

# Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza



Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura  
**Universidad Zaragoza**



**Universidad**  
Zaragoza

Proyecto Fin de Carrera

## Rediseño del soporte de un sistema de visión y análisis del procedimiento de ajuste para la calibración

Autor: Rubén Antolín Iriarte

Director: Francisco Javier Brosed

Septiembre de 2015



**PROPUESTA y ACEPTACIÓN DEL  
PROYECTO FIN DE CARRERA DE INGENIERÍA TÉCNICA**

**DATOS PERSONALES**

APELLIDOS, Nombre

ANTOLIN IRIARTE, Ruben

Nº DNI 76918352G Dirección c/Garc a Lorca 4- 3A - 2esc

C.P. 50007 Localidad Zaragoza

Provincia Zaragoza Teléfono 653260279 NIA: 535237

Firma:

**DATOS DEL PROYECTO FIN DE CARRERA**

INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL, Especialidad Mecanica

TITULO Rediseño del soporte de un sistema de vision y analisis del procedimiento de ajuste para la calibracion

PROYECTO TIPO A  TIPO B

DIRECTOR Franciso Javier Brosed

**VERIFICACIÓN EN SECRETARÍA**

El alumno reúne los requisitos académicos (1) para la adjudicación de Proyecto Fin de Carrera

SELLO DEL CENTRO

EL FUNCIONARIO DE SECRETARIA



Fdo.:

SE ACEPTA LA PROPUESTA DEL PROYECTO (2)

En Zaragoza, a 4 de septiembre de 2.015

Fdo.: F. J. Brosed

DIRECTOR DEL PFC

SE ACEPTA EL DEPÓSITO DEL PROYECTO

En Zaragoza, a 4 de septiembre de 2.015

Fdo.: F. J. Brosed

DIRECTOR DEL PFC

(1) Requisitos académicos: tener pendientes un máximo de 24 créditos o dos asignaturas para finalizar la titulación.

(2) Para que la propuesta sea aceptada por el Director, es imprescindible que este impreso esté sellado por la Secretaría de la EINA una vez comprobados los requisitos académicos.

## Índice

1 – Introducción	4
Marco del proyecto	4
Alcance del proyecto	5
Objetivos del proyecto	5
2 - Descripción del sistema actual	6
Funcionamiento del sistema	6
Calibración	6
Proceso de medición	8
Características de la medición	9
3 – Análisis de las restricciones de diseño	10
Soporte actual	10
Restricciones del diseño	10
4 – Rediseño del sistema	16
Características del diseño propuesto	16
Elementos Auxiliares	25
5 - Proceso de fabricación	33
Pieza 1 – Soporte central	33
Pieza 2 – Cuña unión posicionadora	36
Pieza 3 – Soporte cámara 2	37
Pieza 4 – Soporte cámara 1	37
Pieza 5 – Soporte láser	37
Pieza 6 – Abrazadera láser	38
Pieza 7 – Pletina L	38
Pieza 8 – Pletina plana	39
Pieza 9 – Soporte cuña en paralelo	40
Pieza 10 – Pletina proyector L	40
Pieza 11 – Pletina proyector plana	41
6 – Montaje del sistema	42
7 - Análisis de costes de fabricación	46
8 – Análisis del ajuste previo al calibrado	49
9 – Conclusiones y trabajos futuros	56
10 – Bibliografía	58
10 – Anexos	59
Anexo I: Planos	61
Anexo II: Hojas de Proceso	76
Anexo III: Catálogos	98

## 1 – Introducción

Los sistemas de medición por triangulación láser son sistemas de medida sin contacto que utilizan una fuente de luz de tipo láser y diversas cámaras para determinar la posición en el espacio de superficies de las piezas. Presentan una alta flexibilidad de las mediciones de superficies limitada sólo por los movimientos de la posicionadora y el ángulo de obtención de datos de las cámaras. Al ser un sistema sin contacto permite una completa automatización para la inspección de la totalidad de las piezas fabricadas. Presenta también una alta reproducibilidad en las medidas, con una desviación mínima gracias a la gran precisión de las posicionadoras sobre las que van montados.

En este proyecto se pretende rediseñar el soporte de un sistema de medición láser (LTS, Laser Triangulation Sensor) compuesto de dos cámaras y un láser lineal. El sistema está montado en la Universidad de Zaragoza y ha mostrado ser fiable en el análisis de las superficies que mide dando buenos resultados tanto en longitudes como en planitud.

El soporte deberá respetar los ejes ópticos del sistema para garantizar que su funcionamiento sea igual que hasta ahora. Además de eso pretende dotarlo de posibilidades de montaje adicionales para que puedan ser utilizadas en el futuro para nuevas pruebas o diseños. Una de las características clave de este soporte es la versatilidad. Dispone de zonas de sujeción adicionales para añadir elementos con posterioridad y que sea posible mantenerlos en una posición solidaria con respecto al resto de los elementos ópticos.

Para la fabricación de todas las piezas se han tenido en cuenta diversos procedimientos de taladrado y fresado, y especialmente técnicas de corte de geometrías complejas 2D. La utilización de estas técnicas de corte permite que el soporte central se fabrique de una sola pieza en lugar de las 3 piezas de las que consta actualmente, respetando las zonas de sujeción de los soportes de las cámaras en la misma posición.

A la vez que se reducen las piezas del soporte central se reduce también el número de tornillos necesarios para montar el sistema y con ello el tiempo de preparación. Se han utilizado en la medida de lo posible roscas de la misma métrica para que al montar y desmontar el sistema se utilicen el mínimo número de herramientas posibles.

### Marco del proyecto

El presente proyecto se enmarca de la investigación de sistemas de medición ópticos de planitud que se está llevando a cabo en la Universidad de Zaragoza. El objetivo de esta investigación es el desarrollo de sistemas de medida sin contacto cuyas características de medición, reproducibilidad y velocidad sean aptos para fines industriales.

El equipo sobre el que se desarrolla este proyecto es un sistema de medición geométrica 3D mediante triangulación láser (LTS, Laser Triangulation Sensor), perteneciente al Área de Ingeniería de Procesos de Fabricación de la Universidad de Zaragoza. Se trata de un sistema de inspección geométrica sin contacto y montado en una posicionadora lineal por lo que es fácilmente automatizable. Actualmente se trata de un sistema en desarrollo por lo que se tratará de ofrecer una solución versátil de cara a posibles actualizaciones del sistema.

Una de las mejoras propuestas para el sistema en el futuro es la sustitución del láser como elemento reflectivo por un proyector de múltiples haces de luz de manera que se realice una medición de múltiples zonas en cada imagen tomada por las cámaras en lugar de una sola que se realiza con el haz del láser. Esto se tendrá en cuenta en el diseño de los soportes auxiliares y los elementos adicionales que incorporará el soporte.

También se tendrá en cuenta la posibilidad del diseño de un soporte que permita la instalación de dos cámaras sobre la misma posicionadora para ensayos comparativos entre dos sistemas.

### Alcance del proyecto

En este proyecto se propondrá un soporte de sujeción nuevo para el sistema nombrado anteriormente. Como dicho sistema ya está en funcionamiento y se ha comprobado su eficacia en las mediciones, se respetarán las características ópticas del sistema. Además de eso se abordará el diseño de elementos auxiliares para dar opciones adicionales como la instalación de sistemas en paralelo, un soporte para el foco de calibración y otro para la instalación de un proyector de haces luminosos (que se desarrollará en el futuro).

### Objetivos del proyecto

El objetivo del proyecto consiste en la realización del diseño de un soporte alternativo y de los elementos auxiliares necesarios para la actualización de un sistema de medición óptico por triangulación láser.

Una vez realizados los diseños de los elementos que componen el nuevo conjunto se realizará un modelado 3D del conjunto mediante el programa Solid Edge. Se comparará con el actual confirmando que la posición de las superficies de referencia sobre las que se sitúan los elementos de medición se conserva, siendo por lo tanto apto para sustituirlo por el soporte actual.

Se detallará el montaje del sistema para la instalación de todos los nuevos componentes.

Posteriormente se realizará un estudio de los costes de fabricación del nuevo soporte con respecto a los costes de fabricación del soporte actual.

Como objetivo final se revisará el procedimiento previo al calibrado del sistema así como una comprobación de las desviaciones de medida en el calibrador causadas por los errores en la orientación del mismo.

## 2 - Descripción del sistema actual

### Funcionamiento del sistema

El sistema de medición instalado es un sistema de medición por triangulación láser (LTS) montado sobre una posicionadora de desplazamiento lineal (MLS, Monitored Linear Stage). Los sistemas de este tipo son capaces de realizar mediciones mediante la toma de imágenes de la pieza sobre la cual se proyecta el haz de luz láser. Para la toma de estas imágenes el sistema usa dos cámaras, una situada por debajo de la pieza y otra a uno de los lados. La disposición de los elementos puede verse en la figura 1.

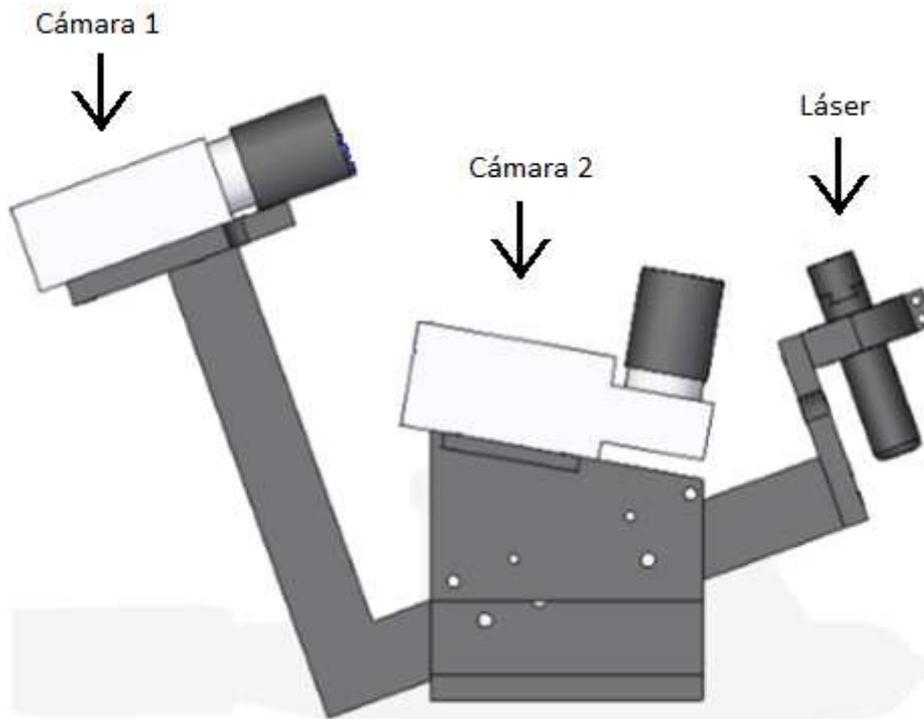


Fig.1 Disposición de los elementos en el montaje actual

Las cámaras toman imágenes de una zona de interés (ROI) de 96x1280 px en las que se discretizan los puntos iluminados por el haz del láser de los no iluminados. Después de la toma de imágenes se procesan los datos obtenidos mediante herramientas informáticas para que puedan ser analizados los parámetros deseados.

### Calibración

Antes de realizar mediciones es necesario calibrar el sistema. Para realizar esta operación se utiliza un calibrador de dimensiones conocidas. Este calibrador tiene superficies en diferentes planos y una serie de puntos en posiciones determinadas para caracterizar el sistema mediante la toma de imágenes de su superficie.

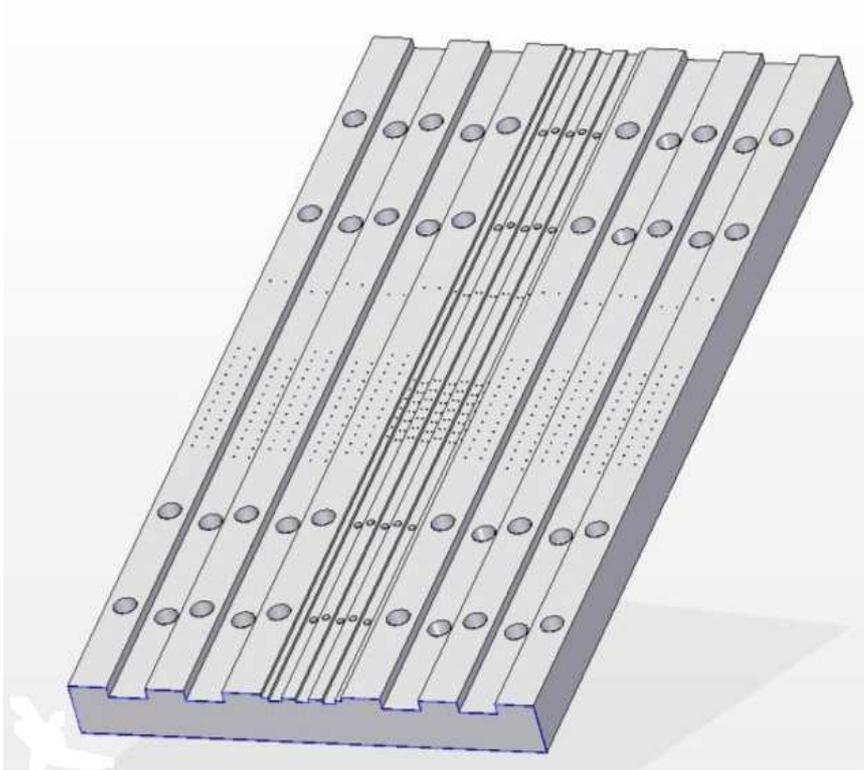


Fig.2 Calibrador

Para realizar la calibración es necesario posicionar el calibrador para que la dirección de su eje en Y coincida con la dirección del desplazamiento de la posicionadora. Para ello se utilizan una serie de imágenes tomadas por la cámara al inicio y final del calibrador. Una vez hecho esto se calibra el sistema mediante los puntos situados en distintos planos en el calibrador.



Fig.3 Imagen tomada durante el proceso previo a la calibración

El proceso de calibración del conjunto comienza por la orientación del calibrador, mediante la cual se usan imágenes tomadas del calibrador en las que se visualizan las almenas que tiene (fig. 3). Posteriormente se toman una serie de imágenes a la zona punteada del calibrador con las que se realiza finalmente el calibrado (fig. 4).



Fig.4 Imagen tomada durante el proceso de calibrado

Sólo cuando el sistema está calibrado se conoce la relación entre las coordenadas U y V de la cámara y las coordenadas X Y Z reales de la pieza.

### Proceso de medición

El proceso de medición consta de 6 partes: obtención de datos, análisis de la imagen, reconstrucción de la nube de puntos, transformación al sistema de referencia y análisis de los resultados.

**Obtención de datos:** Proceso mediante el cual el sistema de medición realiza un barrido sobre la superficie a medir generando una imagen cada 9,8 ms, lo que equivale a un paso de 0,18mm de paso entre una imagen y la siguiente.

**Análisis de la imagen:** Mediante un filtrado de la imagen se eliminan los puntos no relevantes de cada imagen quedando únicamente los píxeles iluminados por el láser con sus coordenadas U y V para cada una de las dos cámaras.

**Reconstrucción de la nube de puntos:** Una vez realizado el análisis es inmediato representar los puntos relevantes en un sistema junto con una coordenada adicional correspondiente a la posición de la posionadora en el punto en el que está tomada la imagen.

**Transformación al sistema de referencia:** Como el sistema de medición esta calibrado se conoce la relación entre las coordenadas U y V de las imágenes tomadas por las cámaras y las coordenadas X Y Z de la pieza, por lo que se puede reconstruir la superficie medida.

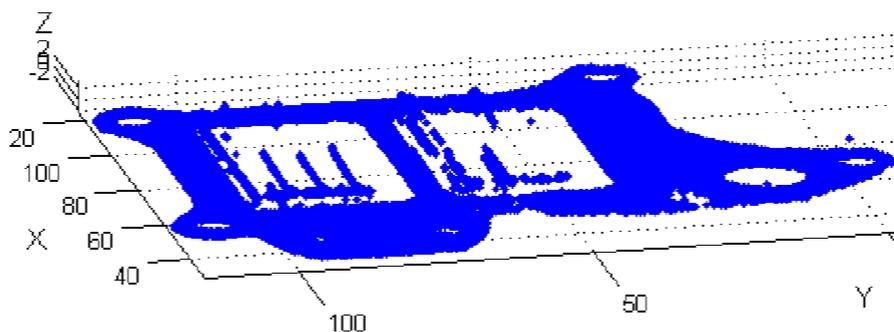


Fig.5 Reconstrucción de la superficie

**Análisis de los resultados:** Como en cualquier proceso de control de calidad, se establecen las dimensiones a comprobar y las tolerancias admisibles para cada una de las dimensiones. Se verifica si la pieza medida cumple con los parámetros fijados y se decide si se deshecha o se acepta. Además de longitudes, el sistema es capaz de medir planitud y, representando la distancia de cada punto a un plano de referencia, dicha distancia puede

representarse con un código de colores quedando un diagrama con una leyenda por colores (fig.6).

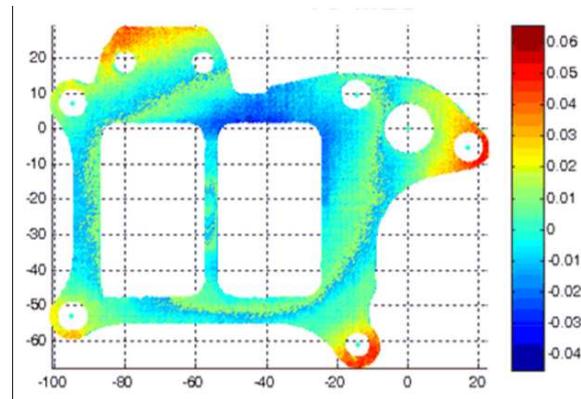


Fig.6 Representación gráfica de la medición de planitud

### Características de la medición

Mediciones experimentales con el sistema LTS concluyen que tiene la precisión siguiente:

**Planitud** = 0.02 mm

**Posición/diámetro del mismo objeto** = 0.03 mm

**Distancia entre dos objetos** = 0.06 mm

El proceso de obtención de datos dura aproximadamente 20 segundos y el procesado mediante herramientas informáticas es de unos 4 segundos por lo que es posible la inspección del 100% de las piezas producidas en la mayoría de procesos sin interrumpir la fabricación.

### 3 – Análisis de las restricciones de diseño

#### Soporte actual

El soporte instalado en la actualidad en el sistema de medición está compuesto de 9 piezas (fig. 7).

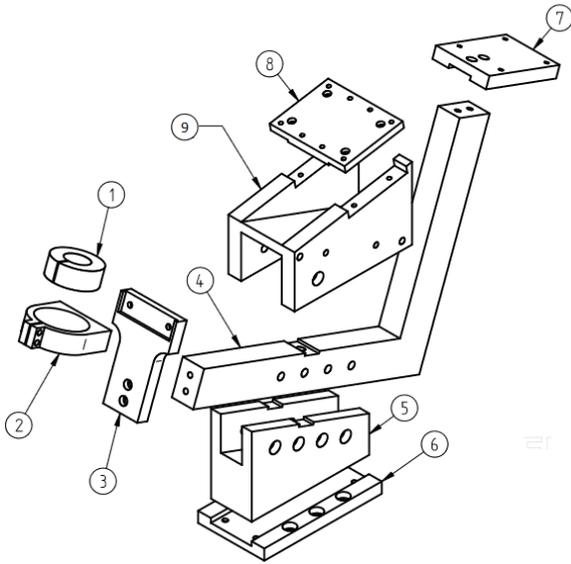


Fig.7 Imagen de las 9 piezas del soporte actual

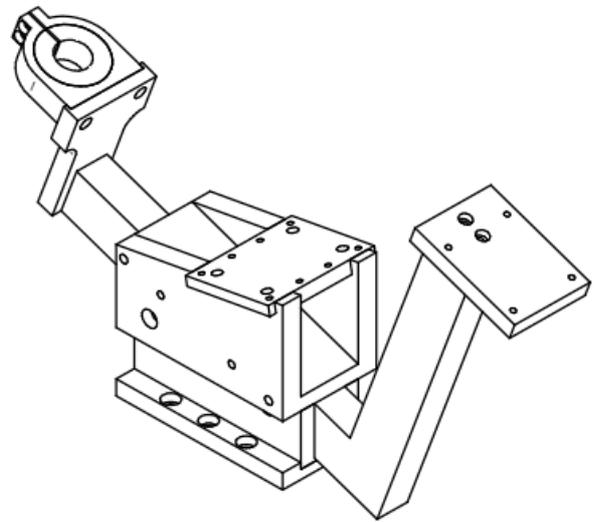


Fig.8 Soporte actual ensamblado

Se trata de una pieza en L sobre la que van unidos los soportes de la cámara 1 y el láser, que a su vez está unida a una pieza central a la que está sujeta el soporte de la cámara central. Todo este conjunto está unido a una cuña que es la que sirve de unión entre el soporte y la posicionadora mediante unos tornillos.

#### Restricciones del diseño

Para que el sistema funcione correctamente el nuevo diseño del soporte debe cumplir una serie de condiciones:

- Los ejes ópticos y las posiciones relativas de las cámaras y del láser deben ser los mismos para que el sistema funcione igual que lo hacía hasta ahora. Esto implica que la posición relativa de las cámaras con respecto a la posicionadora será la misma que la que hay ahora

- Los anclajes de las cámaras al soporte deberán tener los roscados necesarios para su sujeción, que son los dados por el fabricante (fig.9).

MECHANICALS	
Dimensions	102 x 50 x 41 mm (straight) 110 x 50 x 41 mm (right angle)
Weight	Straight: 204 g - Right Angle: 258 g
Mounting	4 M3 threaded holes in front plate & 4 M3 threaded holes in camera case
Tripod Mount	1/4" - 20 mount (optional)
Status LED	Amber - Start-up, Green - Idle or streaming Red - Warning or failed status
Lens Mount	C & CS-Mount, 2/3" optical format

Fig.9 Detalle de la hoja de especificaciones de la cámara

En las características de las cámaras puede verse que están ancladas mediante 4 tornillos M3 y su posición es la que se especifica en los planos de información del fabricante (fig. 10)

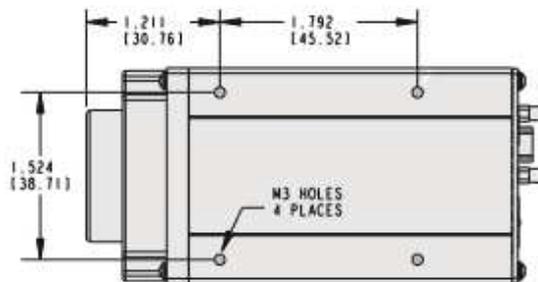


Fig.10 Plano de montaje de la cámara

- El sistema debe estar sujeto a la posicinadora que hay actualmente, la cual es modelo Newport MLS-ILS 250 mm.

Destacar que se detectó una discrepancia entre la distancia de los roscados de sujeción de la placa superior de la posicinadora. En los planos disponibles en su página web aparecen distanciados 25 y 50 mm mientras que en el modelo 3D (también proporcionado por el fabricante) las distancias son 25,4 y 50,8 mm respectivamente. Se

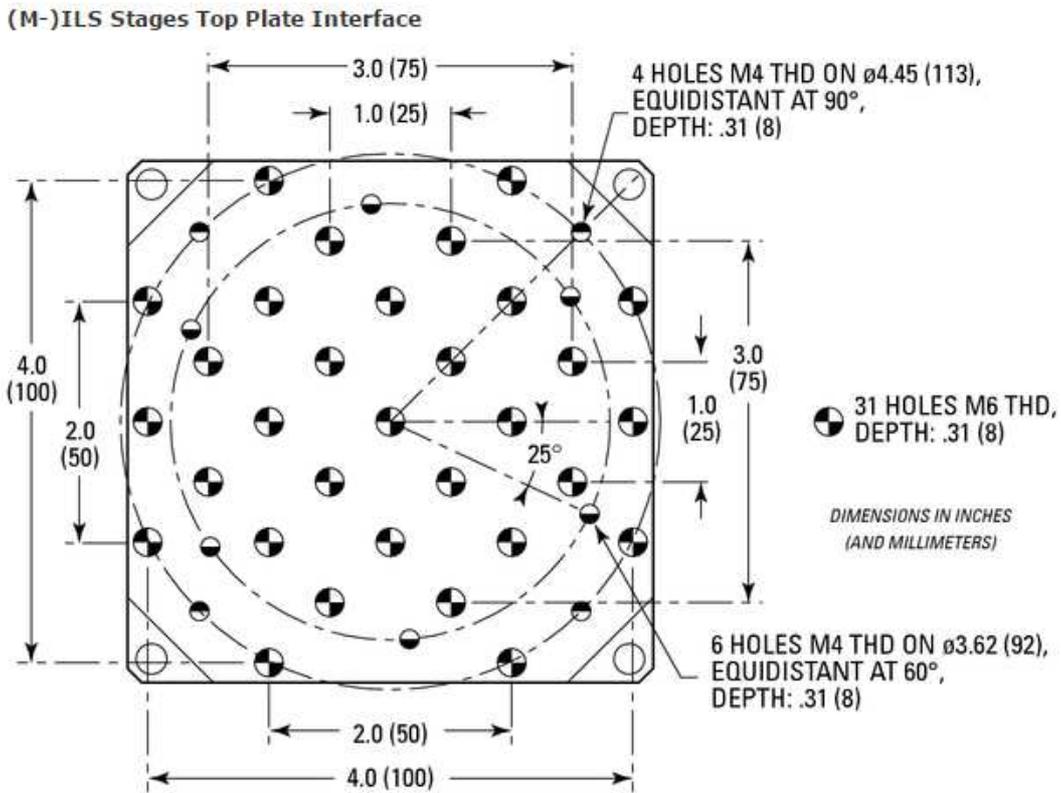


Fig.11 Plano de situación de tornillos de la posicionadora

ha procedido a contactar con Newport y se ha confirmado que las distancias correctas es de 25 y 50 mm (fig. 11).

Como puede verse en la imagen el soporte se sujetará a la posicionadora mediante roscados M6. En el diseño instalado actualmente se usan 6 tornillos M6 distanciados a 25 y 50 mm entre sí.

- Se actualizará o rediseñará una abrazadera para el láser que facilite su montaje y desmontaje. La que está instalada en la actualidad está diseñada para otro modelo de láser de mayor grosor, y para adaptarla al menor diámetro de láser que se utiliza ahora se usa un anillo adaptador (fig. 12). El problema del adaptador es que su sección tangencial es demasiado grande lo que impide que se pueda ajustar con fuerza al láser y que una vez montado sea difícil de desmontar.

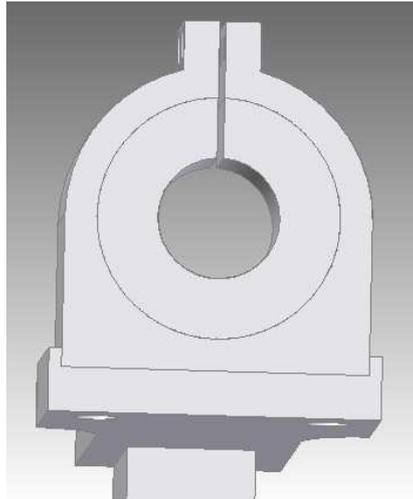


Fig.12 Abrazadera y adaptador

- Se tendrá en cuenta el montaje y desmontaje de todo el conjunto, dejando espacio para los elementos auxiliares (llaves, conectores, etc.). En la actualidad existe un problema de montaje de la cámara central porque no hay hueco suficiente para el tornillo y la llave Allen en cuatro de los tornillos que la sujetan (fig. 13).

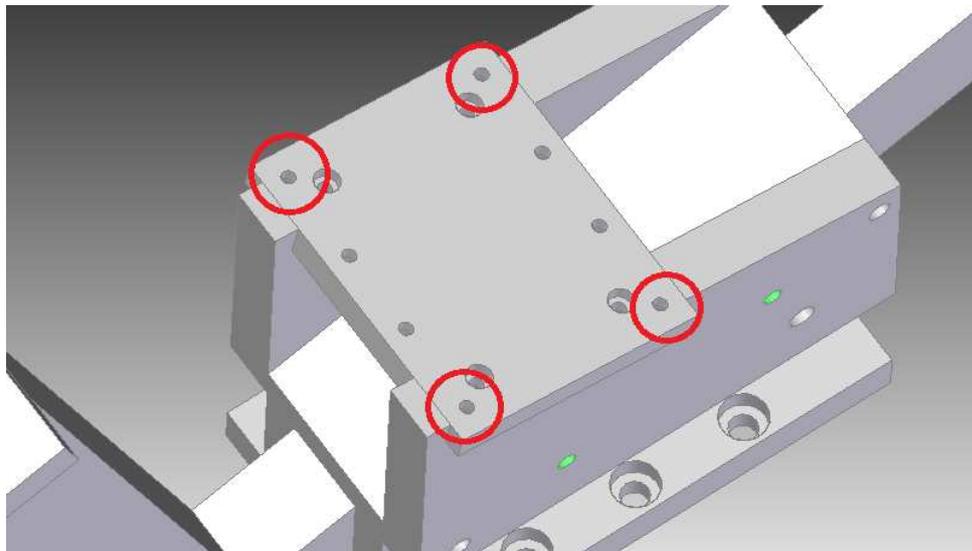


Fig.13 Tornillos con problema de montaje

Con la posición de la pieza del centro del soporte se obstruye la entrada de los tornillos (fig. 14). Este problema se ha resuelto en el montaje realizando unos taladros en la pieza central para que haya espacio suficiente para la entrada de los tornillos (fig. 15)

En el nuevo diseño se tendrá en cuenta el espacio suficiente tanto para los tornillos como para los elementos auxiliares necesarios en el montaje del conjunto.

