante dejando solo la superficie compleja por acabar. Por lo tanto, el programa solo se encargará de acabar la pieza a partir de una preforma semiacabada. Para ello, a partir del CAD de la pieza se genera un nuevo CAD con la geometría de la preforma mediante una extrusión. De esta forma, teniendo ya la geometría de la preforma y el sistema de coordenadas, podremos asegurar que la fresa no impactará con la pieza y que podrá avanzar rápido en aquellas zonas donde no exista material.

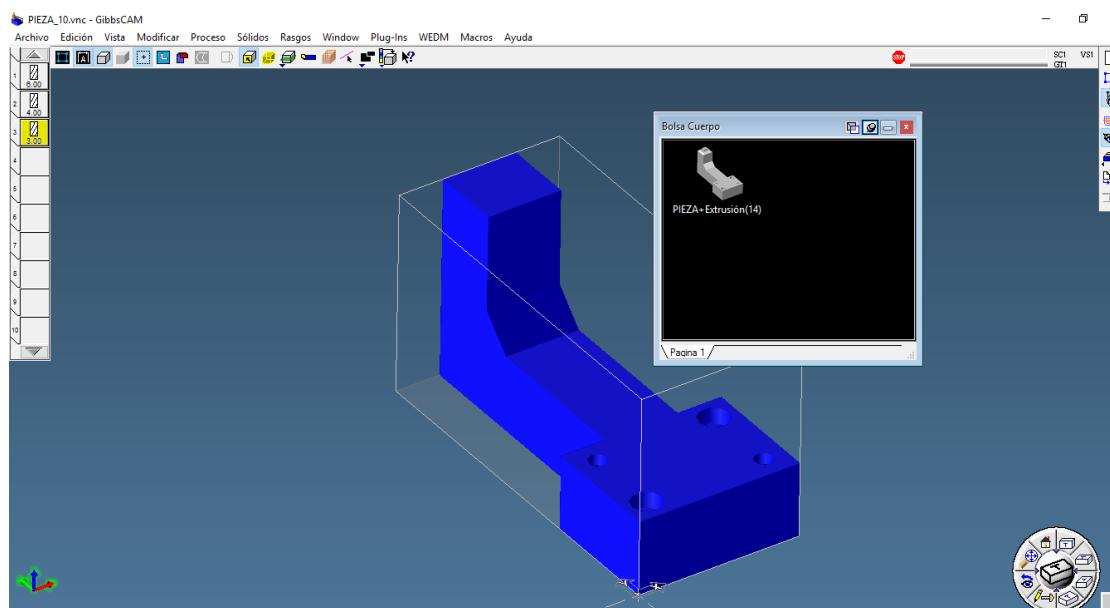


Imagen 14. Preforma

Al igual que en el diseño aplicamos los conceptos de la ingeniería para diseñar de una forma óptima, cuando se realizan los programas es necesario conocer la máquina con la que el operario va a trabajar, el material de las piezas que vamos a mecanizar y, por supuesto, las herramientas de las que dispone el operario así de cómo sus características.

Para poder conocer las características tanto de las herramientas como de los procesos me ha resultado muy útil visitar la página web de Sandvik Coromant que adjunto en la bibliografía. En ella se puede encontrar muchísima información sobre el mecanizado.

No obstante, lo que realmente me ha ayudado ha sido hablar directamente con el operario que iba a estar en la fresadora. Él, mejor que nadie, conoce las limitaciones de la máquina y las herramientas de las que dispone. Por lo tanto, los programas los he desarrollado en base a lo que me ha dicho el operario.

Una vez queda claro que puedo usar y qué no, debo pensar e incluso esbozar en un papel que es lo que quiero que haga la fresa para después introducirlo en el programa.

Debido a su tamaño y la geometría de cada una de las piezas, he considerado que un máximo de tres operaciones es suficiente para finalizar las piezas. De hecho, habrá piezas que con tan solo dos operaciones se puedan acabar. Cada programa tendrá una o dos operaciones de desbaste y una de acabado.

En el desbaste, se empleará una fresa más grande que deje un espesor de un milímetro en caso de que la pieza sea más grande y después, otra fresa más delgada para continuar desbastando hasta llegar a los 0,200 mm. Para finalizar, el acabado se realizará con una fresa esférica o normal dependiendo de la geometría. Para el acabado de una superficie curva se debe usar una fresa esférica de lo contrario, con una fresa normal sería imposible.



Imagen 15. Fresa normal y fresa esférica

Cuando ya tenemos en la cabeza las operaciones, las herramientas y las trayectorias que queremos que realice la fresadora, debemos introducir en el ordenador todos los datos necesarios para que se pueda hacer el programa.

En primer lugar, debemos introducir manualmente las herramientas que queremos utilizar, así como sus características. También, debemos especificar el modelo de fresadora que tenemos, de lo contrario, podría crear un programa que fuera incompatible con nuestro modelo. Además, también es posible agregar herramientas de una librería y modificar sus propiedades.

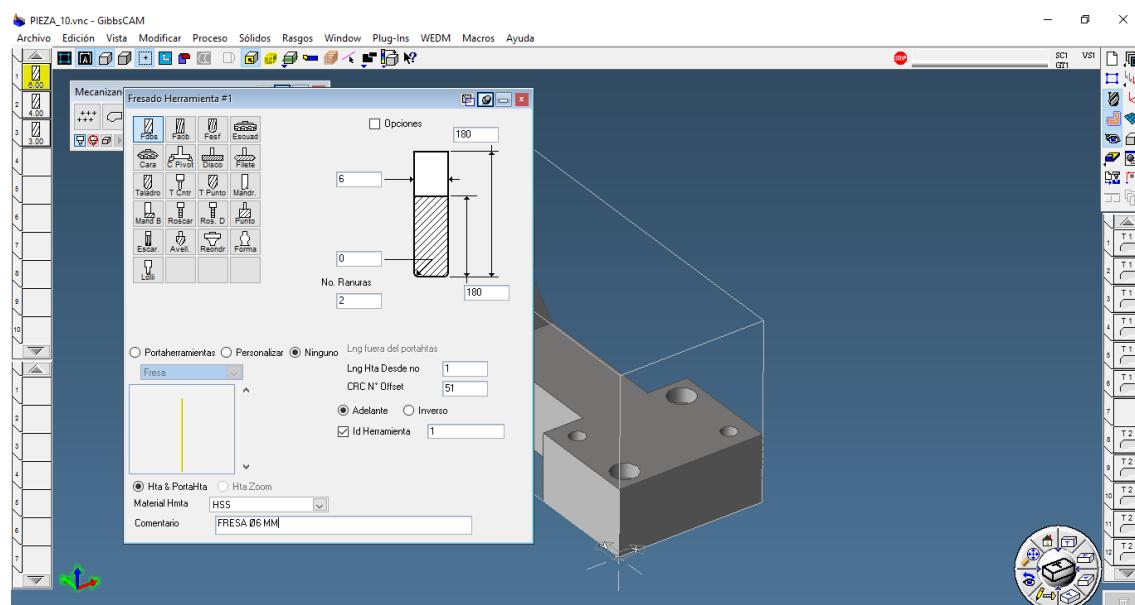


Imagen 16. Configuración de la herramienta

Después, vamos configurando las trayectorias y las características del mecanizado. Dependiendo del modelo de máquina y de las propiedades de las herramientas podremos utilizar diferentes velocidades de corte y de avances.

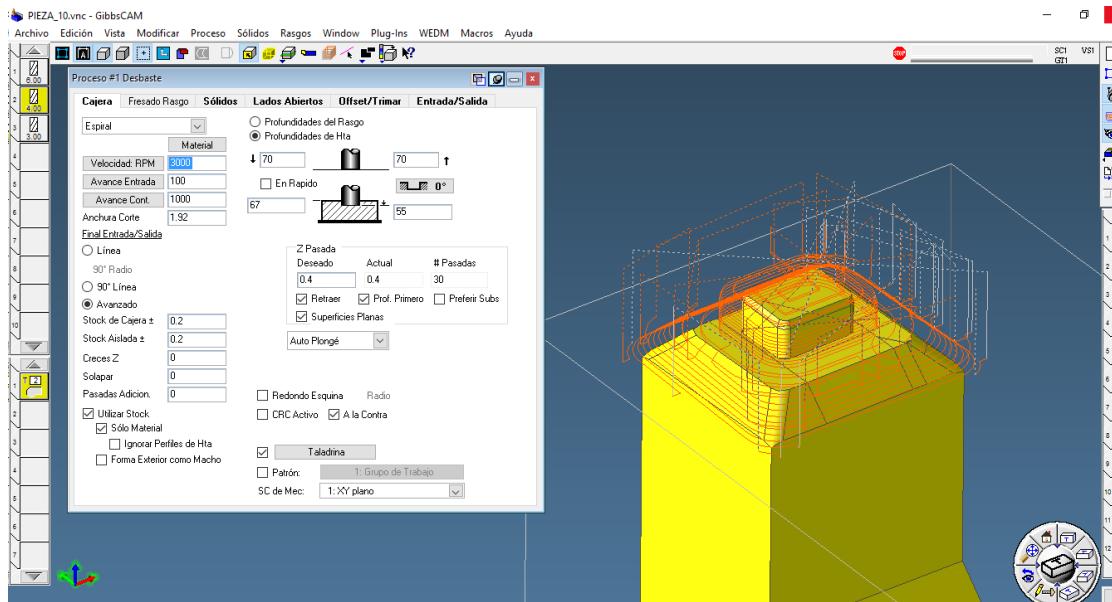


Imagen 17. Generación de trayectorias

Por último, podemos simular el mecanizado en el programa para ver que todo está correcto antes de empezar con la fabricación. Hasta ahora, todo lo que hemos hecho tiene una solución fácil y barata. Por ello, antes de iniciar la fase de fabricación debemos estar seguros de que no hay ningún fallo. Es precisamente en el mecanizado donde los errores pueden resultar muy caros. Una pieza mal fabricada o rota puede impedir la entrega del posicionador en la fecha acordada con el cliente.

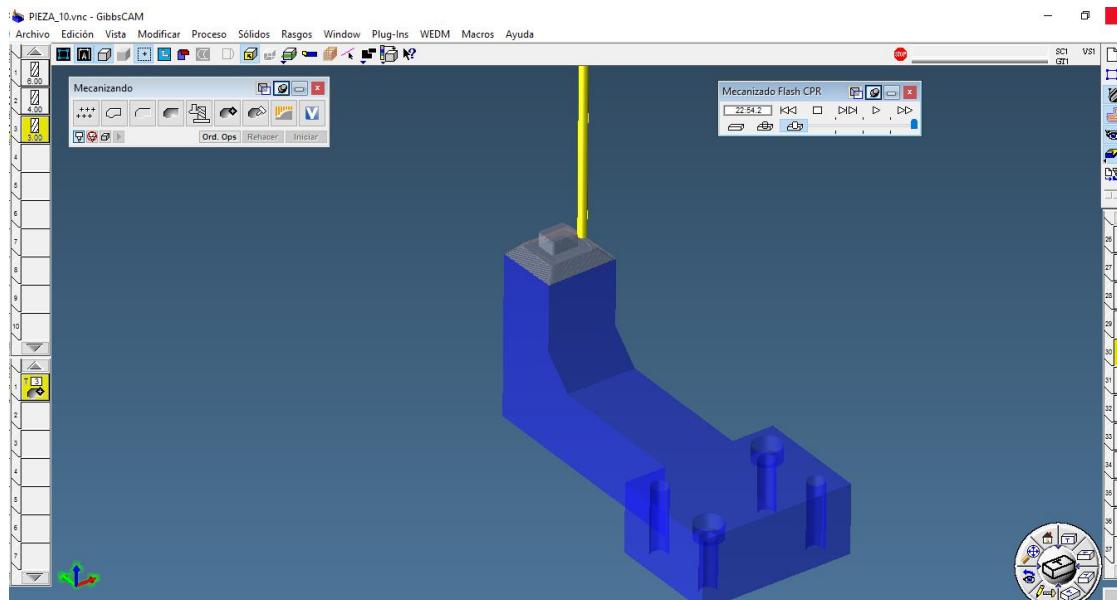


Imagen 18. Simulación del mecanizado

Dependiendo de la memoria de la fresadora y de la extensión de los programas es posible que no haya suficiente espacio para almacenarlos en la propia máquina. En ese caso, el programa se ejecutará en infinito desde el ordenador.

Una vez desarrollados todos los programas, le informaré al operario del nombre del programa que debe ejecutar para cada pieza y de las herramientas que debe utilizar en cada operación. Asimismo, adjuntaré una imagen en el documento para que identifique claramente la posición de la pieza en la fresadora y su origen de referencia.

3.2.1 *Información al operario*

Para la Marca 10, solo era necesario acabar la parte donde irá roscado un tornillo que ajuste la pieza a su posición. he utilizado una fresa normal de 6 milímetros de diámetro en la operación de desbaste y una fresa normal de 4 milímetros de diámetro en el segundo desbaste. Para acabar, he utilizado una fresa normal de 3 milímetros de diámetro. Todas ellas deben tener una longitud hasta el cabezal de mínimo de 12 milímetros puesto que va a ser la profundidad a la que van a tener que bajar.

Marca 10

Origen según la imagen. Origen del eje Z en la parte inferior.

DESBASTE GRUESO (Programa Nº 65011)

Fresa Normal Ø6 mm. Profundidad 12 mm

DESBASTE FINO (Programa Nº 65012)

Fresa Normal Ø4 mm. Profundidad 12 mm

ACABADO (Programa Nº 65013)

Fresa Normal Ø3 mm. Profundidad 12 mm

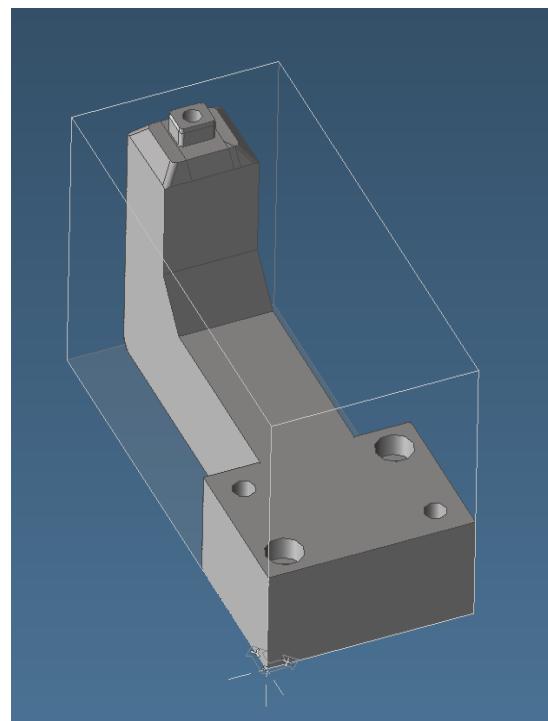


Imagen 19. Origen Marca 10

Para la Marca 11, como debemos hacer una rampa con doble inclinación también ha sido preciso desarrollar un programa de control numérico. En tales circunstancias, usaremos una fresa normal de diámetro 10 milímetros para el desbaste y una fresa esférica de diámetro 10 milímetros para el acabado. Ambas fresas descenderán hasta 20 milímetros y, una vez más, el origen de coordenadas está posicionado en la esquina inferior.

Marca 11

Origen según la imagen. Origen del eje Z en la parte inferior.

DESBASTE (Programa Nº 65021)

Fresa Normal Ø10 mm. Profundidad 20 mm

ACABADO (Programa Nº 65022)

Fresa Esférica Ø10 mm. Profundidad 20 mm

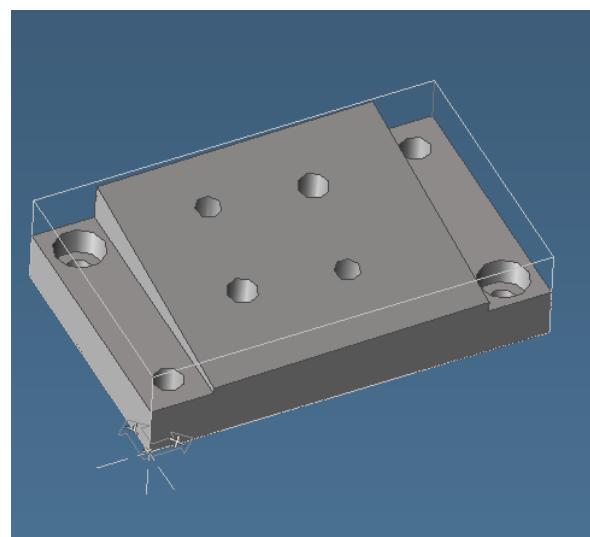


Imagen 20. Origen Marca 11

Para la Marca 12 y 13, he utilizado las mismas herramientas. Son piezas prácticamente iguales. Para realizar el desbaste se utiliza una fresa normal de diámetro 10 milímetros y para el acabado una fresa esférica de 10 milímetros. Ambas con la posibilidad de descender 25 milímetros.

Marca 12 y 13

Origen según la imagen. Origen del eje Z en la parte inferior.

DESBASTE (Programas Nº 65031 y Nº 65041)

Fresa Normal Ø10 mm. Profundidad 25 mm

ACABADO (Programas Nº 65032 y Nº 65042)

Fresa Esférica Ø10 mm. Profundidad 25 mm

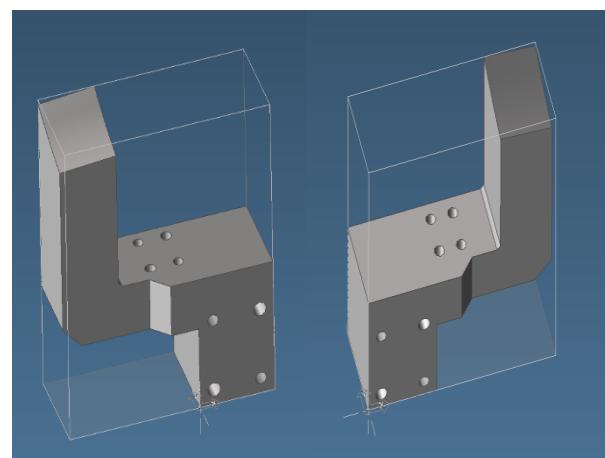


Imagen 21. Origen Marca 12 y 13

Terminamos con la pieza central del posicionador. Para realizar las superficies curvas he utilizado una fresa normal de diámetro de 6 milímetros para el desbaste grueso, una fresa normal de 4 diámetros para el desbaste fino y, para acabar, una fresa esférica de diámetros 3 milímetros. Todas ellas con una profundidad de 33 milímetros.

Marca 17

Origen según la imagen. Origen del eje Z en la parte inferior.

DESBASTE GRUESO (Programa Nº 65051)

Fresa Normal Ø6 mm. Profundidad 33 mm

DESBASTE FINO (Programa Nº 65052)

Fresa Normal Ø4 mm. Profundidad 33 mm

ACABADO (Programa Nº 65053)

Fresa Esférica Ø3 mm. Profundidad 33 mm

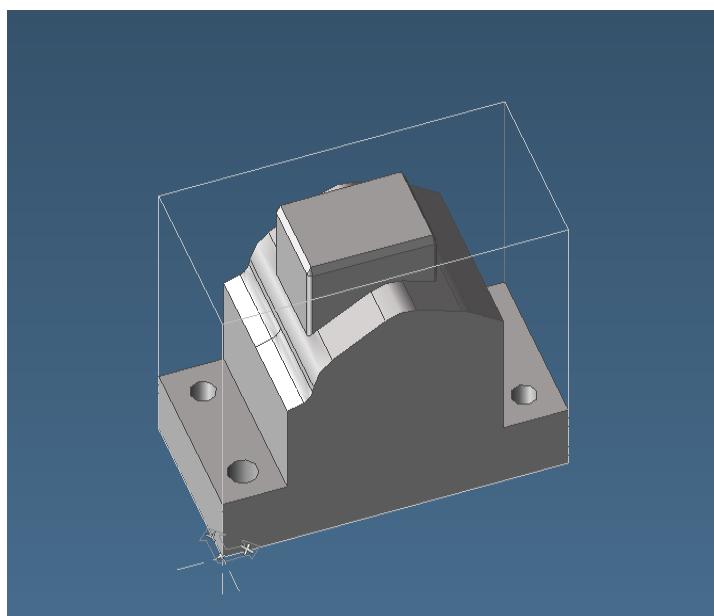


Imagen 22. Origen Marca 17

Cuando ya se han fabricado todas las piezas se montan en el posicionador. Esta vez, por motivos estéticos se han pintado de azul las columnas fabricadas en hierro. Habitualmente es el cliente el que especifica cómo deben ser estas condiciones estéticas. Otras veces, se llevan las piezas de hierro a pavonar para que queden pintadas de color negro. Este proceso consiste en aplicar una capa superficial de magnetita alrededor de las piezas para evitar la corrosión y mejorar su aspecto visual. Como ya hablamos, una de las cualidades negativas que tiene el hierro es que al oxidarse tiene una estética desagradable a la vista, y puesto que en este caso era inevitable utilizar dicho material, se ha optado por pintarlo de azul. Como ya advertimos, este posicionador era bastante pesado y para facilitar su transporte se utilizará el carro que vemos en la parte posterior de la imagen. Una vez seca la pintura se introduce en la sala de medición y se deja un tiempo para que adquiera una temperatura uniforme.



Imagen 23. Posicionador fabricado sin ajuste fino

4. AJUSTE E INFORMES DIMENSIONALES

Finalmente, comienza la etapa que sí he podido desarrollar al 100 % puesto que al haber realizado las prácticas en la empresa realizando precisamente este trabajo ya conocía el modo de proceder.