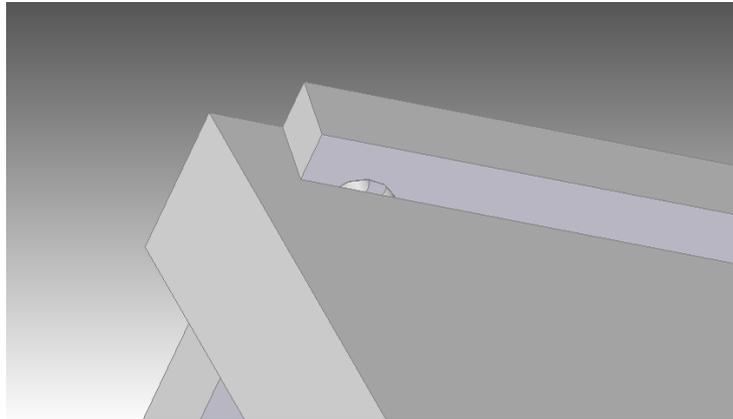


Fig.14 Detalle desde la parte inferior

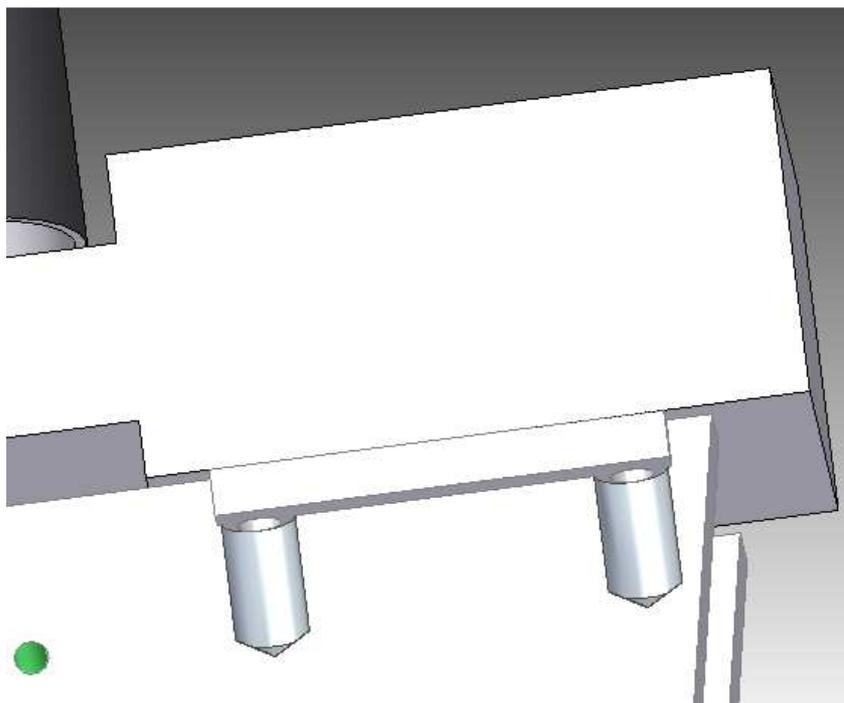


Fig.15 Taladros para posibilitar el atornillado

- Como en el futuro está previsto la utilización de un proyector de haces lineales en vez del láser instalado en la actualidad se diseñará un sistema de sujeción solidario al conjunto para que el proyector quede en una zona cercana al láser que permita la utilización de ambos.

- Detrás de la cámara central no hay espacio para utilizar un conector estándar porque el brazo de la cámara 1 está muy cerca de la cámara. Para solucionar esto se usa un conector con un codo aunque es recomendable modificar el diseño de alguna forma para que sea posible utilizar un conector estándar ya que son más baratos y más fáciles de conseguir.
  
- Para ensamblar el soporte y unirlo a la posicionadora se necesitan 34 tornillos. Reduciendo el número de tornillos necesarios para montar todo el conjunto se reduce el tiempo de montaje. La cantidad de tornillos del montaje actual es la siguiente:
  - M3: 12 unidades
  - M4: 12 unidades
  - M6: 10 unidades
  
- Como los tornillos tienen algo de holgura, el ensamblaje de los elementos del sistema mediante las uniones atornilladas no siempre fija cada componente en la misma posición. Para evitar estas variaciones se recomienda el uso de registros de posición o bulones además de los tornillos para la sujeción del conjunto.

## 4 – Rediseño del sistema

### Características del diseño propuesto

El diseño propuesto para sustituir el actual dispone de menos piezas. Utiliza un soporte central con una geometría específica para que se conserven las posiciones de las cámaras y del láser (fig. 16).

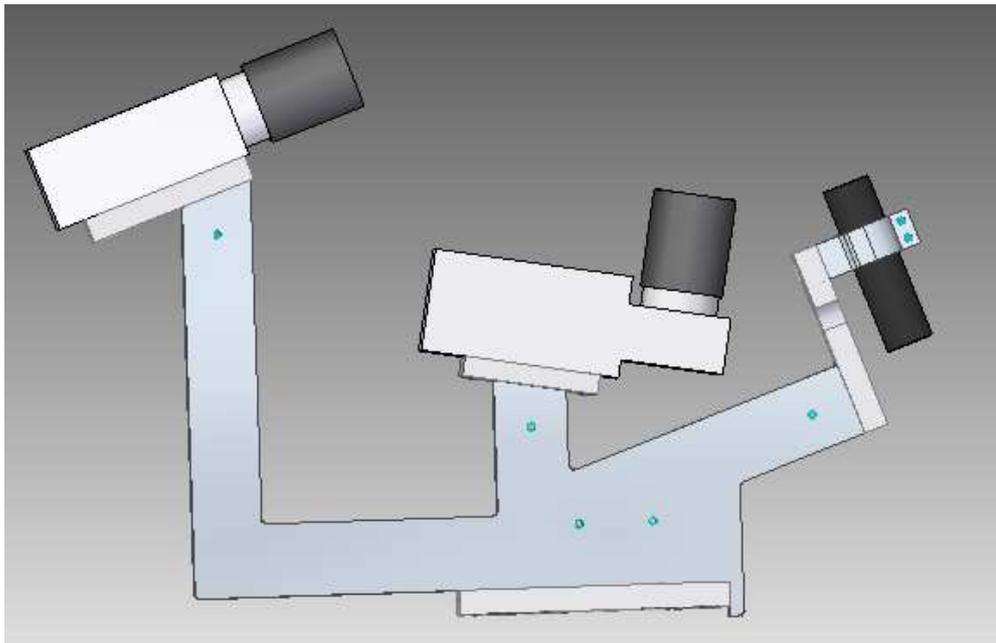


Fig. 16 Soporte propuesto ensamblado

Como se puede observar el nuevo diseño difiere sustancialmente del que está instalado. El número total de piezas excluyendo los elementos auxiliares es de 6 (fig. 17). Está compuesto de un soporte de perfil plano de 20mm de espesor sobre el que se atornillan el resto de elementos que componen el conjunto.

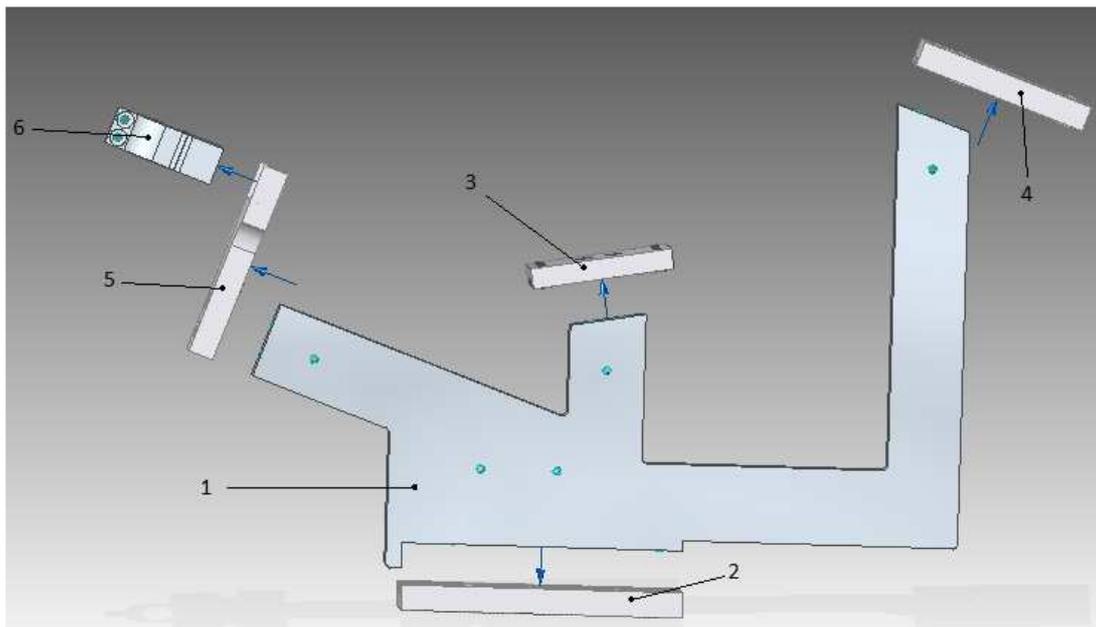


Fig.17 Piezas del soporte

Las características y el proceso de diseño del nuevo soporte son las siguientes:

- Las superficies de referencia de los elementos fundamentales del nuevo sistema se mantienen en la misma posición que las del sistema instalado actualmente.

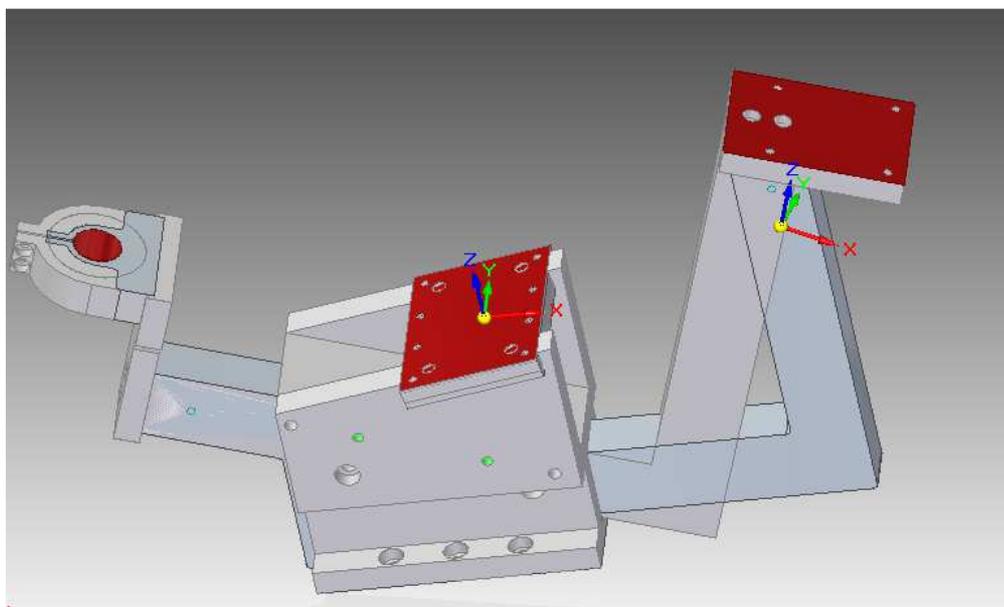


Fig.18 Montaje superpuesto del modelo actual y el nuevo

En el montaje superpuesto de los dos sistemas (fig. 18) están resaltadas las superficies de referencia para el montaje de las cámaras y el láser. Como se puede observar son coincidentes por lo que se conserva la posición relativa de los componentes ópticos.

Conservar la posición y inclinación de los ejes ópticos de las cámaras y del láser es una condición necesaria para que funcione el sistema de medición

- Se ha incluido un registro de posición en la pieza central que fija el sistema en la dirección del eje de desplazamiento de la posicionadora (fig. 19). Dicho registro es útil para conservar la posición del conjunto después de desmontar y volver a montar el sistema y así reducir las posibles variaciones de posición dadas por la holgura de los tornillos.

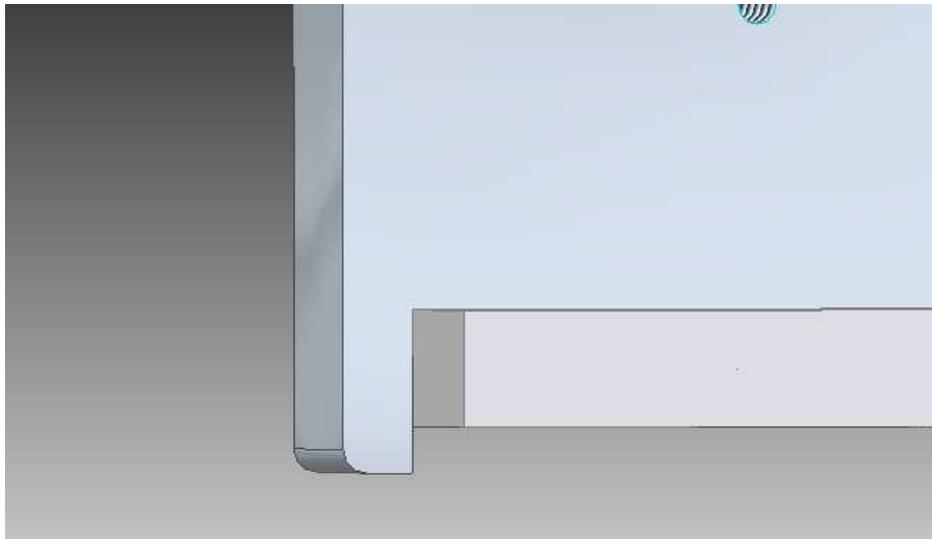


Fig.19 Registro de la pieza central

La primera parte del registro de posición longitudinal asegura que el soporte central se ensambla en la misma posición con respecto a la cuña. La continuación del registro hacia la parte inferior asegura la posición del conjunto respecto de la posicionadora. Este registro junto a la cajera limitan los desplazamientos en los 3 ejes por lo que la posición del soporte con respecto a la posicionadora es la misma incluso después de desmontar y montar el sistema.

Se ha evaluado la posibilidad de incluir bulones para el registro de posición pero implican operaciones de taladrado y escariado para conseguir la calidad suficiente mientras que el registro planteado solo requiere un tiempo adicional de electroerosión.

- Se han homogeneizado las sujeciones de las cámaras y del láser de manera que sean intercambiables. En el sistema propuesto todos los elementos se acoplan al soporte central mediante una cajera de 20x30 mm y dos tornillos M4 centrados a 12mm de distancia (fig. 20).

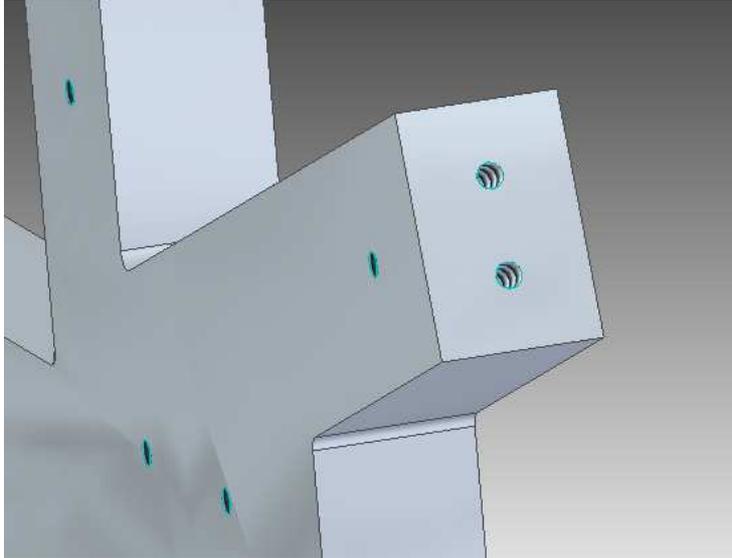


Fig.20 Vista de la zona de sujeción del soporte

Utilizar el mismo tipo de sujeción en todos los sistemas ópticos facilita el diseño de futuros elementos que se instalen en el soporte. Además, al tener una posición centrada no interfieren en el proceso de sujeción de las cámaras puesto que habitualmente se sujetan con 4 tornillos distanciados del centro.

- En el soporte actual la cámara puede atornillarse en dos posiciones distintas por pares de tornillos alternos (fig. 21):

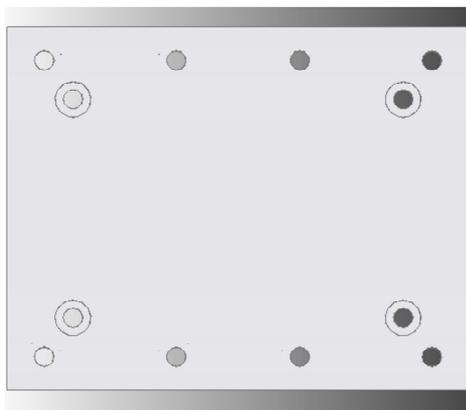


Fig. 21 Soporte actual cámara 2

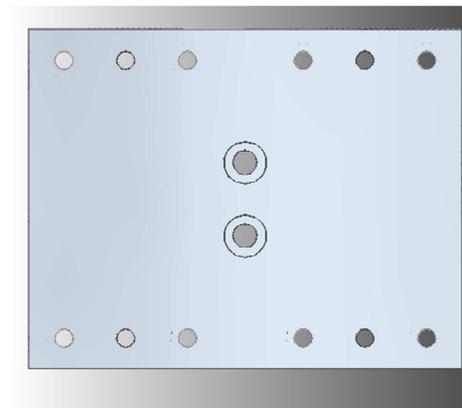


Fig. 22 Soporte propuesto cámara 2

La desventaja de este tipo de sujeción es que no se puede conseguir una posición centrada de la cámara en el soporte. En el sistema propuesto se ha rediseñado la pieza para que disponga de dos pares de tornillos adicionales en posición centrada con respecto al soporte (fig. 22).

De esta manera puede instalarse la cámara en 3 posiciones distintas dando versatilidad al sistema y proporcionando una sujeción centrada adicional (fig. 23).

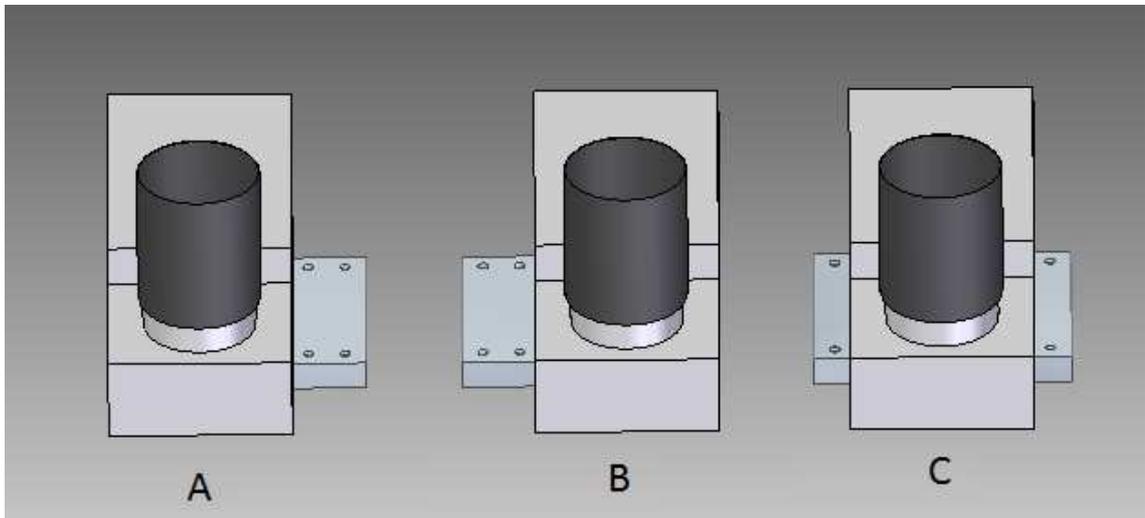


Fig.23 Posiciones de la cámara 2

Las posiciones A y B son las que están disponibles en el soporte existente mientras que la posición C (centrada respecto al eje del soporte) es la posición adicional del nuevo diseño.

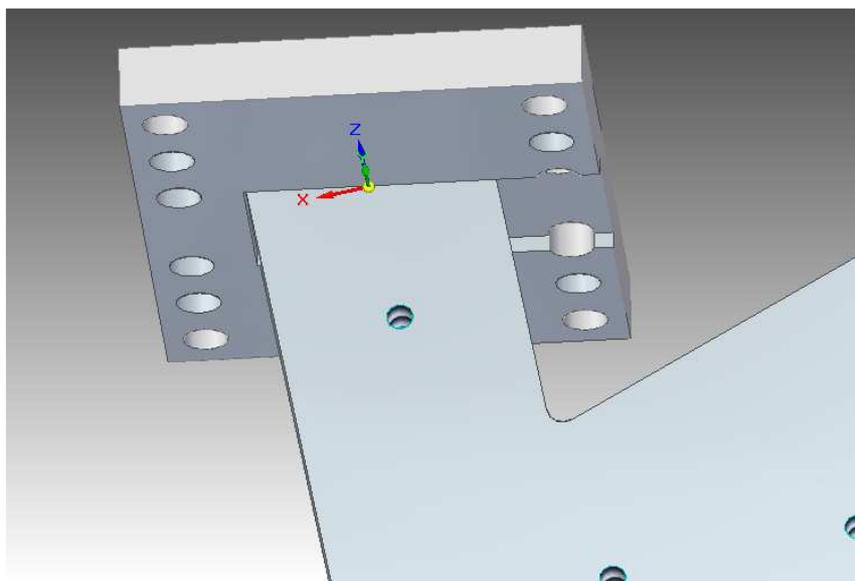


Fig.24 Vista desde abajo del soporte de la cámara 2

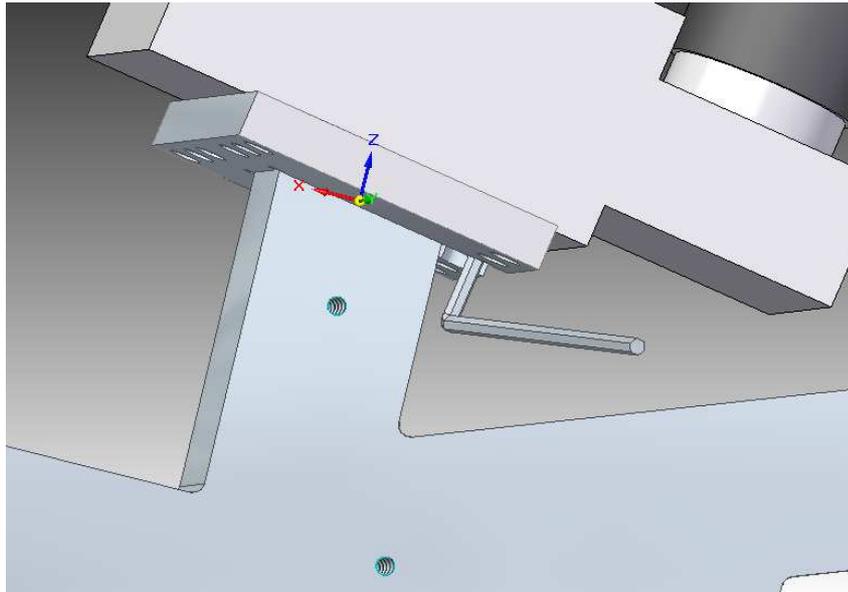


Fig.25 Montaje con llave Allen

- Debido a que el soporte central tiene un tamaño menor, se han eliminado los problemas de montaje de la cámara central (fig. 24). El nuevo diseño deja espacio suficiente para los tornillos y los elementos necesarios para su instalación (fig. 25).

Se ha modelado una llave Allen de medidas apropiadas para la M3 de los tornillos de las cámaras y se ha ensamblado el conjunto con ella para comprobar que no existen problemas en el montaje. La amplitud del ángulo sobre el que se puede girar la llave Allen es de  $175^\circ$ , suficiente para un correcto atornillado de los tornillos de la parte inferior.

- Para la abrazadera del láser se proponen dos soluciones:

**Solución 1:** Modificar las piezas que hay en la actualidad para que disminuya la presión sobre el láser y se reduzcan las fuerzas que dificultan su desmontaje. Para lograr este objetivo se propone la modificación de la abrazadera para reducir su sección en alguna zona.

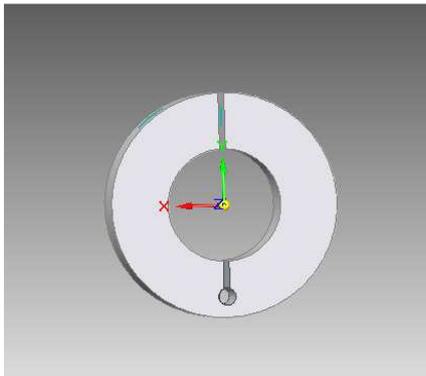


Fig.26 Adaptador modificado

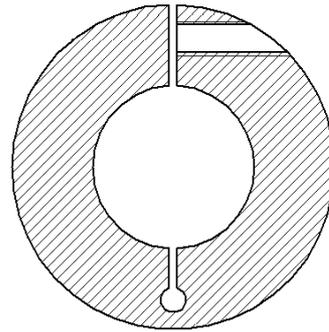


Fig.27 Corte del adaptador

La modificación propuesta del adaptador tiene una ranura en la parte inferior con lo que se reduce sustancialmente su sección en esa zona, facilitando la deformación elástica de la pieza y facilitando el desmontaje (fig. 26). Dispone también de un roscado en uno de los lados por el que introducir un tornillo y mediante la presión a la cara opuesta aflojar el ajuste y liberar el láser de la abrazadera (fig. 27).

También sería posible desmontar el láser sin soltar del todo la abrazadera exterior si se dispusiera de un agujero del mismo diámetro en la abrazadera, tal que permitiera introducir el tornillo en la rosca antes mencionada sin desmontarlo de la abrazadera (fig. 28).

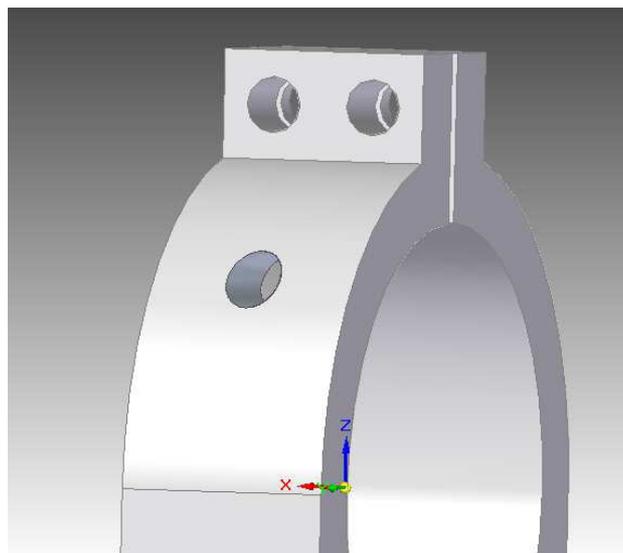


Fig.28 Agujero en abrazadera

Como contra parte es una modificación cara de realizar puesto que se trata de un taladro sobre una superficie curva y las ventajas que supone son mínimas ya que al liberar el láser el sistema pierde la calibración.

Debido a que la mejora obtenida al realizar este taladro es mínima se ha descartado su ejecución, quedando esta opción como únicamente una modificación del adaptador del láser.

**Solución 2:** Como alternativa a la solución propuesta anteriormente se propone la fabricación de una nueva abrazadera específica para el láser de menor diámetro (fig. 29), quedando la abrazadera actual para la utilización únicamente para el de mayor diámetro.

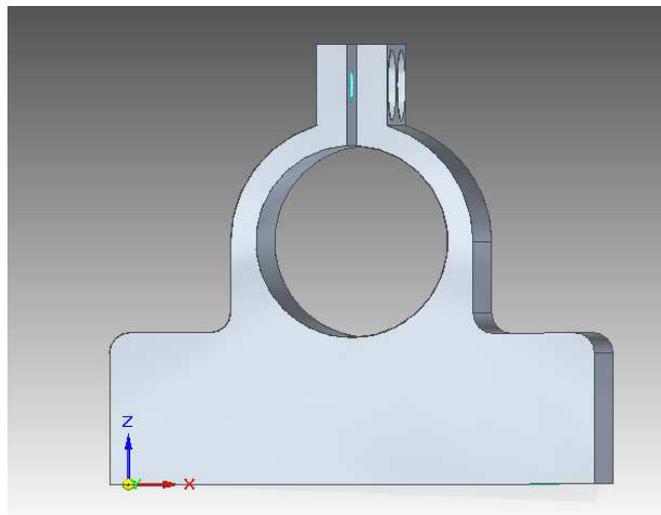


Fig.29 Nuevo diseño de la abrazadera

La altura del eje con respecto a la base es la misma de manera que conserva el eje de dirección del láser. Se ha conservado el tipo de sujeción (dos tornillos M4 a 36 mm de separación) de manera que sea posible cambiar el soporte del láser nuevo por el que había instalado anteriormente con su soporte, manteniendo un soporte por cada láser.

Para desmontar el láser de la abrazadera bastará con introducir una placa en las ranuras de la abrazadera y roscar uno de los tornillos de manera que al presionar sobre la placa separe las dos secciones de la abrazadera y se libere la presión sobre el láser.

La ventaja de este sistema es que, al ser una pieza diseñada específicamente para ese diámetro, dispone de un tornillo menos pero ajusta perfectamente el láser. Además permite tener dos juegos de láser y abrazadera

- Se han añadido diversos orificios roscados a M4 con el fin de poder utilizarlos para sujetar elementos auxiliares (fig.30). Algunos de ellos tienen un fin determinado (como se verá a continuación) mientras que otros se espera que sean útiles para la utilización de accesorios adicionales en el futuro. Son agujeros pasantes por lo que se pueden utilizar en cualquiera de los dos lados del soporte indistintamente.

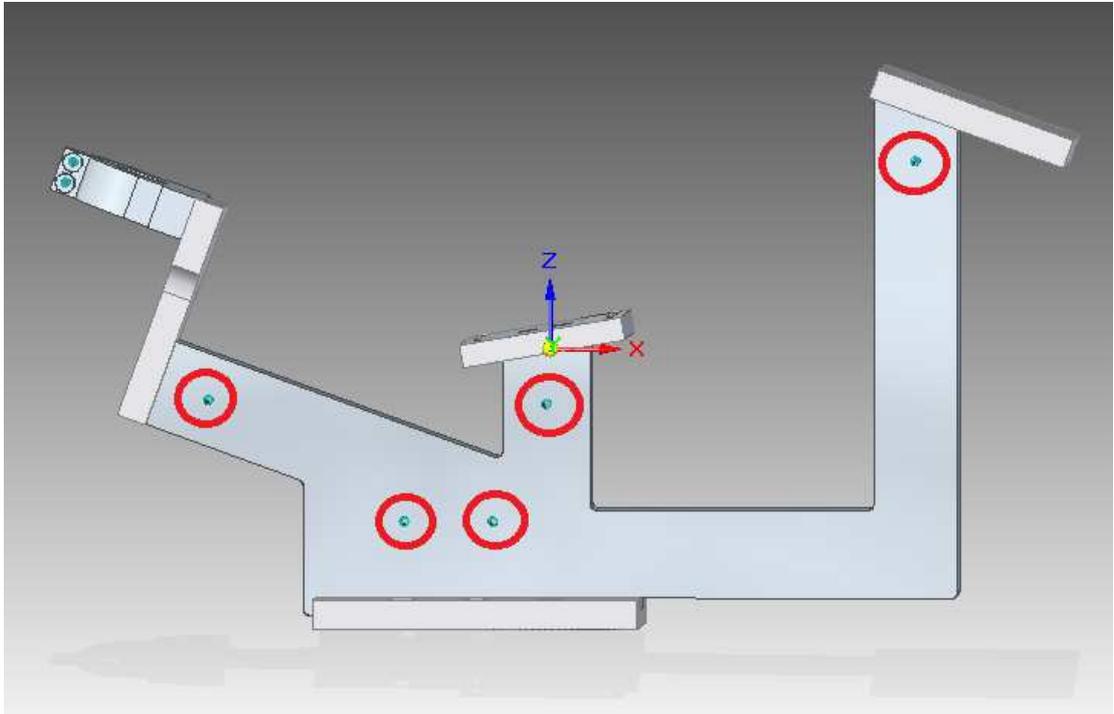


Fig.30 Posición de los roscados en el soporte

Los dos roscados de la parte inferior están pensados para utilizarse en la sujeción del foco, mientras que los situados en cada uno de los brazos del soporte ofrecen versatilidad al sistema a la hora de incorporar elementos adicionales en el futuro.

- Con el nuevo diseño es posible utilizar conectores estándar en la cámara central. El espacio necesario en la parte posterior de la cámara para un conector recto estándar se ha estimado en un mínimo de 60mm. Con esa distancia libre cabe el conector junto con una parte del cable suficiente para que no se doble en exceso. Al modificar el brazo de la cámara 1 se ha ganado espacio en esa posición y ahora cabe un conector recto (fig. 31).

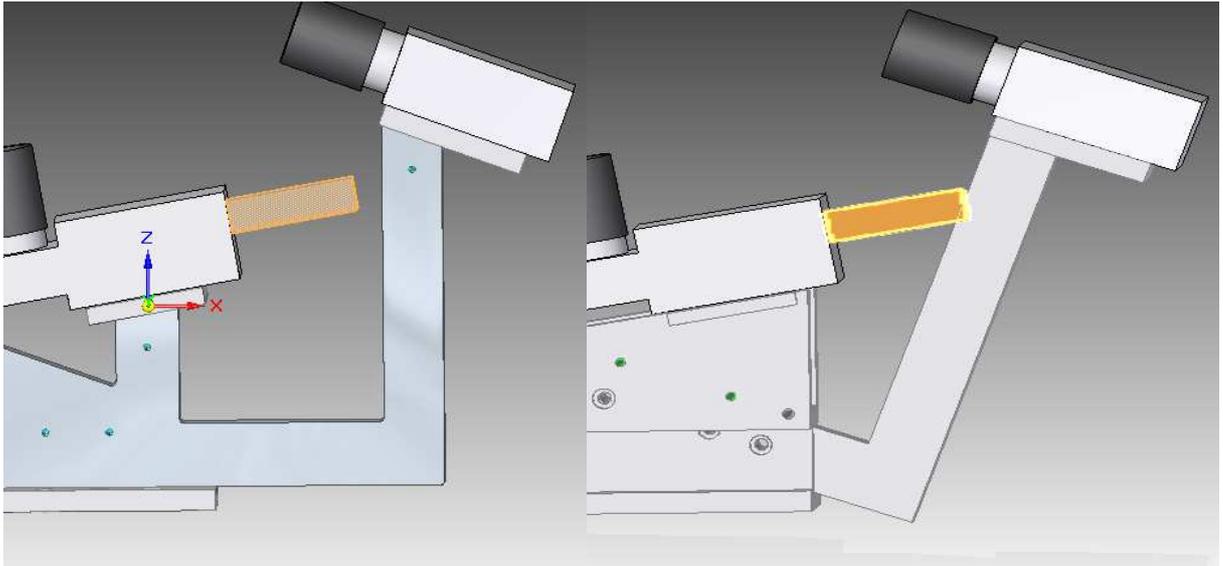


Fig.31 Comparación del espacio ocupado por el conector en el nuevo diseño y en el actual

- Se ha reducido el número de tornillos necesarios para montar el sistema de los 34 anteriores a 28 quedando la distribución como sigue a continuación:
  - M3: 8 unidades
  - M4: 14 unidades
  - M6: 6 unidades

En el diseño del soporte se han usado preferentemente tornillos M4 frente a M3 porque tienen más filo. Los tornillos M3 utilizados son los requeridos por las dos cámaras.

### Elementos Auxiliares

Además del soporte, se ha realizado el diseño de una serie de piezas auxiliares que faciliten operaciones del sistema de medición y calibración o que añadan características adicionales necesarias. Una de las principales características que se ha tenido en cuenta en el diseño es la versatilidad, de manera que se ofrezcan posibilidades adicionales para adaptar el sistema a distintas operaciones de medida. Los elementos auxiliares diseñados son los siguientes:

#### **Pletinas sujeción foco**

Durante el proceso de calibración es necesario utilizar un foco que proyecte luz sobre la pieza de calibración (fig. 32). En la actualidad no hay ningún soporte en el sistema que permita sujetar el foco al soporte por lo que debe ser situada manualmente a uno de los lados del sistema.



Fig.32 Foco utilizado durante la calibración

Para mejorar en este aspecto el sistema se ha propuesto un diseño de dos pletinas que sujeten el foco al soporte (fig. 33).

Es un sistema de dos pletinas, una en forma de L y otra plana, con la que sujetar el foco al soporte central del sistema. La ranura en la pletina en L permite la regulación en altura y la de la plana regulación en distancia al soporte. También permite el giro relativo de una con respecto a la otra en el eje del tornillo que las une. Con el giro relativo de las piezas y los desplazamientos por las ranuras se permite la instalación del foco en muchas posiciones diferentes.

La pletina en L se sujeta al soporte con un tornillo M4 que debe apretarse una vez se sitúa con la orientación o altura que se necesite. Para sujetar la pletina plana se necesita un tornillo M4 junto con una tuerca de la misma métrica y el método es análogo, una vez se sitúa en la posición requerida se aprieta el conjunto de manera que su posición queda fijada. Una vez realizada la calibración, el conjunto de foco y pletinas se retira con facilidad retirando el tornillo que las une al soporte.

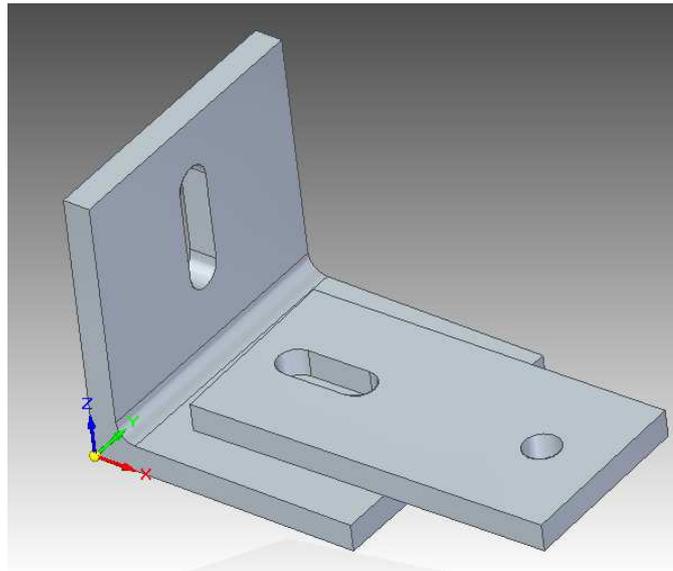


Fig.33 Pletinas de sujeción del foco

Aunque en un principio está diseñado para el foco, puede ser utilizado para sujetar cualquier utillaje siempre que se pueda sujetar por un tornillo de métrica 4. Como los roscados del soporte son pasantes, puede sujetarse a cualquiera de los dos lados del soporte. Las dos piezas se fabrican a partir de perfiles comerciales (30x30 para el perfil en L y anchura 20mm para la plana).

Las pletinas se mecanizan a partir de perfiles comerciales (30x30mm en L y 20mm de anchura, ambos en 3mm de espesor) existentes en multitud de proveedores (se añade catálogo en el Anexo III).

Las pletinas se atornillan al soporte en su zona central, pudiendo modificarse la altura y el giro para acomodar la posición del foco como convenga (fig. 34).

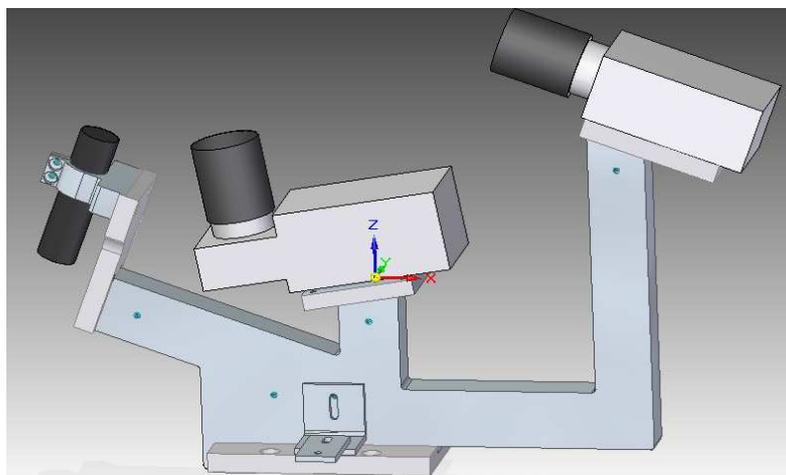


Fig.34 Pletinas montadas en el soporte

Aunque su posición es la que se muestra en la imagen, también puede situarse en el orificio roscado de la izquierda o en alguno de los de los brazos para procesos de calibración distintos al que se realiza en la actualidad.

### Soporte de cuña en paralelo

Otro de los utillajes que se ha diseñado es un soporte para la instalación de otro sistema LTS en la misma posicionadora en paralelo (fig. 35). Mediante este soporte pueden instalarse varios sistemas sobre la misma posicionadora con lo que comparar resultados obtenidos y evaluar las variaciones de los distintos sistemas de medida.

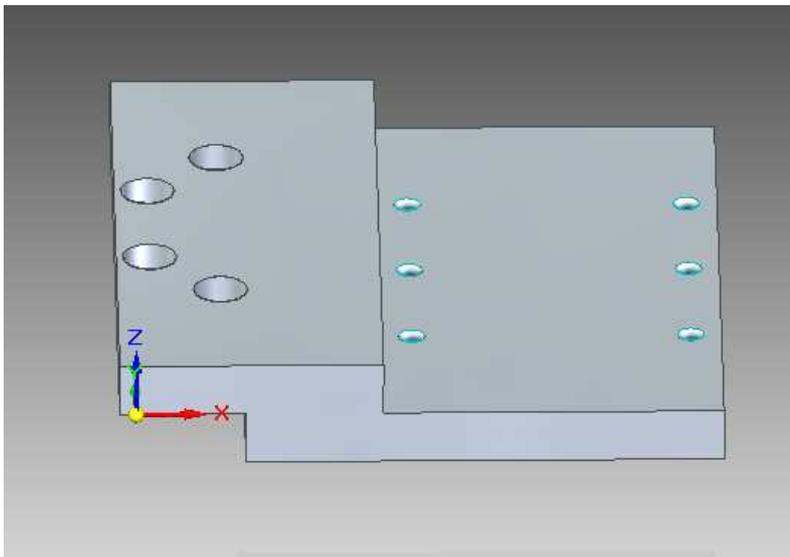


Fig.35 Cuña para soporte en paralelo

El soporte se sujeta a la posicionadora utilizando los agujeros roscados que quedan libres a los lados de su placa de sujeción después de situar un sistema en posición centrada. La superficie sobre la que situar el sistema en paralelo está a la misma altura que la placa de la posicionadora con un desfase lateral de 111mm.

El instalar dos conjuntos sobre la misma posicionadora tiene dos propósitos:

#### **Mediciones comparativas**

Para ello sólo es necesario realizar mediciones con uno de los sistemas y mover la pieza medida 111mm hacia el otro sistema de medición, que realizará entonces la segunda medida. Los dos sistemas comparten posicionadora y pieza medida por lo que las variaciones entre uno y otro deben asociarse a diferencias en los sensores.

### ***Comprobación de errores***

Como el campo de visión de las dos cámaras en paralelo se superpone en una zona de 39mm (fig. 36), es posible realizar comparaciones cruzadas entre los dos sistemas para evaluar su funcionamiento. Utilizando un sistema con el láser del sistema colocado en paralelo (y viceversa) se pueden realizar diagnósticos de funcionamiento para detectar fallos en las cámaras o en el láser de uno de los dos sistemas.

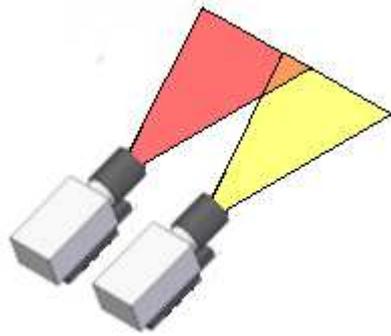


Fig.36 Superposición del campo de visión

El diseño del soporte es tal que permite la instalación de las cámaras (fig. 37) de los dos sistemas además de una distancia extra en previsión de que puedan sustituirse las cámaras por otras cuyas dimensiones sean mayores de las que hay actualmente.

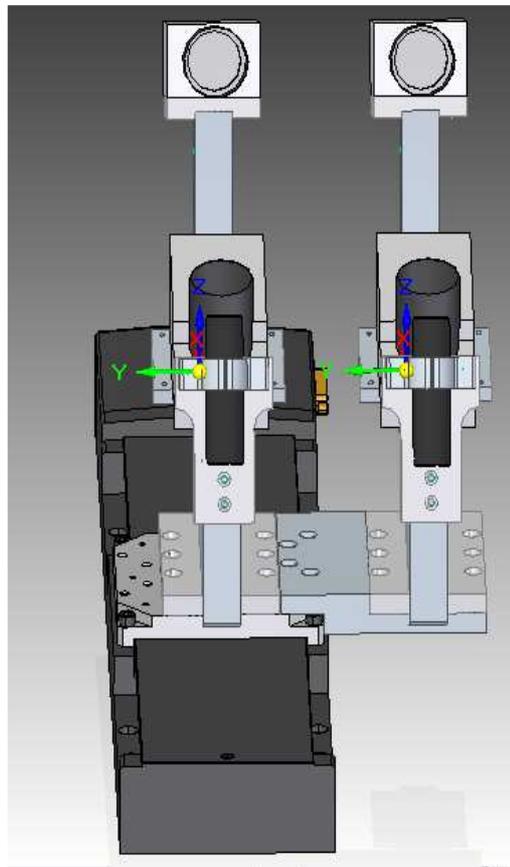
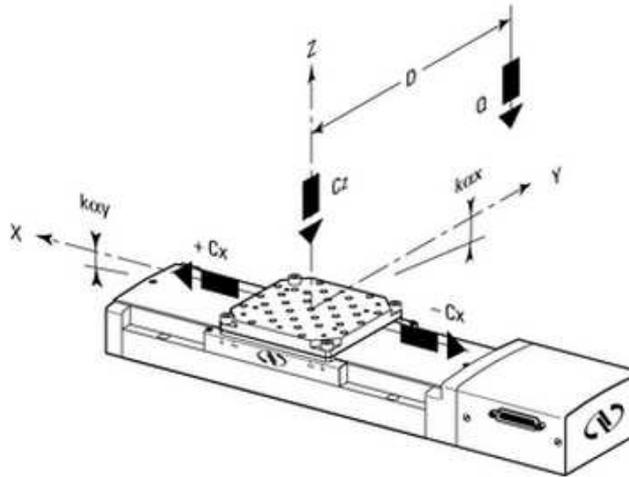


Fig.37 Montaje de dos sistemas en paralelo

Al instalar el sistema en paralelo se ha procedido a evaluar el efecto en la posicionadora de situar una carga desplazada de su eje.

En primer lugar, las características de la posicionadora (fig. 38) indican la carga máxima que puede soportar, en este caso es de 250N, o lo que es lo mismo 25,5kg sobre su superficie superior.

**Load Characteristics and Stiffness**



Cz, Normal center load capacity on bearings	250 N
+Cx/-Cx, Direct/Inverse load capacity on X axis	<40 N
kax, Compliance in roll	15 $\mu\text{rad}/\text{N}\cdot\text{m}$
kay, Compliance in pitch	10 $\mu\text{rad}/\text{N}\cdot\text{m}$
koz, Compliance in yaw	10 $\mu\text{rad}/\text{N}\cdot\text{m}$
Q, Off-center load	$Q \leq Cz / (1 + D/60)$
D, Cantilever distance in mm	

Fig.38 Características técnicas de la posicionadora

El peso de un soporte completo sin las cámaras y el láser es de 1,3kg, estimando un peso de 200g por cámara y 100g por láser queda un peso total estimado de 1,8kg. Se comprueba que incluso instalando dos sistemas el peso total estará por debajo del máximo soportado por la posicionadora.

En cuanto al giro, la ficha de características de la posicionadora indica un Kax:

$$K_{ax} = 15 \frac{\mu\text{rad}}{\text{N} \cdot \text{m}}$$

Por lo que el giro será:

$$\alpha = 15 \cdot d \cdot Ca$$

Siendo:

$$d = 111\text{mm} = 0,111\text{m}$$

$$Ca = 1,8\text{kg} \cdot g = 17,64\text{N}$$

Por lo que queda:

$$K_{ax} = 29,3\mu\text{rad} = 0,00167^\circ$$

Como la inclinación afecta a las mediciones por medio del coseno y para ángulos tan pequeños es próximo a 1, se puede aproximar a 0 el error debido por este giro.

Al ser el soporte simétrico se pueden instalar un máximo de 3 sistemas de visión sobre la misma posicionadora, el sistema central y uno a cada lado mediante dos soportes. (fig. 39).

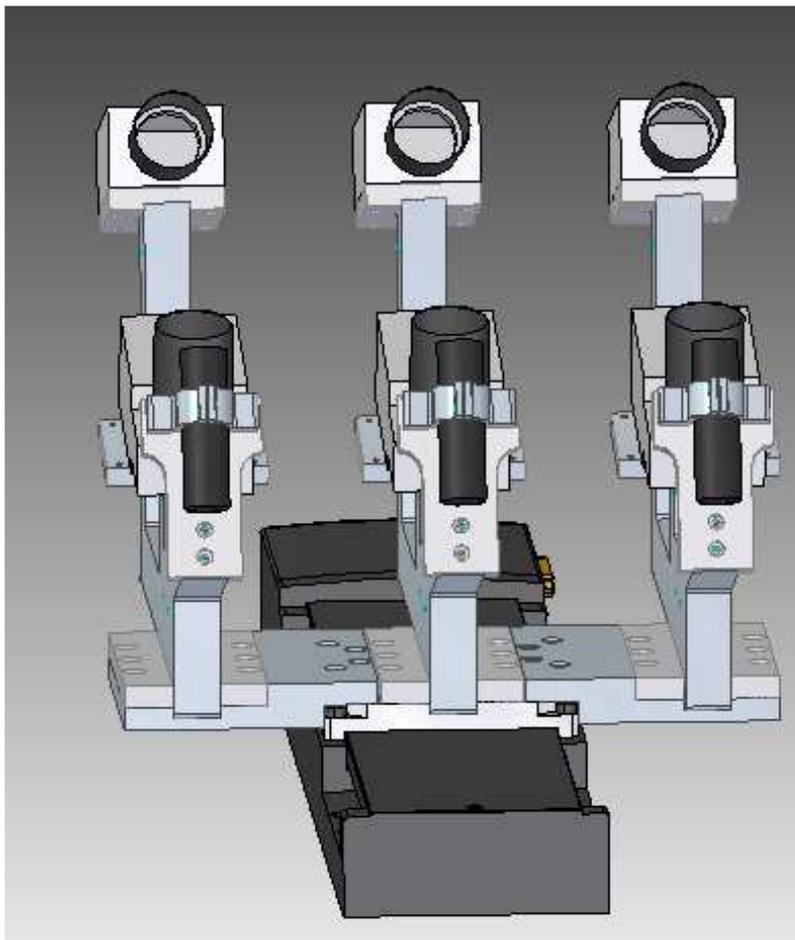


Fig.39 Montaje de 3 sistemas sobre la misma posicionadora

En este caso el peso conjunto de los 3 sistemas es inferior al máximo que determinan las especificaciones técnicas por lo que cumple con los requerimientos necesarios. Al estar equilibrado el peso en los dos lados  $Kax$  será igual a 0.

### Soporte de proyector

En el futuro está previsto instalar un proyector de múltiples haces de luz para realizar mediciones de distintas zonas simultáneamente. Este proyector debe estar solidario al soporte central y en una posición cercana al láser. Este montaje será un prototipo para realizar experimentos.

Cuando se realicen medidas utilizando este proyector, el sistema deberá calibrarse igualmente con el láser por lo que el soporte deberá tener el proyector y el láser simultáneamente en una posición parecida. El diseño propuesto para el soporte es el siguiente:

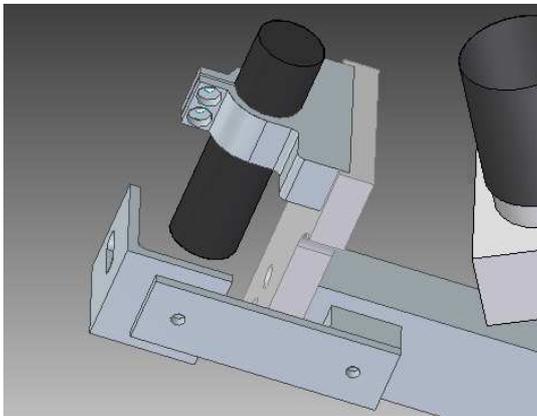


Fig.40 Vista lateral del soporte

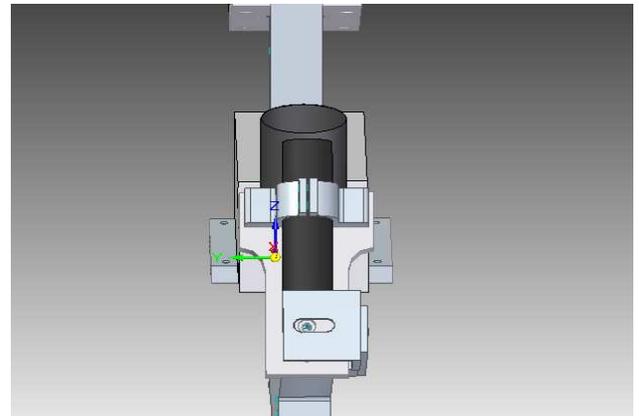


Fig.41 Vista posterior del soporte

El soporte para el proyector está compuesto por una cuña de 10mm de espesor que salva la diferencia de anchura entre la pieza central y el soporte del láser junto con dos pletinas, una plana y otra en L (fig. 40 y 41). La razón de utilizar estas pletinas es el aprovechar los perfiles necesarios para realizar el soporte del foco y utilizarlos también en la fabricación de este soporte.

El proyector quedará en una situación centrada con respecto al soporte y por encima del láser, por lo que no será necesario desmontar este último para la realización de las pruebas con el proyector.

No se trata de un diseño definitivo para el proyector, sino de un soporte auxiliar para la realización de pruebas con el prototipo. Con posterioridad, si el proyector demuestra su funcionamiento, será necesario realizar un soporte definitivo sujeto al soporte central en sustitución al soporte y abrazadera del láser.

## 5 - Proceso de fabricación

A continuación se muestra un resumen de los procesos de fabricación de las piezas y de las consideraciones más importantes consideradas en su diseño. Las hojas de proceso para la fabricación de cada una de las siguientes piezas se encuentran en el Anexo II al final del documento.

Para el cálculo de las velocidades de corte se han seguido las indicaciones de los fabricantes de herramientas siguientes:

- Taladrado: Catálogo Izar Cutting Tools brocas DIN338W ([www.izartools.com](http://www.izartools.com))
- Fresado: Fresas integrales Pferd HSS (catálogo en el Anexo III)
- Roscado: Machos de roscar Gühring (catálogo en el Anexo III)
- Electroerosión: ONA Electroerosión (Documentación técnica del taller de la Universidad)

### Pieza 1 – Soporte central

El soporte central va a fabricarse por EDM de corte por hilo (WEDM) por lo que procederá a partir de una pieza dentro de la cual quepa el perfil a mecanizar (fig. 42).

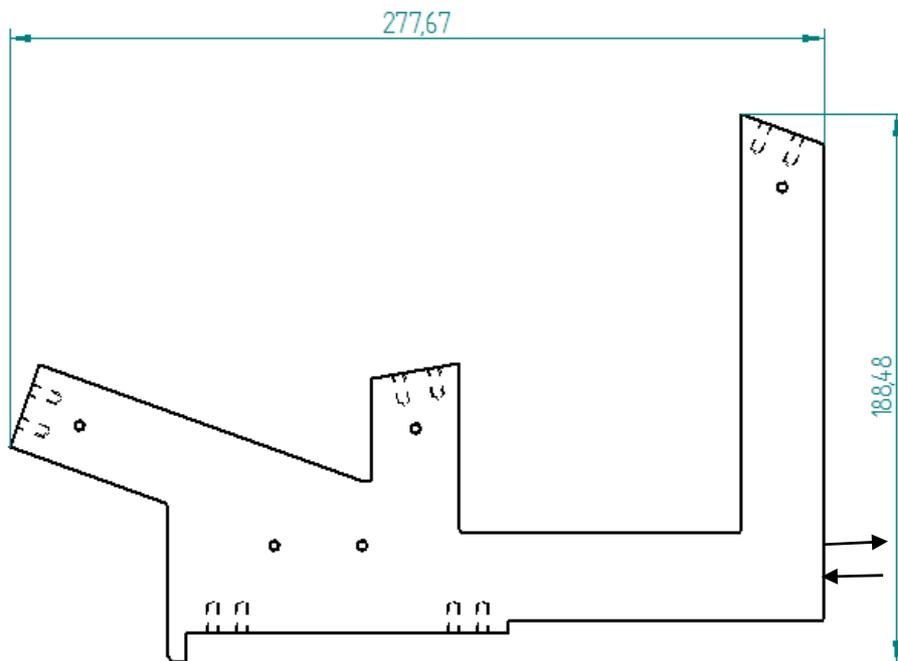


Fig.42 Perfil de la pieza central con la zona de entrada y salida del hilo

Se elaborará a partir de una pieza de aluminio de 200 x 300mm con espesor 20mm. La superficie total de la pieza es de 16.446,32 mm<sup>2</sup> por lo que el aprovechamiento neto será de un

27,4%. Se trata de un aprovechamiento bajo pero se justifica por la reducción del tiempo de mecanizado frente a procedimientos de arranque de viruta convencionales.

Si se requiere fabricar múltiples piezas se recomienda realizar el mecanizado sobre piezas con anidamiento de manera que aumenta el aprovechamiento de material. Para la fabricación de dos piezas se utilizará una pieza cuadrada de 300x300 mm. El aprovechamiento en este caso aumenta hasta el 37,5%, es decir, se aprovecha un 50% más de material que fabricando sólo una pieza (fig. 43).

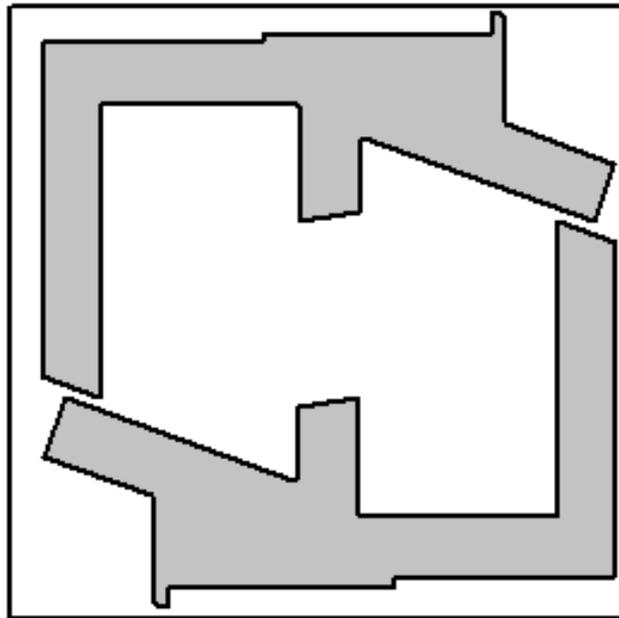


Fig.43 Anidamiento del perfil

Para realizar el corte se ha escogido hilo de 0,25mm de diámetro por ser el diámetro estándar en la mayoría de máquinas WEDM. Según las características de la máquina de electroerosión para mecanizar aluminio de espesor 20mm la velocidad máxima de corte será de 11,6mm/s pero para evitar problemas de rotura del hilo se seleccionará una velocidad de corte de 10mm/s.

Para el cálculo del tiempo de electroerosión se ha calculado en primer lugar la longitud total del contorno, siendo 1054,71mm. A esto hay que añadir 6mm de salida y otros 6mm de entrada del hilo por lo que el total a mecanizar es de 1066,71mm. El tiempo de mecanizado será por lo tanto:

$$1066,71/10 = 106,67 \text{ minutos}$$

El soporte central es la pieza que requiere más tiempo de mecanización puesto que la electroerosión es un proceso lento pero a pesar de ello es la mejor opción para obtener esa pieza puesto que su geometría es compleja.

Aunque está previsto fabricarla mediante electroerosión de corte por hilo se plantea como alternativas el corte por láser y corte por chorro de agua (waterjet):

**Corte por láser:**

Las limitaciones del corte por láser en aluminio están entre los 20 y 25mm de espesor por lo que habrá que optar por máquinas con láser de potencias por encima de los 6 kW u 8 kW (Trumpf TruFlow 8000 o similar, fig. 44)). Con máquinas de este tipo las velocidades de corte se sitúan entre los 8 y 10 mm/min por lo que no supone una ventaja importante con respecto a la electroerosión

Laser data					
	TruFlow 6000	TruFlow 8000	TruDisk 3001	TruDisk 5001	TruDisk 8001
Max. power	6000 W	8000 W	3000 W	5000 W	8000 W
Wavelength	10.6 µm	10.6 µm	1.03 µm	1.03 µm	1.03 µm
Max. sheet thickness					
Mild steel	25 mm	25 mm	20 mm	25 mm	25 mm
Stainless steel	25/30 <sup>RA</sup> mm	50 mm	15 mm	20/25 <sup>RA</sup> mm	20/40 <sup>RA</sup> mm
Aluminum	15/20 <sup>RA</sup> mm	25 mm	15 mm	20/25 <sup>RA</sup> mm	20/25 <sup>RA</sup> mm
Copper	-	-	6 mm	10 mm	10 mm
Brass	-	-	6 mm	10 mm	10 mm
Power consumption					
Average power consumption during production	31.6 kW	40.8 kW	11.9 kW	14.8 kW	19.8 kW
Active auto-shutdown	1.2 kW	1.2 kW	0.5 kW	0.5 kW	0.9 kW

Fig.44 Ficha de características Trumpf TruFlow

**Corte por chorro de agua:**

La principal ventaja del corte por chorro de agua frente a otros métodos de corte es su capacidad para cortar mayores espesores. Puede realizarse el corte a distintas presiones por lo que la velocidad de corte variará dependiendo de la máquina utilizada (fig.45).

STREAMLINE SL-V 4.100 bar				
Velocidades de corte / Material		50 hp		
Material	Ø orificio	0,23 mm	0,25 mm	0,35
	Espesor	Velocidad de corte máxima (mm)		
Aluminio	13 mm	351	415	676
	25 mm	158	187	305
	51 mm	71	84	137
Acero inoxidable	13 mm	120	142	231
	25 mm	54	64	104
	51 mm	24	29	47
Titanio	13 mm	139	165	268
	25 mm	63	74	121
	51 mm	28	34	54
Factor de caudal de abrasivo (g/min)		320	320	540

STREAMLINE PRO-2 6.200 bar				
Velocidades de corte / Material		60 hp		
Material	Ø orificio	0,28 mm	0,41 mm	0,28 mm (Dual)
	Espesor	Velocidad de corte máxima (mm)	Velocidad de corte máxima (mm)	Cuota de corte máxima (mm)
Aluminio	13 mm	1399	1940	2798
	25 mm	537	743	1074
	51 mm	200	276	400
Acero inoxidable	13 mm	453	628	905
	25 mm	174	241	347
	51 mm	65	89	129
Titanio	13 mm	631	875	1262
	25 mm	242	335	484
	51 mm	90	124	180
Factor de caudal de abrasivo (g/min)		500	770	500 (por cabezal de corte)

Fig.45 Velocidades de corte por chorro de agua KTM Waterjet

Como se puede ver, se alcanzan velocidades de 743 mm/min con un cabezal trabajando a 6.200bar. El uso de esta tecnología si supone una disminución en tiempos de mecanizado. Aunque el corte por agua es la mejor opción para el corte de esta pieza, las hojas de proceso se

han realizado para electroerosión ya que es la máquina disponible en el taller de mecanizado de la Universidad.