4.1 La máquina de medir por coordenadas

Para comenzar, explicaremos brevemente que es una máquina de medir por coordenadas. Si buscamos en internet encontraremos lo siguiente: “*Una máquina de medición de coordenadas utiliza una sonda electrónica muy sensible para medir una serie de puntos discretos de la geometría de una parte sólida. Estas mediciones se utilizan para confirmar la conformidad de la pieza con las especificaciones*”. En otras palabras, gracias a una serie de ejes permiten el movimiento del palpador en diferentes direcciones. El contacto del palpador con un objeto origina un impulso eléctrico que permite al programa del ordenador procesar los datos y entender que en esa posición existe un objeto. Así se pueden crear diferentes entidades (puntos, rectas, círculos...).



Imagen 24. Máquina de medir por coordenadas

Una de las cosas que podemos lograr es obtener las dimensiones de un objeto. Si fuéramos midiendo las diferentes entidades y realizáramos una serie de operaciones en el ordenador como intersecciones podríamos llegar a tener la pieza definida. Esto se suele hacer cuando las geometrías son simples. En este TFG no se utilizará la máquina para eso. La pieza y el CAD de esta vendrán ya dadas y la máquina servirá para comparar las dimensiones reales con las que se han diseñado. Hagamos lo que hagamos con la máquina es necesario que tanto la pieza que se va a medir como la máquina se encuentren en una sala climatizada a una temperatura constante para evitar dilataciones o contracciones de los materiales que pudieran incurrir en errores de medición.

En este caso, disponemos de una máquina manual cuya mesa rectificada mide 3000mm x 1800mm. En la mesa disponemos de varias líneas de agujeros roscados que, junto con un perno, permitirán fijar los amarres del posicionador. Los palpadores son de rubí cerámico y hay diferentes tamaños para asegurar su entrada en los huecos de la pieza. El programa que permite abrir los CAD, elaborar los informes y comparar la pieza real con la nominal es METROLOG. Aquí podemos ver como se ve el CAD diseñado en la etapa inicial en la máquina de medir por coordenadas.

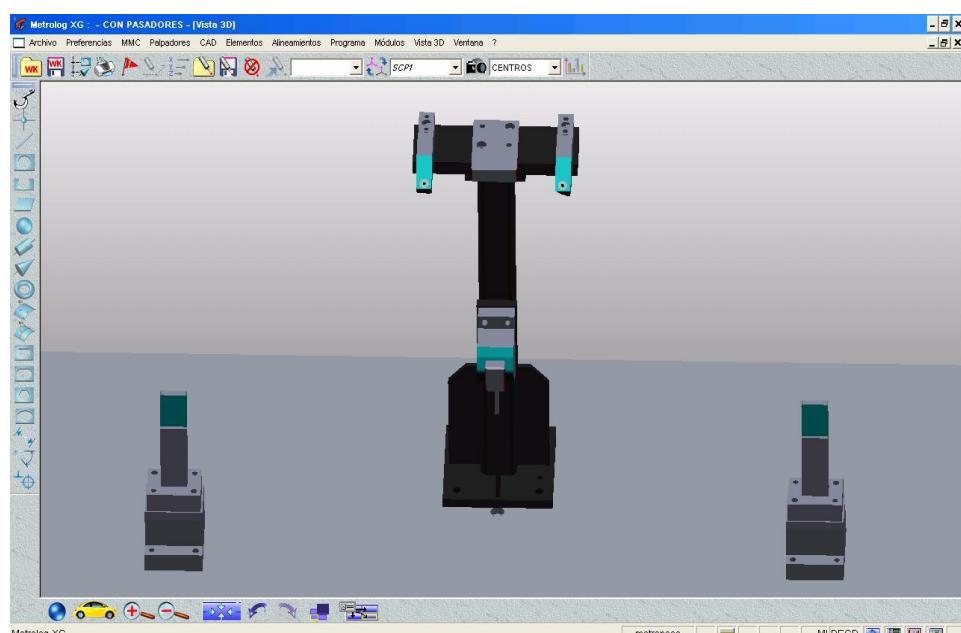


Imagen 25. CAD posicionador en METROLOG

4.2 El amarre

Una vez explicado brevemente en qué consiste la máquina estamos preparados para comenzar esta fase.

Antes de nada, necesitaremos que al manipular el posicionador no se mueva. Conforme vayamos haciendo el ajuste fino se podrá comprobar que hay veces que, al apretar, desatornillar o incluso golpear el posicionador se podría mover. Para evitarlo, necesitaremos fijarlo de alguna manera a la mesa. Dependiendo del tipo de posicionador y de su tamaño se utiliza una u otra forma. Esta vez, utilizaremos el amarre que vemos en la imagen de abajo.

En primer lugar, se debe limpiar tanto la mesa como las patas del posicionador. El motivo de esto es que cualquier viruta o suciedad que pudiera haber en ellos podría desestabilizarlo y que todas las medidas no fueran válidas. Una vez hecho esto, se colocará de forma que las esquinas queden cerca de los agujeros roscados. Al poner las sujetaciones se asegurará que queda encima de la pata para asegurar un buen apoyo y se procederá a tensar las tuercas a la vez, esta forma de proceder asegura que al ir apretando poco a poco y en ambos lugares a la vez no aparezcan tensiones residuales que al quitar las sujetaciones se restableciera a su posición inicial e invalidara todas las mediciones que hubiéramos hecho y las dejara fuera de la tolerancia.



Imagen 26. Sujeción del posicionador con la mesa

4.3 Alineamiento

Al encender la máquina es necesario calibrar la máquina para que todo lo que hagamos después sea correcto. Para ello, se lleva al palpador y se realiza una medida en la bola máster. Si por la geometría del posicionador fuera necesario cambiar la posición del palpador tendríamos que volver a la bola máster de nuevo para calibrarlo otra vez en la nueva posición, de lo contrario la máquina no sabría que la posición del centro de la bola del palpador ha cambiado.

Después, para poder comparar las dimensiones reales con las nominales necesitaremos que el origen del sistema de coordenadas de la máquina se traslade al que hay en el CAD y que, de ese modo, cuando movamos el palpador se mueva también de la misma forma en el ordenador.



Imagen 27. Palpador y bola máster

4.3.3 *Tipos de Alineamiento*

Alinear un posicionador consiste fundamentalmente en comunicarle a la máquina cuáles van a ser las nuevas las direcciones de los tres ejes coordenados y su origen. Para ello se suelen utilizar dos tipos de alineamientos en función de la geometría de la pieza.

- Alineamiento geométrico: Para realizarlo es necesario medir un plano y dos rectas. Como hemos visto, todos los posicionadores y galgas tienen una placa de aluminio que hace de base. Sobre ella se realizaría la medición del plano y sus laterales las rectas. Si desde el programa efectuamos la intersección de las rectas se obtiene un punto. Ese punto tendrá unas cotas características que podremos conocer. Al introducirse las cotas nominales de dicho punto el alineamiento se completará y quedarán así perfectamente definidos los tres ejes y el origen de coordenadas.
- Alineamiento por tres puntos de centro: En este caso, lo que mediremos serán tres círculos. Igual que en el alineamiento anterior como se han definido previamente dichos círculos en el CAD podemos averiguar cuáles son las cotas de cada uno de ellos. Comenzaremos midiendo un plano en cada uno de ellos y después midiendo el agujero. Al introducir las cotas nominales en cada uno de ellos quedarán perfectamente identificadas sus posiciones. En general, se suele utilizar este tipo de alineamiento puesto que es mucho más versátil.

Cuando ya tenemos el alineamiento hecho, simplemente lo ensamblamos con el alineamiento del CAD. Ensamblar significa que el alineamiento que hemos medido en el posicionador se acople con el que preexistente en el CAD. Si todo ha salido correctamente observaremos que al mover el palpador hacia una de las piezas del posicionador en el ordenador ocurre exactamente lo mismo.

4.4 Ajuste fino

En este momento, comienza la fase más importante y que más trabajo conlleva. El ajuste fino consiste en mover las diferentes piezas a su posición exacta de forma que quede dentro de la tolerancia. La razón por la que se realiza el ajuste fino es que después de que se hayan fabricado todas las piezas se encuentren en un lugar cercano al que deberían, pero nunca en la posición correcta. Esto es una obviedad, al estar unidas a la placa mediante tornillos se habrán taladrado unos agujeros en la pieza que permitan el paso del tornillo.

Estos agujeros siempre se hacen uno a dos milímetros más grandes para que tenga cierta holgura. De hecho, gracias a que existe dicha holgura podremos mover ligeramente la pieza hasta encontrar su posición exacta, es decir, nos permitirá hacer el ajuste fino. Además de que es imposible que las piezas estén colocadas desde un inicio como deberían, pueden existir fallos en ellas. Desde un error en la fase de diseño hasta una cota incorrecta en los planos que incurría en también en la fabricación.

Por todo esto, antes de empezar es recomendable hacer un barrido de puntos por las piezas. Por ejemplo, en este caso se suele hacer el barrido con las alturas. Si observamos que los errores están dentro de unos dos milímetros estaremos dentro de lo normal. En cambio, si hay algún punto que se va más que eso es probable que haya algún fallo.

En caso de que ocurra, lo primero que se hace es volver a alinear el posicionador. La fase del alineamiento es crucial y cualquier error podría invalidar todo lo demás. Si tras el alineamiento las desviaciones no han cambiado se debe comprobar que las cotas de los centros que hemos medido para poder alinear el posicionador sean las correctas.

Por último, si hemos comprobado todo lo anterior y sigue fallando tendremos que hablar con el operario para que compruebe con un pie de rey las dimensiones de la pieza y las compare con el plano que ha utilizado para su fabricación.

En principio, si se ha realizado todo lo anterior se habrá encontrado el error, de lo contrario solo quedaría hablar con el diseñador. Para evitar fallos, se suelen dejar siempre las piezas algo más grandes para que siempre quepa la posibilidad de quitar material.

Dicho esto, antes de empezar a medir debemos manipular el CAD y dejarlo de una forma que sea cómoda para nosotros. Si recordamos la imagen del posicionador con la pieza incluida de la fase de diseño podremos observar que hay un montón de piezas comerciales que nos dificultan la visión, es más, la propia pieza de plástico ya no nos interesa para nada.

Por consiguiente, debemos ocultar todas aquellas piezas que nos impidan ver entidades que tengamos que definir y medir. Una vez hecho esto, procederemos a definir todo aquello que tengamos que medir y lo identificaremos con diferentes nombres. El siguiente paso será iniciar el modo de medición e ir a palpar con el palpador a cada una de las entidades que hayamos definido. Automáticamente, podremos ver cuál es la posición actual y su error con respecto a la posición nominal.

Evidentemente, nunca podremos llegar a un error nulo, es por eso por lo que existirán unas tolerancias que nos indiquen si la pieza se encuentra dentro de las mismas y no debemos moverla o si, por el contrario, todavía no está lo suficientemente bien y debemos ajustarla hasta que esté dentro de los límites requeridos.

Como hemos visto, el ajuste fino se realiza moviendo muy sutilmente las piezas. Para poder tener la precisión suficiente y no pasarnos se utilizan unas láminas y unas piezas de plástico con las caras mecanizadas para que sean paralelas. Inicialmente tendremos las piezas fijas y podremos comprobar con el palpador el error de posición.

Normalmente, se suelen medir dos puntos de una cara para ver cuál es la desviación relativa entre ellos. Por ejemplo, si al medir en una cara de la pieza el punto izquierdo tiene una desviación de -0.30 mm y el punto de la derecha tiene una desviación de -0.20 mm lo que haremos será lo siguiente.

Con la pieza todavía fija pegaremos un taco al lado de la pieza. Cuando el pegamento se haya secado, desatornillaremos la pieza e introduciremos una lámina de 0.30 mm y otra de 0.20 mm en cada lado. La pieza se moverá justamente lo que queríamos y podremos tensar los tornillos de nuevo. Después, volveremos a comprobar si la pieza todavía sigue fuera de tolerancia o si, después de ajustarla, se ha conseguido finalmente establecerla dentro de los límites. Para algunas zonas que sea imposible pegar los tacos se suele utilizar un reloj comparador.

La forma de proceder es similar, en vez de introducir las láminas, se giran las agujas del reloj hasta que tengamos el fallo que queremos corregir. Al soltar los tornillos se deberá mover la pieza hasta que el reloj marque cero y habremos conseguido mover la pieza justo lo que el ordenador nos marcaba.

Para facilitarme el trabajo a la hora de colocar las piezas, he decidido que las piezas que estén a su vez formadas por dos piezas estén fijas con unos pasadores. De esta forma, la parte superior estará fija y solo habrá que mover la parte de abajo.

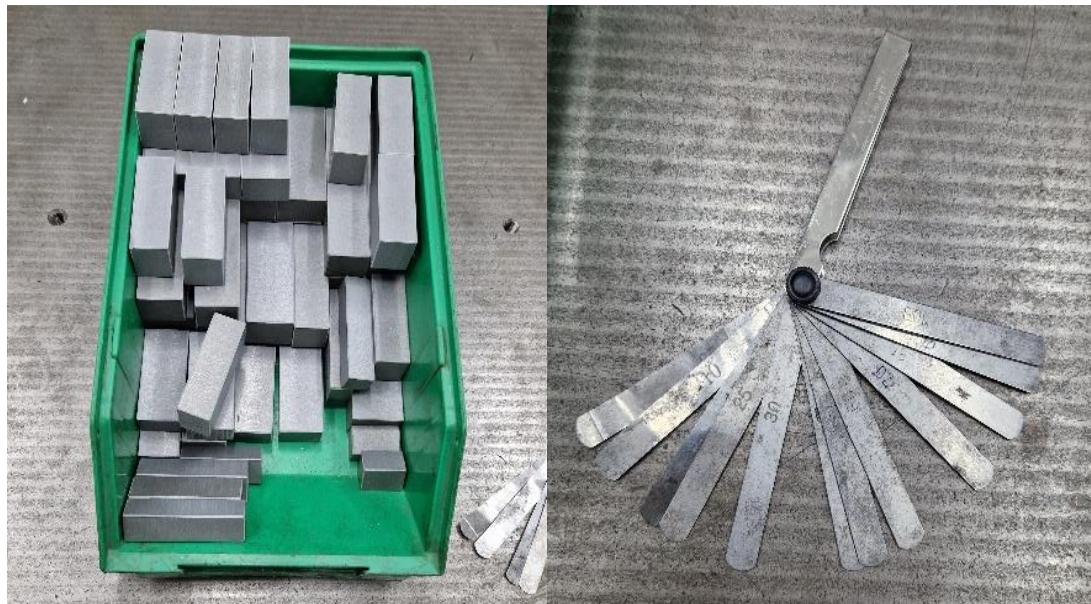


Imagen 28. Paralelas y láminas de diferentes espesores

A menudo ocurre que no sea posible mover las piezas lo que marca. Esencialmente es por dos motivos, o bien hay que quitarle material para que la pieza se pueda mover en la dirección perpendicular a la base, esto es, si por ejemplo se necesita que sea más pequeña habrá que darle una pasada en la fresa o si necesita moverse en alguna dirección paralela a la base de la pieza los agujeros donde están los tornillos tendrán que rasgarse. Por ejemplo, si al desatornillar la pieza requiere moverse más que la holgura que tienen los agujeros se deberán rasgar los mismos o taladrar de nuevo con un diámetro mayor. Siempre se debe realizar dos veces la medición.

Puede que creamos que ya hemos ajustado todo y que nada se ha movido, pero es importante verificar que estamos en lo cierto. Como nos estamos moviendo en tolerancias muy pequeñas ($\pm 0.050\text{mm}$) es normal que a veces tengamos que reajustar algunas piezas. Suele pasar que los que has ajustado al principio, cuando los vuelves a medir al haber terminado, las desviaciones pueden cambiar. A pesar de que haya sido muy poco, puede ser lo suficiente para salirse de los límites establecidos. Por suerte, en algunos casos, si la desviación es mínima podemos realizar un BESTFIT, una optimización de las medidas.

El programa calcula las desviaciones de todos los puntos y modifica ligeramente las coordenadas de los centros de alineación para que la desviación media sea la menor posible. Después, será nuestra la labor de decidir si realmente esa optimización ha sido beneficiosa o no para todas las mediciones.

Se puede dar el caso que habiendo una zona con unas desviaciones grandes el resto del posicionador esté dentro de la tolerancia. Al realizar el BESFIT lo que haría sería disminuir las desviaciones de la zona con mayor error a cambio de aumentar las desviaciones de la zona que estaba dentro de la tolerancia. Si finalmente decidimos que la optimización ha sido beneficiosa tendremos que volver a apuntar las nuevas coordenadas de los centros de alineamiento.



Imagen 29. Ajuste fino de las diferentes piezas del posicionador

Concluida la fase de ajuste fino y con todas las medidas dentro de tolerancia se aprietan bien los tornillos y se lleva de nuevo a los centros de mecanizado. Allí se taladrarán de nuevo las piezas sin quitarlas del posicionador para introducirle unos pasadores. A diferencia de los tornillos, los pasadores si son unos cilindros que encajamos a la fuerza y que no tienen holgura. En caso de que se tuviera que desatornillar por algún motivo una de la pieza se podría colocar de nuevo en la misma posición gracias a los pasadores. Proporcionan, por lo tanto, la seguridad de que al volver a colocar la pieza seguirá dentro de las tolerancias. No obstante, no se recomienda quitar las piezas salvo que sea estrictamente necesario.

4.5 Informes tridimensionales

Por último, la tarea más sencilla pero quizá la más importante es sacar los informes que acrediten que todo lo que se ha hecho hasta ahora es correcto. A nivel técnico no requiere mucha destreza, pero como digo, es la única parte del proceso que el cliente puede comprobar y que justifica todo el trabajo anterior. Sin estos informes no se acepta ningún producto de estas características.

Desde el mismo programa, la forma a proceder es la siguiente. En primer lugar, la galga con todos los pasadores en su sitio se vuelve a colocar en la mesa. Se amarra y se alinea como hemos explicado en los anteriores apartados.

A partir de ahí, se vuelve a medir toda la galga comprobando que todos los puntos estén dentro de las tolerancias exigidas. En caso de que algún punto quede fuera, y dado que ya está con los pasadores dentro, podemos volver a realizar un BESTFIT obteniendo unas nuevas cotas del alineamiento que corregirán los fallos que pudieran quedar. Existen varias formas de elaborar los informes. Probablemente la más visual sea con etiquetas de cada punto o entidad medida. Se van realizando capturas de las diferentes vistas donde se pueda ver la etiqueta con las cotas nominales, las cotas reales y el punto o entidad a las que se refieren.

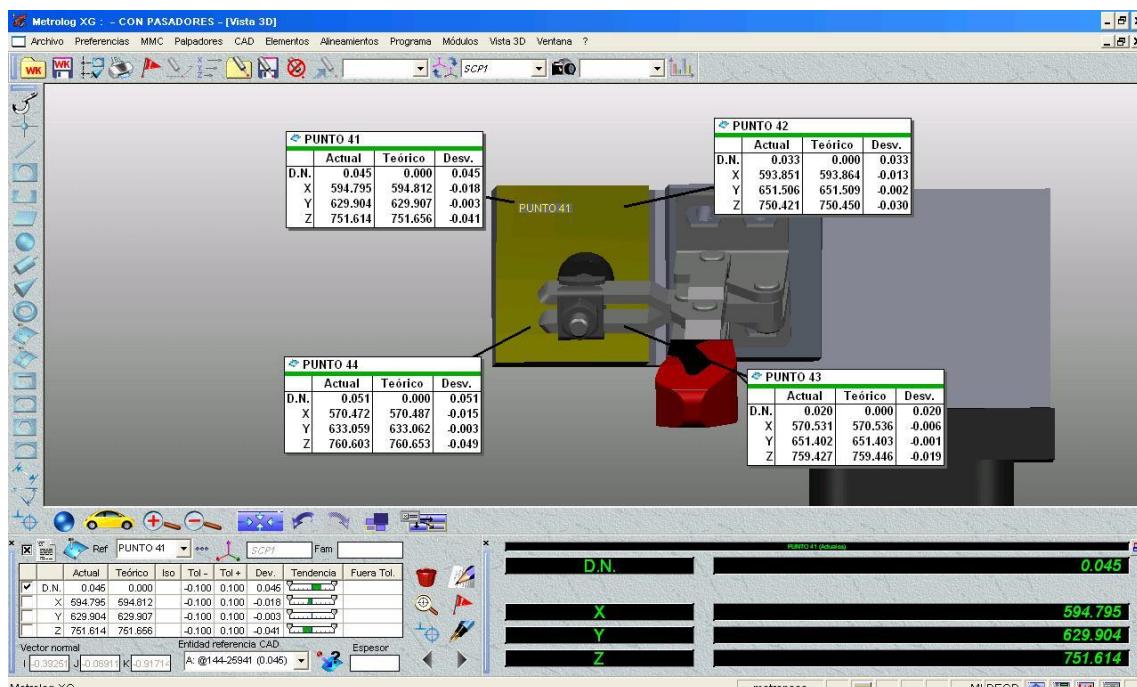


Imagen 30. Preparación de los informes tridimensionales

Una vez tenemos la galga medida por completo y las diferentes vistas guardadas se procede a obtener los informes. Simplemente se selecciona la plantilla del informe que se ha diseñado previamente y se imprimen en papel o pdf.

Además, las cotas del alineamiento deben figurar en el propio posicionador. El motivo es que después el cliente medirá piezas montadas en el posicionador y las necesita para poder hacer el alineamiento. Por lo tanto, se grabarán las coordenadas en unas placas y se fijarán en su centro correspondiente.



Imagen 31. Cotas de los centros de alineamiento

4 CONCLUSIONES

Hemos descrito el proceso completo que se debe seguir para poder entregar al cliente el producto finalizado. Como hemos mostrado, es un proceso imprescindible que involucra muchos ámbitos de la ingeniería de fabricación.