Después del corte de la pieza se procederá a la realización de los taladros previos de la parte inferior, los pasantes laterales y los pares de roscados en los extremos para la sujeción de los soportes de las cámaras. Puesto que todos los roscados son M4 se procederá con una broca de diámetro 3,3mm.

Una vez realizados los taladros previos se procede a roscar los orificios con un macho de roscar M4. Los roscados inferiores y de los extremos tienen longitud roscada 10mm mientras que los laterales son pasantes.

### Pieza 2 – Cuña unión posicionadora

Para el mecanizado de la cuña que une la posicionadora y el soporte central se parte de una pieza sólida de 110 x 62mm con espesor 10mm (fig. 46).

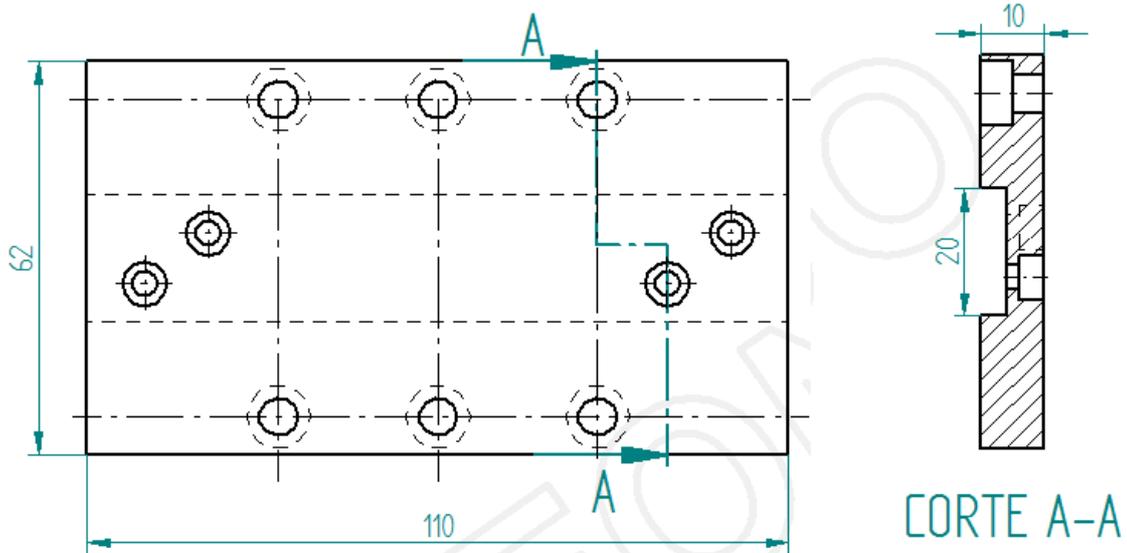


Fig.46 Cuña unión posicionadora

La fabricación de esta pieza es similar a la que existe actualmente salvo por la anchura del ranurado y la posición de los tornillos que la unen a la pieza central del soporte. La primera operación es el fresado de la ranura central, para lo cual se utilizará una fresa cilíndrica frontal.

Posteriormente se realizarán los taladros pasantes y el avellanado de los que unen la pieza al soporte central. En último lugar se girará la pieza para avellanar los agujeros sobre los que se alojarán los tornillos de unión a la posicionadora.

### Pieza 3 – Soporte cámara 2

El soporte central se realiza a partir de una pieza de 55,52 x 70,04mm y 8mm de espesor (fig. 47). La pieza tiene una serie de taladros en la zona de la ranura que deben realizarse antes del fresado para que la broca entre en la superficie plana y no en el escalón que queda después del fresado.

Después se realiza el fresado de la caja a profundidad 3mm mediante una fresa cilíndrica frontal. El diámetro de la fresa debe ser suficientemente pequeño como para que las salidas de fresa queden completamente limpias de material.

La última operación, después de dar la vuelta a la pieza es el avellanado plano de los agujeros del otro lado.

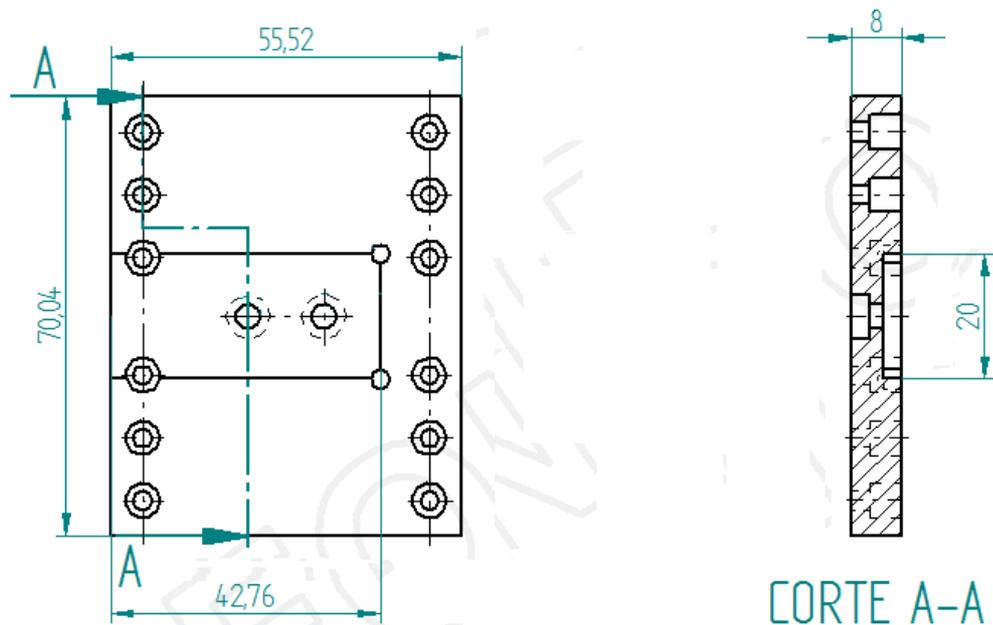


Fig.47 Soporte cámara central

### Pieza 4 – Soporte cámara 1

Esta pieza es la misma que hay en el soporte actual por lo que se seguirá el mismo procedimiento para su fabricación, a partir de una pieza de 70x50 y 10mm de espesor. La hoja de proceso se encuentra en Anexo II al final de este documento.

### Pieza 5 – Soporte láser

El soporte del láser es el mismo que está instalado actualmente por lo que su proceso de fabricación es el mismo que se ha realizado en la fabricación del soporte existente.

### Pieza 6 – Abrazadera láser

La abrazadera se fabricará a partir de una pieza de 50x50mm con espesor de 15mm. Primero se realizará un corte por electroerosión a lo largo del contorno de la pieza (fig.48). El área de la superficie de la pieza después de la electroerosión es de 919,97 mm<sup>2</sup> por lo que el aprovechamiento del material es del 36,8%.

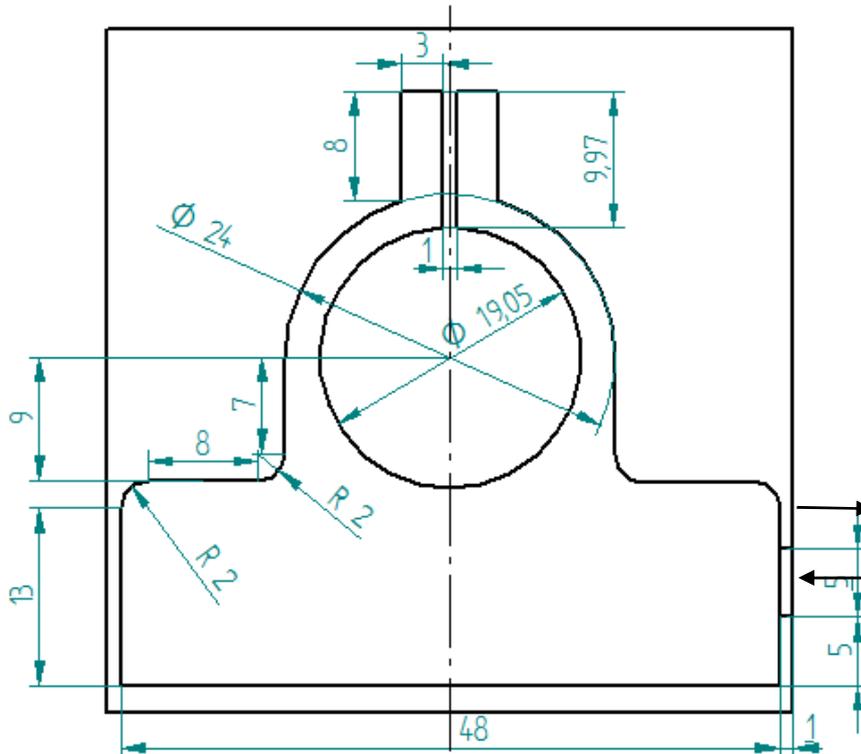


Fig.48 Contorno a cortar mediante electroerosión

La longitud total del contorno es 206,5mm. Si se toma un valor de velocidad de corte seguro de 10mm/min el tiempo de corte por electroerosión es de 20,65 minutos. Después de realizar el corte se realizarán mediante una fresadora los correspondientes taladros y roscados en la superficie inferior y superior de la pieza.

### Pieza 7 – Pletina L

A partir de un perfil en L de 30x30 mm se corta una sección de longitud 30mm y se realizan las operaciones de taladrado correspondientes (fig. 49).

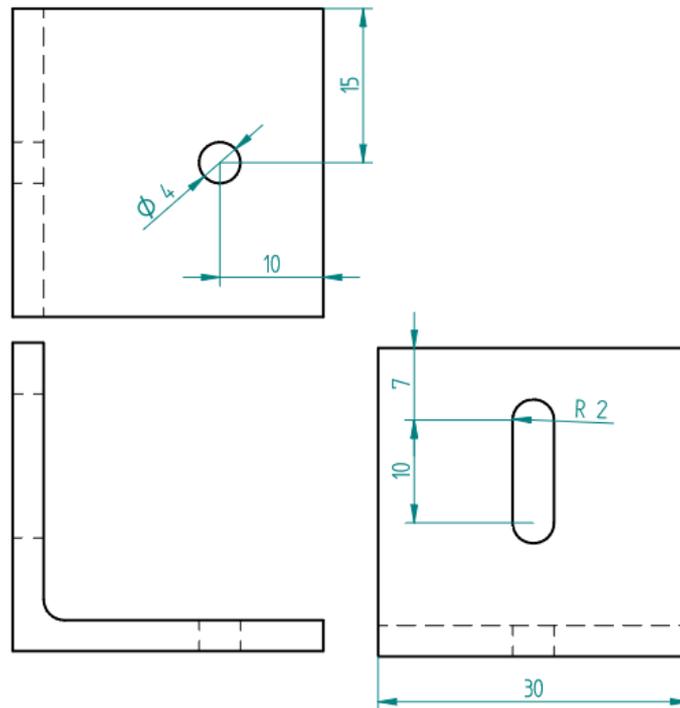


Fig.49 Pletina en L para soporte de foco

### Pieza 8 – Pletina plana

A partir de un perfil plano de aluminio de anchura 20mm y espesor 3mm se realiza un corte de 40mm y se realizan los taladrados y fresados correspondientes (fig. 50).

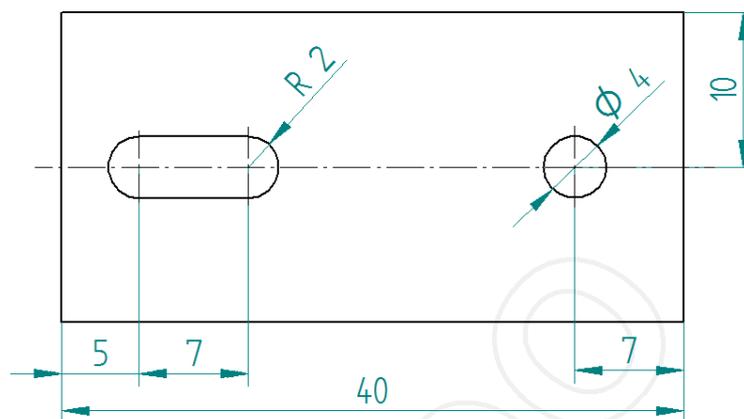


Fig.50 Pletina plana para soporte de foco

### Pieza 9 – Soporte cuña en paralelo

Esta pieza se fabrica a partir de un bloque de 110x110 mm y espesor 20mm (fig. 51). Primero se realiza el fresado de una de las caras, los taladros pasantes y avellanados planos de esa cara. Posteriormente se gira la pieza y se realiza el fresado de la otra cara junto con los avellanados planos que correspondan.

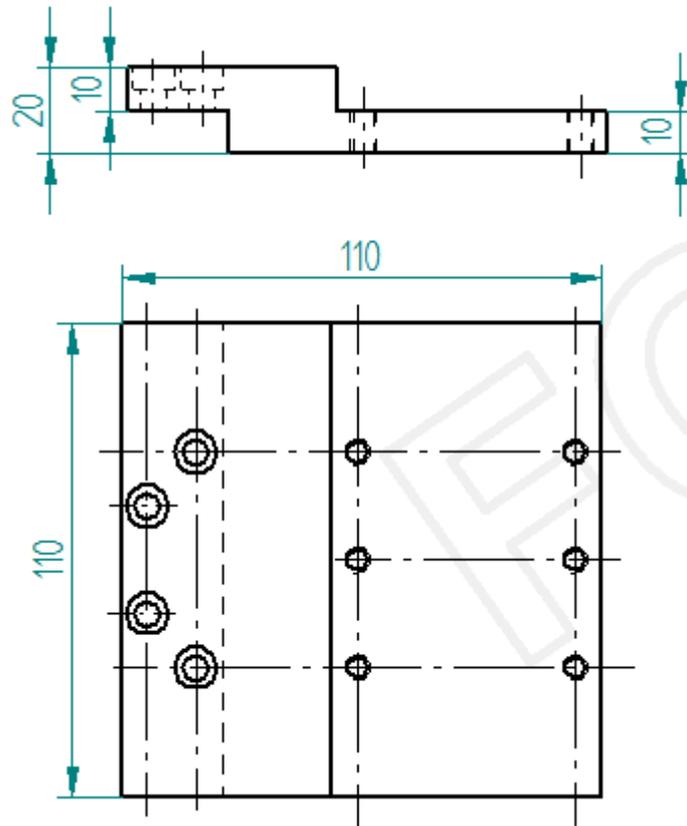


Fig.51 Soporte para cuña en paralelo

### Pieza 10 – Pletina proyector L

Al igual que la otra pletina, se realiza un corte de 30mm en el perfil en L y se realizan las operaciones de fresado y taladrado que corresponden (fig. 52).

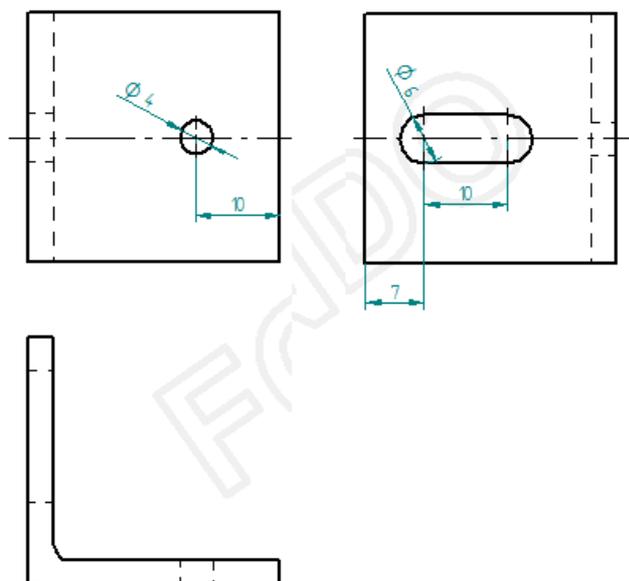


Fig.52 Pletina en L para el soporte del proyector

### Pieza 11 – Pletina proyector plana

Se realiza un corte de 70mm de longitud en el perfil plano de 20mm de anchura y 3mm de espesor. Posteriormente se realizan los taladrados que corresponden (fig. 53).

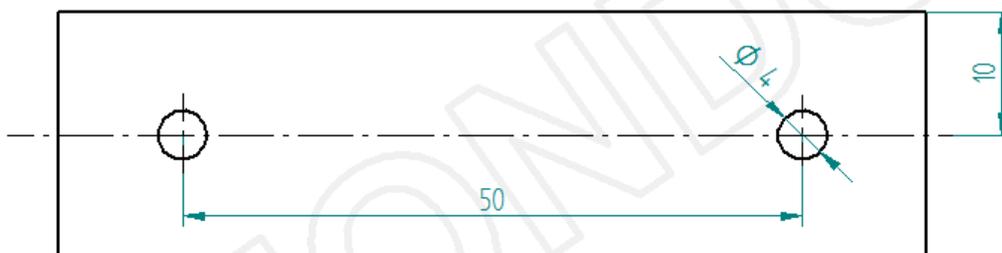


Fig.53 Pletina plana del soporte del proyector

## 6 – Montaje del sistema

El proceso de montaje del conjunto se divide en 3 pasos. Montaje del soporte, de las cámaras y el láser y por último el atornillado a la posicionadora.

### Paso 1: Montaje del soporte

Elementos auxiliares para el montaje:

- Llave Allen para tornillos M4
- Se atornilla al soporte central la cuña de unión a la posicionadora llevando el registro del soporte a tope y atornillando los 4 tornillos M4 desde la parte inferior (fig 54).

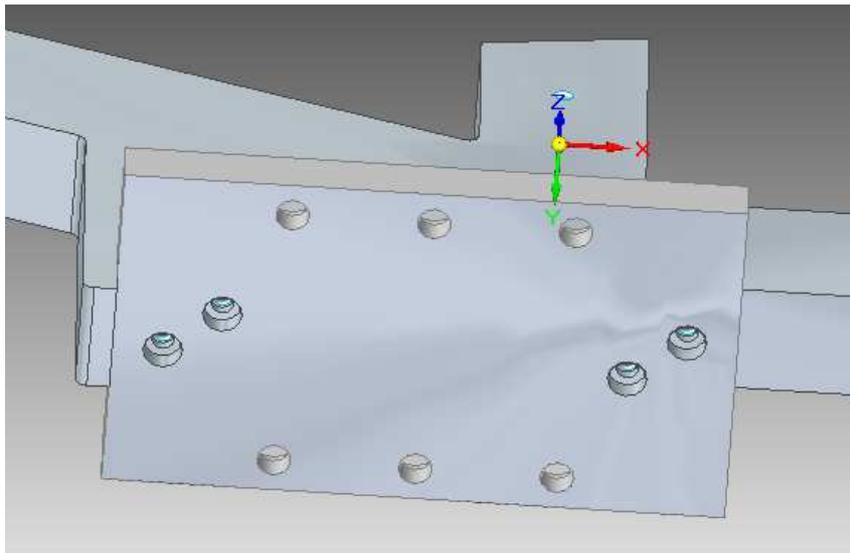


Fig.54 Vista inferior de los tornillos de la cuña

- Se unen los soportes de las dos cámaras y del láser al soporte central, cada uno unido con 2 tornillos M4 del centro de cada una de las piezas (fig. 55). En este punto queda montado el soporte.

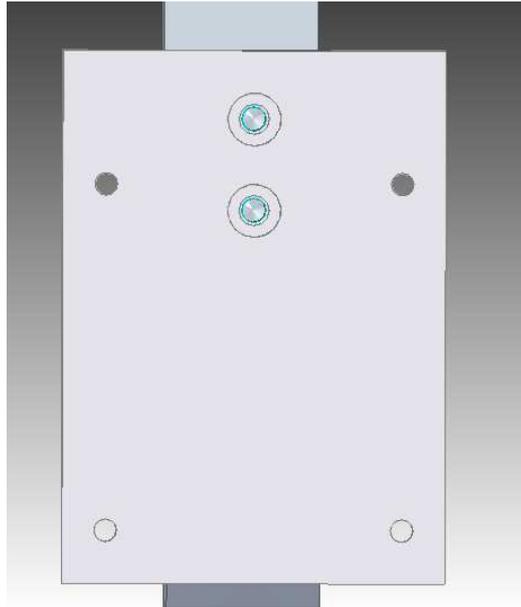


Fig.55 Vista superior de los tornillos centrales

## Paso 2: Montaje de las cámaras y el láser

Elementos auxiliares para el montaje:

- Llave Allen para tornillos M3
- Llave Allen para tornillos M4
  
- Se atornillan las dos cámaras a sus correspondientes soportes mediante 4 tornillos M3 desde la parte inferior (fig. 56).

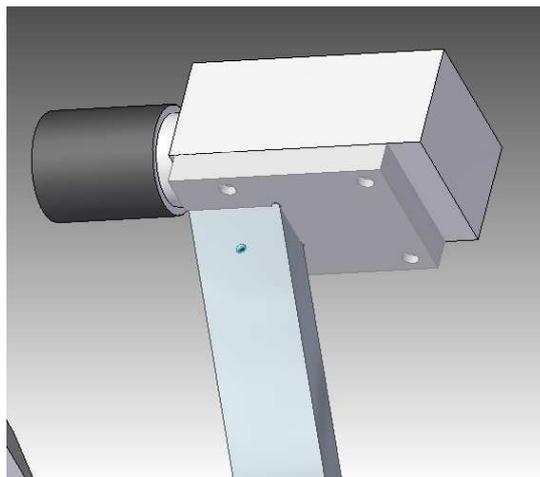


Fig.56 Vista inferior de los tornillos de la cámara

Destacar que la cámara central puede tener 3 posiciones distintas por lo que se atornillará en los 4 puntos determinados para la posición en la que se quiera instalar.

- Se monta el láser en la abrazadera (fig. 57) y se cierra con la ayuda de dos tornillos M4 de la parte superior. Se monta la abrazadera en el soporte utilizando dos tornillos M4 atornillados desde la parte inferior (fig. 54).

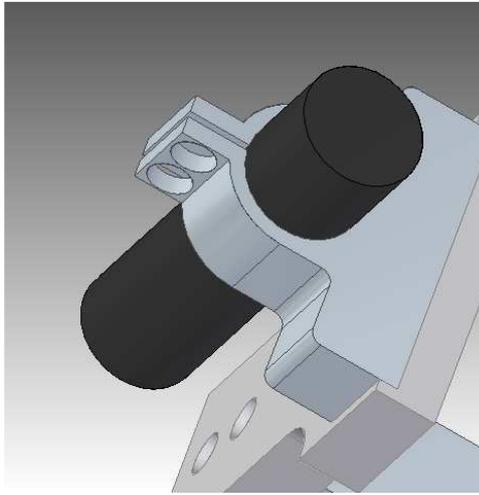


Fig.57 Abrazadera con el láser instalado

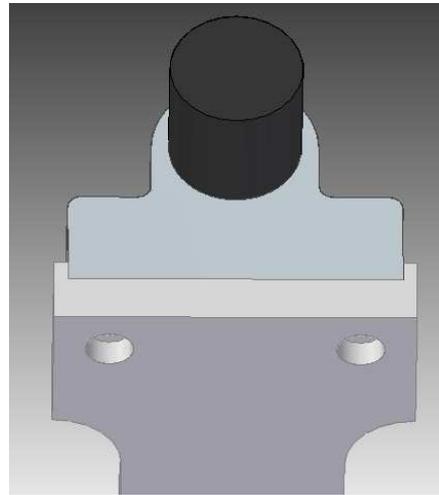


Fig.58 Vista inferior del soporte del láser

### Paso 3: Acoplamiento a la posicionadora

Elementos auxiliares para el montaje:

- Llave Allen para tornillos M6
- El sistema en conjunto se atornilla a la posicionadora, llevando a tope el registro de uno de los lados y atornillando los 6 tornillos M6 de la cuña a los lados del soporte central (fig. 59).

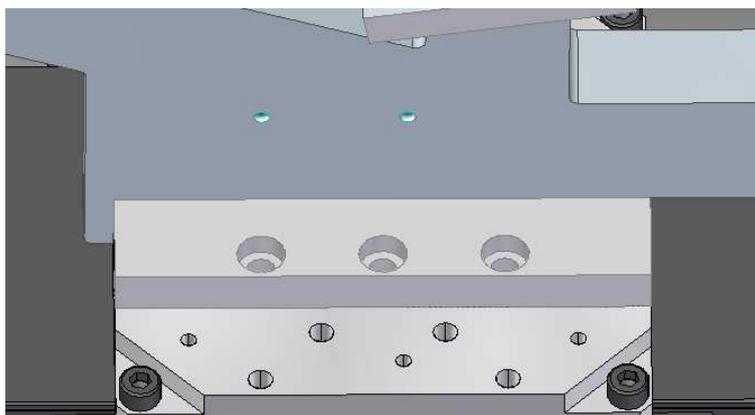


Fig.59 Detalle de tornillos de unión a la posicionadora

En el conjunto explosionado (fig. 60) puede verse el diagrama de situación de todos los componentes del montaje del sistema.

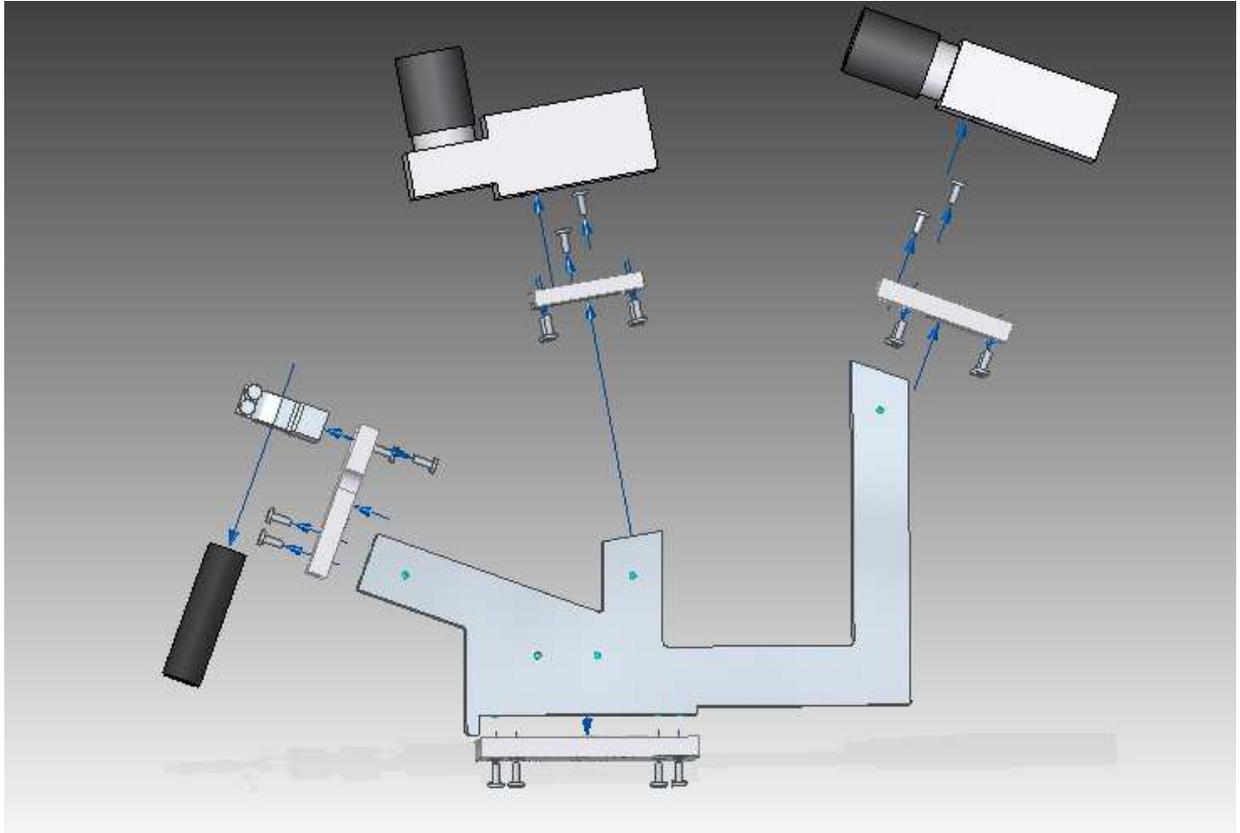


Fig.60 Vista explosionada del conjunto

## 7 - Análisis de costes de fabricación

Para analizar los costes de fabricación se ha llevado a cabo un estudio de los tiempos de fabricación multiplicado después por el precio medio de hora en mecanizado.

En las hojas de proceso del Anexo II se encuentra una descripción detallada de los tiempos de fabricación de las piezas necesarias en el soporte. El resumen de los tiempos de mecanizado necesarios para las piezas del soporte principal se ha calculado en función del tipo de máquina en que se ha realizado (fig. 61).

Pieza	Máquina	Tiempo (min)
<b>1 Soporte Central</b>	WEDM	125
	Fresadora CNC	112
<b>2 Cuña union posicionadra</b>	Fresadora CNC	54
<b>3 Soporte camara central</b>	Fresadora CNC	48
<b>4 Soporte camara 1</b>	Fresadora CNC	42
<b>5 Soporte laser</b>	Fresadora CNC	54
<b>6 Abrazadera laser</b>	WEDM	39
	Fresadora CNC	53
<b>TOTAL</b>		<b>527</b>

Fig.61 Tabla de tiempos de fabricación

El tiempo de mecanizado es de 527 minutos que pasado a horas hace un total de **8,78h**.

Según el Servicio de mecanizado de la Universidad, el tiempo de mecanizado del soporte instalado actualmente es de **24,25h**. Fabricar el nuevo soporte cuesta un **36,2%** el tiempo que costaba fabricar el anterior soporte, por lo que supone un ahorro del 63,8% (fig. 62).

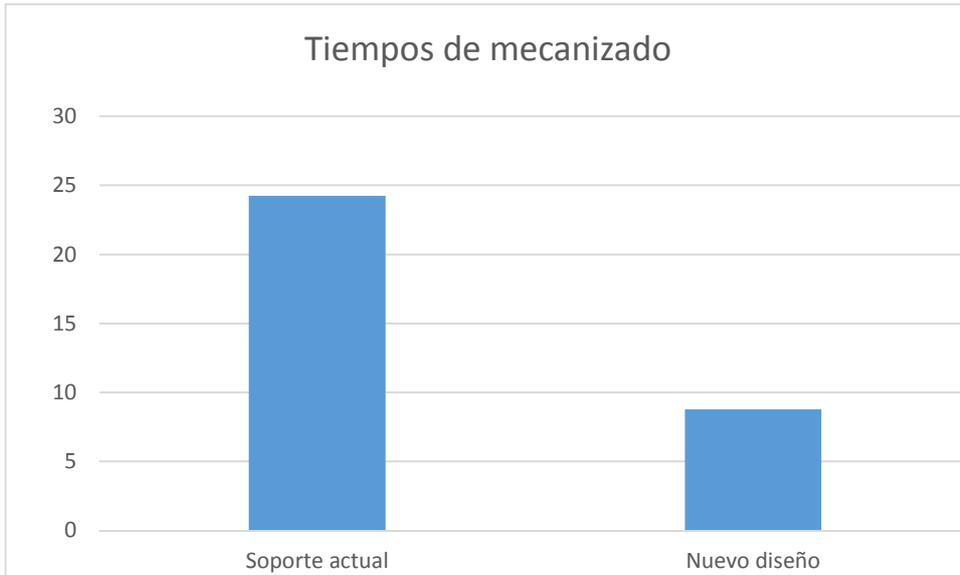


Fig.62 Comparación de horas de mecanizado

Para evaluarlo en términos económicos hay que establecer el coste por hora de mecanizado. El servicio de mecanizados de la Universidad ofrece un precio de 15€/h de mecanizado para servicios prestado a proyectos dentro de la universidad.

Si se contrata fuera de la Universidad los precios son mayores, siendo el coste medio por hora de mecanizado estimado en 45€/h.

Precio Universidad = 15€/h trabajada

Precio comercial = 45€/h trabajada (precio medio aproximado)

Por lo que el coste del mecanizado de los dos soportes en función de donde se mecanice será el determinado en la tabla siguiente (fig. 63).

	Mec. Universidad	Mec. Comercial
<b>Soporte actual</b>	363,75€	1091,25€
<b>Nuevo diseño</b>	131,75€	395,25€
<b>Ahorro</b>	232€	696€

Fig.63 Comparación de costes de fabricación

El ahorro si se va a mecanizar en la Universidad a los precios para servicios internos es de 232€ pero si se lleva a mecanizar a una empresa externa a precios comerciales será de casi 700€.

Supone por lo tanto, un ahorro considerable a tener en cuenta.

En caso de utilizar corte por agua el tiempo de mecanizado disminuye en 132 minutos (fig.64).

Pieza	Máquina	Tiempo (min)
<b>1 Soporte Central</b>	Corte por agua	25
	Fresadora CNC	112
<b>2 Cuña union posicionadra</b>	Fresadora CNC	54
<b>3 Soporte camara central</b>	Fresadora CNC	48
<b>4 Soporte camara lateral</b>	Fresadora CNC	42
<b>5 Soporte laser</b>	Fresadora CNC	54
<b>6 Abrazadera laser</b>	Corte por agua	7
	Fresadora CNC	53
<b>TOTAL</b>		<b>395</b>

Fig.64 Tiempo de fabricación con corte por agua

En cuanto al resto de piezas auxiliares, con los tiempos de mecanizado de cada una de ellas se puede establecer el coste de fabricación por horas necesarias de mecanizado (fig. 65).

Elementos auxiliares	Tiempo de mecanizado (min)	Mec. Universidad	Mec. Comercial
<b>Pletina L foco</b>	15	3,75€	11,25€
<b>Pletina plana foco</b>	10	2,5€	7,5€
<b>Soporte cuña en paralelo</b>	58	14,5€	43,5€
<b>Pletina L proyector</b>	15	3,75€	11,25€
<b>Pletina plana proyector</b>	10	2,5€	7,5€
<b>TOTAL</b>	<b>108</b>	<b>27€</b>	<b>81€</b>

Fig.65 Coste de fabricación de elementos auxiliares

## 8 – Análisis del ajuste previo al calibrado

Para lograr una medición con precisión es imprescindible una realización correcta del proceso de calibrado. Antes de realizar la calibración del conjunto es necesario posicionar el calibrador para que los ejes de referencia coincidan con la dirección de desplazamiento de la posicionadora. Para ello es necesario calcular la inclinación del calibrador con respecto al sistema de medición y corregirla mediante giros del brazo que lo posiciona.

Durante el proceso de calibración el sistema realiza una operación similar a la medición para obtener una imagen por cada una de las cámaras en cada posición de la MLS. Estas imágenes están limitadas a la zona de interés (Region of Interest, ROI) limitada a 96 píxeles en coordenada V de la cámara. En esas imágenes se pueden observar la proyección del láser en el calibrador (fig. 66).

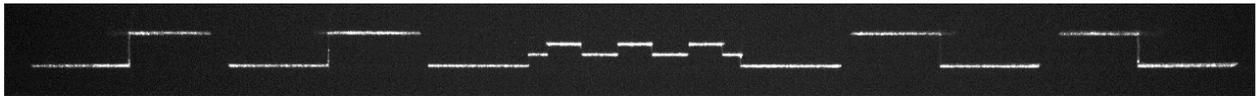


Fig.66 Imagen de calibración

El calibrador tiene una serie de planos en diferentes alturas y puntos de precisión de los que se conocen sus posiciones y dimensiones (fig. 67). Mediante la calibración se consigue

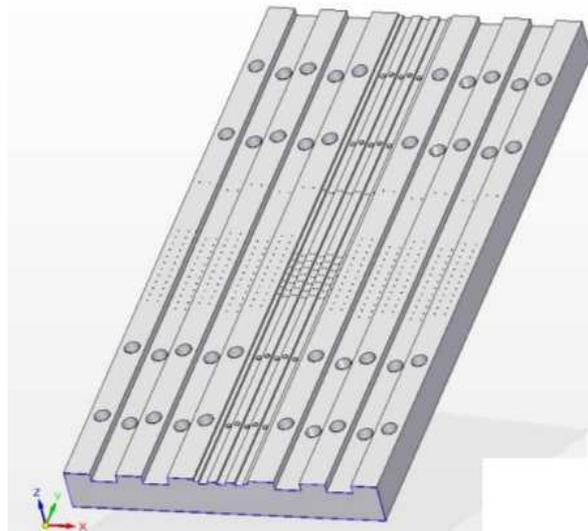


Fig.67 Calibrador

obtener la relación de las coordenadas U y V de las cámaras a coordenadas X Y Z en el espacio con lo que reconstruir la superficie medida).

### Ajuste del calibrador

Para el ajuste del calibrador, se hace coincidir el eje  $Y_{LTS}$  del sistema de referencia global (dirección de desplazamiento de la MLS) coincida con el eje  $Y_g$  por lo que se obtiene el eje de medición Y coincidente con la dirección de desplazamiento de la MLS (fig. 68).

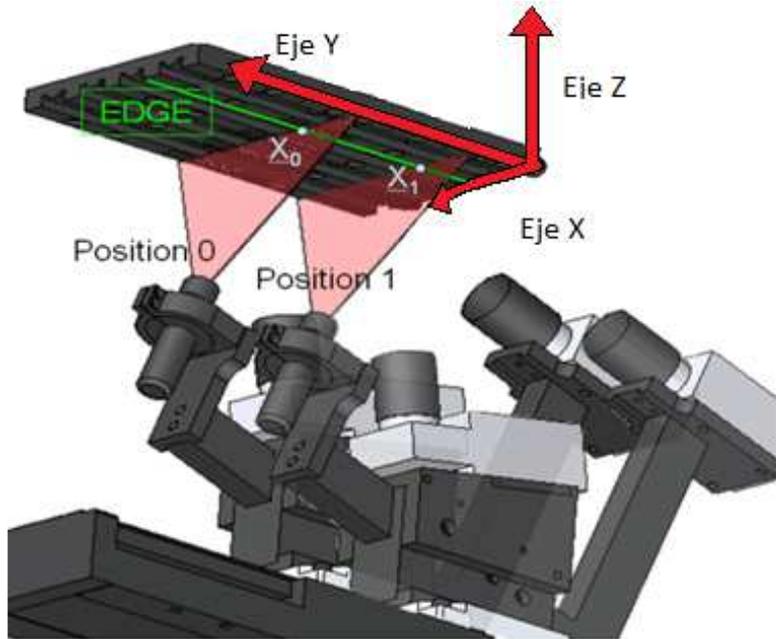


Fig.68 Representación de los ejes en la calibración

En el proceso de ajuste de la orientación se toman imágenes del calibrador y se calcula la desviación en giros sobre los ejes X Y Z. Se realizan dichos giros en los tres ejes en el robot que sujeta el calibrador por lo que queda alineado. Esto se comprueba repitiendo el proceso y comprobando que el error es próximo a cero.

### Cálculo del error de giro

La estimación de la inclinación del calibrador se realiza seleccionando los píxeles en los extremos de alguna de las proyecciones del láser. Al no ser la imagen de la cámara perfecta, existe una posible desviación en la selección de los píxeles.



Fig.69 Imagen inicial de la calibración

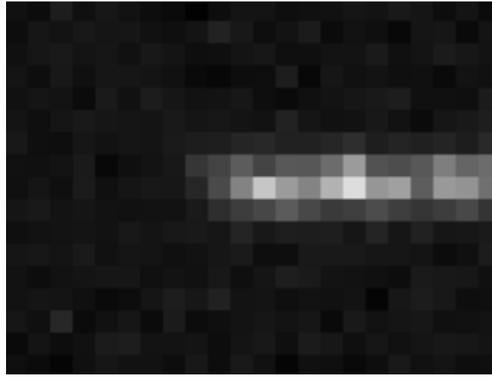


Fig.70 Difusión de luz en los píxeles

En la imagen inicial de calibración (fig. 69), si se amplía uno de los extremos puede observarse la difusión de la luz en los píxeles extremos (fig. 70).

Dicha difusión puede inducir a errores en la selección de los píxeles que se ha estimado en un máximo de 2 sobre el píxel teórico (fig. 71 y 72 ). Se calculará por tanto los errores en el posicionamiento del calibrador para errores en la selección de 1 y 2 píxeles.

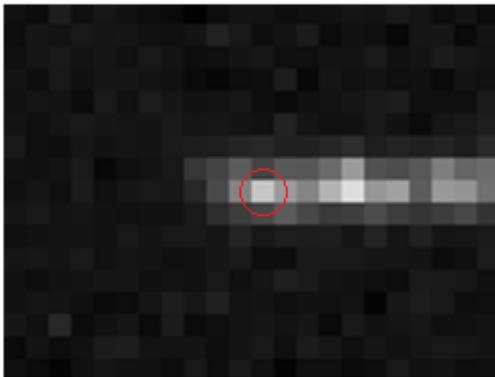


Fig.71 Píxel teórico

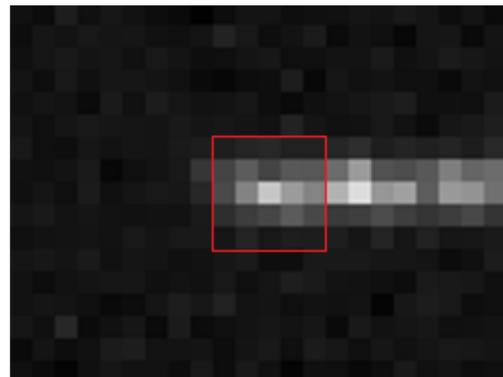


Fig.72 Zona de selección evaluada

Para estimar el giro en Y se toma la imagen inicial y se seleccionan píxeles del inicio y final en distintas zonas a la misma altura. Cuanto más separadas las imágenes, menor será el error de giro pero en los extremos de la imagen la cámara pierde precisión. Para compensar estos dos aspectos se toman los píxeles del principio de la segunda almena y su punto simétrico en el otro lado (fig. 73).



Fig.73 Zona de píxeles utilizada en la calibración del eje Y

De los dos píxeles elegidos se toma la coordenada V de la cámara y se realiza un giro del calibrador de manera que los dos queden a la misma cota en la imagen. El error de giro en el calibrado en este eje dependerá del error en la selección de dichos píxeles (fig.74).

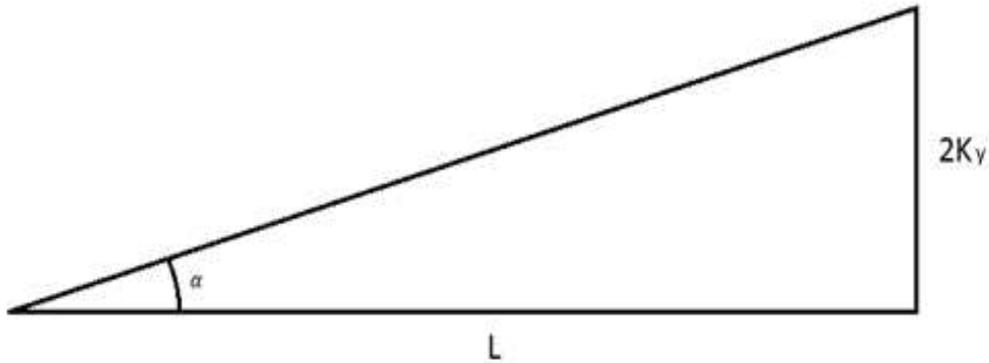


Fig.74 Error de giro en eje Y

Siendo:

$2K_y$  = el doble del error (en mm) por la selección errónea de los píxeles, correspondiente al máximo error en ambos lados. Será pues la longitud equivalente a 2 y 4 píxeles respectivamente

L = Longitud entre los dos puntos, en este caso 80mm

Por lo que el error de giro será:

$$\alpha_y = \arctg\left(\frac{2K_y}{L}\right)$$

Después se toma una imagen del punto más alejado de la primera imagen, al final del calibrador (180mm de distancia) y junto con las dos imágenes se toman las coordenadas de los píxeles seleccionados (fig. 75).

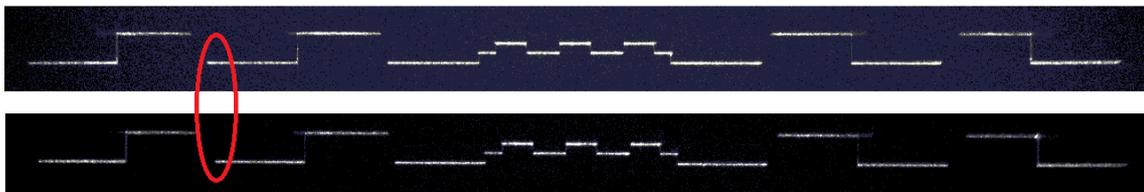


Fig.75 Zona de pixels para corrección del giro en X y Z

Se analiza uno de los dos puntos tomados anteriormente, en este caso el inicio de la segunda almena y se analiza la coordenada vertical y horizontal de ese punto en cada punto en

la imagen de la cámara. Cuando el calibrador está posicionado correctamente las coordenadas U y V de los puntos equivalentes en las dos imágenes serán las mismas. Para calcular el giro del calibrador se mide la variación de U y V en dos puntos de la imagen y se promedia.

El error de giro en la calibración debido a esto, será entonces un error en la selección de los píxeles del inicio de la almena.

El error en la coordenada U de la imagen genera un error de giro en Z que será también dependiente de la longitud que se ha desplazado la posicionadora (fig. 76).

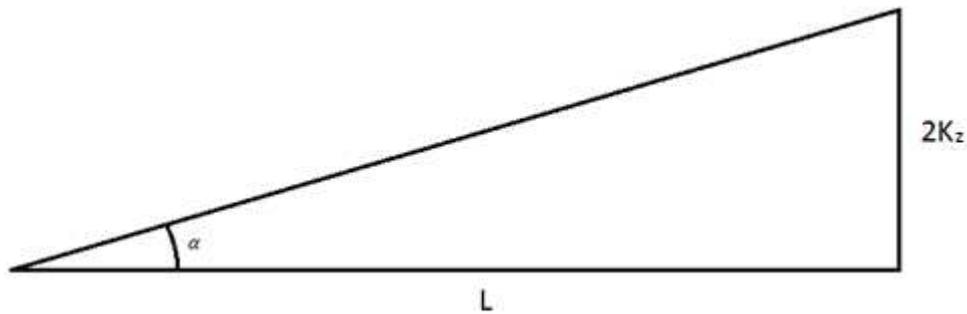


Fig.76 Error de giro en eje Z

Siendo:

L = Longitud entre las dos imágenes, en este caso 180mm

$2K_z$  = Error en la selección de píxeles en la coordenada vertical de las dos fotos. El doble por razones análogas al caso anterior.

Por lo que el giro será:

$$\alpha_z = \arctg\left(\frac{2K_z}{L}\right)$$

El último error de giro viene dado por la variación de las coordenadas verticales del píxel seleccionado en las dos imágenes, que genera un giro en X (fig. 77).

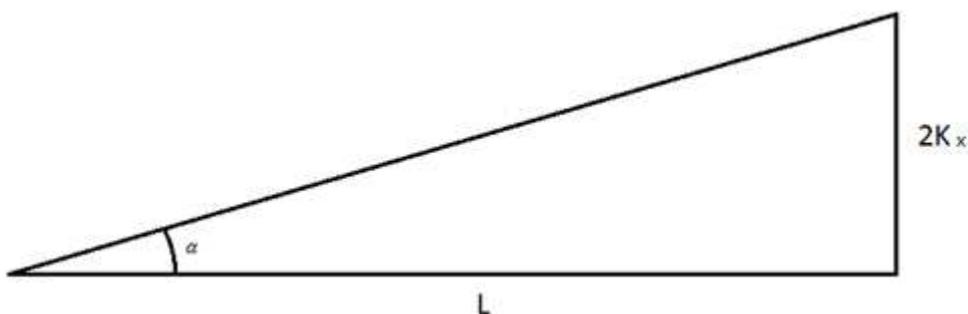


Fig.77 Error de giro en eje X

Siendo:

L = Misma longitud que en el caso anterior, 180mm

$2K_x$  = El doble del error en la selección de píxeles en la coordenada vertical de las dos fotos.

Por lo que el giro será:

$$\alpha_x = \arctg\left(\frac{2K_x}{L}\right)$$

Junto con estos datos es necesario saber la relación entre los píxeles y las distancias en milímetros, para lo cual se usan relaciones obtenidas en el proceso de calibrado de una máquina análoga:

Eje horizontal = 0,0984 mm/px

Eje vertical = 0,091 mm/px

Con estos valores puede estimarse el error máximo en los giros de los 3 ejes en el proceso de calibración para 1 y 2 píxeles de error en la selección de los extremos:

Máximo error de giros en la calibración en los que:

$\alpha_1$  = Error de giro con un píxel de desviación

$\alpha_2$  = Error de giro con dos píxeles de desviación

EJE	$\alpha_1$	$\alpha_2$
X	0,058°	0,116°
Y	0,131°	0,261°
Z	0,036°	0,125°

Fig.78 Error de giro en el calibrador

El error de en el giro del calibrador queda definido para errores en la selección de 1 o 2 píxeles para cada uno de los ejes (fig. 78).

Queda pendiente la realización de las pruebas necesarias para comprobar estos datos.

El error relativo de las medidas en cada uno de los ejes será en función del coseno de estos ángulos y de la longitud total (fig. 79).

Error de medida en  $\mu\text{m}$  por cada 100mm medidos:

EJE	$\alpha_1$	$\alpha_2$
X	0,052 $\mu\text{m}$	0,21 $\mu\text{m}$
Y	0,27 $\mu\text{m}$	1,1 $\mu\text{m}$
Z	0,019 $\mu\text{m}$	0,24 $\mu\text{m}$

Fig.79 Error de medida por cada 100mm en cada uno de los ejes

Queda pendiente la comprobación experimental de los efectos en la medición de estas desviaciones angulares durante la calibración.

## 9 – Conclusiones y trabajos futuros

### Conclusiones:

- El diseño del nuevo soporte permite el funcionamiento correcto del sistema de medición LTS puesto que respeta las superficies de referencia que tiene originalmente. Dichas superficies están directamente relacionadas con los ejes ópticos del sistema puesto que a ellas van sujetas ambas cámaras y el láser por lo que el comportamiento de los elementos ópticos será el mismo.
- Con el nuevo soporte se ha simplificado el proceso de montaje reduciendo en 6 el número de tornillos. También se ha solucionado el problema del atornillado de la cámara 2 al soporte sobre el que está, dejando espacio suficiente para las llaves Allen y los tornillos oportunos.
- Se han incluido registros en el soporte central del sistema así como en los elementos que unen las cámaras y el láser para evitar variaciones en las posiciones relativas de los elementos con respecto a la posicionadora.
- La cámara 2 puede instalarse en una posición adicional centrada con respecto al soporte, además de las dos posiciones que ya tenía antes.
- Todos los elementos ópticos se sujetan al soporte mediante el mismo sistema: dos tornillos M4 x10mm separados 12mm junto con una cajera opcional. Las cámaras y la sujeción del láser son sustituibles por otras fácilmente siempre que usen sujeción al soporte central mediante este sistema. Homogeneizar las sujeciones facilita diseños posteriores y modificaciones del diseño actual.
- Previo a la realización de este proyecto no se disponía de ningún sistema para situar el foco usado en la calibración. Se ha diseñado un soporte sobre el que situarlo para integrar también ese elemento en el soporte central. El soporte incluye regulación en altura, distancia, se puede girar y situarse en uno de los diversos puntos de anclaje que tiene el soporte central. Los puntos de anclaje del soporte pueden ser utilizados para instalar elementos adicionales sin tener que hacer modificaciones del sistema y así facilitar que si en el futuro es necesario acoplar elementos adicionales puedan ser situados ahí.
- Tal y como se visto en el estudio de costes, fabricar el soporte con el nuevo diseño supone un ahorro importante respecto al que está instalado actualmente.
- El diseño propuesto del soporte central deja espacio en la parte posterior de la cámara dos para un conector recto por lo que ya no será necesario utilizar un codo y se podrá conectar un cable estándar.

- Se ha dispuesto un soporte para poder realizar pruebas en el futuro con un proyector. Mediante el soporte propuesto puede instalarse el proyector en una posición cercana a la del láser pero sin retirar este último.
- Mediante la cuña de soporte en paralelo se dota al sistema de posibilidades adicionales como la comparación de las medidas de distintos equipos y la evaluación comparativa de errores sin tener que desmontar de la posicionadora uno de los sistemas.
- El diseño alternativo de la abrazadera o la modificación propuesta a la existente solucionan el problema de sujeción actual con el láser facilitando el montaje y desmontaje del mismo.
- Se han analizado las diferentes fases de la fabricación y se disponen de planos detallados de todas las piezas, además de los modelos 3D realizados en Solid Edge.
- Se ha calculado el error de orientación del calibrador para un error de 1 y 2 píxeles en la selección de los puntos de referencia.

**Trabajos futuros:**

- Fabricación de las piezas que conforman el sistema y montaje del conjunto.
- Realización de mediciones que verifiquen los errores de ajuste del calibrador calculados. Realizando un desajuste de los píxeles de desviación estimados y calculando el giro relativo de la pieza para esa desviación.
- Probar el montaje con el proyector instalado en el soporte.
- Plantear mejoras de diseño para fabricar las piezas del conjunto a partir de chapas de 20mm de espesor cortadas mediante electroerosión, corte por agua o láser. Con ello reducir el tiempo de fabricación y el aprovechamiento del material.
- Estudiar una reducción de la sección de los materiales para reducir el coste.

## 10 – Bibliografía

- Artículo “3D Geometrical Inspection of Complex Geometry Parts Using a Novel Laser Triangulation Sensor and a Robot” por F.J. Brosed, J.J. Aguilar, D. Guillomaí y J. Santolaria
- Página web ONA Electroerosión, documentos técnicos de electroerosión por hilo
- Catálogo e información técnica Gühring
- Catálogo de brocas Izar Tool ([www.izartool.com](http://www.izartool.com))
- Catálogo de fresas Pferd
- Catálogo Trumpf
- Catálogo KTM Waterjet ([www.ktm-waterjet.com](http://www.ktm-waterjet.com))
- Apuntes asignatura Tecnología Mecánica

### Programas utilizados:

- Solid Edge ST5
- Microsoft Word 2010
- Microsoft Excel 2010
- Adobe Acrobat Pro
- Auto CAD 2007

## 10 – Anexos

Anexo I: Planos

Anexo II: Hojas de Proceso

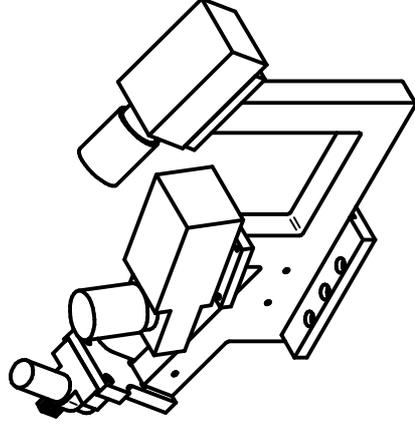
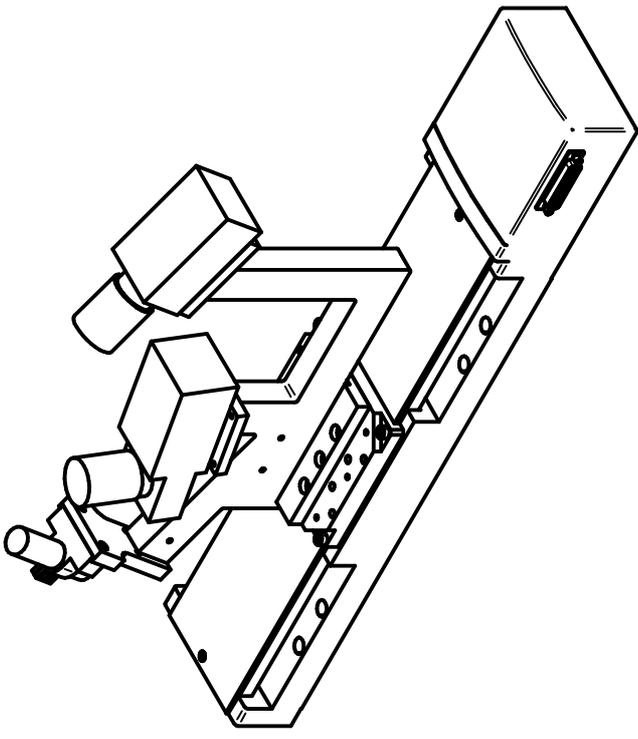
Anexo III: Catálogos

# Anexo I:

# Planos

Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado

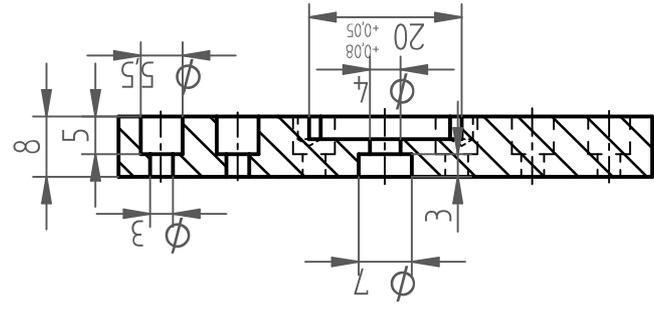


Nombre	Fecha	<b>Solid Edge ST</b> Siemens PLM Software
Dibujado	13/08/15	
Comprobado		
Aprobado 1		
Aprobado 2		Título
Tolerancias no indicadas según Norma UNE-EN-22768-m		Conjunto completo
		A4
		Plano
		1
		Rev
		Archivo: Conjunto posicionadora
		Escala 1:4
		Peso
		Hoja 1 de 1

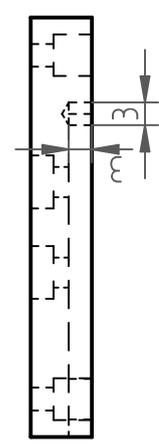
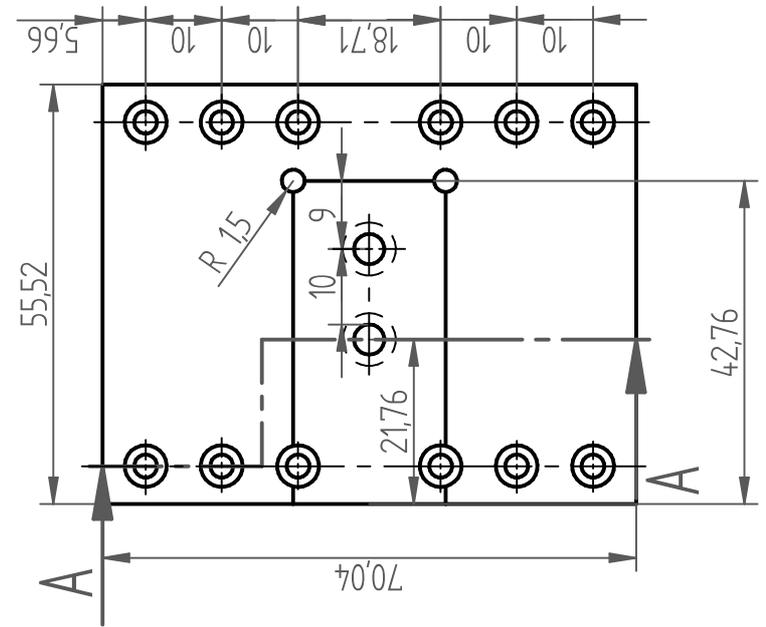




Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado



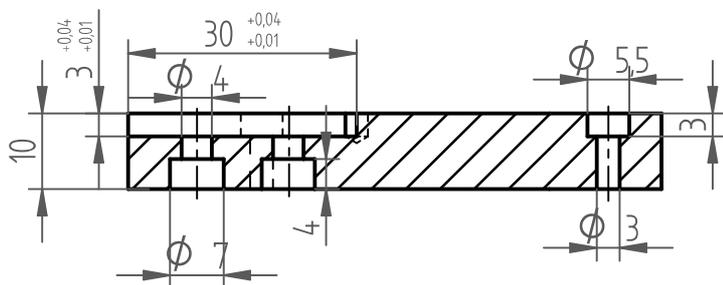
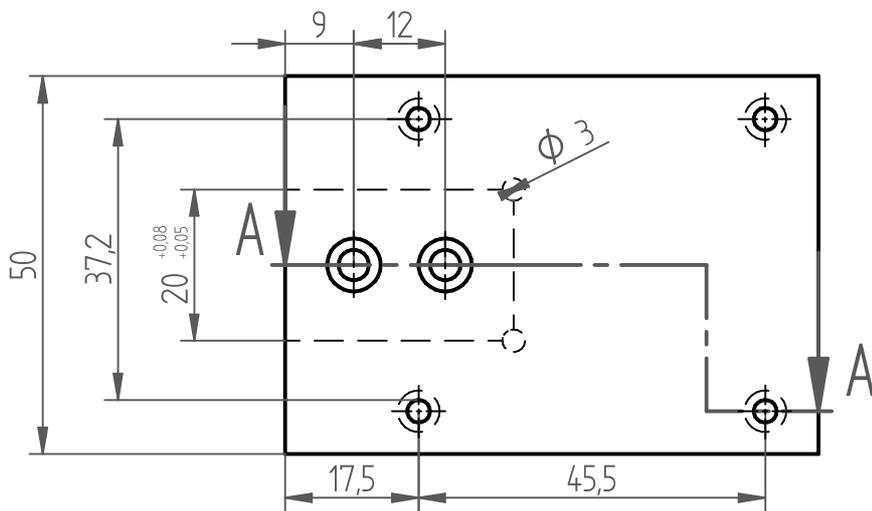
CORTE A-A



Dibujado	Rubén A.	Fecha	13/08/15
Comprobado			
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Tolerancias no indicadas según Norma UNE-EN-22768-m			
Nombre		Fecha	
Rubén A.		13/08/15	
Comprobado			
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Título			
Soporte cámara central			
A4		Plano	
		4	
		Rev	
Archivo: Plano 4 Soporte cámara central.dft			
Escala 1:1		Peso	
		Hoja 1 de 1	