Hoy en día, la especialización es una realidad que permite la fabricación de muchísimos productos que ni siquiera podríamos imaginar. La división del trabajo que hoy vivimos permite que cada puesto de trabajo sea más específico. Esta mejora continua es gracias a la inversión e investigación que permite producir mejores productos y más baratos.

Desde mi punto de vista creo que es una auténtica maravilla, al fin y al cabo, es una forma de cooperación entre la sociedad. Profesionales de un determinado ámbito producen cosas que otras personas quieren pero que no sabrían producir y, a su vez, estos mismos profesionales no tendrán la menor idea de cómo fabricar el producto que consumen diariamente, pero pueden consumirlo, como vemos es mutuamente beneficioso. En el sector del automóvil ocurre lo mismo, millones de personas utilizan un vehículo diariamente sin saber mínimamente cómo funciona y menos aún cómo se fabrica.

Si algo malo tiene esta división del trabajo es que cada día más tienes que centrarte en algo concreto. Al hacer este TFG me he encontrado que a pesar de estar a punto de terminar Ingeniería Mecánica hay muchos temas que no controlo y que he tenido que pedir ayuda. Por ejemplo, hoy en día no es suficiente con saber usar más o menos AUTOCAD, se da por hecho que sabes utilizarlo y se necesita gente que se dedique a diseñar por superficies. Normalmente, las diferentes etapas que hemos descrito en el presente TFG son desarrolladas por diferentes departamentos y, obviamente, ingenieros.

Mi objetivo en el TFG era explicar las diferentes etapas y llevarlas a cabo. El sector de la automoción es uno de los gigantes que involucran a miles de empresas y sectores. Su producción es inmensa y, por lo tanto, el desarrollo previo a esa producción es fundamental. Eliminar cualquier fallo en la producción es prioritario y toda inversión que lo permita será rentable.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cuaderno de Cargas Protocolo de Aceptación sobre las Normas de Construcción para Galgas de Control y Límites Lisos (2021)
- Reference Point System - RPS – (1996).

Referencias web:

- Statista (2022). *Evolución del número de vehículos vendidos en todo el mundo entre 2005 y 2021.*

<https://es.statista.com/estadisticas/635518/ventas-de-vehiculos-en-todo-el-mundo/#:~:text=Ventas%20de%20veh%C3%ADculos%20en%20todo%20el%20mundo%202005%2D2021&text=El%20n%C3%BAmero%20de%20veh%C3%ADculos%20vendidos,82%2C7%20millones%20de%20veh%C3%ADculos%20vendidos>.

- Bankinter (2022). *Vehículos matriculados en España 2021: datos por comunidades autónomas*

<https://www.bankinter.com/blog/finanzas-personales/matriculaciones-coches-espana#:~:text=Coches%20matriculados%20en%202021%20y,de%20la%20pandemia%2C%20en%202019>

- Tecnimetal (2020). *Máquina de medir por coordenadas.*

<https://maquinasdemedicionporcoordenadas.com/2020/04/13/que-es-una-maquina-de-medicion-de-coordenadas-mm/>

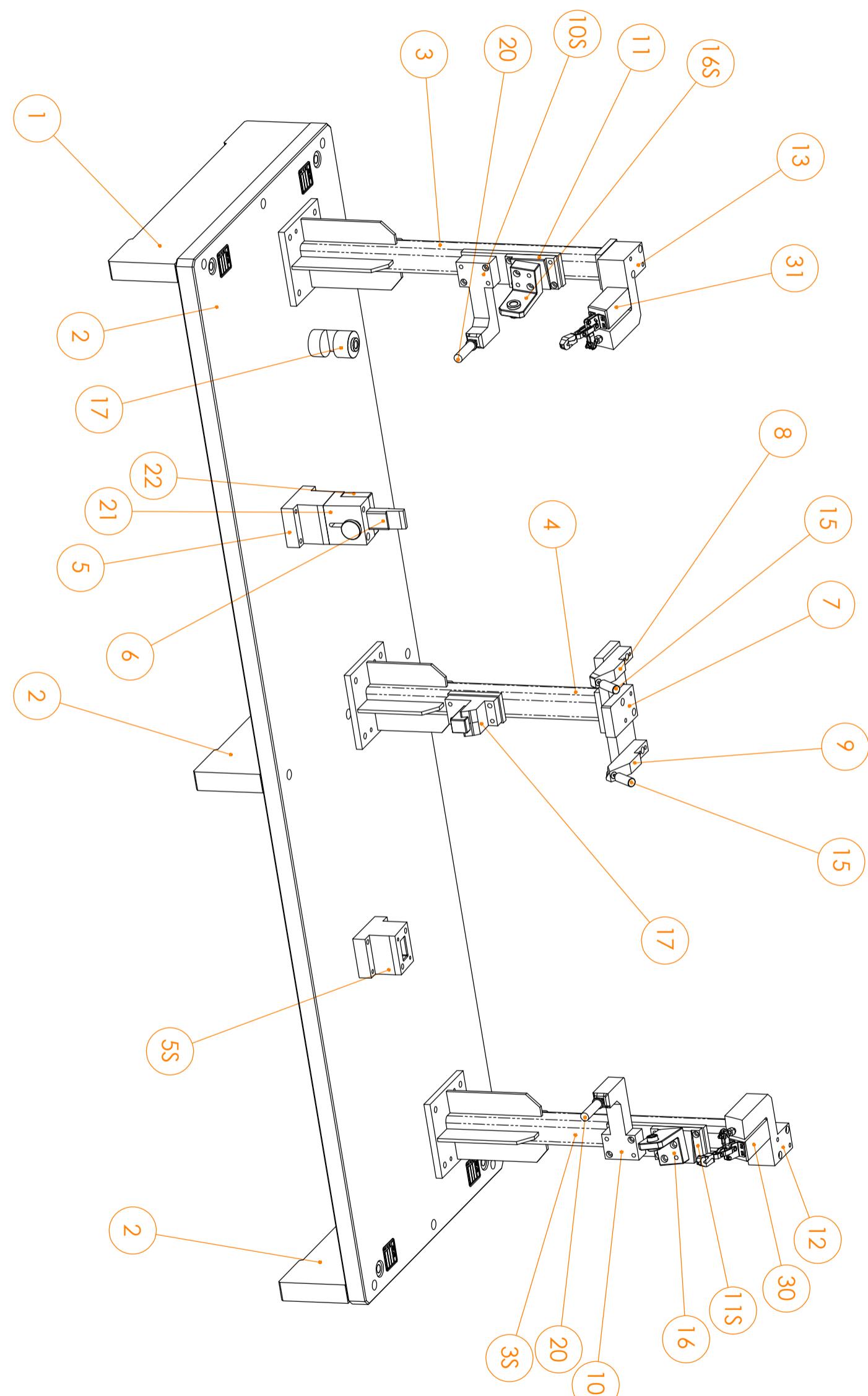
- Material Properties (2022). *Propiedades hierro y aluminio.*

<https://material-properties.org/es/aluminio-y-hierro-comparacion-propiedades/>

- Sandvik Coromant (2022). *Herramientas de mecanizado.*

<https://www.sandvik.coromant.com/es-es/pages/default.aspx>

7. ANEXO I – PLANOS PIEZAS POSICIONADOR



E

D

C

B

A

1

2

3

4

5

6

7

8

E

D

C

B

A

F

1

2

3

4

5

6

7

8

E

D

C

B

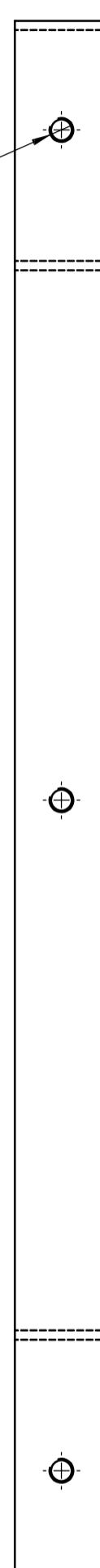
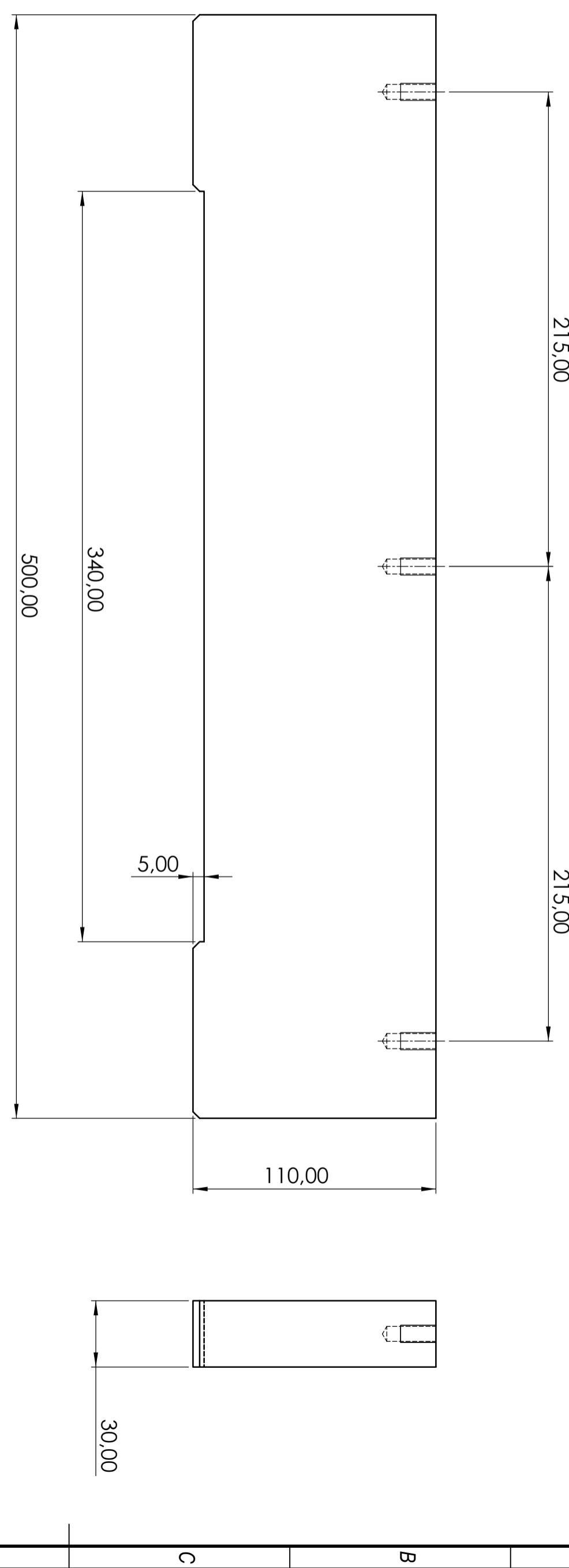
A

	Fecha	Nombre	Firma:	Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	20/09/2022	Raúl Samper Suárez		1542
Comprobado	25/10/2022	Jesús Velázquez		Grado en Ing. Mecánica
Escala	Titular	Punto Conjunto		Tolerancias generales ISO 2768-f
Página	1			Página N° 1

MARCA 01

49

1 2 3 4 5 6 7 8



3 x Ø 6,80 ↴ 22,25
M8 - 6H ↴ 16,00

CANTIDAD: 3 UNIDADES
MATERIAL: ALUMINIO

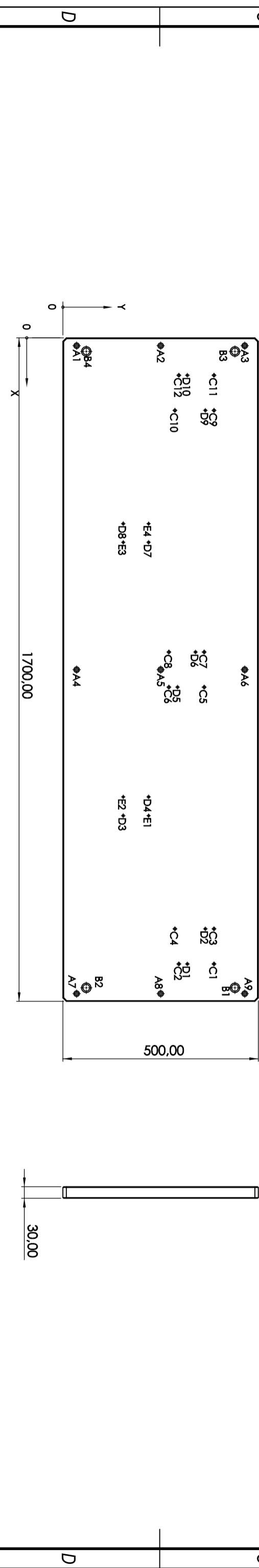
	Fecha	Nombre	Firma:
Dibujado	20/09/2022	Raúl Samper Suárez	
Comprobado	25/10/2022	Jesús Velázquez	
Escala	1:2	Título	MARCA 01

1 2 3 4 5 6 7 A3

F
CANTIDAD: 3 UNIDADES
MATERIAL: ALUMINIO
F
1 2 3 4 5 6 7 A3

Grado en Ing. Mecánica
Tolerancias generales ISO 2768-f
Plano Nº 1

MARCA 02



	Fecha	Nombre	Firma:
Dibujado	20/09/2022	Raúl Samper Suárez	
Comprobado	25/10/2022	Jesús Velázquez	
Escala	1:10	Título	MARCA 02

Grado en Ing. Mecánica
Tolerancias generales ISO 2768-f
Plano Nº 3

1 2 3 4 5 6 7 8

A B C D E F

RÓTULO	UBIC X	UBIC Y	TAMAÑO
A1	20	35	Ø 9,00 POR TODO └ Ø 15,00 ↓ 8,60
A2	20	250	Ø 9,00 POR TODO └ Ø 15,00 ↓ 8,60
A3	20	465	Ø 9,00 POR TODO └ Ø 15,00 ↓ 8,60
A4	850	35	Ø 9,00 POR TODO └ Ø 15,00 ↓ 8,60
A5	850	250	Ø 9,00 POR TODO └ Ø 15,00 ↓ 8,60
A6	850	465	Ø 9,00 POR TODO └ Ø 15,00 ↓ 8,60
A7	1680	35	Ø 9,00 POR TODO └ Ø 15,00 ↓ 8,60
A8	1680	250	Ø 9,00 POR TODO └ Ø 15,00 ↓ 8,60
A9	1680	465	Ø 9,00 POR TODO └ Ø 15,00 ↓ 8,60
B1	1665	440	Ø 18,00 POR TODO └ Ø 25,00 ↓ 5,00
B2	1665	60	Ø 18,00 POR TODO └ Ø 25,00 ↓ 5,00
B3	35	440	Ø 18,00 POR TODO └ Ø 25,00 ↓ 5,00
B4	35	60	Ø 18,00 POR TODO └ Ø 25,00 ↓ 5,00
C1	1604,03	386,56	Ø 6,80 POR TODO M8 - 6H POR TODO
C2	1604,03	296,56	Ø 6,80 POR TODO M8 - 6H POR TODO
C3	1514,03	386,56	Ø 6,80 POR TODO M8 - 6H POR TODO
C4	1514,03	286,56	Ø 6,80 POR TODO M8 - 6H POR TODO
C5	895	361,25	Ø 6,80 POR TODO M8 - 6H POR TODO
C6	895	271,25	Ø 6,80 POR TODO M8 - 6H POR TODO
C7	805	361,25	Ø 6,80 POR TODO M8 - 6H POR TODO
C8	805	271,25	Ø 6,80 POR TODO M8 - 6H POR TODO
C9	185,97	386,56	Ø 6,80 POR TODO M8 - 6H POR TODO
C10	185,97	286,56	Ø 6,80 POR TODO M8 - 6H POR TODO

RÓTULO	UBIC X	UBIC Y	TAMAÑO
D11	95,97	386,56	Ø 6,80 POR TODO M8 - 6H POR TODO
C12	95,97	296,56	Ø 6,80 POR TODO M8 - 6H POR TODO
D1	1604,03	318,56	Ø 6,00 POR TODO
D3	1224	154,30	Ø 6,00 POR TODO
D4	1176	219,29	Ø 6,00 POR TODO
D5	895	293,25	Ø 6,00 POR TODO
D6	805	339,25	Ø 6,00 POR TODO
D7	524	219,29	Ø 6,00 POR TODO
D8	476	154,30	Ø 6,00 POR TODO
D9	185,97	364,56	Ø 6,00 POR TODO
D10	95,97	318,56	Ø 6,00 POR TODO
E1	1224	219,30	Ø 5,00 POR TODO M6 - 6H POR TODO
E2	1176	154,30	Ø 5,00 POR TODO M6 - 6H POR TODO
E3	524	154,30	Ø 5,00 POR TODO M6 - 6H POR TODO
E4	476	219,30	Ø 5,00 POR TODO M6 - 6H POR TODO

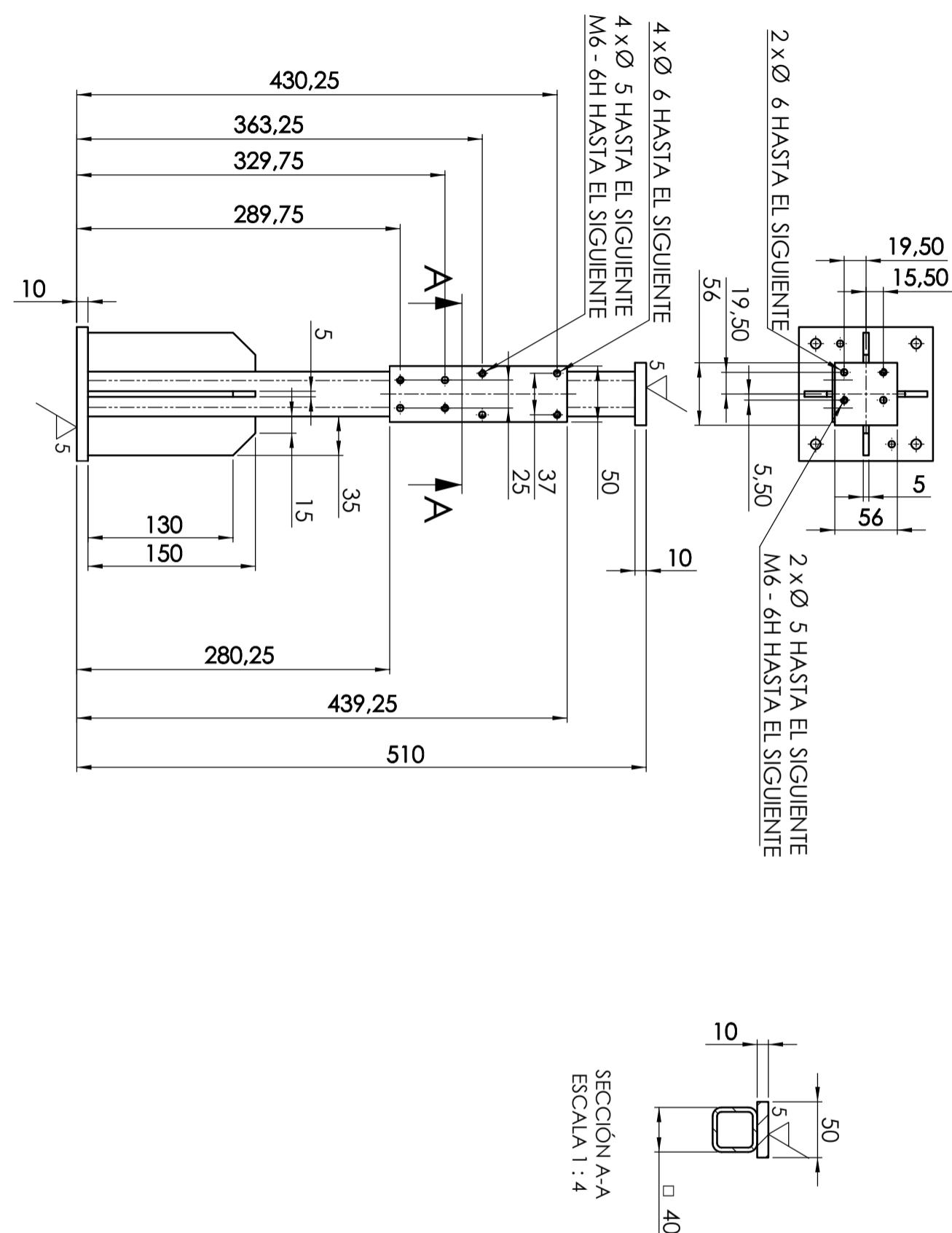
RÓTULO	UBIC X	UBIC Y	TAMAÑO
E			
F			

1	2	3	4	5	6	7	8
1	2	3	4	5	6	7	A3

	Fecha	Nombre	Firma:	Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza 1542
Dibujado	20/09/2022	Raúl Samper Suárez		
Comprobado	25/10/2022	Jesús Velázquez		
Escala	1:10	Título	MARCA 02	
F				Tolerancias generales ISO 2768-f Plano Nº 4

MARCA 03

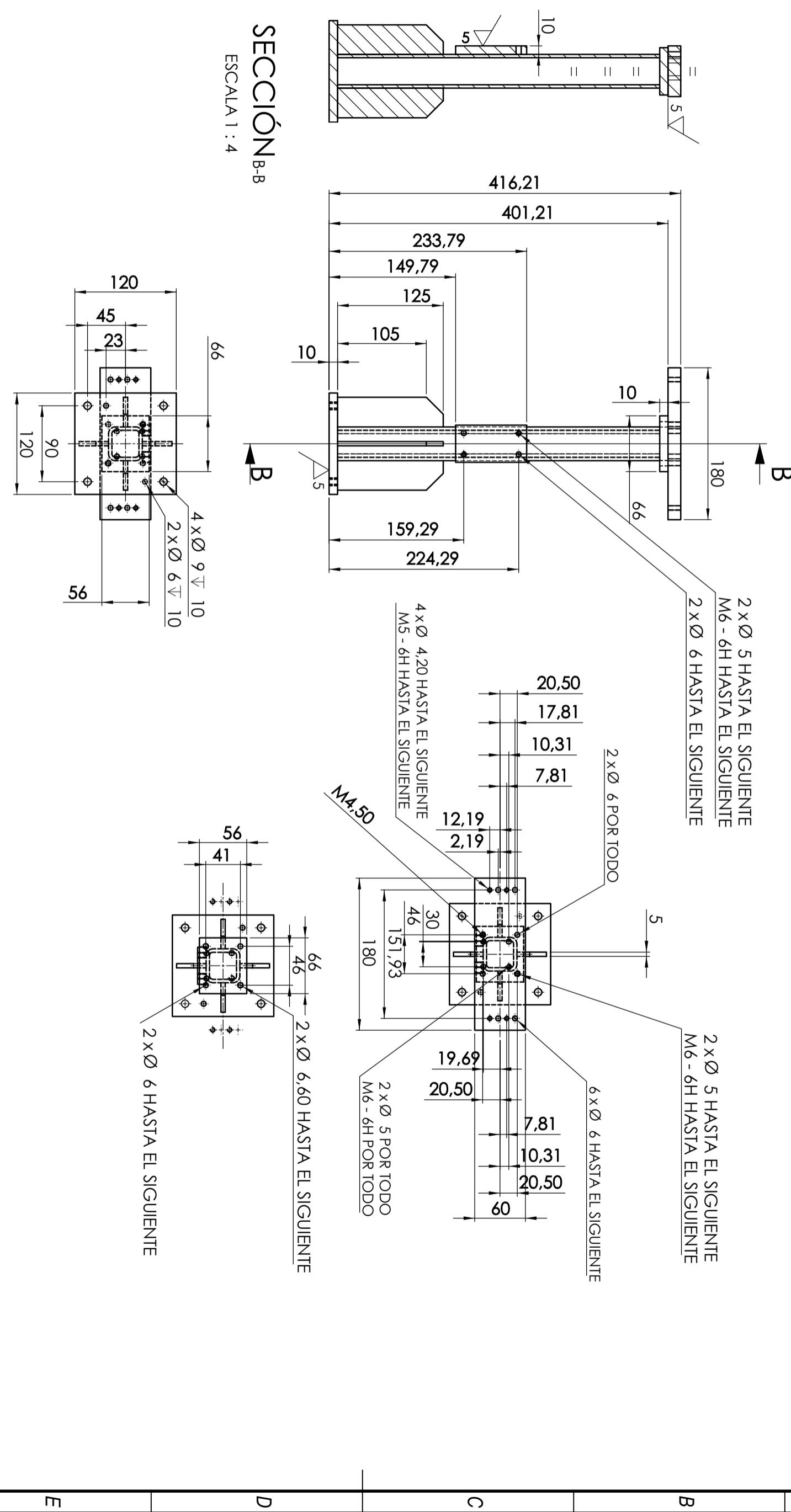
CANTIDAD: 2 UNIDADES SIMETRICAS A MANO CONTRARIA



F			
1	2	3	4
5	6	7	8
			
	Fecha	Nombre	Firma:
Dibujado	20/09/2022	Raúl Samper Suárez	 Universidad Zaragoza
Comprobado	25/10/2022	Jesús Velázquez	
Escala	Título	Grado en Ing. Mecánica	
1:5	MARCA 03	Tolerancias generales ISO 2768-f	
Plano N° 5			

MARCA 04

CANTIDAD: 1 UNIDAD



	Fecha	Nombre	Firma:
Dibujado	20/09/2022	Raúl Samper Suárez	
Comprobado	25/10/2022	Jesús Velázquez	
Escala	Título		Grado en Ing. Mecánica Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza 1542
1:5	MARCA 04		Tolerancias generales ISO 2768-f
		Plano N° 6	F

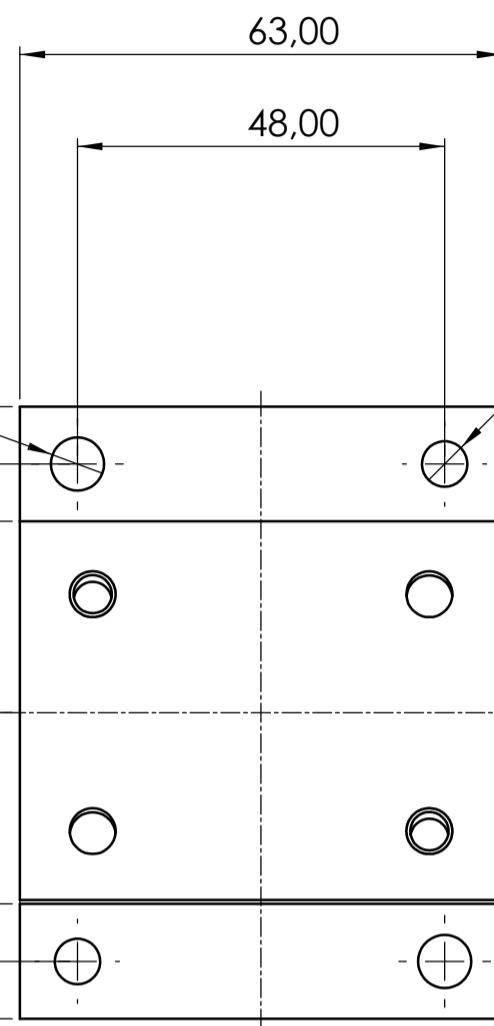
MARCA 05

A 54

2 x Ø 6,00 ± 0,25

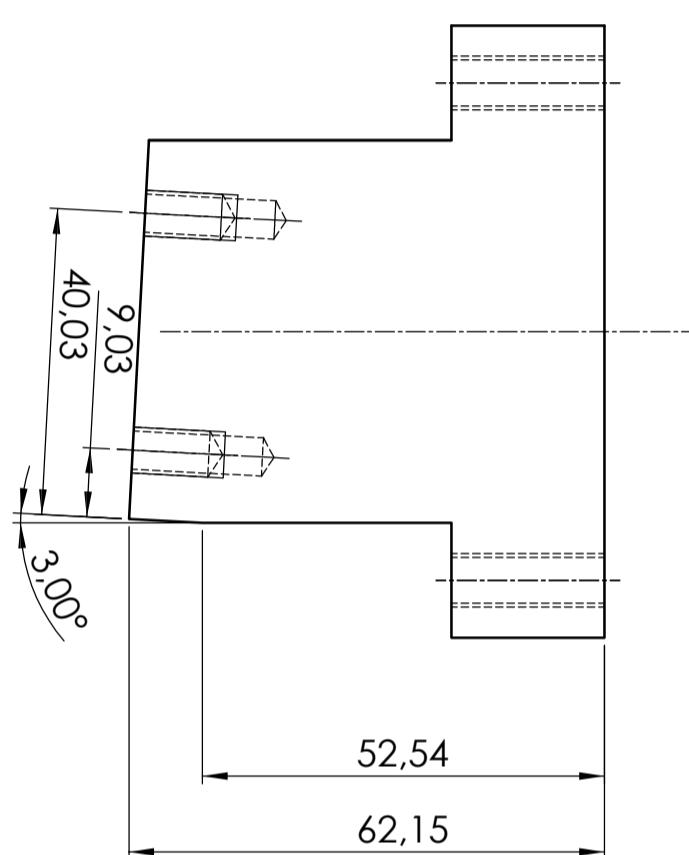
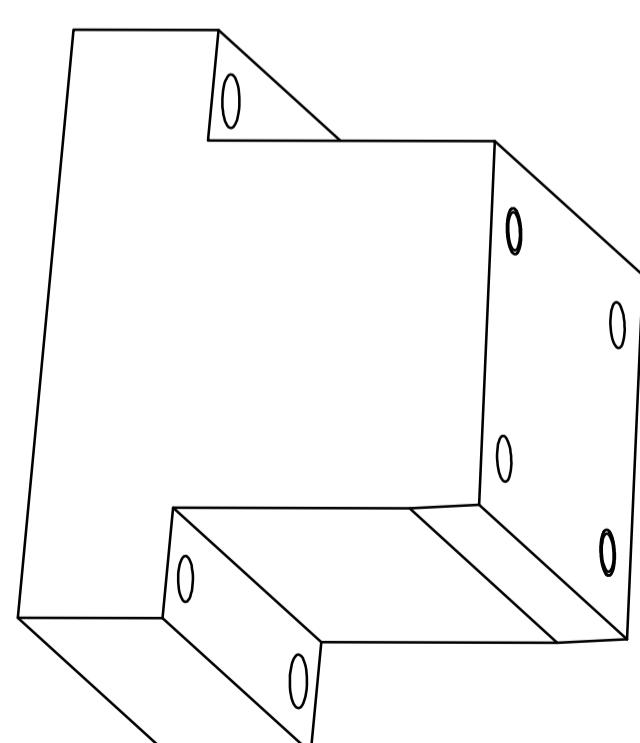
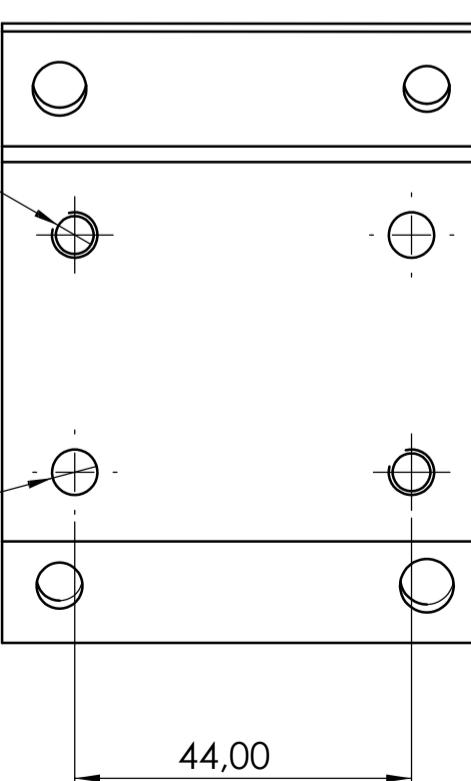
2 x Ø 7,00
PARA TORNILLO M6

80,00
65,00
25,00
25,00



2 x Ø 5,00 ↴ 17,00
M6 - 6H ↴ 12,00

2 x Ø 6,00 ↴ 10,00



E

D

C

B

A

1+1 UNIDADES SIMETRICAS A MANO CONTRARIA
MATERIAL - ALUMINIO

F

1

2

3

4

5

6

7

8

A3

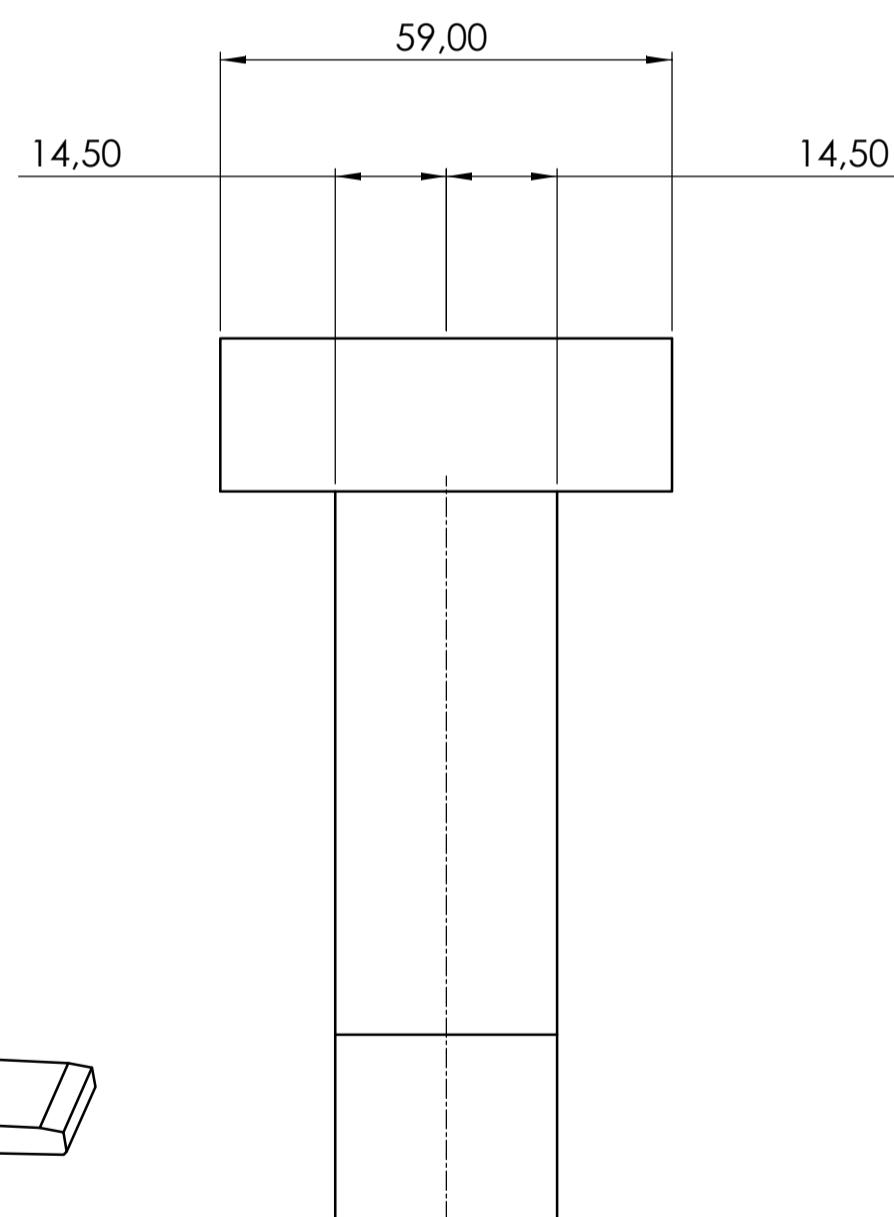
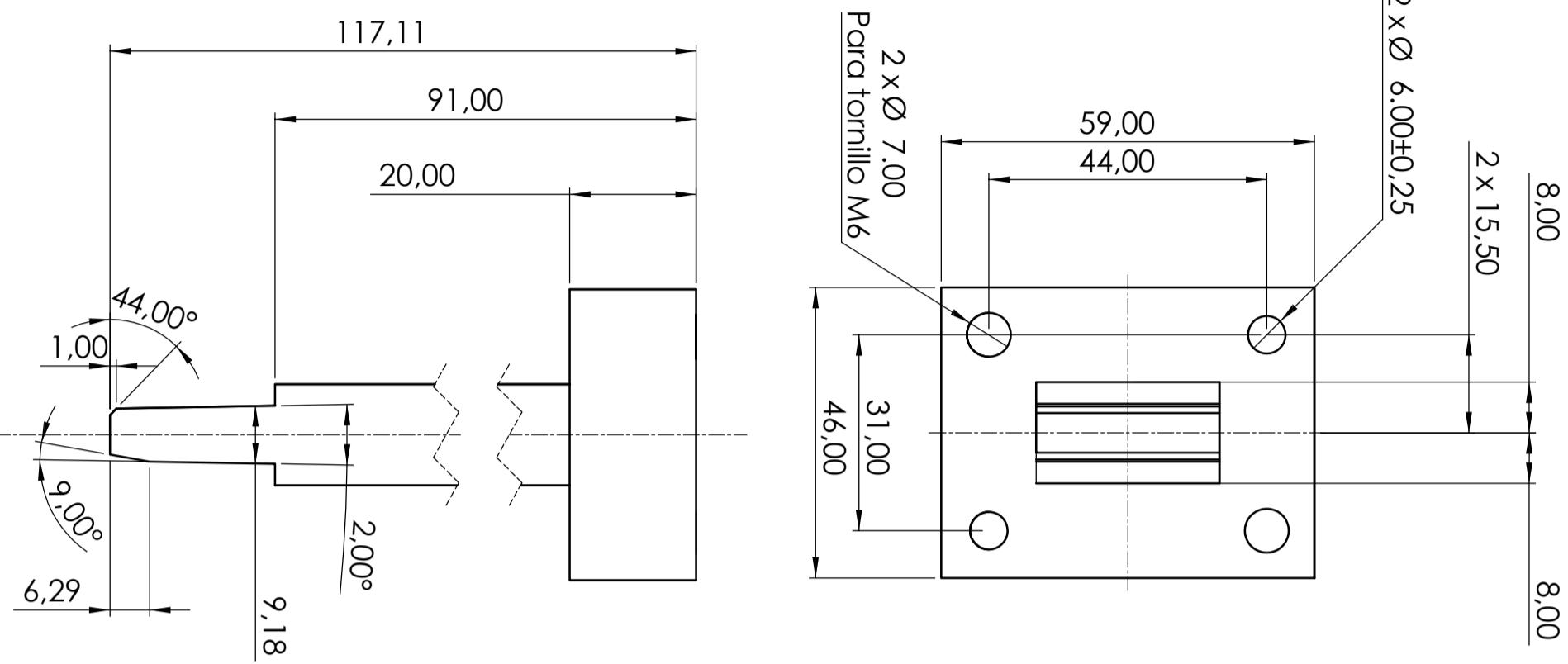
	Fecha	Nombre	Firma:
Dibujado	20/09/2022	Raúl Samper Suárez	
Comprobado	25/10/2022	Jesús Velázquez	
Escala	Título	MARCA 05	
1:1			
Grado en Ing. Mecánica			
Tolerancias generales ISO 2768-f			
Plano Nº 7			

F

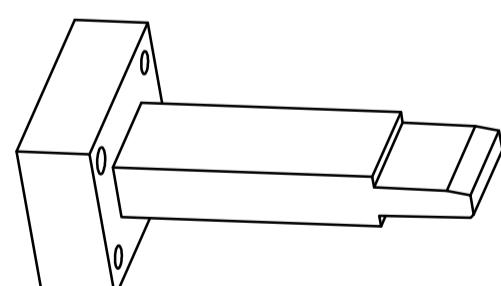
MARCA 06

55

1 2 3 4 5 6 7 8



2 UNIDADES SIMETRICAS A MANO CONTRARIA MATERIAL - ALUMNIO



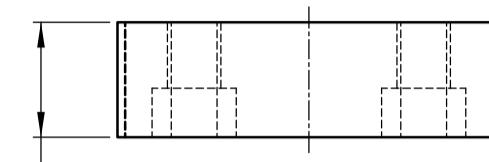
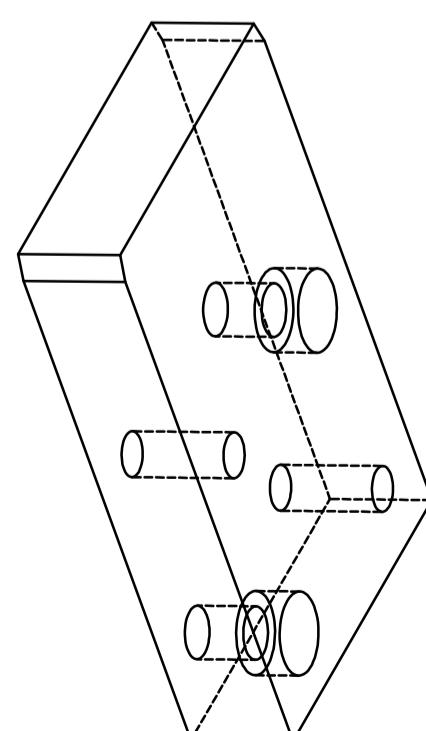
F	E	D	C	B	A
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
					A3

	Fecha	Nombre	Firma:	Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	20/09/2022	Raúl Samper Suárez		1542
Comprobado	25/10/2022	Jesús Velázquez		Grado en Ing. Mecánica
Escala	1:1	Título		Tolerancias generales ISO 2768-f
Página	8			Página N° 8

MARCA 07

1 UNIDADES
MATERIAL - ALUMNIO

	Fecha	Nombre	Firma:	Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	20/09/2022	Raúl Samper Suárez	 1542	
Comprobado	25/10/2022	Jesús Velázquez		
Escala	Título	MARCA 07		Grado en Ing. Mecánica
1:1				Tolerancias generales ISO 2768-f
				Plano N° 9