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

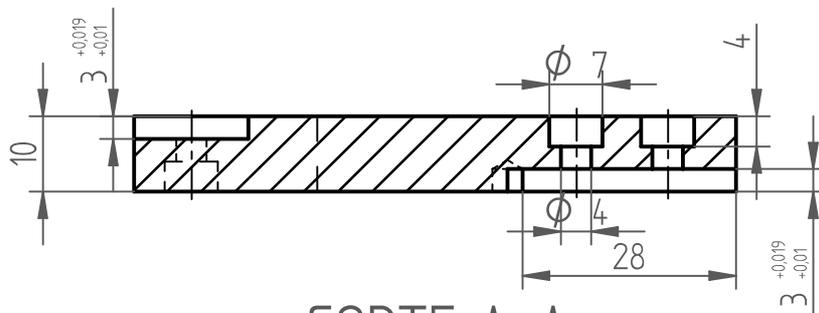
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



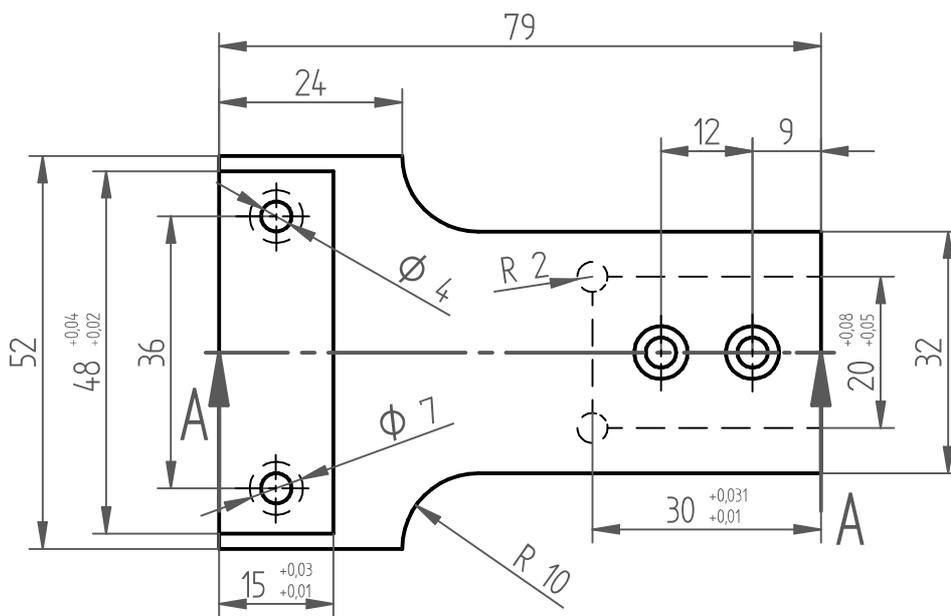
CORTE A-A

Nombre	Fecha	<b>Solid Edge ST</b> Siemens PLM Software			
Dibujado	14/08/15				
Comprobado		Título Soporte cámara lateral			
Aprobado 1					
Aprobado 2					
Tolerancias no indicadas según Norma UNE-EN-22768-m		A4	Plano	5	Rev
		Archivo: Plano 5 Soporte camara lateral.dft			
		Escala 1:1	Peso	Hoja 2 de 1	

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

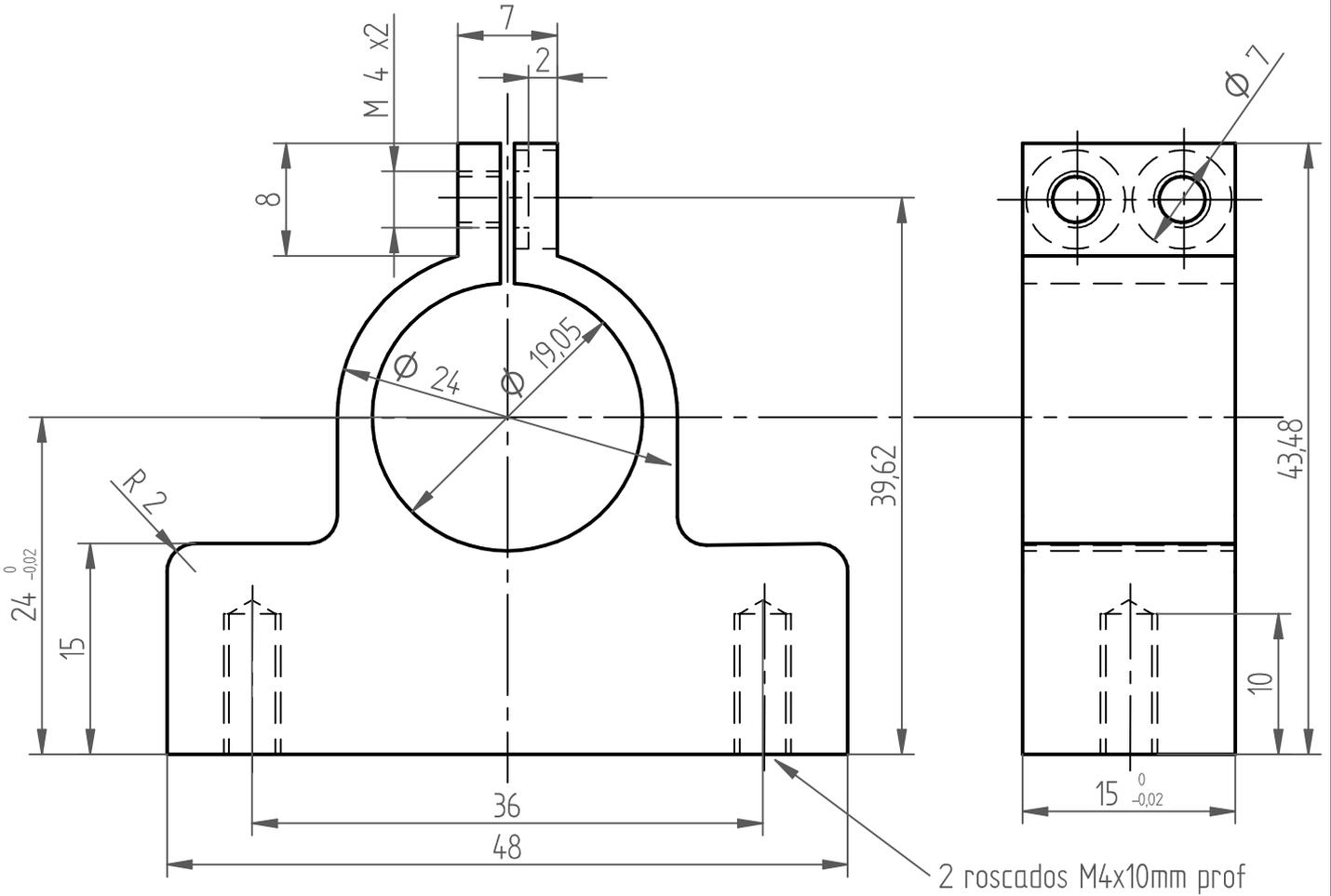
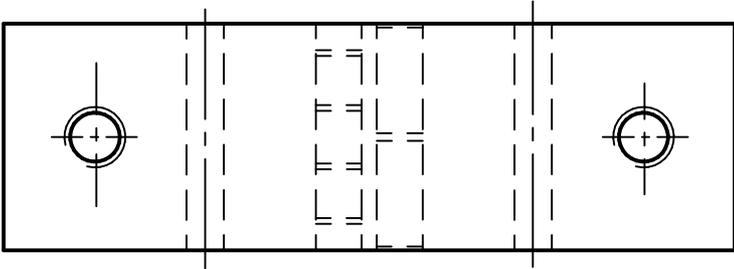


CORTE A-A



	Nombre	Fecha	<b>Solid Edge ST</b> Siemens PLM Software			
Dibujado	Rubén A.	14/08/15				
Comprobado			Título Soporte Láser			
Aprobado 1						
Aprobado 2			A4	Plano	6	Rev
Tolerancias no indicadas según Norma UNE-EN-22768-m			Archivo: Plano 6 Soporte Laser.dft			
			Escala 1:1	Peso	Hoja 2 de 1	

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



	Nombre	Fecha
Dibujado	Rubén A.	17/08/15
Comprobado		
Aprobado 1		
Aprobado 2		

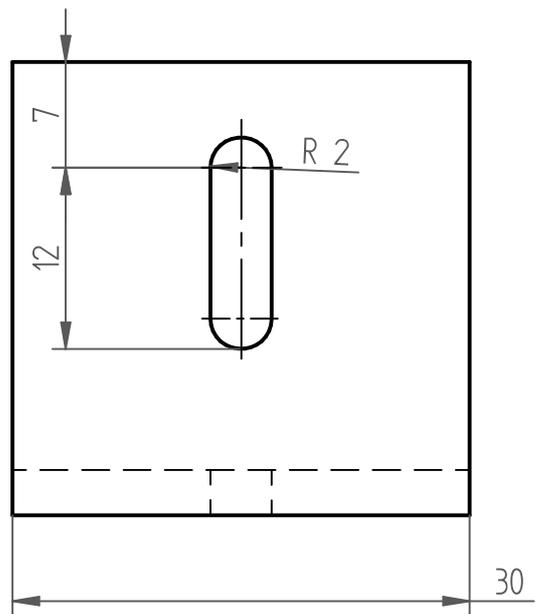
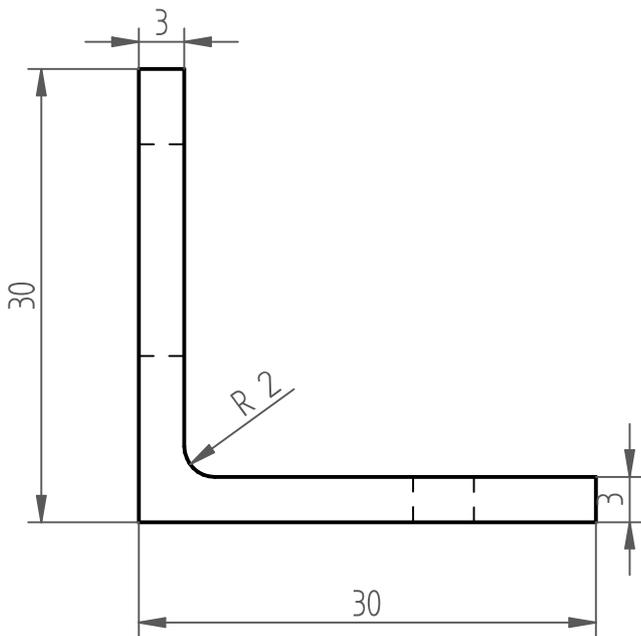
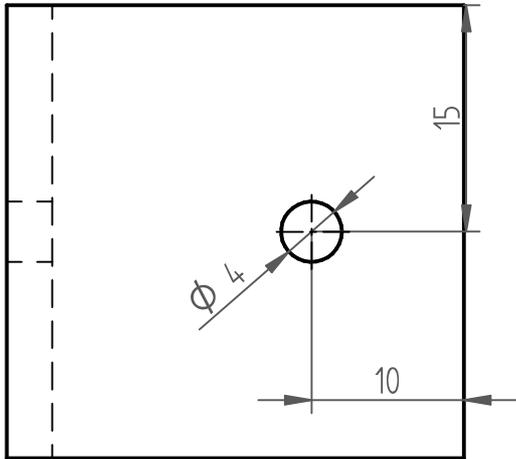
**Solid Edge ST**  
Siemens PLM Software

Título  
Abrazadera Láser

Tolerancias no indicadas según  
Norma UNE-EN-22768-m

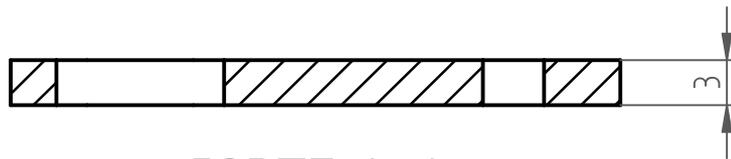
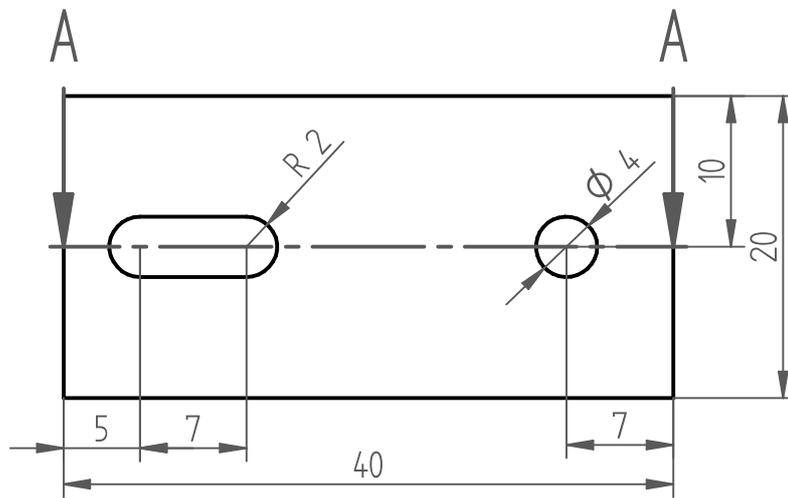
A4	Plano	7	Rev
Archivo: Plano 7 Abrazadera laser V2.dft			
Escala 2:1	Peso	Hoja 2 de 1	

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



Nombre	Fecha	<b>Solid Edge ST</b> Siemens PLM Software			
Dibujado	17/08/15				
Comprobado		Título Pletina L			
Aprobado 1					
Aprobado 2					
Tolerancias no indicadas según Norma UNE-EN-22768-m		A4	Plano	8	Rev
		Archivo: Plano 8 Pletina L.dft			
		Escala 2:1	Peso	Hoja 2 de 1	

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



CORTE A-A

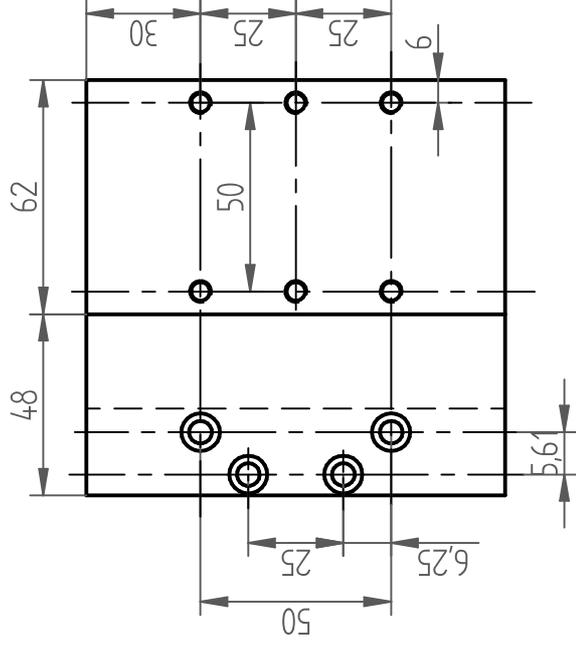
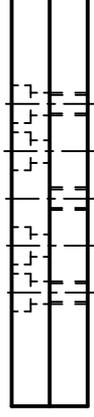
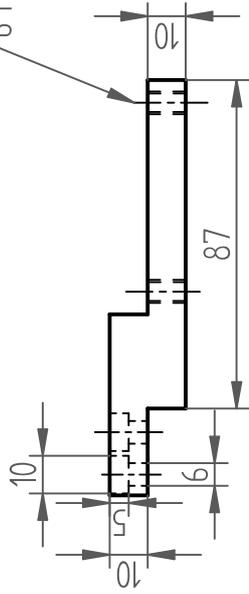
	Nombre	Fecha	<b>Solid Edge ST</b> Siemens PLM Software			
Dibujado	Rubén A.	15/08/15				
Comprobado			Título Pletina plana			
Aprobado 1						
Aprobado 2			A4	Plano	9	Rev
Tolerancias no indicadas según Norma UNE-EN-22768-m			Archivo: Plano 9 Pletina plana.dft			
			Escala 2:1	Peso	Hoja 2 de 1	



Revisiones

Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

6 roscados M6 pasantes



Nombre	Fecha
Rubén A.	20/08/15
Comprobado	
Aprobado 1	
Aprobado 2	

**Solid Edge ST**  
Siemens PLM Software

Título

Soporte cuña en paralelo

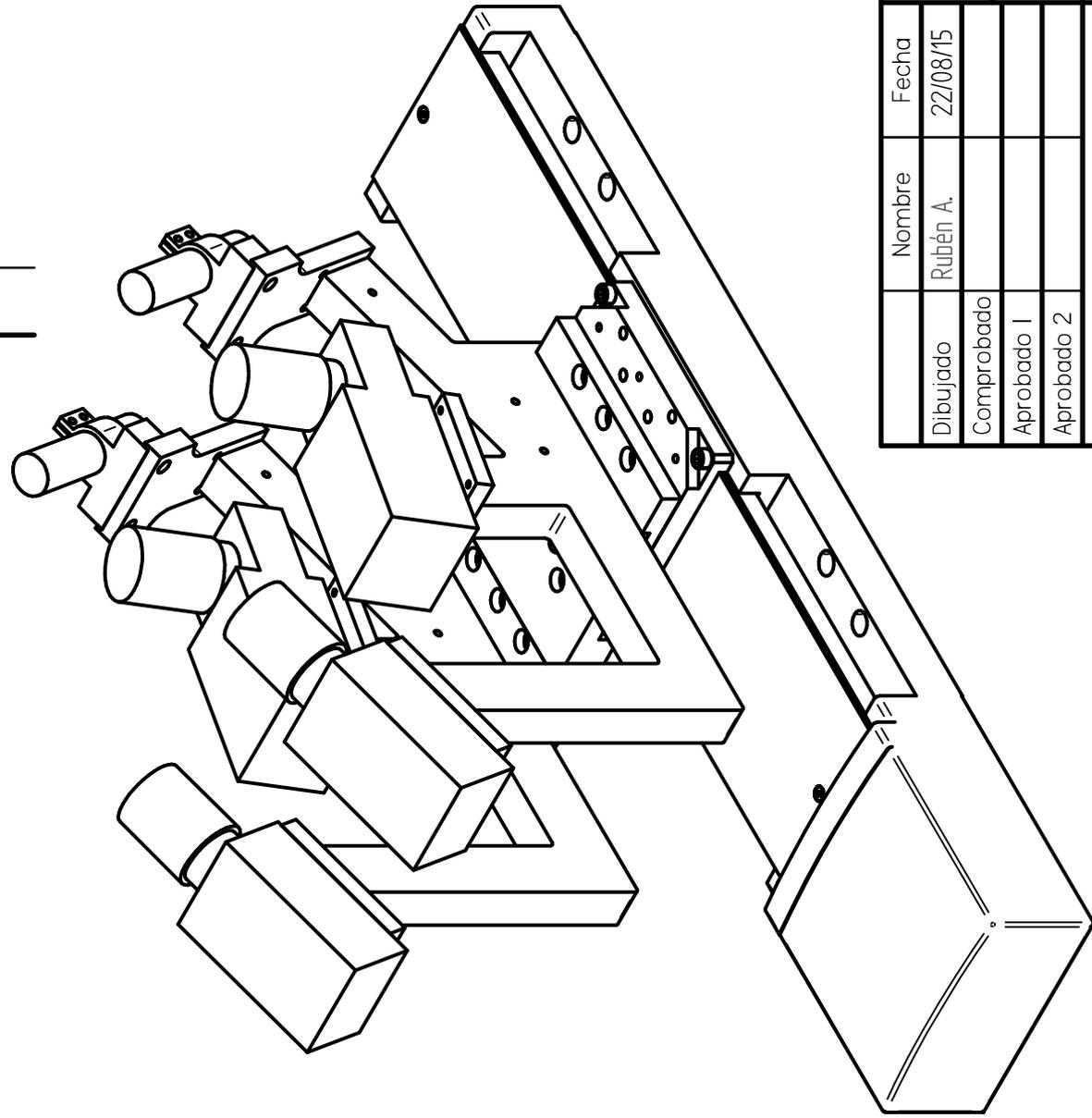
A4	Plano	11	Rev
----	-------	----	-----

Tolerancias no indicadas según  
Norma UNE-EN-22768-m

Archivo: Plano 11 Soporte cuña en paralelo.dft

Escala 1:2    Peso    Hoja 1 de 1

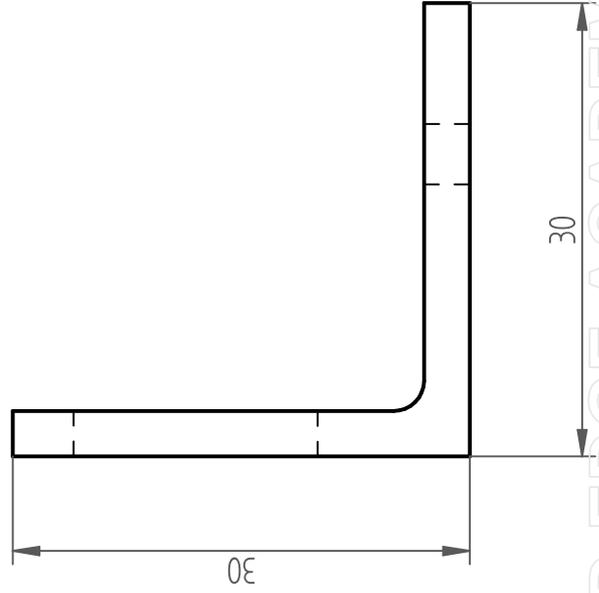
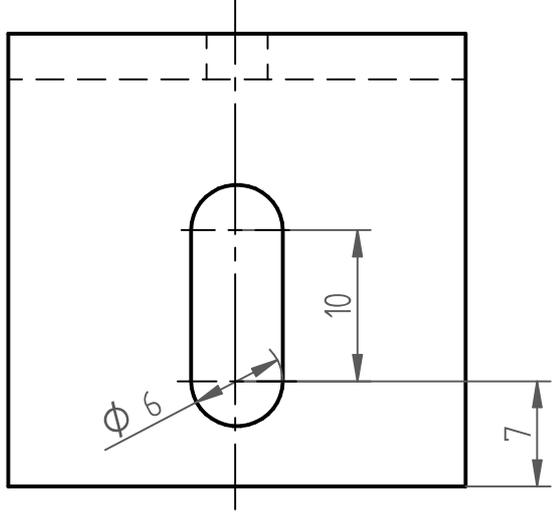
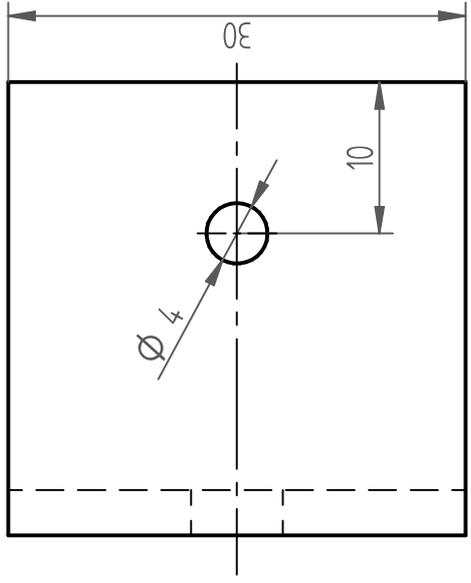
Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado



<b>Solid Edge ST</b>		Siemens PLM Software	
Nombre		Fecha	
Dibujado		22/08/15	
Comprobado			
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Tolerancias no indicadas según Norma UNE-EN-22768-m			
Título		Montaje en paralelo	
A4	Plano	11	Rev
Archivo: Plano 12 Montaje en paralelo.dft			
Escala 1:3		Peso	Hoja 1 de 1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

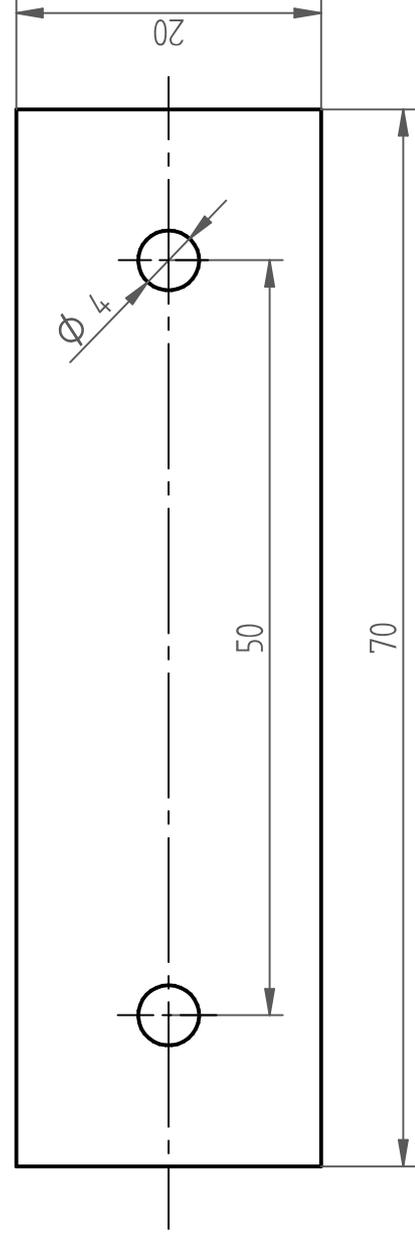
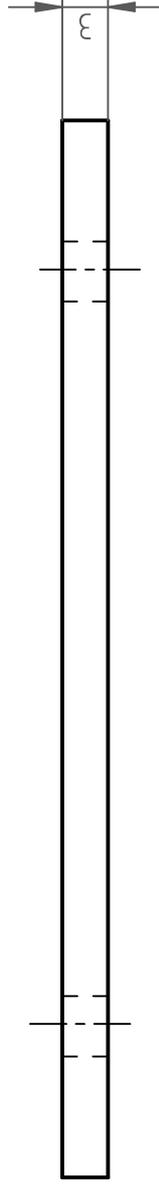
Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado



Nombre	Fecha	<b>Solid Edge ST</b> Siemens PLM Software			
Dibujado Rubén A.	28/08/15				
Comprobado		Título Pletina L proyector			
Aprobado 1					
Aprobado 2		A4	Plano	13	Rev
Tolerancias no indicadas según UNE-EN-22768-m			Archivo: Plano 13 Pletina L proyector.dft		
			Escala 2:1	Peso	Hoja 1 de 1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado

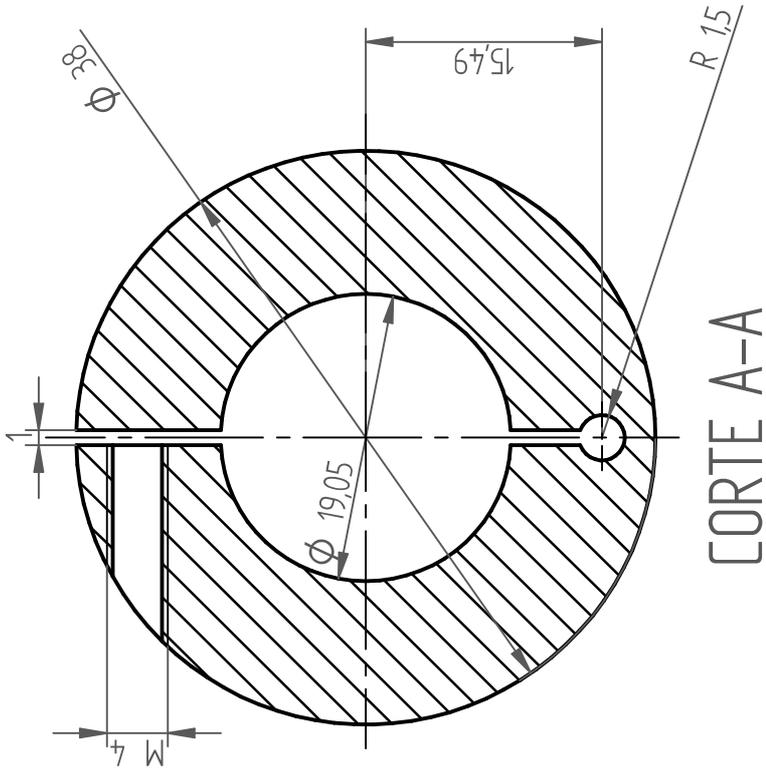


Nombre	Fecha
Dibujado Rubén A.	28/08/15
Comprobado	
Aprobado 1	
Aprobado 2	

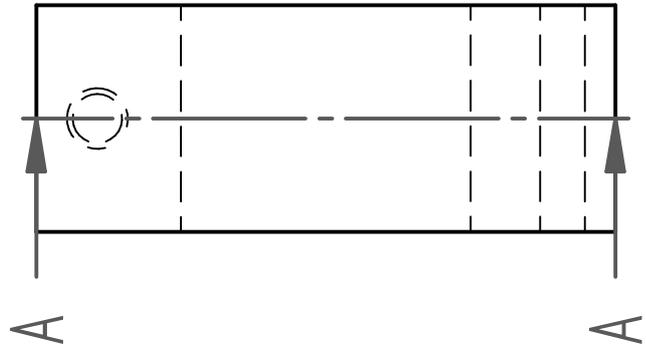
Tolerancias no indicadas según  
UNE-EN-22768-m

<b>Solid Edge ST</b> Siemens PLM Software	
Título Pletina plana proyector	
A4	Plano
	14
Rev	
Archivo: Plano 14 Pletina plana proyector.dft	
Escala 2:1	Peso
	Hoja 1 de 1

Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado



CORTE A-A



<b>Solid Edge ST</b> Siemens PLM Software		Título Adaptador láser	
Nombre Rubén A.	Fecha 31/08/15	A4	Plano 15
Comprobado	Aprobado 1	Archivo: Plano 15 Adaptador Laser.dft	
Aprobado 2	Aprobado 2	Escala 2:1	Peso Hoja 1 de 1
Tolerancias no indicadas según UNE-EN-22768-m			

# Anexo II:

# Hojas de proceso

# HOJA DE PROCESO

Autor:  
Rubén Antolin

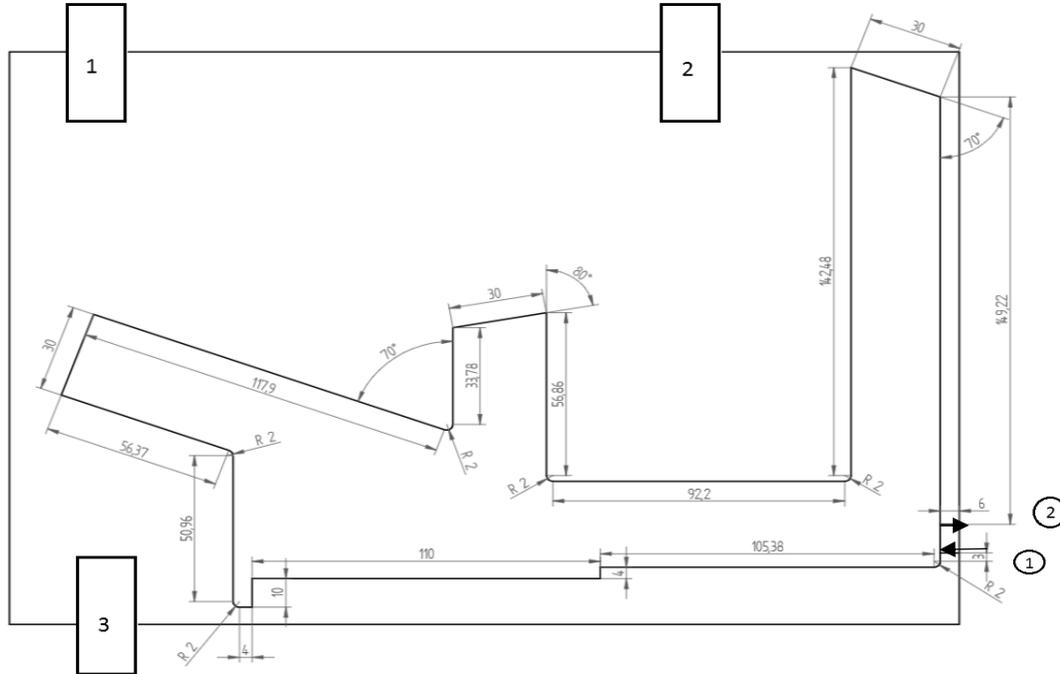
Máquina  
WEDM

Hoja nº.  
1

Material:  
Aluminio

Dimensiones:  
Según dibujo

Medidas sin tolerancia:  
UNE EN 22768 m



Fase	Operac.	Designación	Herramienta	Nº pas	V (m/min)	n (rpm)	L (mm)	Tiempo
1		Amarre de la pieza con bridas en las Zonas 1, 2 y 3	Bridas					10'
2		Corte por WEDM	Hilo $\varnothing 0,25\text{mm}$ Inicio en punto 1 y fin en punto 2	1	10	1066,7		107'
Observaciones: Preparación de la pieza = 8'				Tiempo Total		125'		



Fase	Operac.	Designación	Herramienta	Nº pas	V (m/min)	n (rpm)	L (mm)	Tiempo
2	2	Taladros previos a M4 en superficie B x2	Broca helicoidal Ø3,3mm HSSE DIN338W		1	7.700	11	5'
2	3	Roscados a M4 en superficie B x2	Macho de roscar M4 B DIN 376 M4 ISO 2 6H HSS-E		1,12	1.600	10	5'
3	1	Giro y amarre de la pieza a zona 3						10'
3	2	Taladros previos a M4 en superficie C x2	Broca helicoidal Ø3,3mm HSSE DIN338W		1	7.700	11	5'
3	3	Roscados a M4 en superficie C x2	Macho de roscar M4 B DIN 376 M4 ISO 2 6H HSS-E		1,12	1.600	10	5'
4	1	Giro y amarre de la pieza a zona 4						10'
4	2	Taladros previos a M4 en superficie D x2	Broca helicoidal Ø3,3mm HSSE DIN338W		1	7.700	11	5'
4	3	Roscados a M4 en superficie D x2	Macho de roscar M4 B DIN 376 M4 ISO 2 6H HSS-E		1,12	1.600	10	5'
5	1	Giro y amarre de la pieza a zona 3						10'

Fase	Operac.	Designación	Herramienta	Nº pas	V (m/min)	n (rpm)	L (mm)	Tiempo
5	2	Taladros previos a M4 en superficie \$ x4	Broca helicoidal Ø3,3mm HSSE DIN338W		1	7.700	11	7'
5	3	Roscados a M4 en superficie D x4	Macho de roscar M4 B DIN 376 M4 ISO 2 6H HSS-E		1,12	1.600	10	7'
Observaciones: Preparación de la pieza = 8'								
						Tiempo Total		112'

# HOJA DE PROCESO

Autor:  
Rubén Antolín

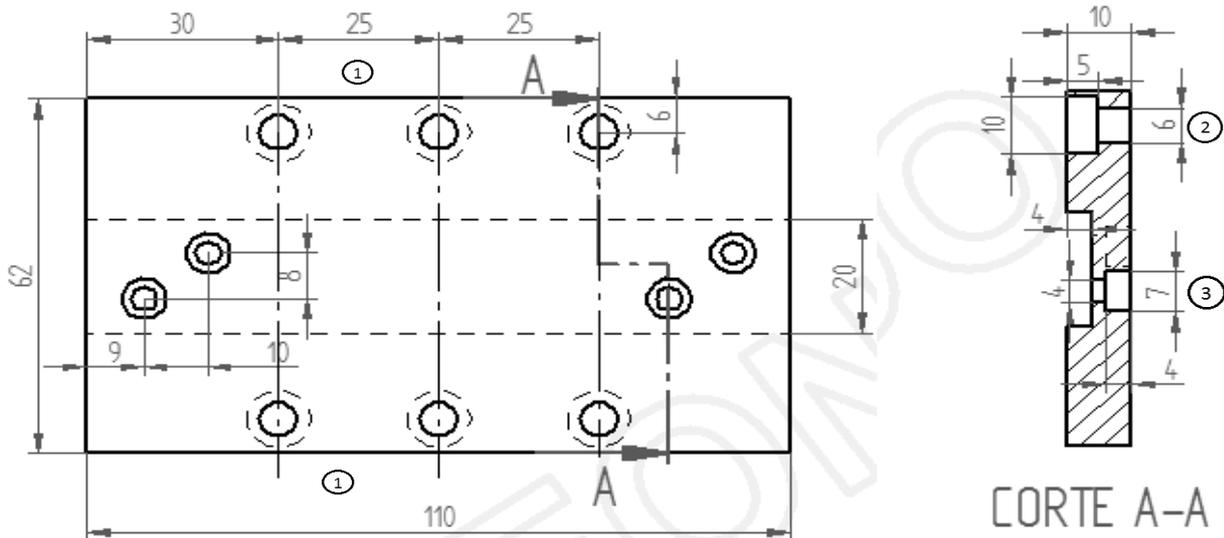
Máquina  
CNC

Hoja nº.  
3

Material:  
Aluminio

Dimensiones:  
Según dibujo

Medidas sin tolerancia:  
UNE EN 22768 m



Fase	Operac.	Designación	Herramienta	Nº pas	V (m/min)	n (rpm)	L (mm)	Tiempo
1	1	Amarre de la pieza con garras en las zonas 1						10'
1	2	Fresado ranura anchura 20mm	Fresa cilíndrica dentado frontal $\varnothing 12$ mm Tipo HSS A 1225ST/6 dent 2	2	5,4	5.400	110	5'
1	3	Taladrado agujeros pasantes	Broca helicoidal $\varnothing 4$ mm HSSE DIN338W		0,83	6.400	6	
1	4	Taladrado agujeros pasantes	Broca helicoidal $\varnothing 6$ mm HSS-R HSSE DIN338W		0,55	4.200	10	12'
1	5	Avellanado plano a $\varnothing 7$ mm	Fresa cilíndrica dentado frontal $\varnothing 2$ mm Tipo HSS A 1225ST/6 dent 2			12.700	5	6'

Fase	Operac.	Designación	Herramienta	Nº pas	V (m/min)	n (rpm)	L (mm)	Tiempo
2	1	Giro y amarre de la pieza a zona 1						10'
4		Fresa cilíndrica dentado frontal Avellanado agujeros $\varnothing 2$ mm a $\varnothing 10$ mm Tipo HSS A 1225ST/6 dent 2				12.700	4	6'
Observaciones:								
Tiempo de preparación = 5'				Tiempo Total		54'		



Fase	Operac.	Designación	Herramienta	Nº pas	V (m/min)	n (rpm)	L (mm)	Tiempo
1	5	Taladros salida de fresa x2	Broca helicoidal Ø3mm HSSE DIN338W		1,1	8.500	3	3'
1	6	Fresado de cajera	Fresa cilíndrica dentado frontal Ø6 mm Tipo HSS A 1225ST/6 dent 2	2	6,3	10.700	110	4'
2	1	Giro 180º y amarre con garras en las zonas 1						10'
2	2	Avellanado plano a Ø7 mm x2	Fresa cilíndrica dentado frontal Ø2 mm Tipo HSS A 1225ST/6 dent 2			12.700	3	3'
Observaciones:								
Tiempo de preparación = 8'				Tiempo Total				48'

# HOJA DE PROCESO

Autor:  
Rubén Antolín

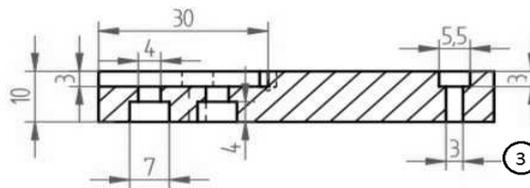
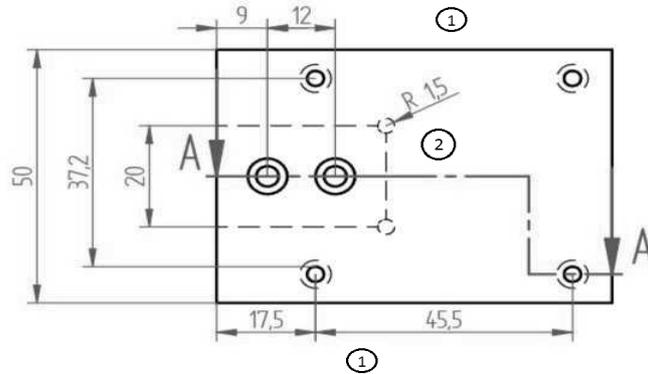
Máquina  
CNC

Hoja nº.  
5

Material:  
Aluminio

Dimensiones:  
Según dibujo

Medidas sin tolerancia:  
UNE EN 22768 m



CORTE A-A

Fase	Operac.	Designación	Herramienta	Nº pas	V (m/min)	n (rpm)	L (mm)	Tiempo
1	1	Amarre de la pieza con garras en las zonas 1						10'
1	2	Taladrado agujeros pasantes x2	Broca Ø4 mm HSSE DIN338W		0,83	6.400	6	3'
1	3	Taladrado agujeros pasantes x4	Broca Ø3 mm HSSE DIN338W		1,1	8.500	6	3'
1	3	Avellanado plano a Ø7 mm x2	Fresa cilíndrica dentado frontal Ø2 mm Tipo HSS A 1225ST/6 dent 2			12.700	3	3'
1	4	Giro de la pieza y sujeción con garras zonas 1						10'

Fase	Operac.	Designación	Herramienta	Nº pas	V (m/min)	n (rpm)	L (mm)	Tiempo
2	1	Recrecido agujeros a Ø5,5 mm 4 ud	Fresa cilíndrica dentado frontal Ø2 mm Tipo HSS A 1225ST/6 dent 2			12.700	3	2'
2	2	Taladrado salidas de fresa x2	Broca Ø3 mm HSSE DIN338W		1,1	8.500	3	2'
2	3	Fresado de cajera	Fresa cilíndrica dentado frontal Ø6 mm Tipo HSS A 1225ST/6 dent 2	2	6,3	10.700	110	4'
Observaciones:								
Tiempo de preparación = 5'				Tiempo Total		42'		

# HOJA DE PROCESO

Autor:  
Rubén Antolín

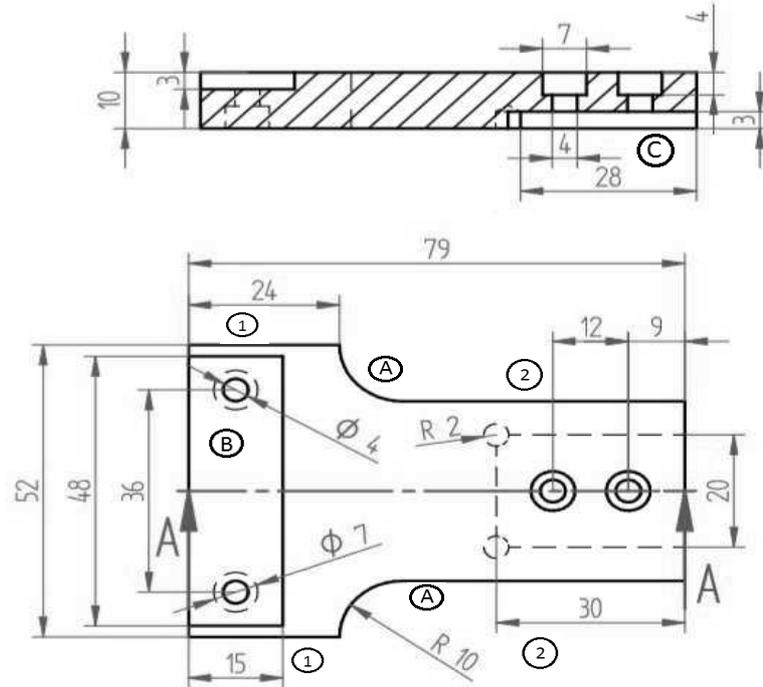
Máquina  
CNC

Hoja nº.  
6

Material:  
Aluminio

Dimensiones:  
Según dibujo

Medidas sin tolerancia:  
UNE EN 22768 m



Fase	Operac.	Designación	Herramienta	Nº pas	V (m/min)	n (rpm)	L (mm)	Tiempo
1	1	Amarre de la pieza con garras en las zonas 1						10'
1	2	Taladrado agujeros pasantes x4	Broca helicoidal Ø4mm HSSE DIN338W		0,83	6.400	8	3'
1	3	Avellanado plano a Ø7 mm x2	Fresa cilíndrica dentado frontal Ø2 mm Tipo HSS A 1225ST/6 dent 2			12.700	5	2'
1	4	Fresado de superficie A x2	Fresa cilíndrica dentado frontal Ø6 mm Tipo HSS A 1225ST/6 dent 2	4	6,3	10.700	55	6'

Fase	Operac.	Designación	Herramienta	Nº pas	V (m/min)	n (rpm)	L (mm)	Tiempo
1	5	Fresado de superficie B x2	Fresa cilíndrica dentado frontal Ø6 mm Tipo HSS A 1225ST/6 dent 2	9	6,3	10.700	15	7'
1	1	Giro de la pieza 180º con garras en posición 2						10'
1	5	Taladros salida de fresa x2	Broca helicoidal Ø3mm HSSE DIN338W		1,1	8.500	3	3'
1	3	Avellanado plano a Ø7 mm x2	Fresa cilíndrica dentado frontal Ø2 mm Tipo HSS A 1225ST/6 dent 2			12.700	5	2'
1	4	Fresado de superficie C	Fresa cilíndrica dentado frontal Ø6 mm Tipo HSS A 1225ST/6 dent 2	4	6,3	10.700	30	6'
Observaciones: Tiempo de preparación = 5'								
				Tiempo Total				54'

# HOJA DE PROCESO

Autor:  
Rubén Antolín

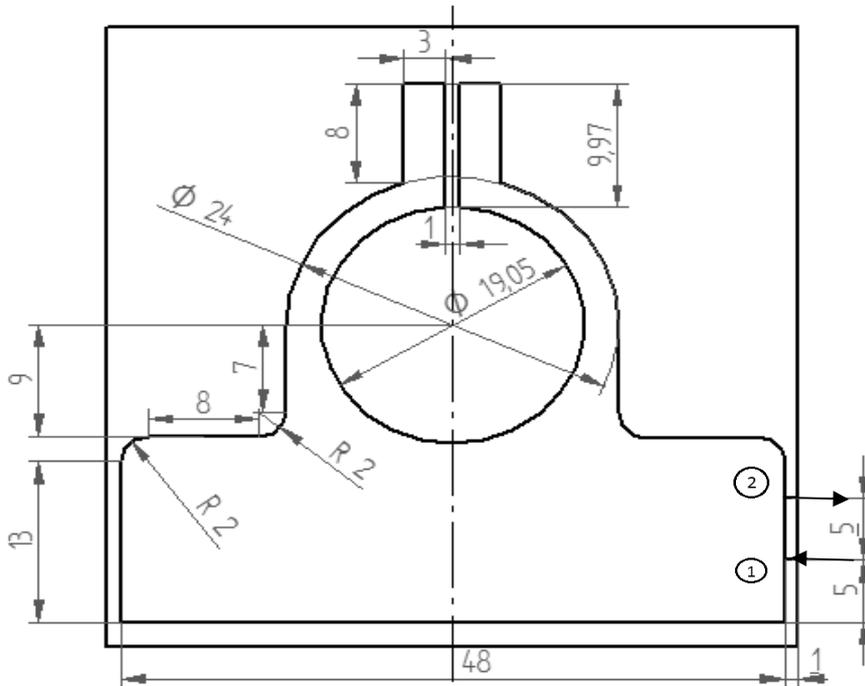
Máquina  
WEDM

Hoja nº.  
7

Material:  
Aluminio

Dimensiones:  
Según dibujo

Medidas sin tolerancia:  
UNE EN 22768 m



Fase	Operac.	Designación	Herramienta	No pas	V (m/min)	n (rpm)	L (mm)	Tiempo
1		Amarre de la pieza con bridas en las Zonas 1, 2 y 3	Bridas					10'
2		Corte por WEDM	Hilo $\varnothing 0,25\text{mm}$ Inicio en punto 1 y final en punto 2	1	10	206,5		21'
Observaciones: Preparación de la pieza =8'								
				Tiempo Total				39'

# HOJA DE PROCESO

Autor:  
Rubén Antolín

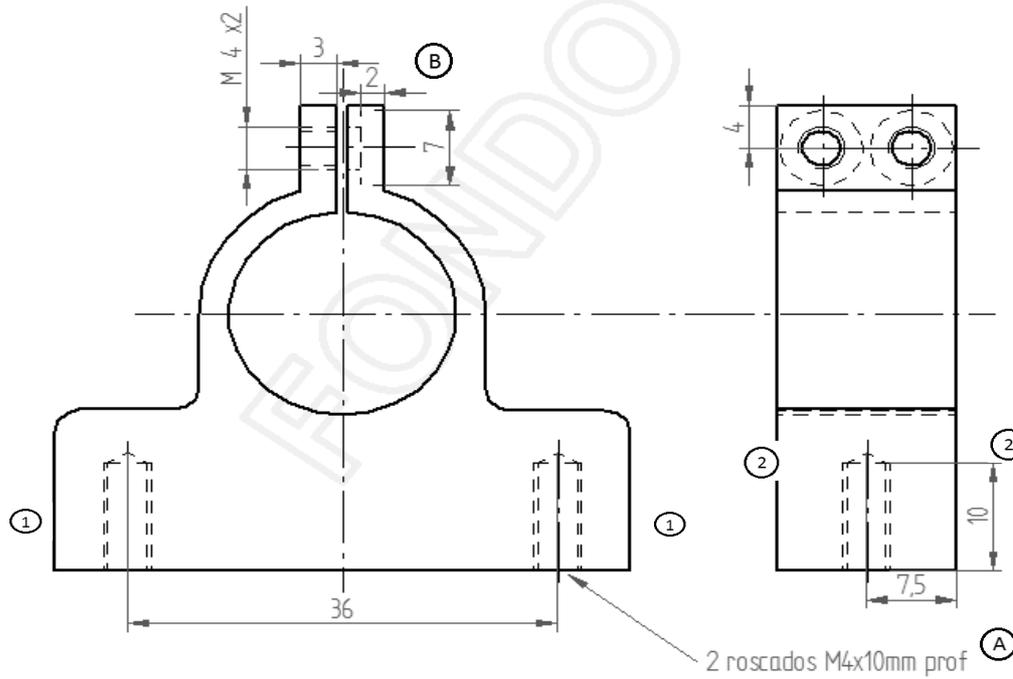
Máquina  
CNC

Hoja nº.  
8

Material:  
Aluminio

Dimensiones:  
Según dibujo

Medidas sin tolerancia:  
UNE EN 22768 m



Fase	Operac.	Designación	Herramienta	Nº pas	V (m/min)	n (rpm)	L (mm)	Tiempo
1	1	Amarre de la pieza con garras en las zonas 1						10'
1	2	Taladros previos a M4 en superficie A x2	Broca helicoidal $\varnothing 3,3\text{mm}$ HSSE DIN338W	1	7.700	12		3'
1	3	Roscados a M4 en superficie A x2	Macho de roscar M4 B DIN 376 M4 ISO 2 6H HSS-E	1,12	1.600	10		5'
2	1	Giro y amarre de la pieza a zona 2						10'

Fase	Operac.	Designación	Herramienta	Nº pas	V (m/min)	n (rpm)	L (mm)	Tiempo
2	2	Taladros previos a M4 en superficie B x2	Broca helicoidal Ø3,3mm HSSE DIN338W		1	7.700	12	5'
2	3	Roscados a M4 en superficie B x2	Macho de roscar M4 B DIN 376 M4 ISO 2 6H HSS-E		1,12	1.600	10	5'
2	4	Avellanado plano a Ø7mm x2	Fresa cilíndrica dentado frontal Ø2 mm Tipo HSS A 1225ST/6 dent 2			15.000	2	3'
2	5	Recrecido agujero Ø4mm x2	Fresa cilíndrica dentado frontal Ø2 mm Tipo HSS A 1225ST/6 dent 2			12.700	2	3'
Observaciones: Preparación de la pieza = 8'				Tiempo Total		53'		

# HOJA DE PROCESO

Autor:  
Rubén Antolín

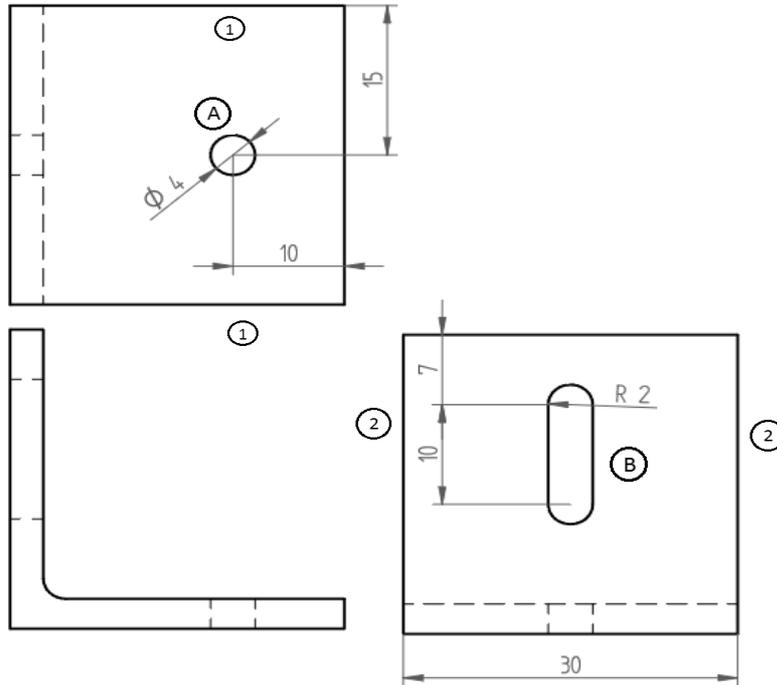
Máquina  
CNC

Hoja nº.  
9

Material:  
Aluminio

Dimensiones:  
Según dibujo

Medidas sin tolerancia:  
UNE EN 22768 m



Fase	Operac.	Designación	Herramienta	Nº pas	V (m/min)	n (rpm)	L (mm)	Tiempo
1	1	Amarre de la pieza con garras en las zonas 1						5'
1	2	Taladro A	Broca helicoidal Ø4 mm HSS-R HSSE DIN338W		0,83	6.400	6	1'
2	1	Amarre de la pieza con garras en las zonas 2						5'
2	2	Fresado Ø4 y 10 mm	Fresa cilíndrica Ø4 mm dentado frontal Tipo HSS A 1225ST/6 dent 2 y periférico		7,2	16.000	10	2'
Observaciones: Tiempo de preparación = 2'								
				Tiempo Total		15'		

# HOJA DE PROCESO

Autor:  
Rubén Antolín

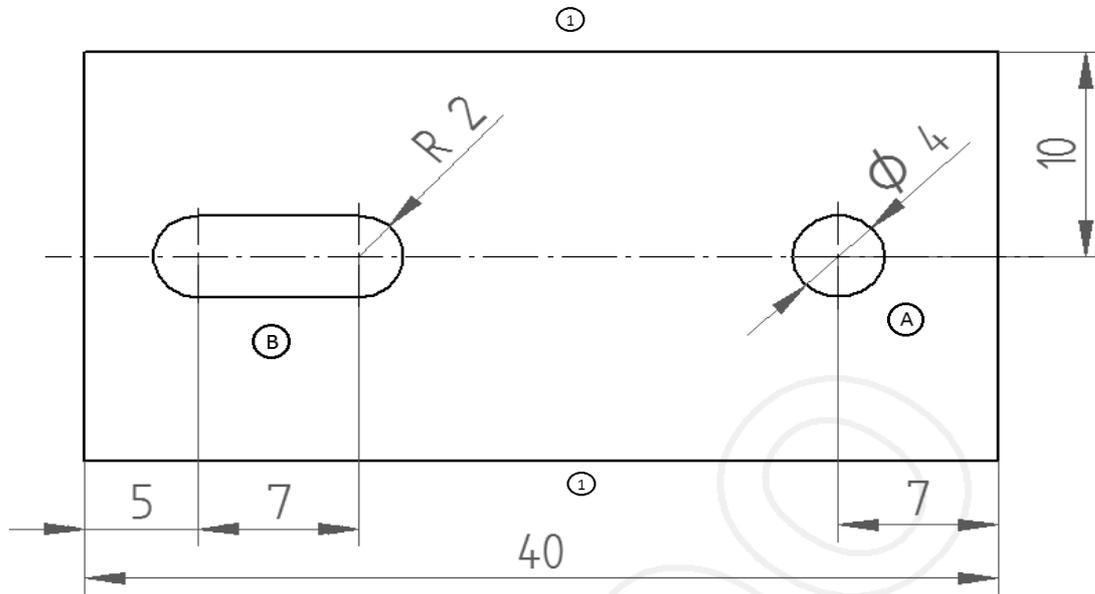
Máquina  
CNC

Hoja nº.  
10

Material:  
Aluminio

Dimensiones:  
Según dibujo

Medidas sin tolerancia:  
UNE EN 22768 m



Fase	Operac.	Designación	Herramienta	Nº pas	V (m/min)	n (rpm)	L (mm)	Tiempo
1	1	Amarre de la pieza con garras en las zonas 1						5'
1	2	Taladro A	Broca helicoidal $\varnothing 4$ mm HSS-R HSSE DIN338W		0,83	6.400	3	1'
1	3	Fresado B $\varnothing 4$ y long 7 mm	Fresa cilíndrica $\varnothing 4$ mm dentado frontal Tipo HSS A 1225ST/6 dent 2 y periférico		7,2	16.000	7	2'
Observaciones:								
Tiempo de preparación = 2'				Tiempo Total		10'		

# HOJA DE PROCESO

Autor:  
Rubén Antolín

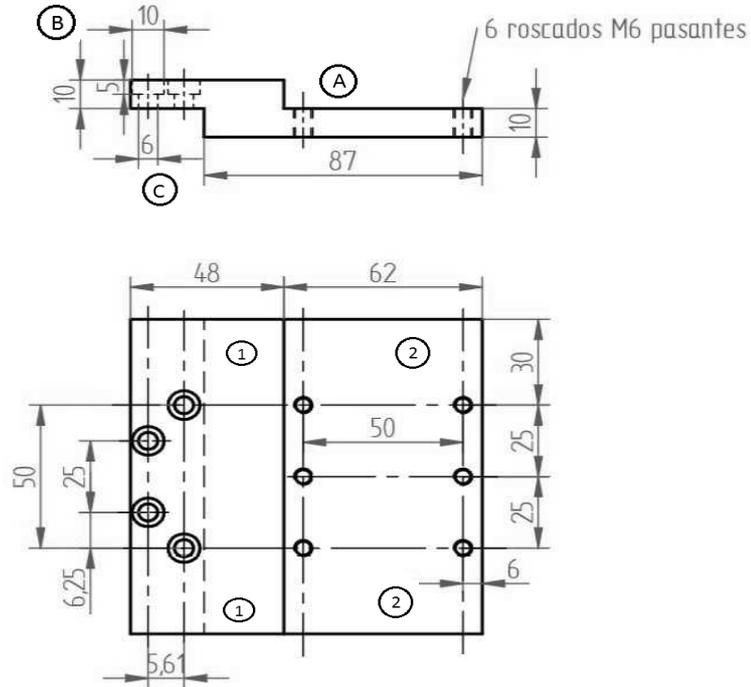
Máquina  
CNC

Hoja nº.  
11

Material:  
Aluminio

Dimensiones:  
Según dibujo

Medidas sin tolerancia:  
UNE EN 22768 m



Fase	Operac.	Designación	Herramienta	Nº pas	V (m/min)	n (rpm)	L (mm)	Tiempo
1	1	Amarre de la pieza con garras en las zonas 1						10'
1	2	Fresado Superficie A	Fresa cilíndrica dentado frontal Ø12 mm Tipo HSS A 1225ST/6 dent 2	6	5,4	5.400	110	5'
1	3	Taladro previo a M6  x6	Broca helicoidal Ø5mm HSSE DIN338W		0,72	5.300	10	10'
1	4	Roscado a M6  x6	Macho de roscar M6 B DIN 376 M6 ISO 2 6H HSS-E		1,1	1.100	10	6'

Fase	Operac.	Designación	Herramienta	Nº pas	V (m/min)	n (rpm)	L (mm)	Tiempo
1	5	Taladro pasante B x4	Broca helicoidal Ø6mm HSSE DIN338W		0,53	5.300	110	3'
1	6	Avellanado plano a Ø10 mm x4	Fresa cilíndrica dentado frontal Ø2 mm Tipo HSS A 1225ST/6 dent 2			12.700	5	3'
2	1	Amarre de la pieza con garras en las zonas 2						10'
2	2	Fresado Superficie C	Fresa cilíndrica dentado frontal Ø12 mm Tipo HSS A 1225ST/6 dent 2	6	5,4	5.400	110	6'
Observaciones:								
Tiempo de preparación = 5'				Tiempo Total		58'		

# HOJA DE PROCESO

Autor:  
Rubén Antolín

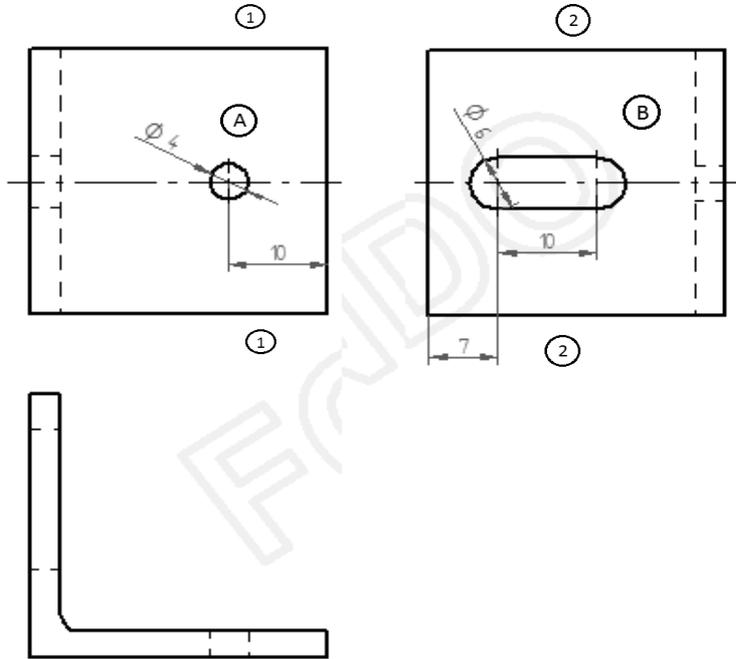
Máquina  
CNC

Hoja nº.  
12

Material:  
Aluminio

Dimensiones:  
Según dibujo

Medidas sin tolerancia:  
UNE EN 22768 m



Fase	Operac.	Designación	Herramienta	Nº pas	V (m/min)	n (rpm)	L (mm)	Tiempo
1	1	Amarre de la pieza con garras en las zonas 1						5'
1	2	Taladro A	Broca helicoidal $\varnothing 4$ mm HSS-R HSSE DIN338W		0,8	6.400	6	1'
2	1	Amarre de la pieza con garras en las zonas 2						5'
2	2	Fresado $\varnothing 6$ 10 mm	Fresa cilíndrica $\varnothing 6$ mm dentado frontal Tipo HSS A 1225ST/6 dent 2 y periférico	1	6,3	10.700	10	2'
Observaciones: Tiempo de preparación = 2'				Tiempo Total		15'		

# HOJA DE PROCESO

Autor:  
Rubén Antolín

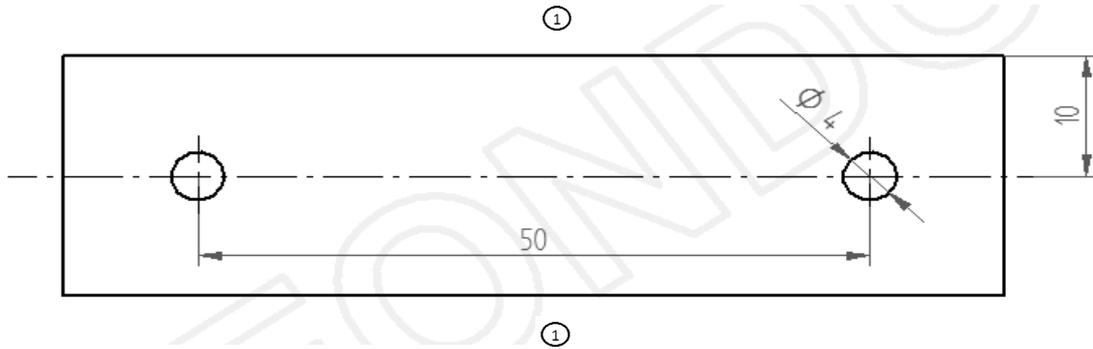
Máquina  
CNC

Hoja nº.  
13

Material:  
Aluminio

Dimensiones:  
Según dibujo

Medidas sin tolerancia:  
UNE EN 22768 m



Fase	Operac.	Designación	Herramienta	Nº pas	V (m/min)	n (rpm)	L (mm)	Tiempo
1	1	Amarre de la pieza con garras en las zonas 1						5'
1	2	Taladro A	Broca helicoidal $\varnothing 4$ mm HSS-R HSS-R, DIN 338		0,8	6.400	3	1'
Observaciones:								
Tiempo de preparación = 4'				Tiempo Total		10'		

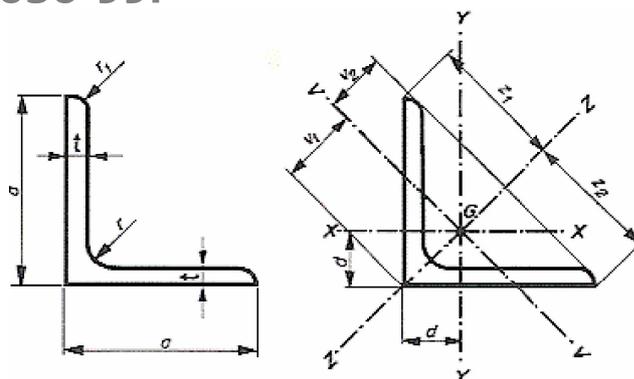
# Anexo III:

# Catálogos



### 3.5. ANGULARES DE LADOS IGUALES (Perfiles L). UNE EN 10056-99.



**Tabla 3-21 Angulares de lados iguales (Perfiles L) - Dimensiones y características geométricas de los angulares laminados en caliente de lados iguales**

Designación	Masa Kg/m	Área de la sección cm <sup>2</sup>	Dimensiones			Distancias al centro de gravedad			Características geométricas respecto de los ejes							
			a	t	r <sub>unión</sub>	C <sub>x</sub> =C <sub>v</sub>	C <sub>u</sub>	C <sub>v</sub>	X-X = Y-Y			U-U		V-V		
									l <sub>x</sub> = l <sub>y</sub>	r <sub>x</sub> = r <sub>y</sub>	Z <sub>x</sub> = Z <sub>y</sub>	I <sub>u</sub>	r <sub>u</sub>	I <sub>v</sub>	r <sub>v</sub>	Z <sub>v</sub>
mm	mm	mm	cm	cm	cm	cm <sup>4</sup>	cm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm	cm <sup>3</sup>			
L 20 x 20 x 3	0.882	1.12	20	3	3.5	0.598	1.41	0.846	0.392	0.590	0.279	0.618	0.742	0.165	0.383	0.195
L 25 x 25 x 3	1.12	1.42	25	3	3.5	0.723	1.77	1.02	0.803	0.751	0.452	1.27	0.945	0.334	0.484	0.326
L 25 x 25 x 4	1.45	1.85	25	4	3.5	0.762	1.77	1.08	1.02	0.741	0.586	1.61	0.931	0.430	0.482	0.399
L 30 x 30 x 3	1.36	1.74	30	3	5	0.835	2.12	1.18	1.40	0.899	0.649	2.22	1.13	0.585	0.581	0.496
L 30 x 30 x 4	1.78	2.27	30	4	5	0.878	2.12	1.24	1.80	0.892	0.850	2.85	1.12	0.754	0.577	0.607
L 35 x 35 x 4	2.09	2.67	35	4	5	1.00	2.47	1.42	2.95	1.05	1.18	4.68	1.32	1.23	0.678	0.865
L 40 x 40 x 4	2.42	3.08	40	4	6	1.12	2.83	1.58	4.47	1.21	1.55	7.09	1.52	1.86	0.777	1.17
L 40 x 40 x 5	2.97	3.79	40	5	6	1.16	2.83	1.64	5.43	1.20	1.91	8.60	1.51	2.26	0.773	1.38
L 45 x 45 x 4.5	3.06	3.90	45	4.5	7	1.25	3.18	1.78	7.14	1.35	2.20	11.4	1.71	2.94	0.870	1.65
L 50 x 50 x 4	3.06	3.89	50	4	7	1.36	3.54	1.92	8.97	1.52	2.46	14.2	1.91	3.73	0.979	1.94
L 50 x 50 x 5	3.77	4.80	50	5	7	1.40	3.54	1.99	11.0	1.51	3.05	17.4	1.90	4.55	0.973	2.29
L 50 x 50 x 6	4.47	5.69	50	6	7	1.45	3.54	2.04	12.8	1.50	3.61	20.3	1.89	5.34	0.968	2.61
L 60 x 60 x 5	4.57	5.82	60	5	8	1.64	4.24	2.32	19.4	1.82	4.45	30.7	2.30	8.03	1.17	3.46
L 60 x 60 x 6	5.42	6.91	60	6	8	1.69	4.24	2.39	22.8	1.82	5.29	36.1	2.29	9.44	1.17	3.96
L 60 x 60 x 8	7.09	9.03	60	8	8	1.77	4.24	2.50	29.2	1.80	6.89	46.1	2.26	12.2	1.16	4.86
L 65 x 65 x 7	6.83	8.7	65	7	9	1.85	4.60	2.62	33.4	1.96	7.18	53.0	2.47	13.8	1.26	5.27
L 70 x 70 x 6	6.38	8.13	70	6	9	1.93	4.95	2.73	36.9	2.13	7.27	58.5	2.68	15.3	1.37	5.60
L 70 x 70 x 7	7.38	9.40	70	7	9	1.97	4.95	2.79	42.3	2.12	8.41	67.1	2.67	17.5	1.36	6.28
L 75 x 75 x 6	6.85	8.73	75	6	9	2.05	5.30	2.90	45.8	2.29	8.41	72.7	2.89	18.9	1.47	6.53
L 75 x 75 x 8	8.99	11.4	75	8	9	2.14	5.30	3.02	59.1	2.27	11.0	93.8	2.86	24.5	1.46	8.09
L 80 x 80 x 8	9.63	12.3	80	8	10	2.26	5.66	3.19	72.2	2.43	12.6	115	3.06	29.9	1.56	9.37
L 80 x 80 x 10	11.9	15.1	80	10	10	2.34	5.66	3.30	87.5	2.41	15.4	139	3.03	36.4	1.55	11.0
L 90 x 90 x 7	9.61	12.2	90	7	11	2.45	6.36	3.47	92.6	2.75	14.1	147	3.46	38.3	1.77	11.0
L 90 x 90 x 8	10.9	13.9	90	8	11	2.50	6.36	3.53	104	2.74	16.1	166	3.45	43.1	1.76	12.2
L 90 x 90 x 9	12.2	15.5	90	9	11	2.54	6.36	3.59	116	2.73	17.9	184	3.44	47.9	1.76	13.3
L 90 x 90 x 10	13.4	17.1	90	10	11	2.58	6.36	3.65	127	2.72	19.8	201	3.42	52.6	1.75	14.4
L 100 x 100 x 8	12.2	15.5	100	8	12	2.74	7.07	3.87	145	3.06	19.9	230	3.85	59.9	1.96	15.5
L 100 x 100 x 10	15.0	19.2	100	10	12	2.82	7.07	3.99	177	3.04	24.6	280	3.83	73.0	1.95	18.3
L 100 x 100 x 12	17.8	22.7	100	12	12	2.90	7.07	4.11	207	3.02	29.1	328	3.80	85.7	1.94	20.9
L 120 x 120 x 10	18.2	23.2	120	10	13	3.31	8.49	4.69	313	3.67	36.0	497	4.63	129	2.36	27.5
L 120 x 120 x 12	21.6	27.5	120	12	13	3.40	8.49	4.80	368	3.65	42.7	584	4.60	152	2.35	31.6
L 130 x 130 x 12	23.6	30.0	130	12	14	3.64	9.19	5.15	472	3.97	50.4	750	5.00	194	2.54	37.7
L 150 x 150 x 10	23.0	29.3	150	10	16	4.03	10.6	5.71	624	4.62	56.9	990	5.82	258	2.97	45.1
L 150 x 150 x 12	27.3	24.8	150	12	16	4.12	10.6	5.83	737	4.60	67.7	1170	5.80	303	2.95	52.0
L 150 x 150 x 15	33.8	43.0	150	15	16	4.25	10.6	6.01	989	4.57	83.5	1430	5.76	370	2.93	61.6
L 160 x 160 x 15	36.2	46.1	160	15	17	4.49	11.3	6.35	1100	4.88	95.6	1750	6.15	453	3.14	71.3
L 180 x 180 x 16	43.5	55.4	180	16	18	5.02	12.7	7.11	1680	5.51	130	2690	6.96	679	3.50	95.5
L 180 x 180 x 18	48.6	61.9	180	18	18	5.10	12.7	7.22	1870	5.49	145	2960	6.92	768	3.52	106



L 200 x 200 x 16	48.5	61.8	200	16	18	5.52	14.1	7.81	2430	6.16	162	3740	7.76	960	3.94	123
L 200 x 200 x 18	54.3	69.1	200	18	18	5.60	14.1	7.92	2600	6.13	181	4150	7.75	1050	3.90	133
L 200 x 200 x 20	59.9	76.3	200	20	18	5.68	14.1	8.04	2850	6.11	199	4530	7.70	1170	3.92	146
L 200 x 200 x 24	71.1	90.6	200	24	18	5.84	14.1	8.26	3330	6.06	235	5280	7.64	1380	3.90	167

Calidad: S275 JR – S355J2G3

# Fresas con mango HSS

## Fresas HSS



### Intervalo de revoluciones recomendadas [r.p.m.]

Para determinar el intervalo de velocidad de corte [m/min] recomendado, proceda como sigue:

- ❶ Elegir el material a mecanizar.
- ❷ Asignar tipo de trabajo.
- ❸ Seleccionar dentado.
- ❹ Determinar nivel de la velocidad de corte.

Para determinar el n° de revoluciones [r.p.m.] proceda como sigue:

- ❺ Elegir diámetro de la fresa deseado.
- ❻ El nivel de la velocidad de corte y el diámetro de la fresa arrojan el n° de revoluciones recomendado.

❶ Materiales			❷ Tipo de trabajo	❸ Dentado	❹ Velocidad de corte
Acero y fundición de acero	Aceros sin templar mejorados, hasta 1200 N/mm <sup>2</sup> (< 38 HRC)	Aceros construcción, aceros al carbono, aceros herramientas, aceros sin alear, aceros cementación y fundición de acero	Arranque de material basto = elevado arranque	2	60 - 80 m/min
				3	
Acero fino (INOX)	Aceros inoxidables y resistentes a ácidos	Aceros austeníticos y ferríticos	Arranque de material basto = elevado arranque	3	80 - 100 m/min
			Arranque de material fino = mínimo arranque	5	60 - 80 m/min
Metales no férricos	Aceros no férricos blandos	Aleaciones de aluminio latón, cobre y cinc	Arranque de material basto = elevado arranque	ALU	200 - 300 m/min
				1	
Fundición	Hierro fundido gris y hierro fundido blanco	Hierro fundido con grafito laminar EN-GJL (GG), con grafito esférico/fundición nodular EN-GJS (GGG), fundición maleable blanca EN-GJMW (GTW) y negra EN-GJMB (GTS)	Arranque de material basto = elevado arranque	2	60 - 80 m/min
				3	
Plásticos y otros materiales	Termoplásticos y duroplásticos reforzados con fibra, goma dura y madera		Arranque de material basto = elevado arranque	3	80 - 100 m/min
				5	
Plásticos y otros materiales	Termoplásticos y duroplásticos reforzados con fibra, goma dura y madera		Arranque de material basto = elevado arranque	ALU	200 - 300 m/min
				1	
Plásticos y otros materiales	Termoplásticos y duroplásticos reforzados con fibra, goma dura y madera		Arranque de material basto = elevado arranque	1	250 - 300 m/min
			Arranque de material fino = mínimo arranque	2	200 - 250 m/min

#### Ejemplo:

Fresa HSS y dentado 2.  
Diámetro de la herramienta 12 mm.  
Arranque de viruta basto de aceros sin templar, no mejorados.

Velocidad de corte: 60 - 80 m/min

#### Nivel del n° de revoluciones:

1.600 - 2.100 r.p.m.

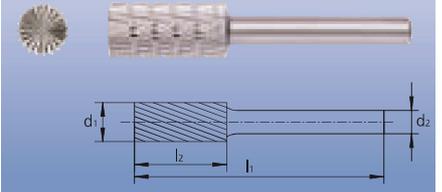
❺ ø [mm]	❹ Velocidades de corte [m/min]					
	60	80	100	200	250	300
	N° de revoluciones [r.p.m.]					
1,6	12.000	16.000	19.900	39.800	49.800	59.700
2,3	8.400	11.100	13.900	27.700	34.600	41.600
3,2	6.000	8.000	10.000	19.900	24.900	29.900
4,0	4.800	6.400	8.000	16.000	19.900	23.900
5,0	3.900	5.100	6.400	12.800	16.000	19.100
6,0	3.200	4.300	5.400	10.700	13.300	16.000
7,0	2.800	3.700	4.600	9.100	11.400	13.700
8,0	2.400	3.200	4.000	8.000	10.000	12.000
10,0	2.000	2.600	3.200	6.400	8.000	9.600
12,0	1.600	2.200	2.700	5.400	6.700	8.000
14,0	1.400	1.900	2.300	4.600	5.700	6.900
16,0	1.200	1.600	2.000	4.000	5.000	6.000



Fresa cilíndrica con dentado frontal.

**Ejemplo de pedido:**  
 EAN 4007220**058596**  
 HSS A 0413ST/6 D3  
 Indicar dentado deseado.

**Forma cilíndrica A ST con dentado frontal**

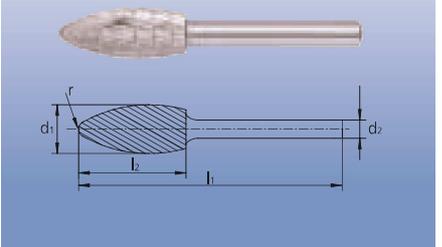


Descripción de pedido	ALU	Dentados				ø del mango d <sub>2</sub> [mm]	ø de la fresa x longitud d <sub>1</sub> x l <sub>2</sub> [mm]	Longitud total l <sub>1</sub> [mm]		
		1	2	3	5					
	<b>EAN 4007220</b>									
HSS A 0413ST/6	-	-	-	058596	-	6	4 x 13	60	5	62
HSS A 0616ST/6	-	058602	058619	058626	058633	6	6 x 16	60	5	70
HSS A 0820ST/6	-	-	-	058640	-	6	8 x 20	60	5	82
HSS A 1013ST/6	-	058657	058664	058671	-	6	10 x 13	53	5	85
HSS A 1020ST/6	-	-	-	058695	-	6	10 x 20	60	5	86
HSS A 1225ST/6	-	058701	058718	058725	058732	6	12 x 25	65	5	170
HSS A 1625ST/6	801345	-	058756	058763	-	6	16 x 25	65	5	240

Fresa forma llama.

**Ejemplo de pedido:**  
 EAN 4007220**058787**  
 HSS B 0820/6 D3

**Forma llama B**



Descripción de pedido	Dentado 3	ø del mango d <sub>2</sub> [mm]	ø de la fresa x longitud d <sub>1</sub> x l <sub>2</sub> [mm]	Longitud total l <sub>1</sub> [mm]	Radio r [mm]		
	<b>EAN 4007220</b>						
HSS B 0820/6	058787	6	8 x 20	60	1,5	5	80
HSS B 1230/6	058794	6	12 x 30	70	2,0	5	110
HSS B 1635/6	058800	6	16 x 35	75	2,6	5	180





# Materiales sintéticos



## Rosca pasante

Comportamiento del virutaje

viruta corta

viruta larga

Profundidad rosca  $\leq 3xD$

Material de corte	HSS-E	ent. MD	HSS-E	NIB	NIB	NIB	HSS-E	NIB	NIB
Tipoforma	HIC	Ms/C	HIC	brillante	brillante	brillante	brillante	brillante	brillante
Acabado	<input checked="" type="checkbox"/>								
Refrigeración interior	<input checked="" type="checkbox"/>								

### Valores orientativos

herramientas sin recubrimiento  $v_c \leq 15$  m/min

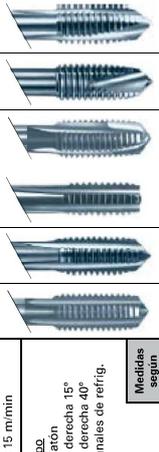
Explicación tipo

Ms = para latón

R15 = rosca derecha 15°

R40 = rosca derecha 40°

\*<M5 = sin canales de refriger.



Medidas según DIN 2184-1 (corta)

Art. n°/Gama de Ø	Art. n°/Gama de Ø	Art. n°/Gama de Ø
800 M3...10	800 M3...10	800 M3...10
839 M1...10	839 M1...10	838 M1...10
796 M1...10	796 M1...10	869 M2...M10
847 M3...10	847 M3...10	846 M3...18
870 M10...20	870 M10...20	

MF	UNC	UNF	M (corta)
ISO 2 6H	ISO 2 6H	ISO 2 6H	ISO 2 6H
ISO 3 6G	ISO 3 6G	ISO 3 6G	ISO 3 6G
DIN 371	DIN 371	DIN 371	DIN 371
DIN 374	DIN 374	DIN 374	DIN 374
DIN ~371	DIN ~371	DIN ~371	DIN ~371
DIN ~376	DIN ~376	DIN ~376	DIN ~376
DIN ~374	DIN ~374	DIN ~374	DIN ~374
DIN 352	DIN 352	DIN 352	DIN 352
DIN 991 M2...24	DIN 991 M2...24	DIN 991 M2...24	DIN 991 M2...24
DIN 996 M2...12	DIN 996 M2...12	DIN 996 M2...12	DIN 996 M2...12

# Materiales sintéticos



## Rosca pasante

Profundidad rosca  $\leq 3xD$

Material de corte	HSS-E	Enteiza MD	HSS-E	NL15/C	HIC	HIC
Tipoforma	HIC	Ms/C	HIC	brillante	brillante	brillante
Acabado	<input checked="" type="checkbox"/>					
Refrigeración interior	<input checked="" type="checkbox"/>					

### Valores orientativos

herramientas sin recubrimiento  $v_c \leq 8$  m/min

Explicación tipo

AZ = con dientes alternos

L15 = rosca izquierda 15°

R15 = rosca derecha 15°

\*<M5 = sin canales de refriger.



Medidas según DIN 2184-1

Art. n°/Gama de Ø	Art. n°/Gama de Ø	Art. n°/Gama de Ø
788 M2...M10	788 M2...M10	788 M2...M10
970 M3...M10	970 M3...M10	969 M3...M10
1858 M5...M10	1858 M5...M10	1858 M5...M10
1859 M12...20	1859 M12...20	1859 M12...20
975 M4x0,5 hasta M10x1	975 M4x0,5 hasta M10x1	975 M4x0,5 hasta M10x1
976 M12x1,5 hasta M18x1,5	976 M12x1,5 hasta M18x1,5	976 M12x1,5 hasta M18x1,5
1861 M6x0,5 hasta M10x1	1861 M6x0,5 hasta M10x1	1861 M6x0,5 hasta M10x1
1860 M12x1,5 hasta M18x1,5	1860 M12x1,5 hasta M18x1,5	1860 M12x1,5 hasta M18x1,5

MF	UNC	UNF
ISO 2 6H	ISO 2 6H	ISO 2 6H
ISO 3 6G	ISO 3 6G	ISO 3 6G
DIN 371	DIN 371	DIN 371
DIN 374	DIN 374	DIN 374
DIN ~371	DIN ~371	DIN ~371
DIN ~376	DIN ~376	DIN ~376
DIN ~374	DIN ~374	DIN ~374



# Materiales sintéticos

## Rosca ciega

Profundidad rosca  $\leq 3xD$

Material de corte	HSS-E	Enteiza MD	HSS-E	NR15/C	HIC	HIC
Tipoforma	HIC	Ms/C	HIC	brillante	brillante	brillante
Acabado	<input checked="" type="checkbox"/>					
Refrigeración interior	<input checked="" type="checkbox"/>					

### Valores orientativos

herramientas sin recubrimiento  $v_c \leq 8$  m/min

Explicación tipo

AZ = con dientes alternos

L15 = rosca izquierda 15°

R15 = rosca derecha 15°

\*<M5 = sin canales de refriger.



Medidas según DIN 2184-1

Art. n°/Gama de Ø	Art. n°/Gama de Ø	Art. n°/Gama de Ø
788 M2...M10	788 M2...M10	788 M2...M10
971 M3...M10	971 M3...M10	971 M3...M10
1858 M5...M10	1858 M5...M10	1858 M5...M10
1859 M12...20	1859 M12...20	1859 M12...20
975 M4x0,5 hasta M10x1	975 M4x0,5 hasta M10x1	975 M4x0,5 hasta M10x1
976 M12x1,5 hasta M18x1,5	976 M12x1,5 hasta M18x1,5	976 M12x1,5 hasta M18x1,5
1861 M6x0,5 hasta M10x1	1861 M6x0,5 hasta M10x1	1861 M6x0,5 hasta M10x1
1860 M12x1,5 hasta M18x1,5	1860 M12x1,5 hasta M18x1,5	1860 M12x1,5 hasta M18x1,5

MF	UNC	UNF
ISO 2 6H	ISO 2 6H	ISO 2 6H
ISO 3 6G	ISO 3 6G	ISO 3 6G
DIN 371	DIN 371	DIN 371
DIN 374	DIN 374	DIN 374
DIN ~371	DIN ~371	DIN ~371
DIN ~376	DIN ~376	DIN ~376
DIN ~374	DIN ~374	DIN ~374



# Materiales sintéticos



## Rosca pasante

Comportamiento del virutaje

viruta corta

viruta larga

Profundidad rosca  $\leq 3xD$

Material de corte	HSS-E	ent. MD	HSS-E	NIB	NIB	NIB	HSS-E	NIB	NIB
Tipoforma	HIC	Ms/C	HIC	brillante	brillante	brillante	brillante	brillante	brillante
Acabado	<input checked="" type="checkbox"/>								
Refrigeración interior	<input checked="" type="checkbox"/>								

### Valores orientativos

herramientas sin recubrimiento  $v_c \leq 15$  m/min

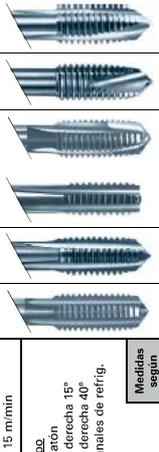
Explicación tipo

Ms = para latón

R15 = rosca derecha 15°

R40 = rosca derecha 40°

\*<M5 = sin canales de refriger.



Medidas según DIN 2184-1 (corta)

Art. n°/Gama de Ø	Art. n°/Gama de Ø	Art. n°/Gama de Ø
800 M3...10	800 M3...10	800 M3...10
839 M1...10	839 M1...10	838 M1...10
796 M1...10	796 M1...10	869 M2...M10
847 M3...10	847 M3...10	846 M3...18
870 M10...20	870 M10...20	

MF	UNC	UNF	M (corta)
ISO 2 6H	ISO 2 6H	ISO 2 6H	ISO 2 6H
ISO 3 6G	ISO 3 6G	ISO 3 6G	ISO 3 6G
DIN 371	DIN 371	DIN 371	DIN 371
DIN 374	DIN 374	DIN 374	DIN 374
DIN ~371	DIN ~371	DIN ~371	DIN ~371
DIN ~376	DIN ~376	DIN ~376	DIN ~376
DIN ~374	DIN ~374	DIN ~374	DIN ~374
DIN 352	DIN 352	DIN 352	DIN 352
DIN 991 M2...24	DIN 991 M2...24	DIN 991 M2...24	DIN 991 M2...24
DIN 996 M2...12	DIN 996 M2...12	DIN 996 M2...12	DIN 996 M2...12



# Materiales sintéticos

## Rosca ciega

Profundidad rosca  $\leq 3xD$

Material de corte	HSS-E	Enteiza MD	HSS-E	NR15/C	HIC	HIC
Tipoforma	HIC	Ms/C	HIC	brillante	brillante	brillante
Acabado	<input checked="" type="checkbox"/>					
Refrigeración interior	<input checked="" type="checkbox"/>					

### Valores orientativos

herramientas sin recubrimiento  $v_c \leq 8$  m/min

Explicación tipo

AZ = con dientes alternos

L15 = rosca izquierda 15°

R15 = rosca derecha 15°

\*<M5 = sin canales de refriger.



Medidas según DIN 2184-1

Art. n°/Gama de Ø	Art. n°/Gama de Ø	Art. n°/Gama de Ø
788 M2...M10	788 M2...M10	788 M2...M10
971 M3...M10	971 M3...M10	971 M3...M10
1858 M5...M10	1858 M5...M10	1858 M5...M10
1859 M12...20	1859 M12...20	1859 M12...20
975 M4x0,5 hasta M10x1	975 M4x0,5 hasta M10x1	975 M4x0,5 hasta M10x1
976 M12x1,5 hasta M18x1,5	976 M12x1,5 hasta M18x1,5	976 M12x1,5 hasta M18x1,5
1861 M6x0,5 hasta M10x1	1861 M6x0,5 hasta M10x1	1861 M6x0,5 hasta M10x1
1860 M12x1,5 hasta M18x1,5	1860 M12x1,5 hasta M18x1,5	1860 M12x1,5 hasta M18x1,5

MF	UNC	UNF
ISO 2 6H	ISO 2 6H	ISO 2 6H
ISO 3 6G	ISO 3 6G	ISO 3 6G
DIN 371	DIN 371	DIN 371
DIN 374	DIN 374	DIN 374
DIN ~371	DIN ~371	DIN ~371
DIN ~376	DIN ~376	DIN ~376
DIN ~374	DIN ~374	DIN ~374



brillante



sulfatizado



fase nitrurada



nitrurado



marrón dorado



TiAIN



AITIN



TiCN



FIRE



AICN



TIN



MolyGlide

Machine data					
	TruLaser 5030	TruLaser 5040	TruLaser 5060	TruLaser 5030 fiber	TruLaser 5040 fiber
<b>Working range</b>					
X axis	3000 mm	4000 mm	6000 mm	3000 mm	4000 mm
Y axis	1500 mm	2000 mm	2000 mm	1500 mm	2000 mm
Z axis	115 mm				
<b>Workpiece</b>					
Max. weight	1800 kg <sup>[3]</sup>	3200 kg <sup>[3]</sup>	4800 kg <sup>[3]</sup>	900 kg	1700 kg
<b>Max. speed</b>					
Simultaneous	300 m/min	300 m/min	300 m/min	265 m/min	245 m/min
<b>TRUMPF CNC control</b>	Siemens Sinumerik 840D SL				
<b>Accuracy<sup>[1]</sup></b>					
Position deviation P <sub>a</sub>	0.05 mm				
Average position scatter P <sub>s max</sub>	0.03 mm				
<b>Dimensions and weight<sup>[2]</sup></b>					
Length	9950 mm	12510 mm	16930 mm	8800 mm	11400 mm
Width	4600 mm	5400 mm	5420 mm	4800 mm	5430 mm
Height	2400 mm	2400 mm	2500 mm	2400 mm	2400 mm
Weight	12000 kg	14000 kg	17000 kg	12000 kg	13000 kg
<b>Available lasers</b>	TruFlow 6000/8000	TruFlow 6000/8000	TruFlow 6000/8000	TruDisk 3001/5001/8001	TruDisk 3001/5001/8001

<sup>[1]</sup> Position scatter information is given in reference to the entire working length. Positional accuracy is measured and approved according to VDI/DGQ 3441.

<sup>[2]</sup> Approximate values. The exact figures can be obtained from the applicable installation plan.

<sup>[3]</sup> This information applies to one pallet. The maximum weight for two pallets is not represented here.

Subject to alteration. Only specifications in our offer and order confirmation are binding.

Laser data					
	TruFlow 6000	TruFlow 8000	TruDisk 3001	TruDisk 5001	TruDisk 8001
Max. power	6000 W	8000 W	3000 W	5000 W	8000 W
Wavelength	10.6 µm	10.6 µm	1.03 µm	1.03 µm	1.03 µm
<b>Max. sheet thickness</b>					
Mild steel	25 mm	25 mm	20 mm	25 mm	25 mm
Stainless steel	25/30 <sup>[4]</sup> mm	50 mm	15 mm	20/25 <sup>[5]</sup> mm	20/40 <sup>[5]</sup> mm
Aluminum	15/20 <sup>[4]</sup> mm	25 mm	15 mm	20/25 <sup>[5]</sup> mm	20/25 <sup>[5]</sup> mm
Copper	–	–	6 mm	10 mm	10 mm
Brass	–	–	6 mm	10 mm	10 mm
<b>Power consumption</b>					
Average power consumption during production	31.6 kW	40.8 kW	11.9 kW	14.8 kW	19.8 kW
Active auto-shutdown	1.2 kW	1.2 kW	0.5 kW	0.5 kW	0.9 kW

<sup>[4]</sup> With mirror cutting head.

<sup>[5]</sup> With BrightLine fiber.

Subject to alteration. Only specifications in our offer and order confirmation are binding.