100,000

2x1.00 x75.00

2 x Ø 7,00 POR TODO
 Ø 11,00 ↓ 6,40

2 x Ø 6.00

3

A

三

5

3

5

16

三

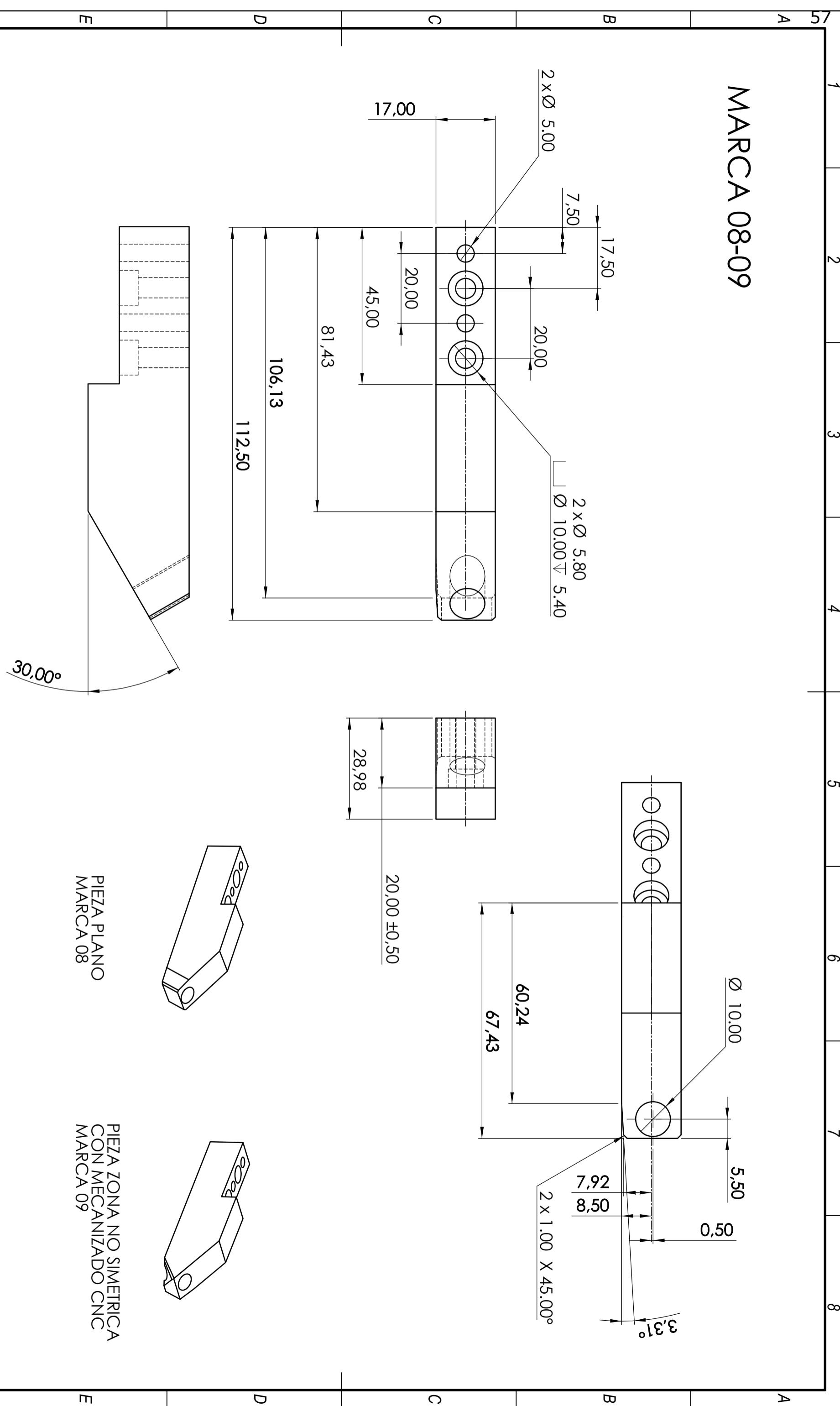
5

1

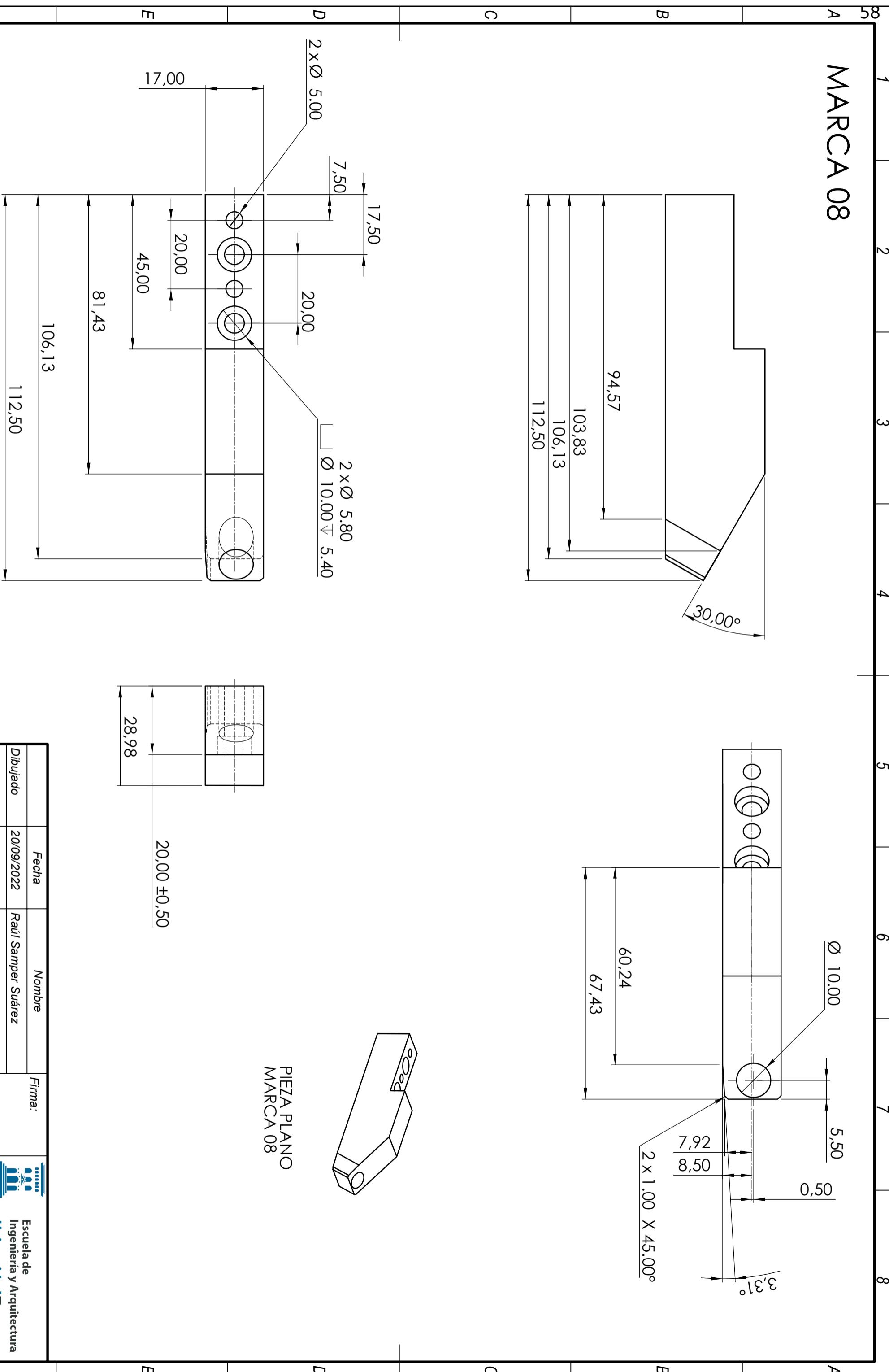
7

1

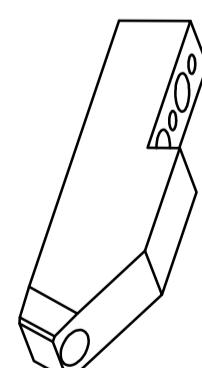
MARCA 08-09



MARCA 08



PIEZA PLANO
MARCA 08



1+1 UNIDADES SIMETRICAS A MANO CONTRARIA
MATERIAL - ALUMNIO

1 2 3 4 5 6 7 A3

	Fecha	Nombre	Firma:	Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	20/09/2022	Raúl Samper Suárez		1542
Comprobado	25/10/2022	Jesús Velázquez		Grado en Ing. Mecánica
Escala	1:1	Título	MARCAS 08	Tolerancias generales ISO 2768-f Página N° 11

MARCA 08-09

59

1

2

3

4

5

6

7

8

A

B

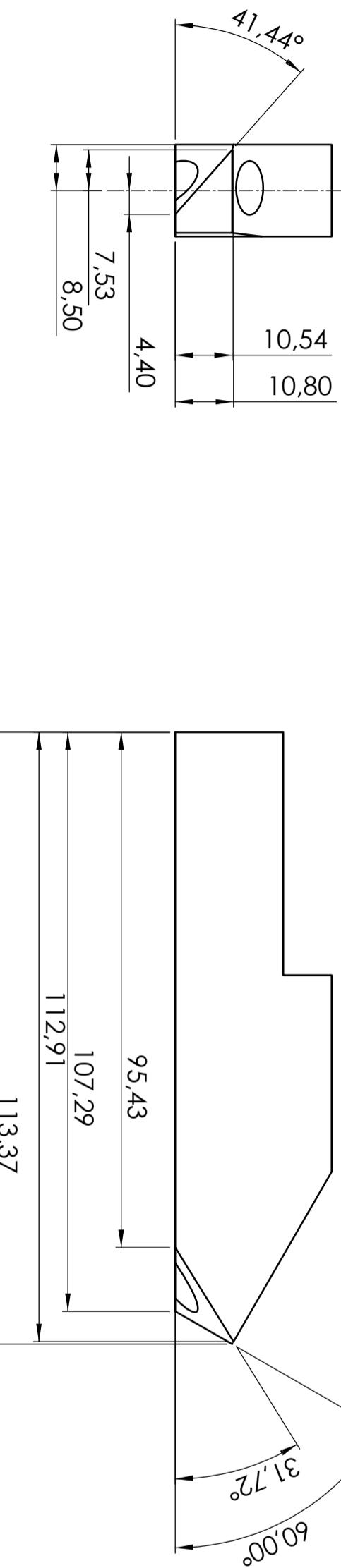
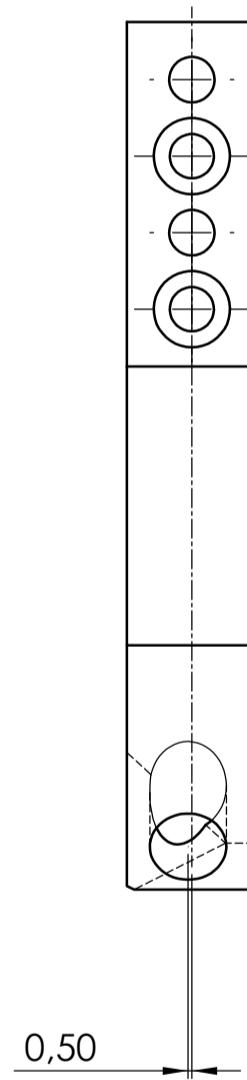
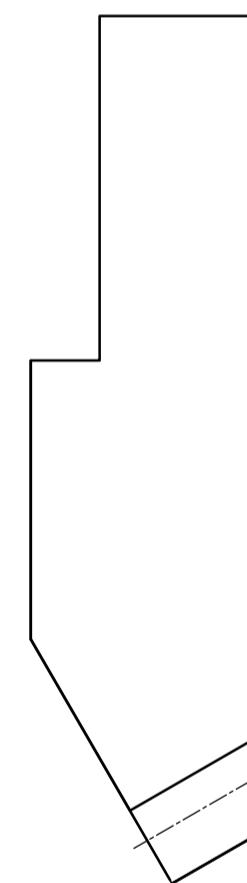
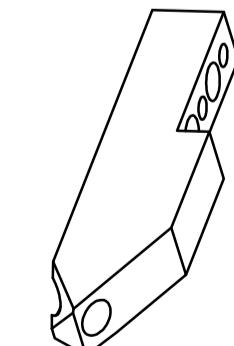
C

D

E

F

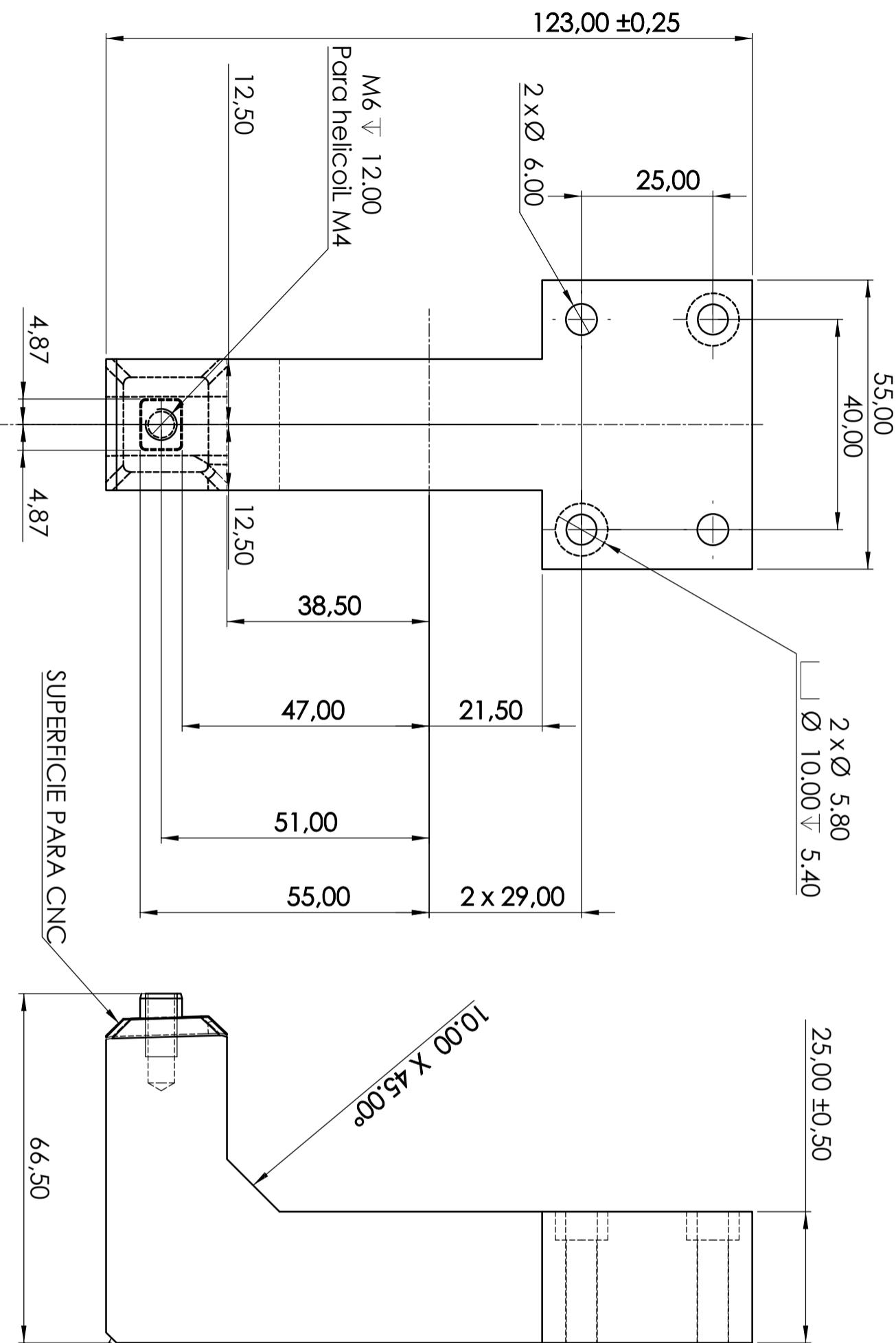
PIEZA SIMETRICA A MANO
CONTRARIA A MARCA 8
SALVO ZONA ACOTADA



1	2	3	4	5	6	7	A3

	Fecha	Nombre	Firma:	Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	20/09/2022	Raúl Samper Suárez		1542
Comprobado	25/10/2022	Jesús Velázquez		Grado en Ing. Mecánica
Escala	1:1	Título		Tolerancias generales ISO 2768-f
				Página N° 12

MARCA 10



LA MANO SIMETRICA CAMBIA LA SUPERFICIE CNC

1+1 UNIDADES SIMETRICAS A MANO CONTRARIA MATERIAL - ALUMNIO

	Fecha	Nombre	Firma:	Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	20/09/2022	Raúl Samper Suárez		1542
Comprobado	25/10/2022	Jesús Velázquez		Grado en Ing. Mecánica
Escala	1:1	Título		Tolerancias generales ISO 2768-f
		MARCA 10		Página N° 13
1	2	3	4	A3
5	6	7		

MARCA 11

61

1

2

3

4

5

6

7

8

2 x Ø 6,00 HASTA EL SIGUIENTE

2 x Ø 5,00 HASTA EL SIGUIENTE
M6 - 6H HASTA EL SIGUIENTE

2 x Ø 5,80 POR TODO

Ø 10,00 ▼ 5,40

67,00

54,94

80,00

37,00
50,00

18,76

33,81
31,39
13,96
11,54

18,31
20,73
38,16
40,58

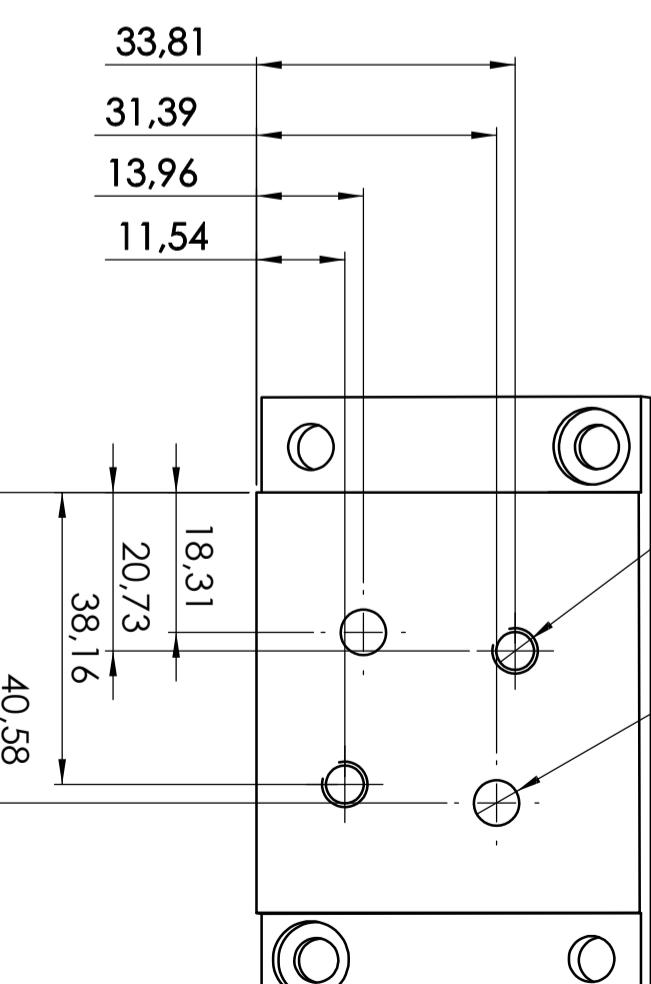
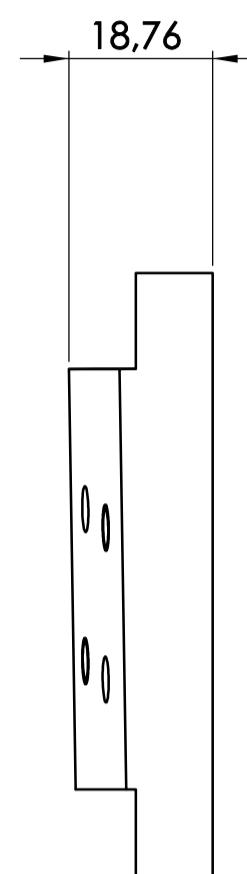
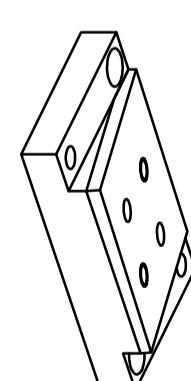
C

B

D

E

A



C

B

D

E

A

1+1 UNIDADES SIMETRICAS A MANO CONTRARIA
MATERIAL - ALUMNIO

	Fecha	Nombre	Firma:	Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	20/09/2022	Raúl Samper Suárez		1542
Comprobado	25/10/2022	Jesús Velázquez		Grado en Ing. Mecánica
Escala	1:1	Título		Tolerancias generales ISO 2768-f
Página	1	MARCA 11		Página N° 14

1

2

3

4

5

6

7

A3

MARCA 12

62
1 2 3 4 5 6 7 8
A
2 x Ø 7,00 POR TODO
Ø 11,00 ▼ 3,90

65,00

35,00

25,00

2 x Ø 6,00

40,00

109,57

79,57

43,00

19,83

40,00

54,51

34,51

8,49

89,57

2 x 33,15

14,90

2 x 16,21

8,49

50,00°

54,51

34,51

34,51

14,90

2 x Ø 5,50

89,57

Ø 10,00 ± 0,20 ▼ 3,30 ± 0,50

2 x 33,15

2 x Ø 6,00

89,57

14,90

2 x 33,15

2 x 33,15

89,57

MARCA 13 - Todas cotas de la marca 12 simetricas a mano contraria excepto las marcadas

63

1

7

ω

4

1

1

100

A

1

1

-
C

1

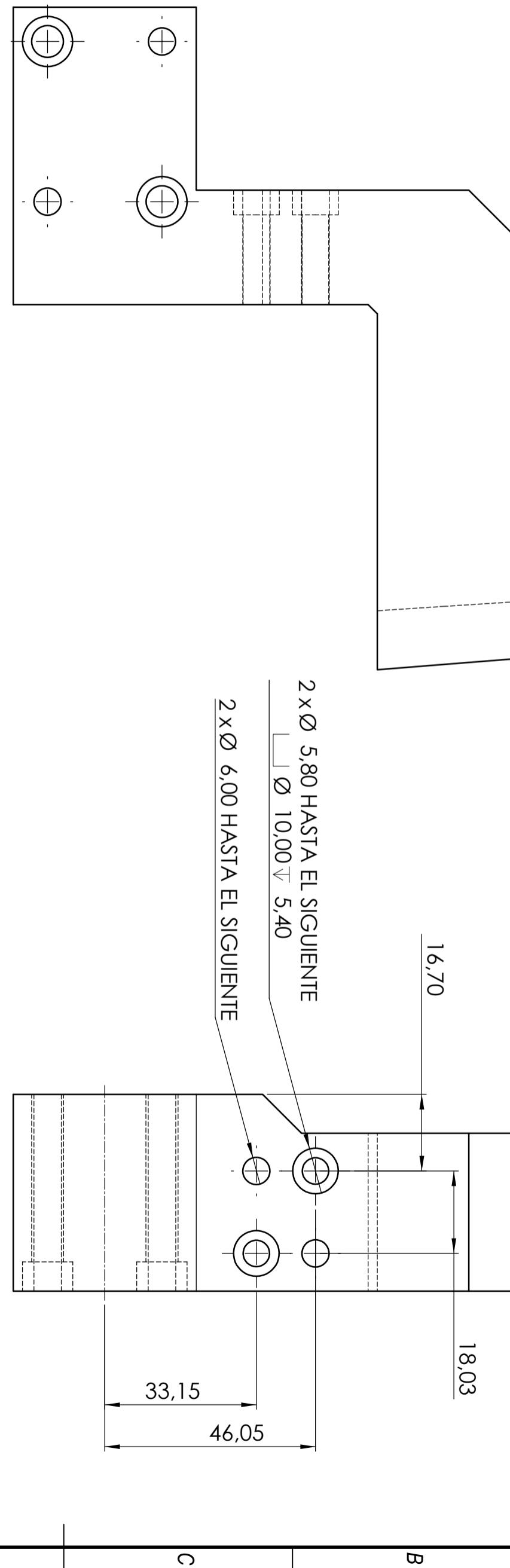
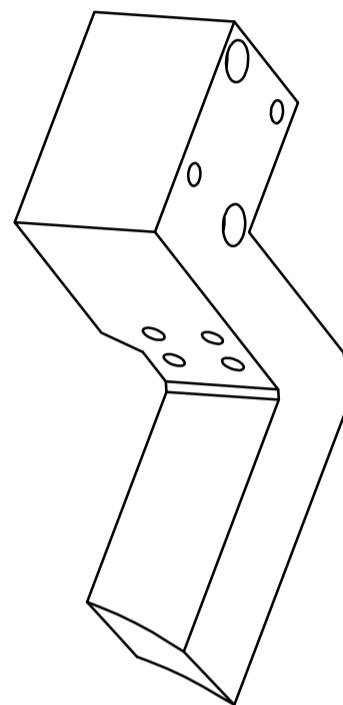
10

11

三

1

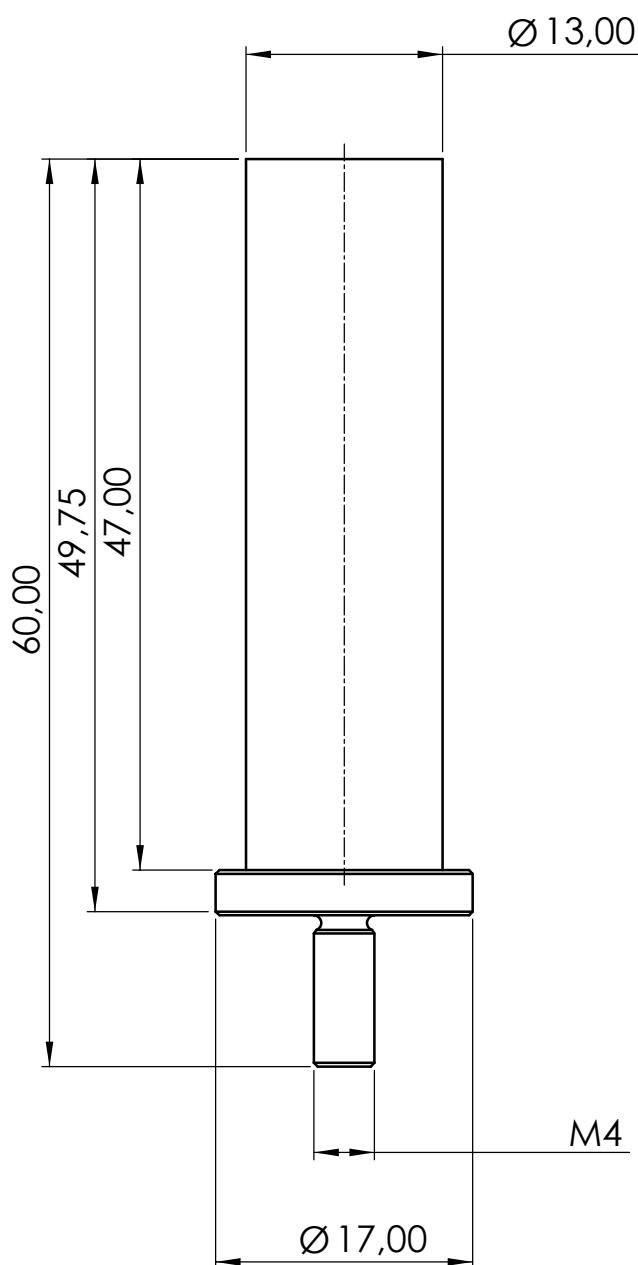
1 UNIDADES MATERIAL - ALUMNIO



	Fecha	Nombre	Firma:
Dibujado	20/09/2022	Raúl Samper Suárez	
Comprobado	25/10/2022	Jesús Velázquez	
Escala	Titulo		Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza 1542
1.1	MARCA 13		Grado en Ing. Mecánica Tolerancias generales ISO 2768-f Plano N° 16

MARCA 14

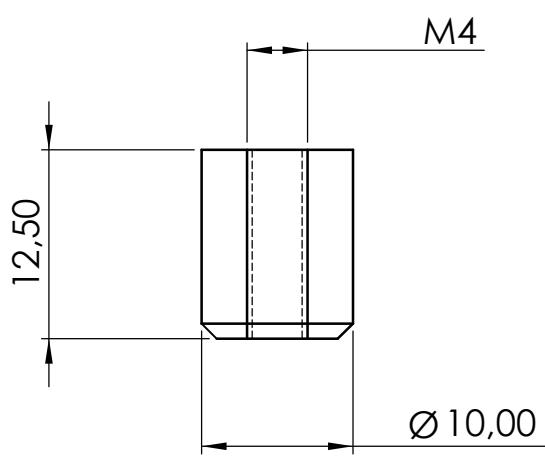
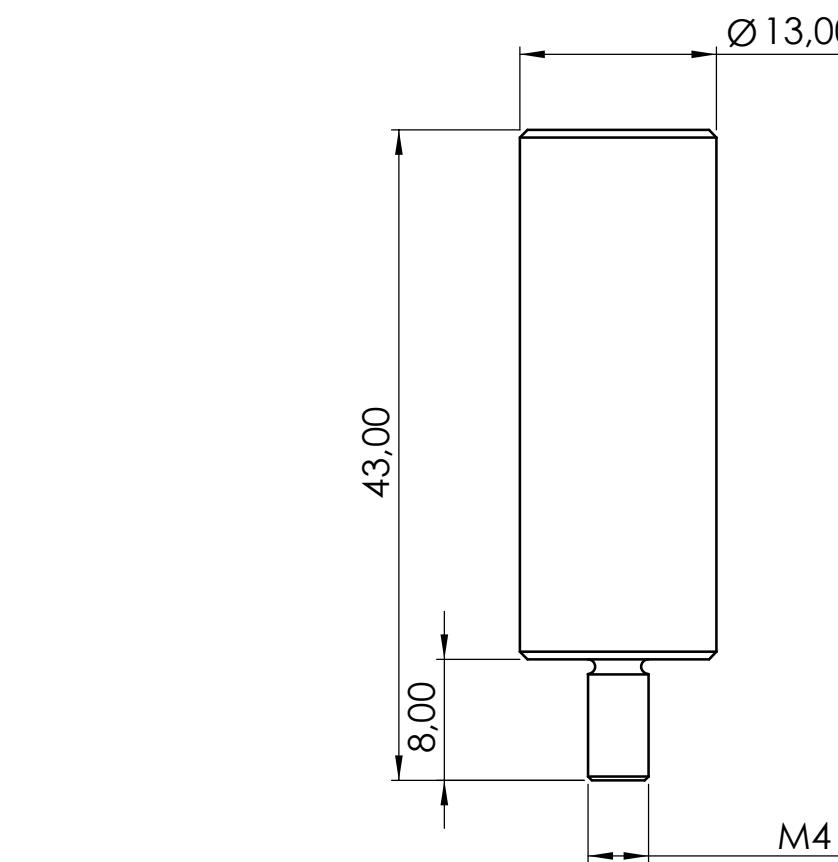
2 Unidades



	Fecha	Nombre	Firma:	Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	20/09/2022	Raúl Samper Suárez		
Comprobado	25/10/2022	Jesús Velázquez		
Escala 2:1	Titulo MARCA 14			Grado en Ing. Mecánica Tolerancias generales ISO 2768-f Plano N° 17

MARCA 15

2 Unidades



	Fecha	Nombre	Firma:	Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	20/09/2022	Raúl Samper Suárez		
Comprobado	25/10/2022	Jesús Velázquez		
Escala 2:1	Titulo MARCA 15		Grado en Ing. Mecánica Tolerancias generales ISO 2768-f Plano N° 18	A

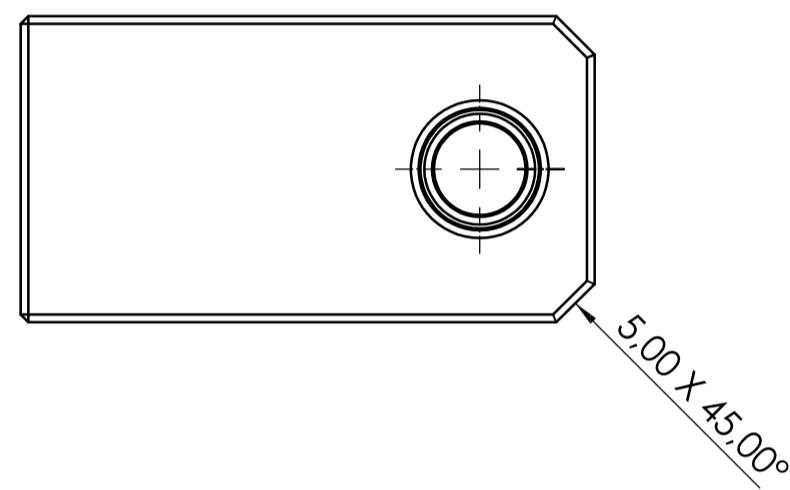
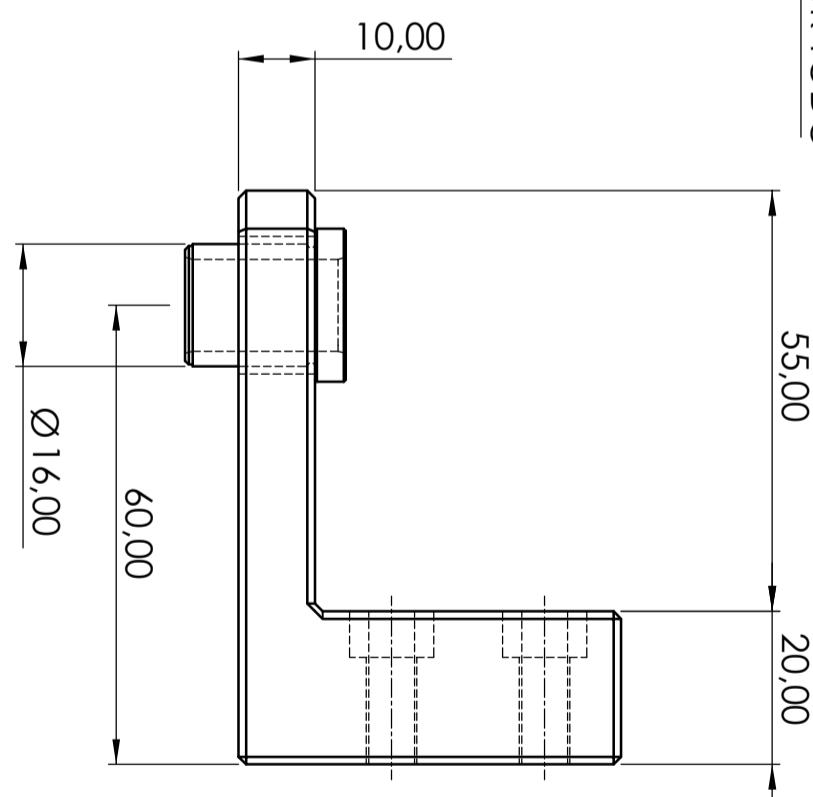
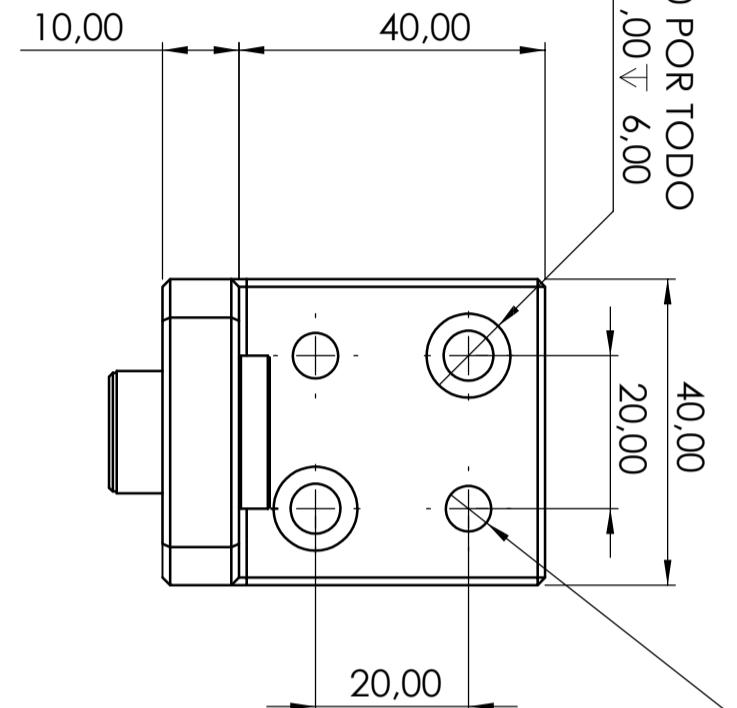
MARCA 16

66 A

2 x Ø 6,00 POR TODO

2 x Ø 6,60 POR TODO

Ø 11,00 ▼ 6,00

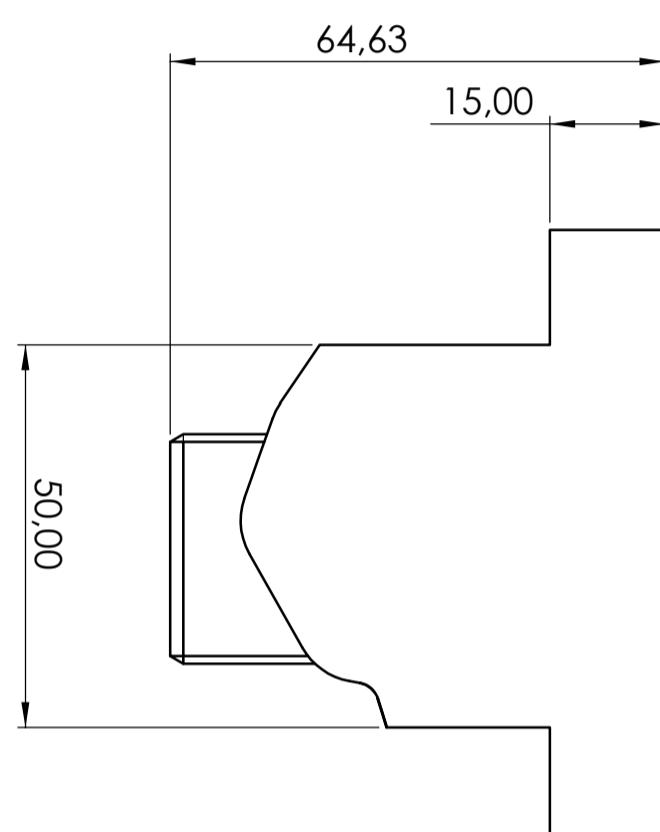
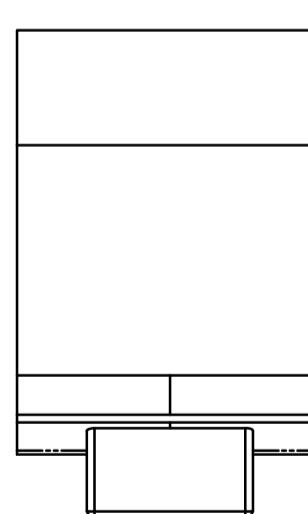
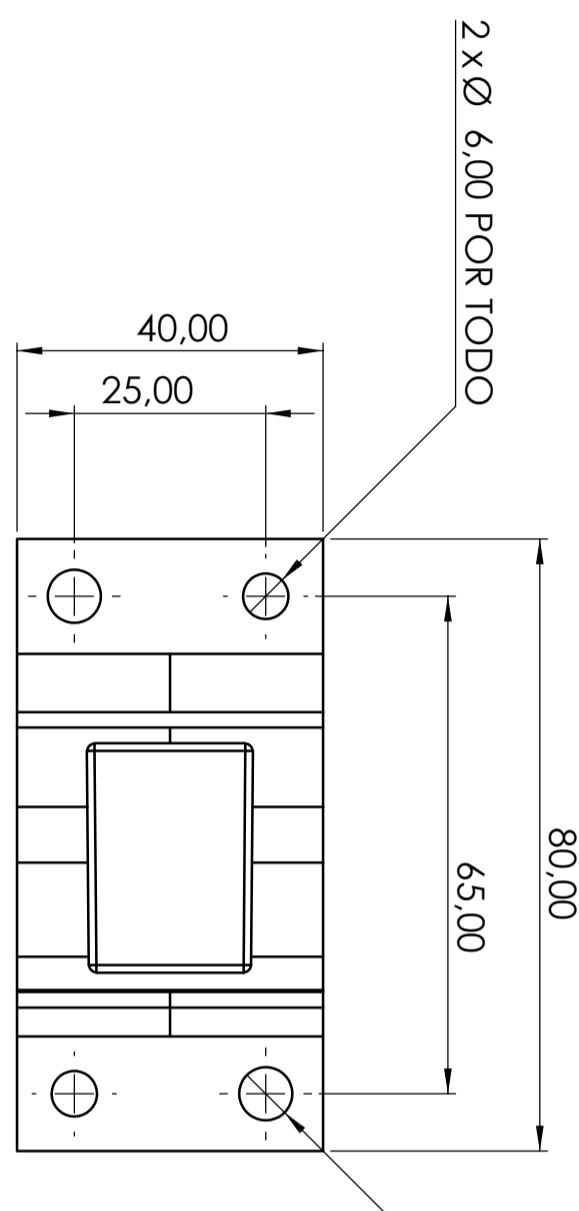


MATERIAL: ALUMINIO
CANTIDAD: 2 unidades SIMETRICAS A MANO CONTRARIA

	Fecha	Nombre	Firma:	Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	20/09/2022	Raúl Samper Suárez		1542
Comprobado	25/10/2022	Jesús Velázquez		Grado en Ing. Mecánica
Escala	1:1	Título		Tolerancias generales ISO 2768-f
Página	1	MARCA 16		Página Nº 19

MARCA 17

1 2 3 4 5 6 7 8



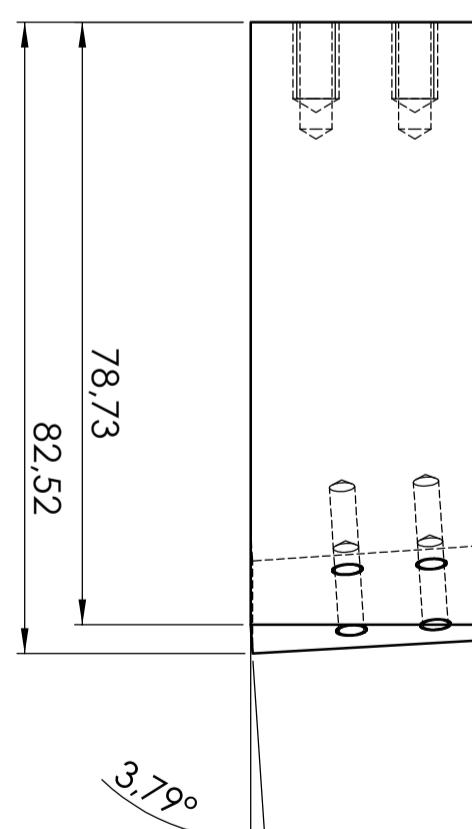
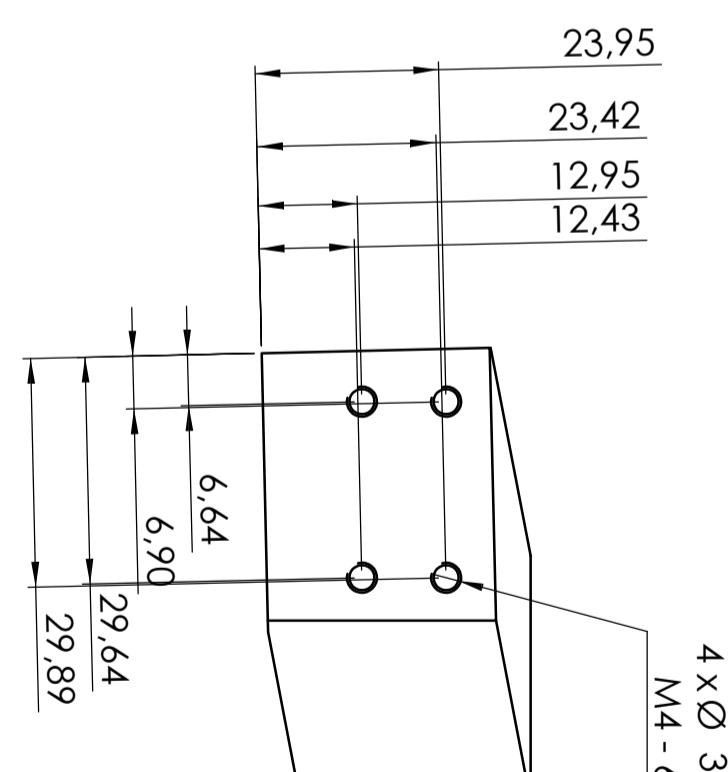
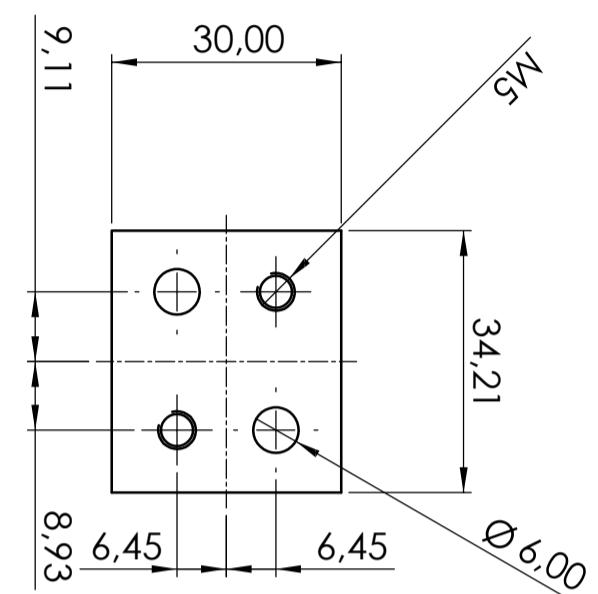
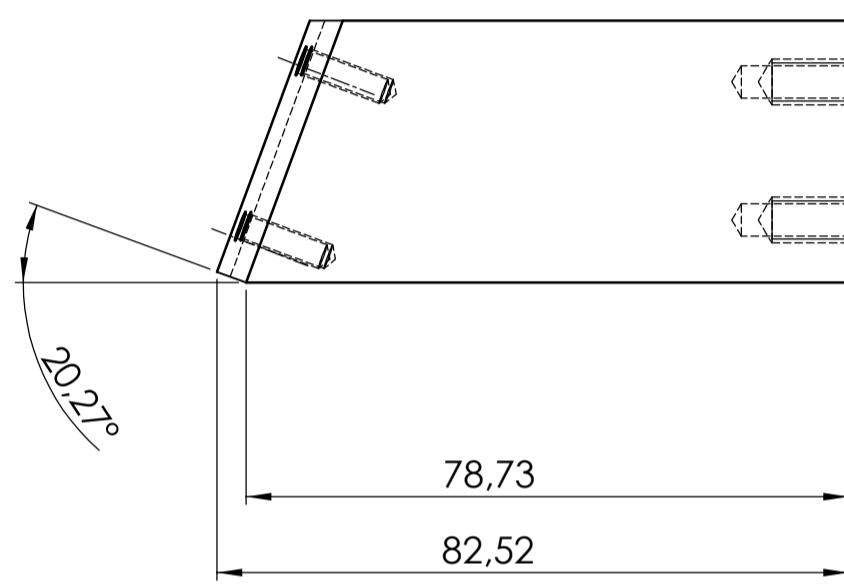
1 UNIDADES MATERIAL - ALUMNIO

1 2 3 4 5 6 7 A3

	Fecha	Nombre	Firma:
Dibujado	20/09/2022	Raúl Samper Suárez	
Comprobado	25/10/2022	Jesús Velázquez	
Escala	Título		
1:1	MARCA 17		
Grado en Ing. Mecánica			
Tolerancias generales ISO 2768-f			
Plano Nº 20			

MARCA 26

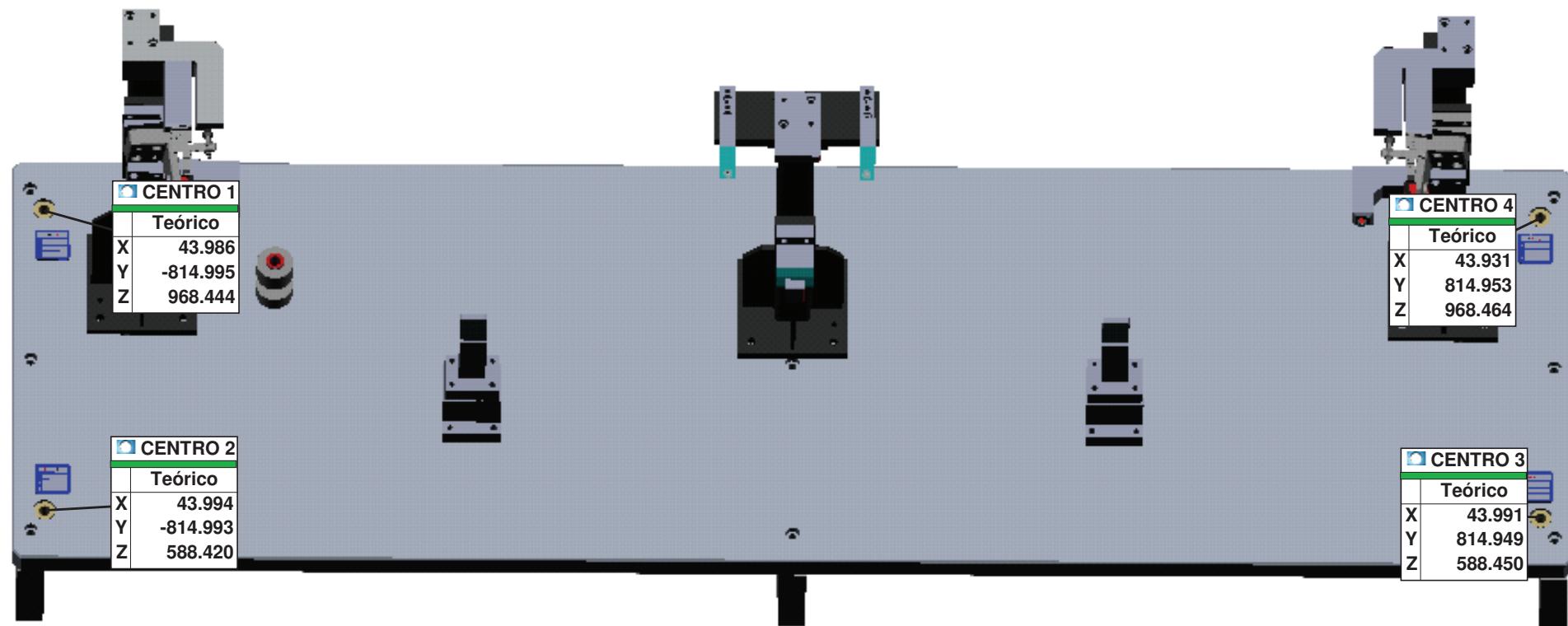
MATERIAL: ALUMINIO
CANTIDAD: 1 unidades



	E	D	C	B	A
F					
MATERIAL: ALUMINIO					
CANTIDAD: 1 unidades					
1	2	3	4	5	6
7					
					A3

Fecha	Nombre	Firma:	Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	20/09/2022	Raúl Samper Suárez	
Comprobado	25/10/2022	Jesús Velázquez	1542
Escala	Título	MARCA 26	Grado en Ing. Mecánica Tolerancias generales ISO 2768-f Plano Nº 22
1:1			

8. ANEXO II – INFORMES TRIDIMENSIONALES



\hat{x}
 \hat{y}
 \hat{z}

INFORMES TRIDIMENSIONALES

Raúl Samper Suárez

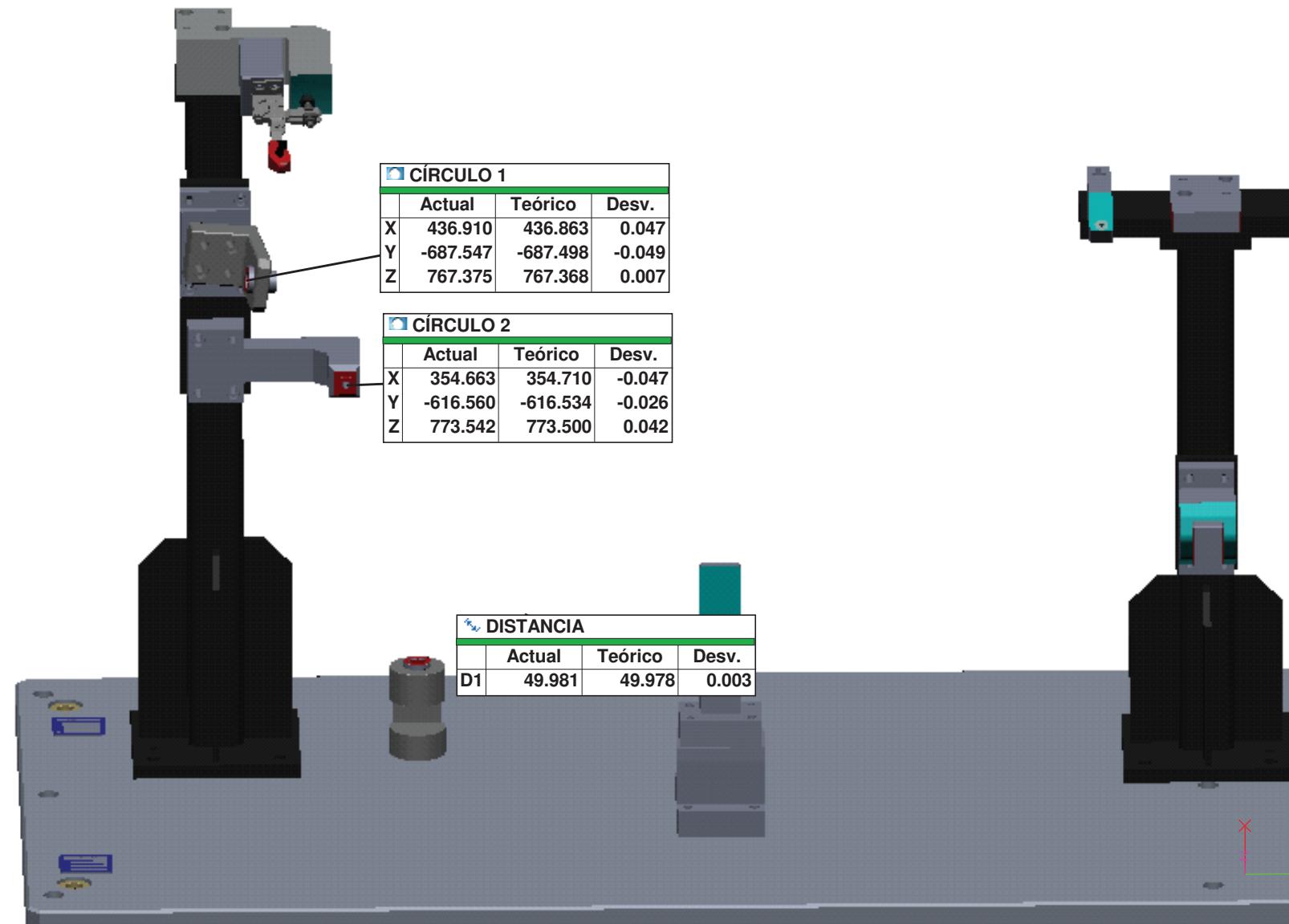
UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

ALINEAMIENTO

POSICIONADOR



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza



INFORMES TRIDIMENSIONALES

Raúl Samper Suárez

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

TOLERANCIAS (-0.050,+0.050)

POSICIONADOR



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

PUNTO 9			
	Actual	Teórico	Desv.
D.N.	-0.049	0.000	-0.049
X	360.785	360.784	0.001
Y	-622.945	-622.943	-0.001
Z	777.973	777.925	0.049

PUNTO 10			
	Actual	Teórico	Desv.
D.N.	-0.047	0.000	-0.047
X	359.574	359.622	-0.047
Y	-617.000	-617.000	0.000
Z	775.102	775.102	0.000

PUNTO 11			
	Actual	Teórico	Desv.
D.N.	0.003	0.000	0.003
X	362.431	362.431	-0.000
Y	-611.678	-611.678	0.000
Z	778.231	778.234	-0.003

PUNTO 14			
	Actual	Teórico	Desv.
D.N.	-0.049	0.000	-0.049
X	348.982	348.981	0.000
Y	-622.685	-622.684	-0.001
Z	778.139	778.090	0.049

PUNTO 13			
	Actual	Teórico	Desv.
D.N.	0.049	0.000	0.049
X	349.829	349.878	-0.049
Y	-616.141	-616.141	0.000
Z	775.089	775.089	0.000

PUNTO 12			
	Actual	Teórico	Desv.
D.N.	-0.013	0.000	-0.013
X	347.869	347.869	0.000
Y	-611.097	-611.096	-0.000
Z	778.439	778.426	0.013

INFORMES TRIDIMENSIONALES

Raúl Samper Suárez

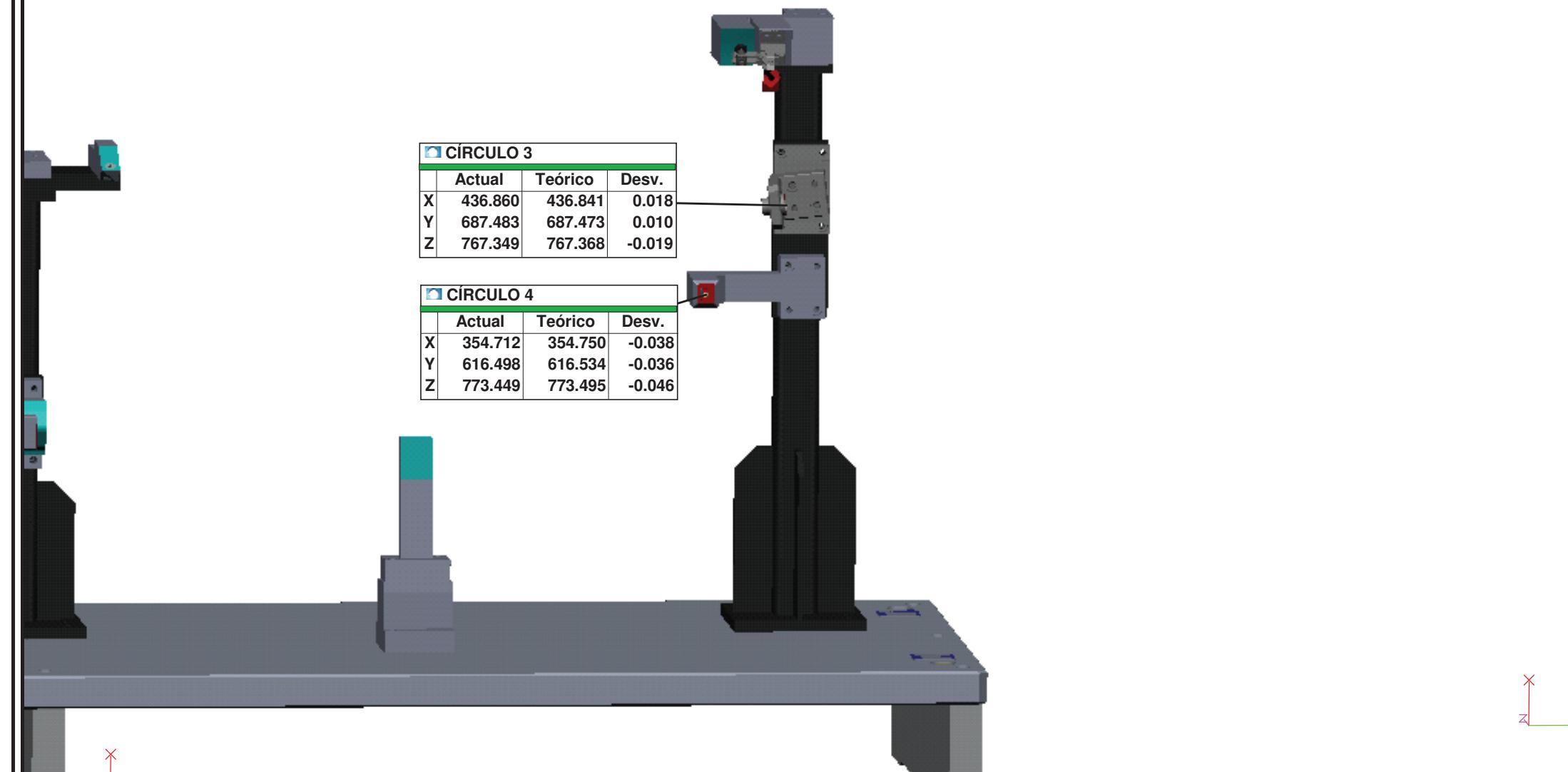
UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

TOLERANCIAS (-0.050,+0.050)

POSICIONADOR



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza



INFORMES TRIDIMENSIONALES

Raúl Samper Suárez

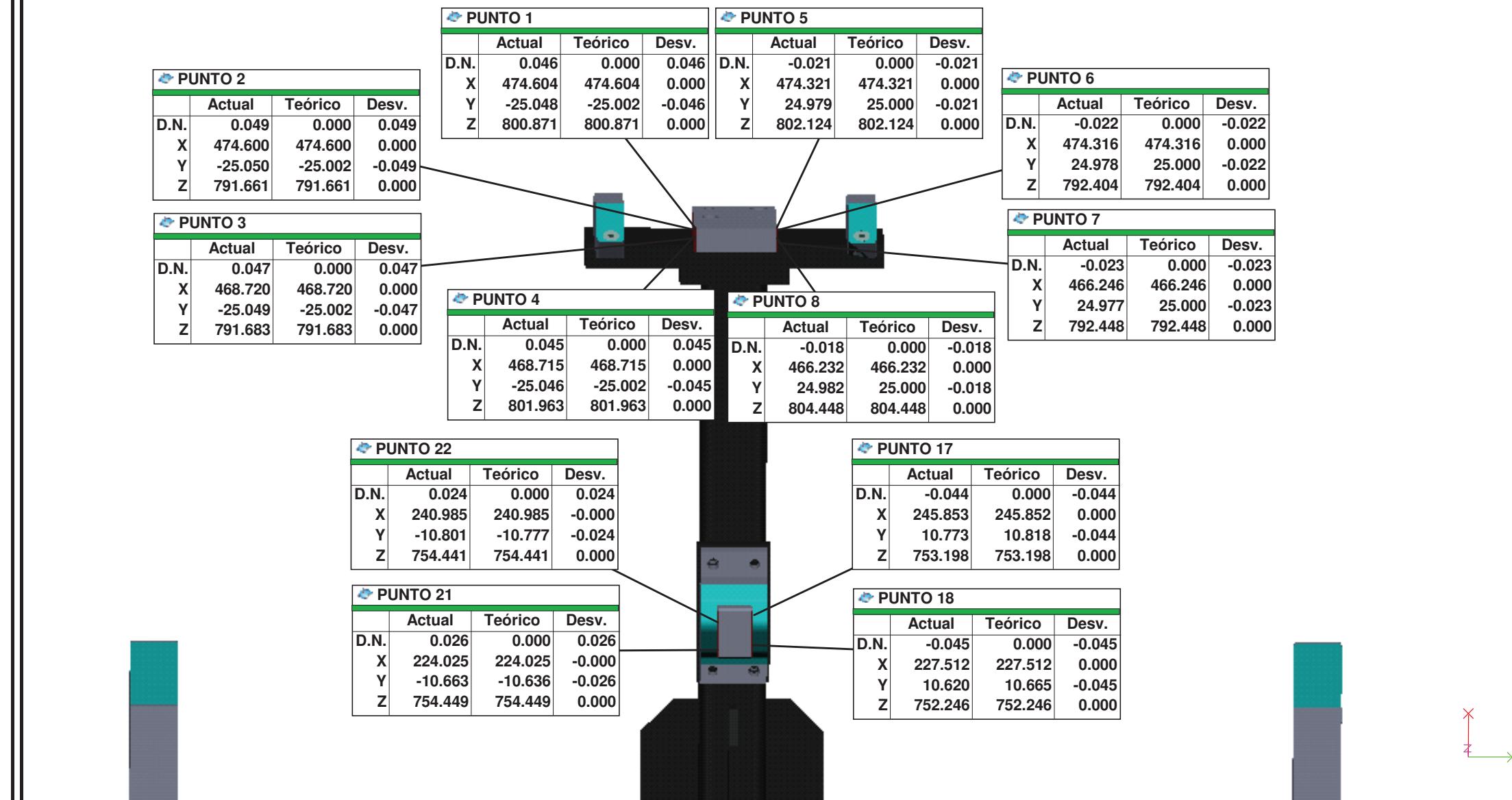
UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

TOLERANCIAS (-0.050,+0.050)

POSICIONADOR



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza



INFORMES TRIDIMENSIONALES

Raúl Samper Suárez

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

TOLERANCIAS (-0.050,+0.050)

POSICIONADOR



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

PUNTO 23			
	Actual	Teórico	Desv.
D.N.	0.048	0.000	0.048
X	360.996	360.997	-0.001
Y	610.959	610.960	-0.001
Z	778.222	778.270	-0.048

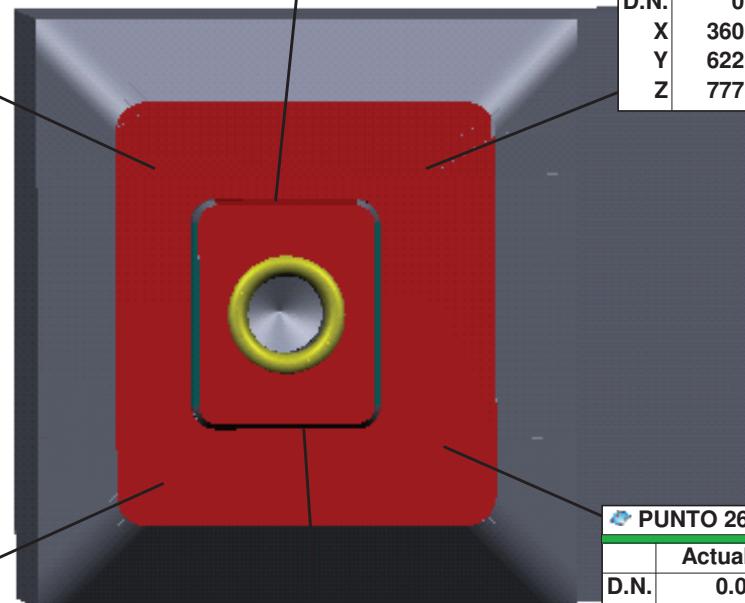
PUNTO 24			
	Actual	Teórico	Desv.
D.N.	-0.040	0.000	-0.040
X	359.581	359.622	-0.040
Y	616.054	616.054	0.000
Z	775.363	775.363	0.000

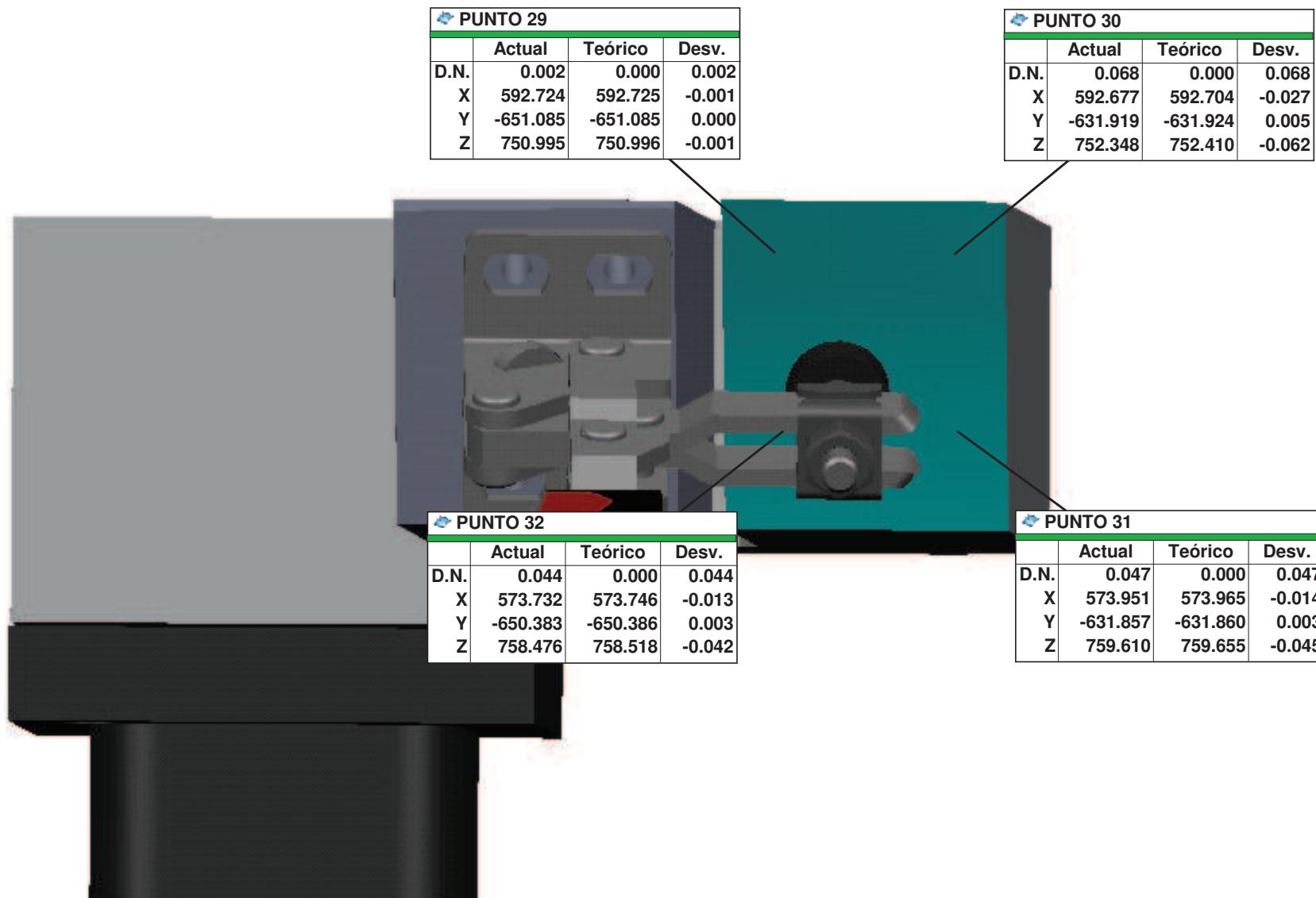
PUNTO 25			
	Actual	Teórico	Desv.
D.N.	0.044	0.000	0.044
X	360.936	360.937	-0.001
Y	622.619	622.621	-0.001
Z	777.887	777.930	-0.044

PUNTO 28			
	Actual	Teórico	Desv.
D.N.	0.049	0.000	0.049
X	347.531	347.532	-0.000
Y	611.246	611.248	-0.001
Z	778.374	778.423	-0.049

PUNTO 27			
	Actual	Teórico	Desv.
D.N.	0.047	0.000	0.047
X	349.830	349.878	-0.047
Y	617.186	617.186	0.000
Z	774.322	774.322	0.000

PUNTO 26			
	Actual	Teórico	Desv.
D.N.	0.040	0.000	0.040
X	349.053	349.053	-0.000
Y	623.357	623.358	-0.001
Z	778.030	778.070	-0.040





INFORMES TRIDIMENSIONALES

Raúl Samper Suárez

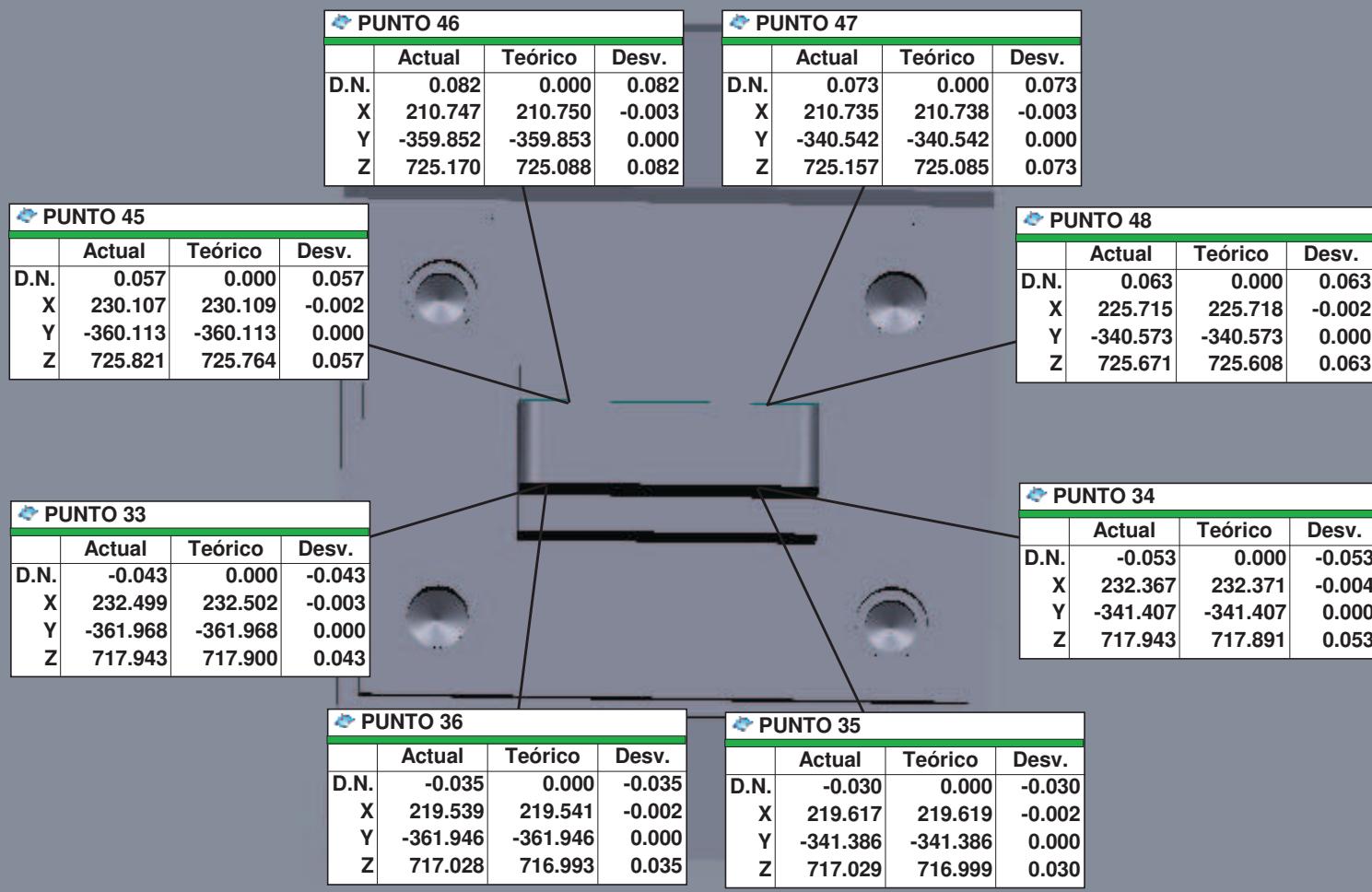
UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

TOLERANCIAS
(-0.100,+0.100)

POSICIONADOR



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza



INFORMES TRIDIMENSIONALES

Raúl Samper Suárez

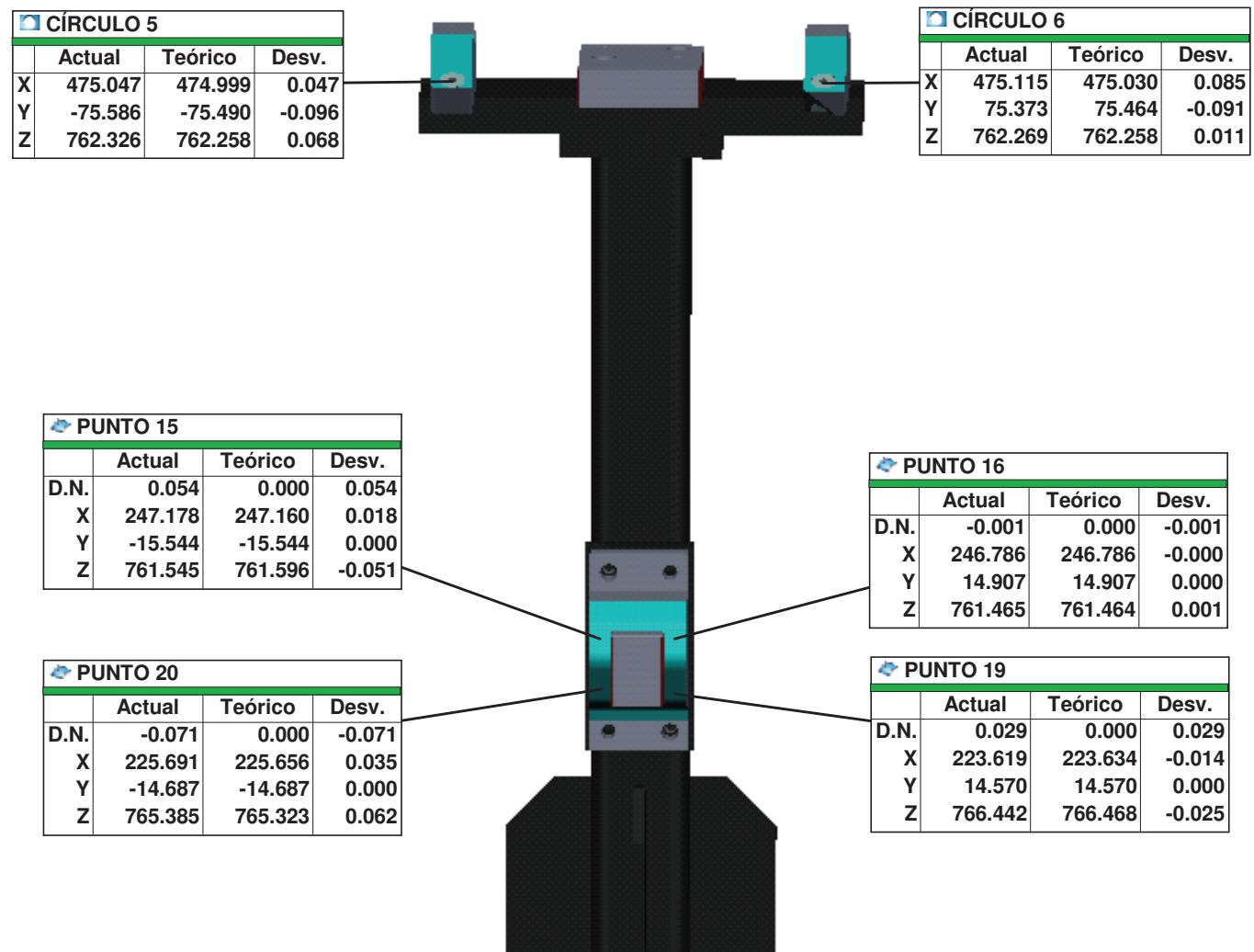
UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

TOLERANCIAS (-0.100,+0.100)

POSICIONADOR



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza



INFORMES TRIDIMENSIONALES

Raúl Samper Suárez

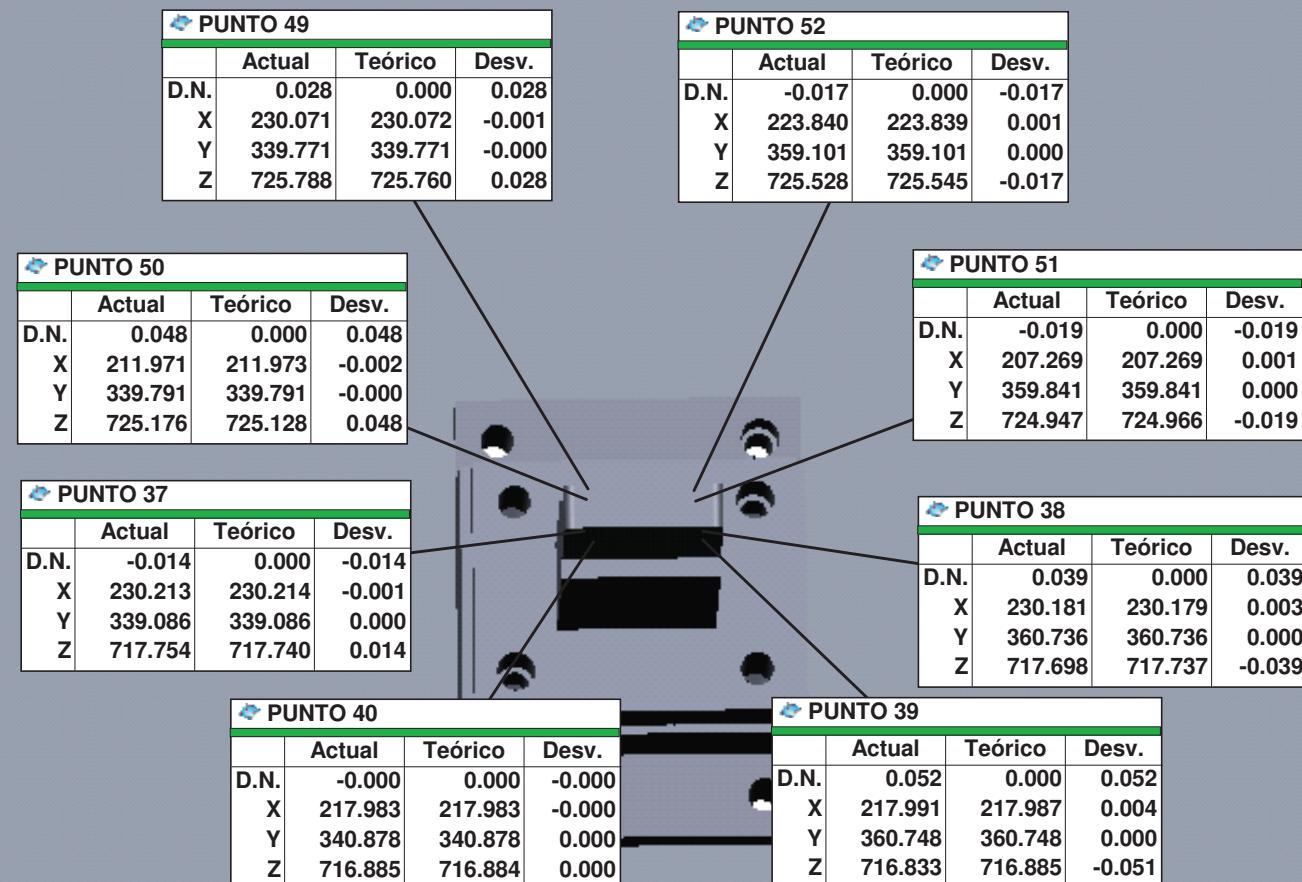
UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

TOLERANCIAS (-0.100,+0.100)

POSICIONADOR



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza



z
x
y

INFORMES TRIDIMENSIONALES

Raúl Samper Suárez

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

TOLERANCIAS
(-0.100,+0.100)

POSICIONADOR



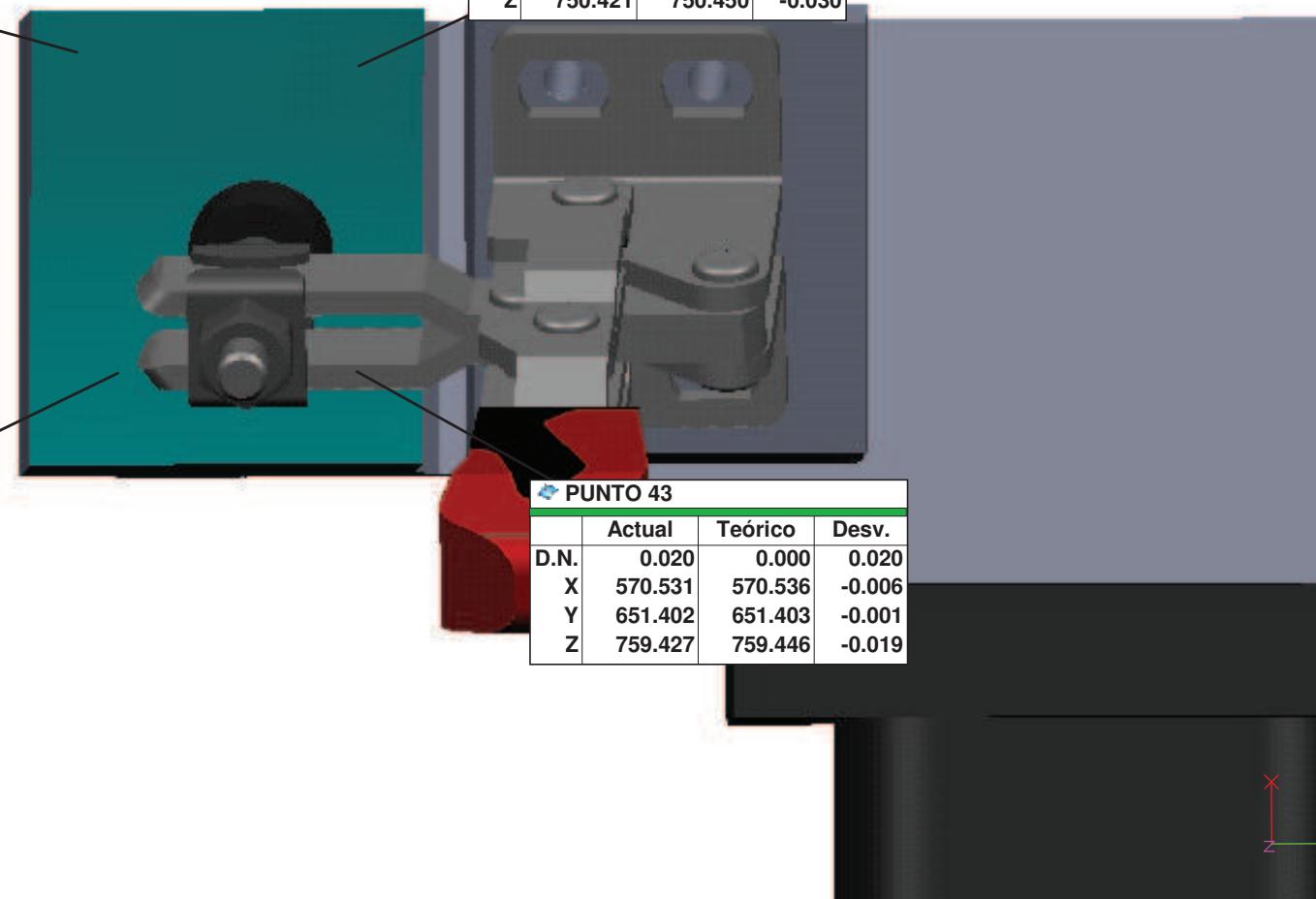
Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

PUNTO 41			
	Actual	Teórico	Desv.
D.N.	0.045	0.000	0.045
X	594.795	594.812	-0.018
Y	629.904	629.907	-0.003
Z	751.614	751.656	-0.041

PUNTO 42			
	Actual	Teórico	Desv.
D.N.	0.033	0.000	0.033
X	593.851	593.864	-0.013
Y	651.506	651.509	-0.002
Z	750.421	750.450	-0.030

PUNTO 44			
	Actual	Teórico	Desv.
D.N.	0.051	0.000	0.051
X	570.472	570.487	-0.015
Y	633.059	633.062	-0.003
Z	760.603	760.653	-0.049

PUNTO 43			
	Actual	Teórico	Desv.
D.N.	0.020	0.000	0.020
X	570.531	570.536	-0.006
Y	651.402	651.403	-0.001
Z	759.427	759.446	-0.019



INFORMES TRIDIMENSIONALES

Raúl Samper Suárez

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

TOLERANCIAS (-0.100,+0.100)

POSICIONADOR



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza