



**Universidad**  
Zaragoza

TRABAJO FIN DE GRADO

---

DISEÑO DEL UTILLAJE DE SUJECIÓN  
DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE  
LONGITUDES PARA LA VERIFICACIÓN  
DE MÁQUINA HERRAMIENTA

---

AUTOR:

IGNACIO DE LA VEGA ROMERO

DIRECTOR

FRANCISCO JAVIER BROSED DUESO

Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza  
2018-2019

# DISEÑO DEL UTILLAJE DE SUJECIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE LONGITUDES PARA LA VERIFICACIÓN DE MÁQUINA HERRAMIENTA

## RESUMEN

En la industria manufacturera, el propósito básico de las mediciones es verificar y asegurar, que el equipo fabricado coincida con las especificaciones dadas. Además, se buscan sistemas sencillos y versátiles que permitan llevar a cabo mediciones de diferentes elementos con un mismo equipo de medida.

Este trabajo de fin de grado [TFG] forma parte de un proyecto en el que se diseña un sistema que permita la verificación de una máquina herramienta. En concreto, el objetivo de este TFG es el diseño de un utillaje que amarre el sistema de verificación a la máquina.

Para llevar a cabo el trabajo, en primer lugar, se analiza el entorno de trabajo y las condiciones de contorno del sistema de medición. Posteriormente se busca la forma más adecuada de disponer el sistema. Una vez escogida dicha disposición, se analiza qué geometría permite verificar un mayor espacio de trabajo sin que se produzcan colisiones en el sistema. Para llevar a cabo esta tarea se desarrolla un programa que permite evaluar el número de puntos verificables según la geometría del utillaje.

Tras encontrar una geometría idónea del utillaje, se realiza un primer diseño del mismo, el cual se comprueba con CAD mecánico. Éste se rediseña hasta obtener un diseño, que pueda instalarse sin interferencias en la máquina.

Finalmente se escogen los materiales más adecuados y se realiza un análisis estático a través de elementos finitos.

## Contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1. MARCO.....	6
1.2. ALCANCE.....	6
1.3. OBJETIVOS.....	6
2. METODOLOGÍA Y HERRAMIENTAS.....	7
2.1. METODOLOGÍA EMPLEADA.....	7
2.1.1. DEFINICIÓN DEL ENTORNO DE TRABAJO.....	7
2.1.2. POSIBLES CONFIGURACIONES DEL SISTEMA DE MEDICIÓN.....	7
2.1.3. DESARROLLO DE HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS DE DATOS.....	8
2.1.4. OPTIMIZACIÓN DIMENSIONAL DE LOS PARÁMETROS DEL UTILLAJE.....	9
2.1.5. DEFINICIÓN DE OBJETIVOS ESTRUCTURALES Y DE DISEÑO DEL UTILLAJE.....	10
2.1.6. DISEÑO DEL UTILLAJE BASADO EN LOS ESTUDIOS ANTERIORES.....	10
2.1.7. VERIFICACIÓN DEL UTILLAJE Y MEJORA DEL MISMO.....	10
2.1.8. ESTUDIO DE ELEMENTOS FINITOS.....	11
2.1.9. ESQUEMA DE FABRICACIÓN.....	11
2.1.10. PROCESO DE MONTAJE.....	12
2.2. HERRAMIENTAS UTILIZADAS.....	12
3. ENTORNO FÍSICO DE LA MÁQUINA.....	13
3.1. DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA.....	13
3.2. GEOMETRÍA Y MOVIMIENTOS DEL DIVISOR.....	14
3.3. FUNCIONAMIENTO Y GEOMETRÍA DEL SISTEMA DE MEDICIÓN.....	15
3.4. CONDICIONES DE CONTORNO DEL SISTEMA DE VERIFICACIÓN.....	17
3.4.1. TETRAEDRO TRIRRECTÁNGULO.....	17
3.4.2. ALTURA MÍNIMA DE LOS ELEMENTOS TELESCÓPICOS.....	18
3.4.3. CARRERA DE LOS SISTEMAS TELESCÓPICOS.....	18
4. ELECCIÓN DE LA DISPOSICIÓN DEL UTILLAJE.....	19
4.1. DISTINTAS CONFIGURACIONES DE ANCLAR EL SISTEMA.....	19
4.2. ANÁLISIS DE CADA UNA DE LAS CONFIGURACIONES.....	21
4.2.1. CONFIGURACIÓN 1 → ESFERA EN MESA o DIVISOR – NIDOS EN TORRE.....	21
4.2.2. CONFIGURACIÓN 2 → NIDO EN MESA o DIVISOR – ESFERA EN TORRE.....	22
4.3. CONFIGURACIÓN SELECCIONADA.....	24
5. ESTUDIO DE LA GEOMETRÍA IDÓNEA DEL UTILLAJE EN LA CONFIGURACIÓN SIN DIVISOR.....	25
5.1. VARIACIÓN DE PARÁMETROS DE LA ESTRELLA Y SU EFECTO.....	27
5.1.1. VARIACIÓN DE LA LONGITUD DEL BRAZO DE LA ESTRELLA.....	27

5.1.2.	VARIACIÓN DEL ÁNGULO DE ORIENTACIÓN DE LOS BRAZOS DE LA ESTRELLA. ....	29
5.1.3.	DECALAJE EN X DE LA ESTRELLA.....	30
5.1.4.	DECALAJE EN Y DE LA ESTRELLA.....	31
5.1.5.	DECALAJE EN Z.....	33
5.2.	DECALAJE EN LA ESFERA .....	35
5.2.1.	DECALAJE EN X .....	35
5.2.2.	DECALAJE EN Y .....	36
5.2.3.	DECALAJE EN Z.....	36
5.3.	CONCLUSIONES DE LOS ANÁLISIS .....	37
5.4.	CONSTRUCCIÓN DE UN PRIMER DISEÑO .....	37
5.5.	MEJORAS DEL DISEÑO EN FUNCIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	39
6.	ESTUDIO DE LA GEOMETRÍA IDÓNEA DEL UTILLAJE EN LA CONFIGURACIÓN CON DIVISOR .....	41
6.1.	VARIACIÓN DE PARÁMETROS DE LA ESTRELLA Y SU EFECTO .....	43
6.1.1.	LONGITUD DEL BRAZO DE LA ESTRELLA.....	43
6.1.2.	ÁNGULO DE ORIENTACIÓN DE LOS BRAZOS DE LA ESTRELLA.....	43
6.1.3.	DECALAJE EN X DE LA ESTRELLA.....	44
6.1.4.	DECALAJE EN Y DE LA ESTRELLA.....	46
6.1.5.	DECALAJE EN Z DE LA ESTRELLA.....	47
6.2.	VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LA ESFERA Y SU EFECTO.....	49
6.2.1.	DECALAJE DEL RADIO .....	49
6.2.2.	VARIACIÓN DE LA ALTURA DEL PORTA-ESFERAS .....	50
6.3.	VARIACIÓN DE LA POSICIÓN DEL DIVISOR RESPECTO DEL CENTRO DE LA MESA Y SU EFECTO .....	52
6.3.1.	DECALAJE EN X .....	52
6.3.2.	DECALAJE EN Y .....	53
6.4.	CONSTRUCCIÓN DE UN PRIMER DISEÑO .....	54
7.	DISEÑO DEL UTILLAJE .....	56
7.1.	CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO .....	56
7.2.	PARTES DE LOS UTILLAJES DEL SISTEMA.....	56
7.3.	DISEÑO DEL UTILLAJE PARA EL ANCLAJE DE LA ESFERA.....	57
7.3.1.	UTILLAJE PARA ANCLAJE A LA MESA (CONFIGURACIÓN SIN DIVISOR) .....	57
7.3.2.	UTILLAJE PARA ANCLAJE AL PLATO DEL DIVISOR (CONFIGURACIÓN CON DIVISOR) .....	58
7.4.	DISEÑO DE LA ESTRELLA.....	59
7.4.1.	GEOMETRÍA Y MATERIAL EMPLEADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE LOS BRAZOS DE LA ESTRELLA	59

7.4.2.	DISEÑO DE LA BASE DE LA ESTRELLA .....	62
7.4.2.1.	ANCLAJE AL CABEZAL .....	62
7.4.2.2.	DECALAJE DEL CENTRO DE LA ESTRELLA.....	62
7.4.2.3.	EXPLICACIÓN DEL DISEÑO Y DE LAS DISTINTAS PARTES DE LA BASE.....	63
7.4.2.4.	ENSAMBLAJE DE LA BASE EN EL CABEZAL DE LA MÁQUINA.....	66
7.4.3.	DISEÑO Y PARTES DE LOS NIDOS.....	66
7.4.4.	ENSAMBLAJE DE LA ESTRELLA.....	67
7.4.5.	REDISEÑO DE LA ESTRELLA.....	67
7.4.6.	REDISEÑO PARA LA CONFIGURACIÓN SIN DIVISOR .....	68
7.4.7.	REDISEÑO PARA CONFIGURACIÓN CON DIVISOR:.....	69
7.5.	COMPROBACIÓN DEL DISEÑO.....	70
7.5.1.	CONFIGURACIÓN SIN DIVISOR .....	70
7.5.2.	CONFIGURACIÓN CON DIVISOR .....	71
7.6.	SEGUNDO REDISEÑO DEL UTILLAJE SIN DIVISOR .....	71
8.	COMPROBACIÓN DEL DISEÑO.....	74
8.1.	ANÁLISIS MECÁNICO DEL DISEÑO CON ELEMENTOS FINITOS .....	74
8.2.	FABRICABILIDAD.....	76
8.3.	ESQUEMA DE MONTAJE.....	77
9.	CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS .....	78
9.1.	CONCLUSIONES .....	78
9.2.	LINEAS FUTURAS .....	78
10.	REFERENCIAS.....	79
10.1.	CATÁLOGOS DE PIEZAS Y ELEMENTOS NORMALIZADOS .....	79
11.	ANEXO I ZONAS DE COLISIÓN DE LOS ELEMENTOS TELESCÓPICOS.....	81
12.	ANEXO II: PROGRAMA PARA EL ANÁLISIS DE PUNTOS VERIFICABLES .....	86
12.1.	SISTEMA DE COORDENADAS GLOBALES DEL PROGRAMA.....	86
12.2.	DATOS DE ENTRADA Y GEOMETRÍA:.....	86
12.2.1.	DATOS DE ENTRADA ESTRELLA (Parte superior).....	86
12.2.1.1.	DATOS DE ENTRADA DE LA ESFERA Y SU SUPERFICIE DE ANCLAJE (Parte inferior).....	87
12.3.	CÁLCULO DE LAS COORDENADAS DE LOS NIDOS.....	89
12.4.	CÁLCULO DE LAS COORDENADAS DE LA ESFERA CUANDO SE ENCUENTRA SOBRE EL DIVISOR.....	89
12.5.	CÁLCULO DE LAS COORDENADAS DE LA ESFERA CUANDO SE ENCUENTRA SOBRE LA MESA.....	91
12.6.	DETECCIÓN DE COLISIONES.....	92
12.7.	DETECCIÓN DE INCOMPATIBILIDADES DE LOS SISTEMAS TELESCÓPICOS.....	93

12.7.1.	ALTURA MÍNIMA: .....	93
12.7.2.	COMPRESIÓN Y EXTENSIÓN MÁXIMA:.....	93
12.7.3.	COLISIÓN ENTRE SISTEMAS TELESCÓPICOS:.....	93
13.	ANEXO III CÁLCULO DE LA FLECHA DE LOS BRAZOS.....	95
13.1.	CÁLCULO DE LA FLECHA .....	95
13.2.	CÁLCULO DE INERCIAS .....	96
13.3.	MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LOS MATERIALES (MÓDULO DE YOUNG) .....	97
14.	ANEXO IV ESQUEMA DEL PROCESO DE FABRICACIÓN.....	98
15.	ANEXO V ESQUEMA DE LA SECUENCIA DE MONTAJE DEL UTILLAJE .....	113
16.	ANEXO VI PLANOS .....	119
16.1.	LISTA DE PLANOS.....	119

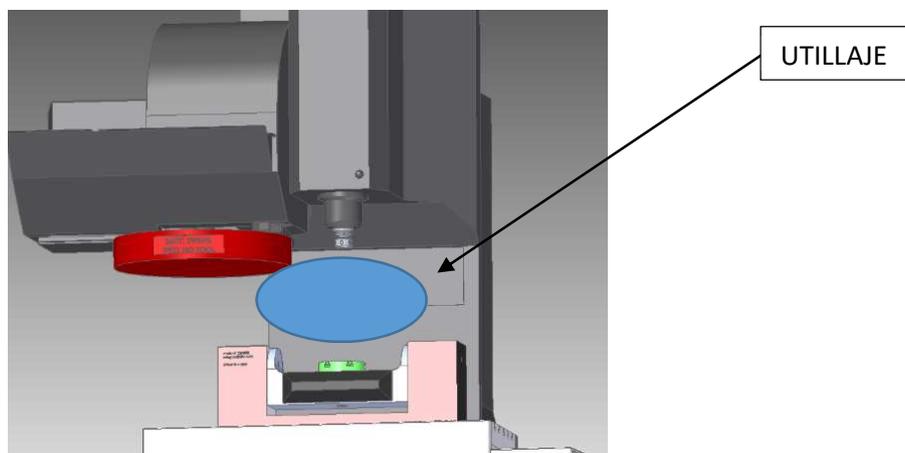
# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. MARCO

Este trabajo final de grado [TFG] se desarrolla en la universidad de Zaragoza como sub-proyecto de un proyecto de mayor alcance denominado: “Desarrollo de un instrumento telescópico de alta precisión para verificación de sistemas productivos”.

El presente TFG tiene como objetivo el **diseño del utillaje de sujeción de un sistema de medición de longitudes para la verificación de máquina-herramienta**.

Este proyecto se realiza y se dirige desde el departamento de ingeniería de diseño y fabricación.



*Ilustración 1.1-1 Esquema de la ubicación del utillaje en el entorno máquina herramienta.*

## 1.2. ALCANCE

En este TFG se diseña un utillaje que anclará un sistema de verificación de longitudes en una máquina herramienta. El diseño se desarrolla teniendo en cuenta las condiciones del sistema de verificación y el entorno de trabajo. Finalmente se obtiene un diseño del utillaje que permita al sistema realizar la verificación de un volumen adecuado en el espacio de trabajo.

## 1.3. OBJETIVOS

El objetivo del trabajo es el diseño de un utillaje de sujeción para instalar un sistema de verificación para máquina herramienta, que sea versátil, ligero, robusto y fácil de transportar e instalar. Para ello, se analizan varias alternativas para anclar el sistema de verificación a la máquina herramienta. Se busca la configuración que permita verificar un volumen adecuado en el espacio de trabajo teniendo en cuenta las posibles colisiones con elementos del entorno máquina herramienta.

Se valorará la rigidez del sistema y la posibilidad de que puedan variarse sus dimensiones.

## 2. METODOLOGÍA Y HERRAMIENTAS

En este capítulo se definen los pasos que se dan para llevar a cabo el diseño del utillaje de sujeción del sistema de medición. También se muestran las herramientas y recursos empleados para el desarrollo de este TFG.

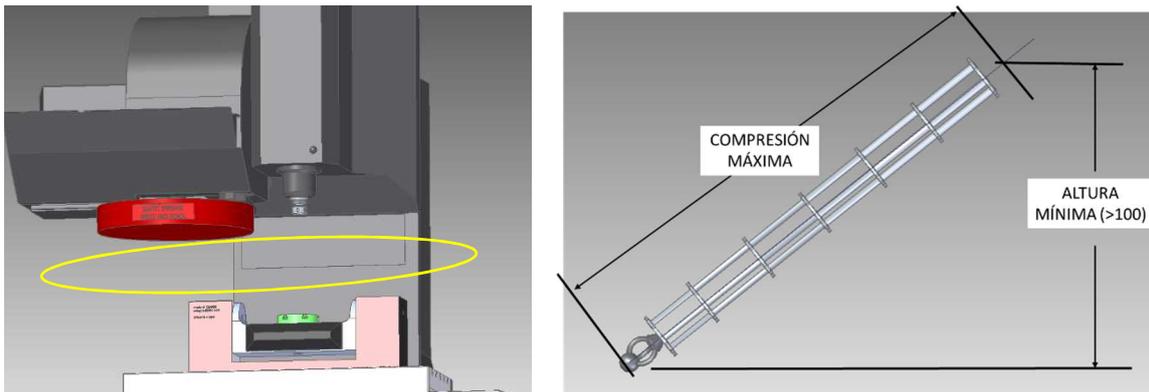
### 2.1. METODOLOGÍA EMPLEADA

En este apartado se describe breve y esquemáticamente cada paso dado en este proyecto y el capítulo en que se desarrolla dicho paso.

#### 2.1.1. DEFINICIÓN DEL ENTORNO DE TRABAJO

El primer paso consiste en el estudio de la geometría de la máquina, sus elementos y movimientos. Además del análisis del funcionamiento y geometría del sistema de verificación, así como de sus condiciones de contorno (compresión y extensión máxima de los elementos telescópicos, altura mínima entre nido y esfera, geometría de tetraedro trirrectángulo).

Este apartado se desarrolla en el capítulo 3

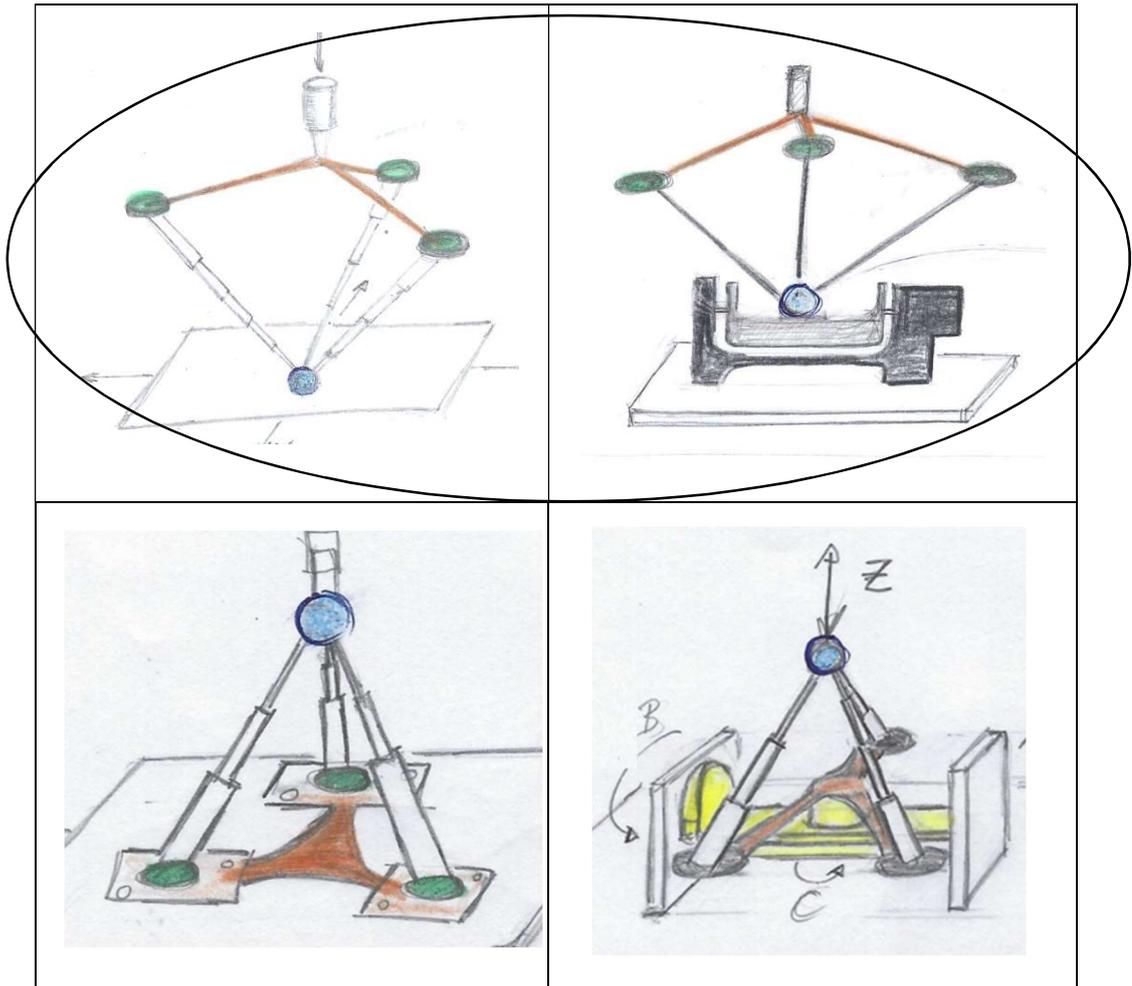


*Ilustración 2.1-1 (izquierda) Entorno máquina herramienta en el que trabajará el sistema de verificación. (derecha) Ejemplo de condición de contorno.*

#### 2.1.2. POSIBLES CONFIGURACIONES DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

Se estudia y analizan diferentes configuraciones para la instalación del sistema de medición y se elige la más adecuada. (Ilustración 2.1-2)

Este apartado se desarrolla en el capítulo 4



*Ilustración 2.1-2 Distintas opciones de anclar el sistema*

### 2.1.3. DESARROLLO DE HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS DE DATOS

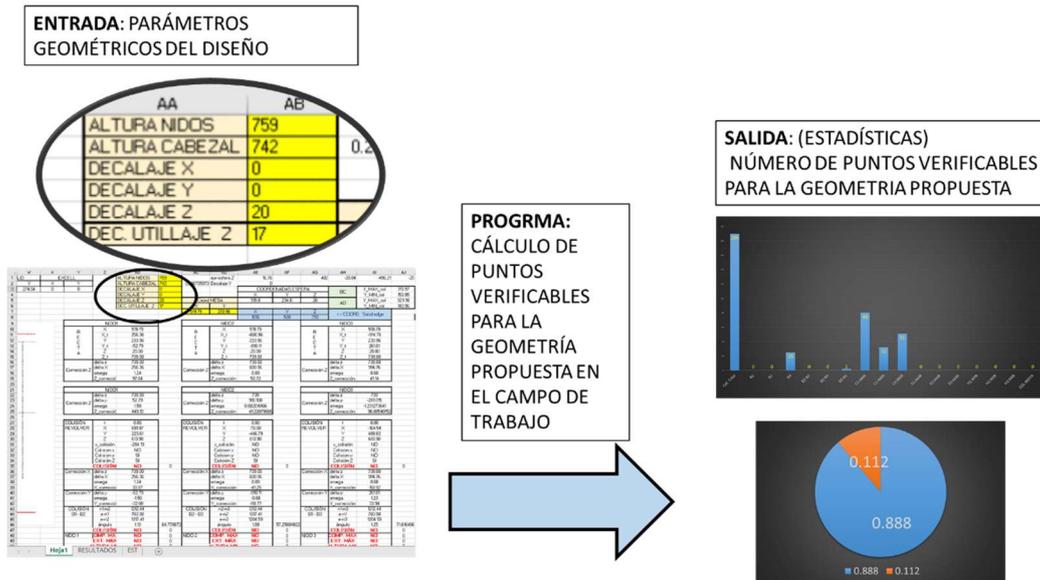
Para diseñar una geometría que permita verificar el mayor número de puntos posibles se desarrolla un programa. En este programa, intervienen parámetros variables que conforman la geometría del utillaje, estos parámetros se ensayan con distintos valores y se analiza su tendencia.

Se analizan dos configuraciones:

- **Sin divisor:** que tiene tres ejes movimiento
- **Con divisor:** que tiene cinco ejes movimiento

Cada geometría es ensayada en varias posiciones de la mesa. El programa permite encontrar los puntos no verificables por colisiones o incompatibilidades.

Este apartado se desarrolla en el anexo II.

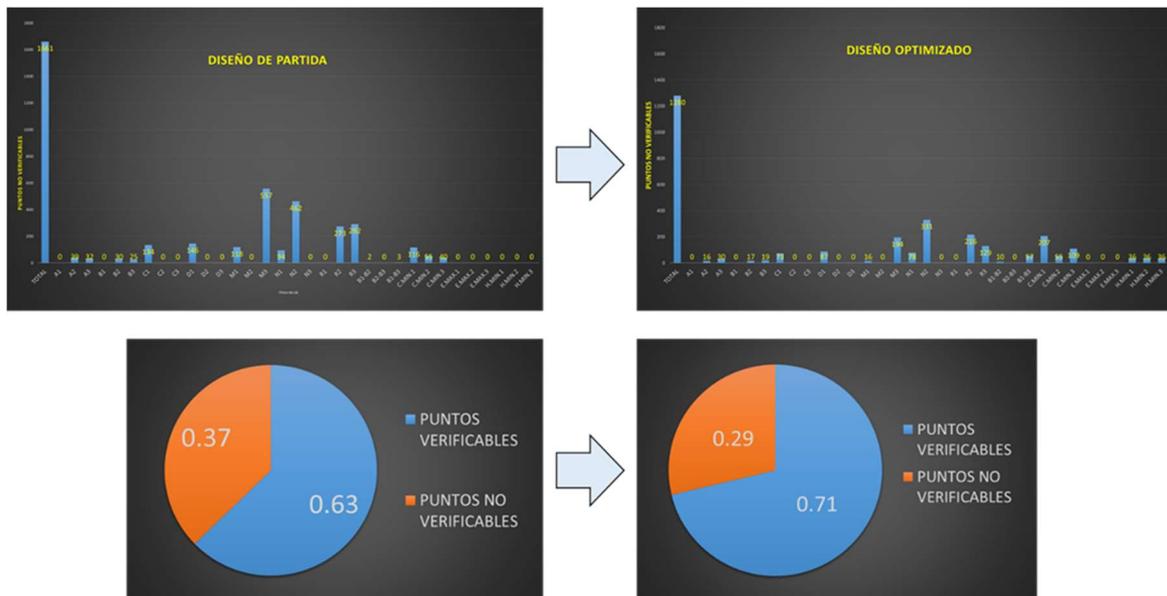


*Ilustración 2.1-3 Esquema del funcionamiento del programa desarrollado*

### 2.1.4. OPTIMIZACIÓN DIMENSIONAL DE LOS PARÁMETROS DEL UTILLAJE

A través del programa desarrollado, se buscan los mejores parámetros geométricos del utillaje que permitan verificar el máximo número de puntos.

Este apartado se desarrolla en los capítulos 5 y 6



*Ilustración 2.1-4 Esquema del proceso de mejora del diseño*

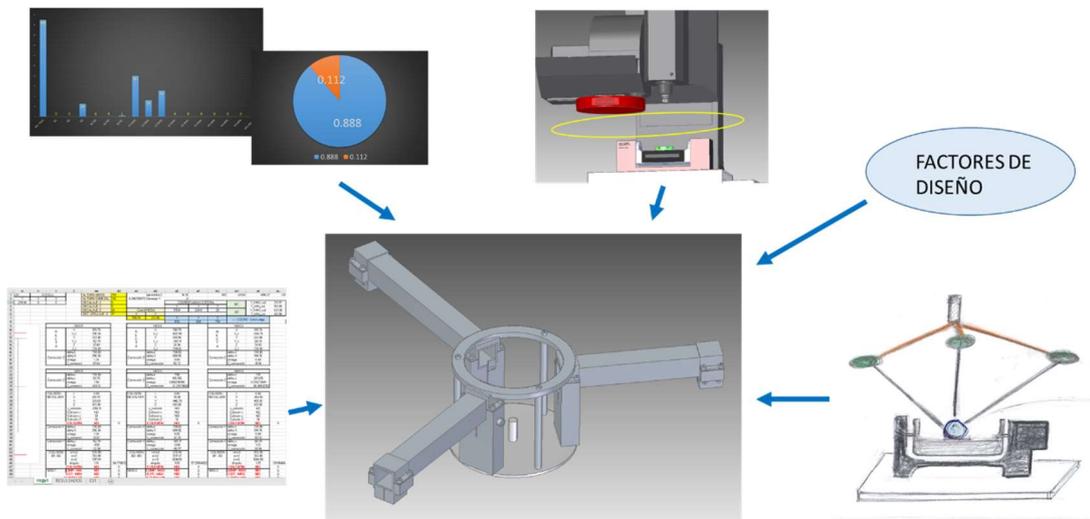
### 2.1.5. DEFINICIÓN DE OBJETIVOS ESTRUCTURALES Y DE DISEÑO DEL UTILLAJE

Antes del diseño se establecen unos objetivos a tener en cuenta. (Versatilidad, ligereza, rigidez mecánica y precisión). Este apartado se desarrolla en el capítulo 7

### 2.1.6. DISEÑO DEL UTILLAJE BASADO EN LOS ESTUDIOS ANTERIORES

Se realiza un diseño que se adapte a los resultados obtenidos y la geometría de la máquina.

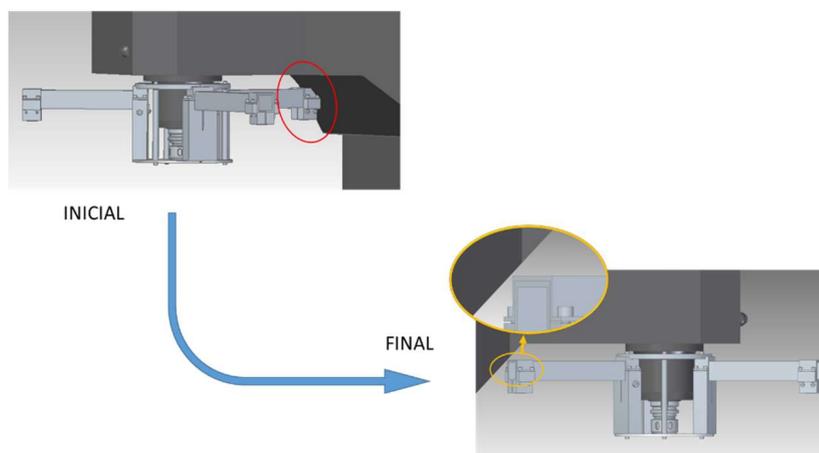
Este apartado se desarrolla en el capítulo 7



*Ilustración 2.1-5 Esquema del proceso de diseño a partir de los distintos estudios*

### 2.1.7. VERIFICACIÓN DEL UTILLAJE Y MEJORA DEL MISMO

Se comprueba si el diseño interfiere con algún elemento al instalarse y se corrige si es necesario. Este apartado se desarrolla en el capítulo 7.

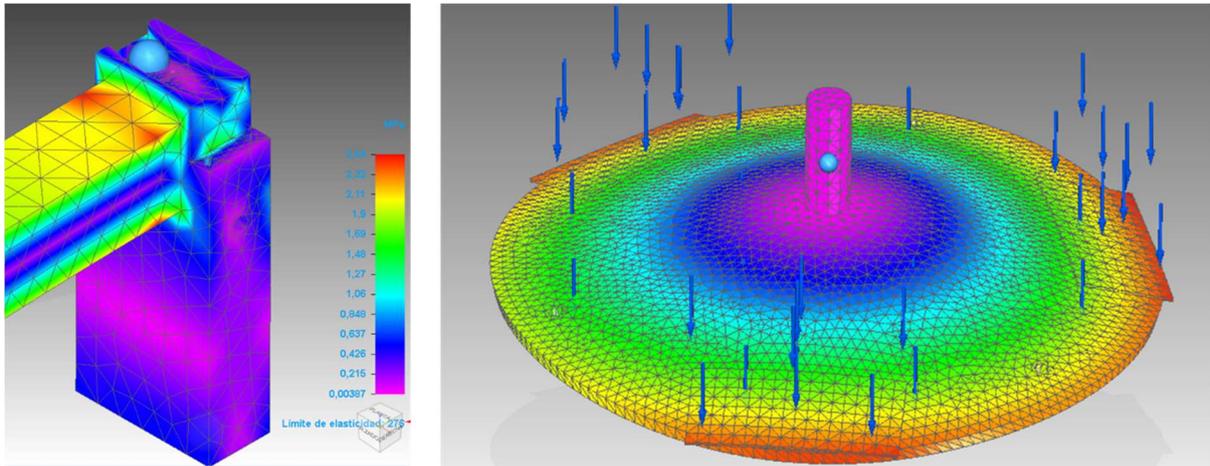


*Ilustración 2.1-6 Esquema de rediseño para evitar interferencias*

### 2.1.8. ESTUDIO DE ELEMENTOS FINITOS

A través de un programa de elementos finitos, se analizan que el diseño resiste mecánicamente y no se deforma.

Este apartado se desarrolla en el capítulo 8

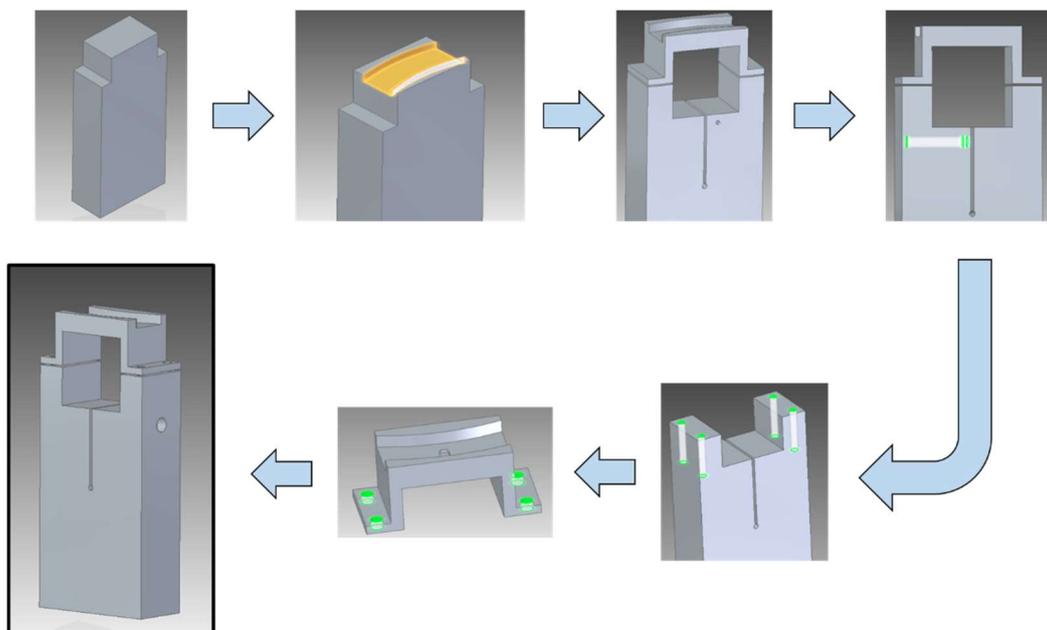


*Ilustración 2.1-7 Análisis de elementos finitos realizados en las distintas piezas del utillaje*

### 2.1.9. ESQUEMA DE FABRICACIÓN

Se realiza un esquema de fabricación para cada uno de los elementos.

Este apartado se desarrolla en el anexo IV

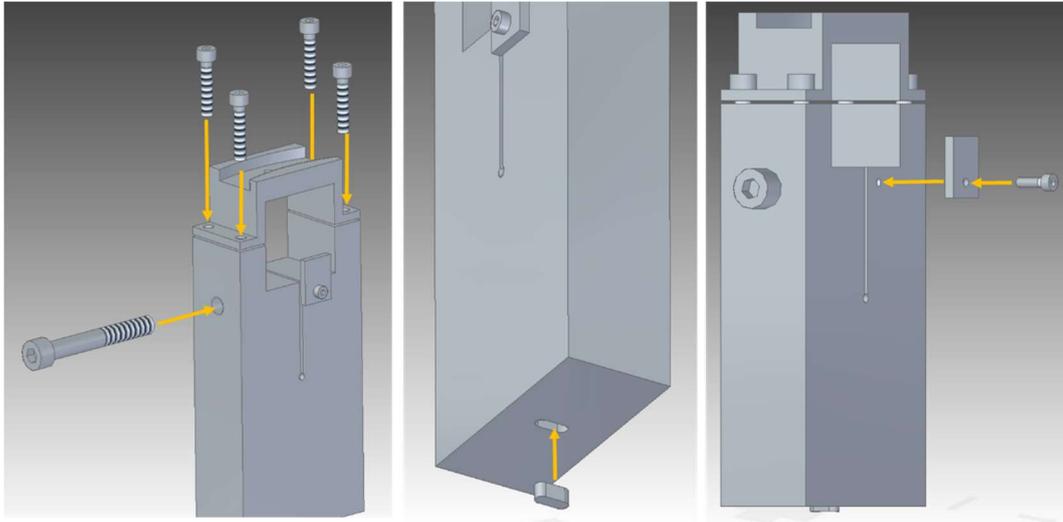


*Ilustración 2.1-8 Esquema del proceso de fabricación de una de las piezas del utillaje*

### 2.1.10. PROCESO DE MONTAJE

Se realiza un proceso de montaje del utillaje.

Este apartado se desarrolla en el anexo V



*Ilustración 2.1-9 Esquema del proceso de montaje de una de las piezas del utillaje*

## 2.2. HERRAMIENTAS UTILIZADAS

- **Programa para el análisis de puntos verificables.** Este programa determina para distintas geometrías de diseño, las interferencias o colisiones y puntos verificables. La explicación del mismo se encuentra en el anexo II.
- **CAD mecánico.** Se emplea un programa para representar en tres dimensiones las disposiciones propuestas y comprobar que el sistema no interfiera con diferentes elementos de la máquina.
- **Hoja de cálculo** para el cálculo de la flecha de los brazos. La explicación de los cálculos se encuentra en el anexo III.
- **Programa de elementos finitos:** Este programa se emplea para comprobar que el diseño resiste mecánicamente a los esfuerzos y ver cuánto se deforma.

## 3. ENTORNO FÍSICO DE LA MÁQUINA

En este apartado se va a describir los elementos de la máquina con la que se va a trabajar para una mejor comprensión del alcance del proyecto y el entorno de trabajo en el que se desarrolla.

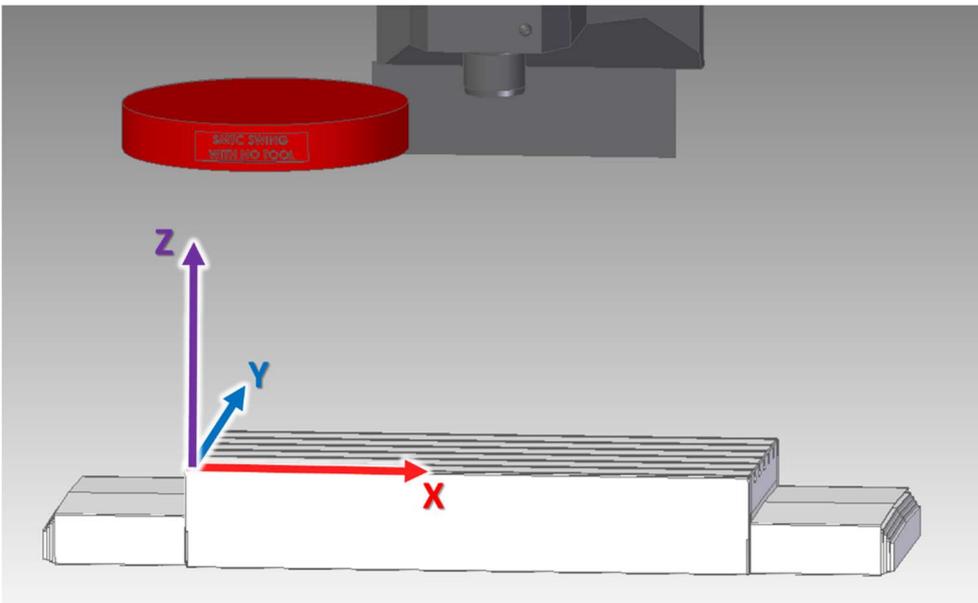
### 3.1. DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA

La máquina con la que se trabaja es el modelo VF-3 de la marca Haas. Es una máquina de control numérico que trabaja en tres ejes X, Y y Z.

Las carreras en los ejes son:

- En X 1016 milímetros
- En Y 508 milímetros
- En Z 742 milímetros.

En la ilustración 3.1-1 se indica el origen de las coordenadas X, Y, Z y su desplazamiento.

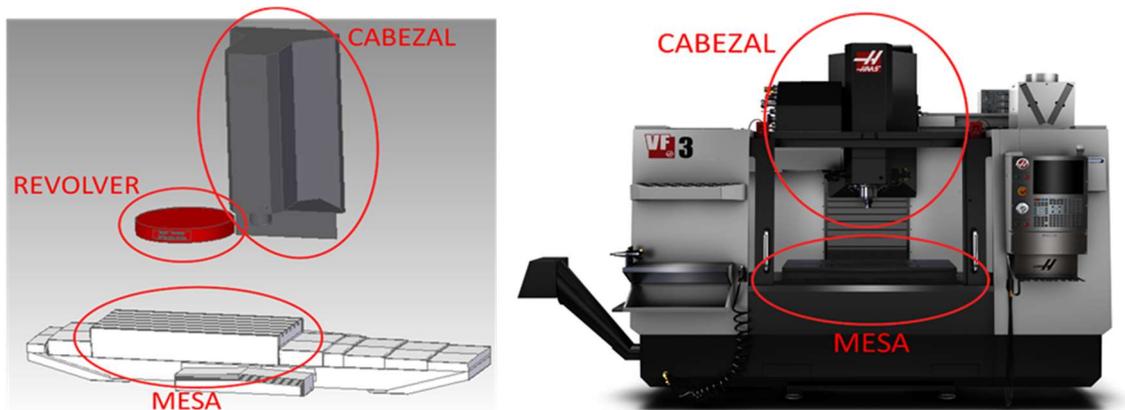


*Ilustración 3.1-1 Situación del sistema de coordenadas en la máquina herramienta*

Los principales elementos de la máquina que afectan a este estudio son:

- La **mesa**: está situada en la parte inferior de la máquina. Sobre ella se fija la pieza que se va a mecanizar. El movimiento de la mesa se desarrolla sobre ejes X e Y (horizontalmente).
- El **cabezal**: en él se instala la herramienta que arranca el material. Éste se mueve en el eje Z, es decir verticalmente.

- El **porta-herramientas**, también llamado **revolver**, donde se almacenan diferentes herramientas, permitiendo el cambio automático de las mismas.



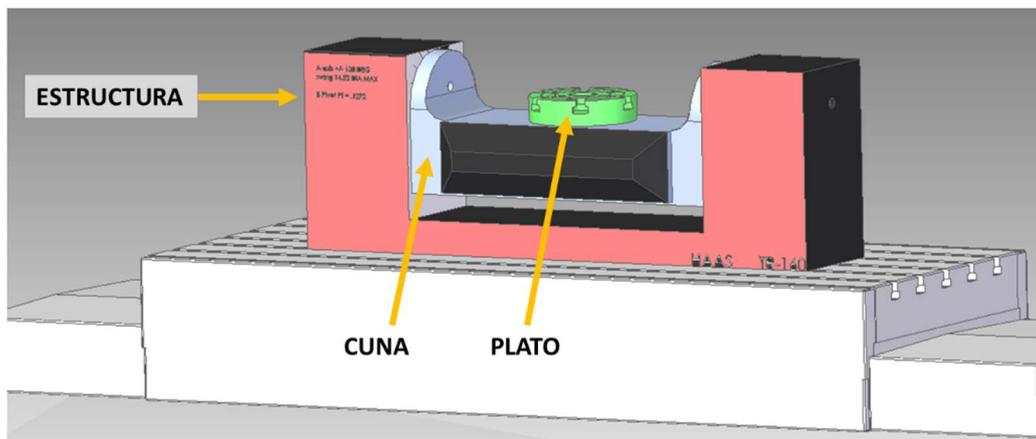
*Ilustración 3.1-2 Partes principales del sistema máquina herramienta*

### 3.2. GEOMETRÍA Y MOVIMIENTOS DEL DIVISOR

Para obtener geometrías más complejas, se puede instalar en la máquina un divisor (trunnion) que permite pasar de tres a cinco ejes. En este proyecto, se trabaja con el modelo TR-160 de la marca Haas.

En el divisor se diferencian tres partes fundamentales:

- **Estructura:** la cual se ancla a la mesa contiene el motor y sustenta las otras partes
- **Cuna:** la cual gira sobre un eje imaginario que recorre horizontalmente el divisor.
- **Plato:** es sustentado por cuna, tiene forma cilíndrica y rota sobre su eje.

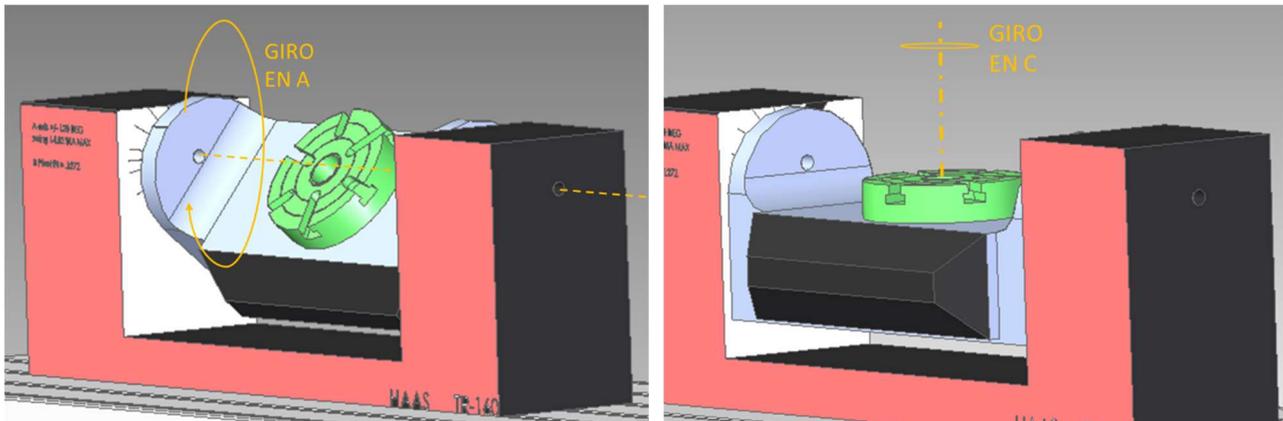


*Ilustración 3.2-1 Partes del divisor*

El divisor se ancla a la mesa, tiene dos movimientos (Ilustración 3.2-2):

- **El movimiento del eje A:** Es el giro de la cuna sobre un eje paralelo al eje X, el giro máximo en cada sentido en de 120 grados.

- **El movimiento del eje C:** Es la rotación del plato sobre la superficie de la cuna. Puede realizar giros completos ininterrumpidos.



*Ilustración 3.2-2 Movimientos del divisor*

### 3.3. FUNCIONAMIENTO Y GEOMETRÍA DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

El sistema de medición está basado en un sistema láser-tracer, similar al que se muestra en la ilustración 3.3-1 .



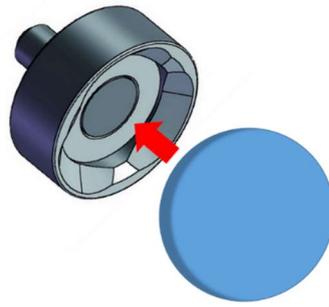
*Ilustración 3.3-1 Sistema láser-tracer*

Un brazo telescópico alberga en su interior un sistema de medición de longitudes mediante láser. A través de esas longitudes se determina las posiciones de la máquina y se realiza la verificación, comprobando las coordenadas medidas con las coordenadas que indica la máquina, realizando la calibración oportuna.

Las distintas partes del sistema de medición son:

- **Nidos:** Es la parte donde se ancla un extremo del sistema telescópico. El anclaje entre el sistema telescópico se realiza mediante una rótula formado por un reflector-holder que es un elemento comercial que tiene un hueco semiesférico sobre el cual asienta la esfera del extremo más ancho del sistema telescópico. La unión entre la esfera y el

sistema telescópico se produce gracias a que en el interior del reflector holder se encuentra un imán que atrae a la esfera.

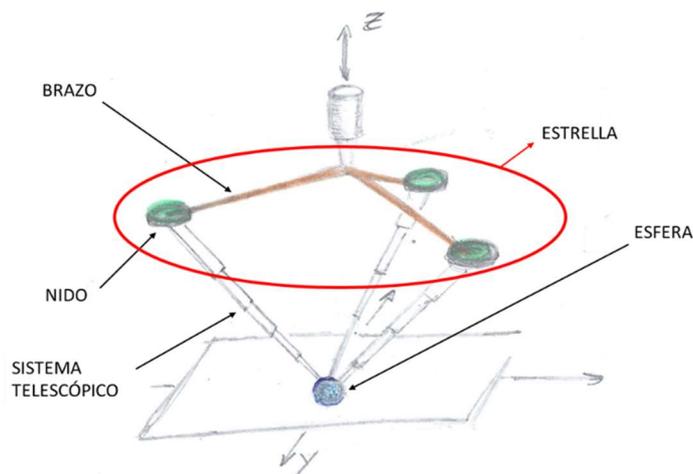


*Ilustración 3.3-2 Ensamblaje del reflector holder y la esfera del extremo del sistema*

- **Brazos:** Son los elementos rígidos que sustentan los nidos.
- **Esfera:** Es la zona donde se ancla el otro extremo del brazo telescópico, el más estrecho. Además, en ese punto convergen los tres brazos telescópicos.
- **Estrella:** al conjunto formado por los tres nidos y el utillaje que los sustenta se llama estrella. El diseño de la estrella es el objetivo principal del proyecto.

El presente proyecto pretende una mejor medición y precisión. Para ello, se ha realizado un diseño de tres nidos, permitiendo hacer una triangulación a través de las tres medidas.

Los tres sistemas láser tracer se anclarán por un lado a una esfera en la que convergen los tres sistemas y por otro lado a un utillaje en forma de estrella con tres brazos en los cuales se ancla cada nido (ilustración 3.3-3).



*Ilustración 3.3-3 Esquema de las distintas partes del sistema de verificación instalado en el divisor*

### 3.4. CONDICIONES DE CONTORNO DEL SISTEMA DE VERIFICACIÓN

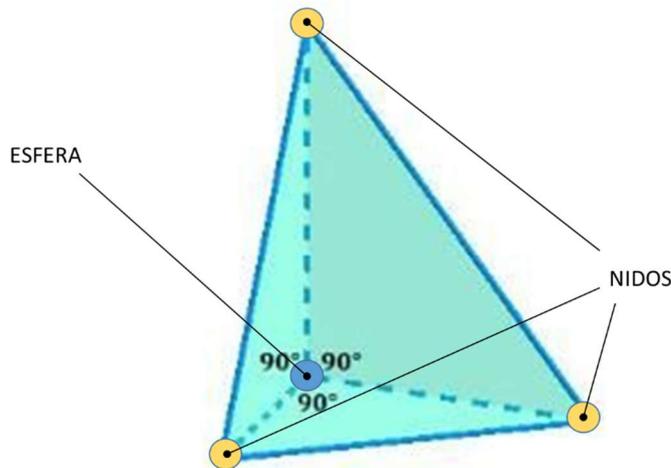
#### 3.4.1. TETRAEDRO TRIRRECTÁNGULO

Imaginariamente, el sistema forma un tetraedro cuyos vértices están formados por los tres nidos y la esfera (ilustración 3.4-1). El sistema de medición funciona mejor cuando éste adquiere la geometría de un tetraedro trirrectángulo. Un entorno próximo a esta geometría será conveniente para ubicar la zona de verificación.

El tetraedro trirrectángulo contiene cuatro caras. Tres de dichas caras están formadas por triángulos rectángulos. Los ángulos rectos de dichos triángulos concurren en un mismo vértice. En ese vértice se sitúa la esfera.

El triángulo restante es un triángulo equilátero. Sobre cada vértice este triángulo se sitúan los tres nidos.

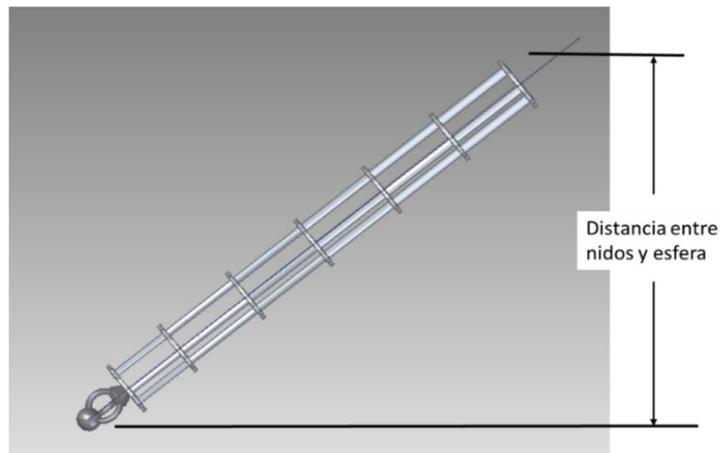
Al estar situados los nidos en los vértices del triángulo trirrectángulo guardan entre ellos una equidistancia al centro del triángulo. **Es por ello que la disposición más adecuada de los brazos de la estrella sea 120 grados.**



*Ilustración 3.4-1 Tetraedro trirrectángulo. En amarillo se representan los nidos y en azul la esfera.*

### 3.4.2. ALTURA MÍNIMA DE LOS ELEMENTOS TELESCÓPICOS

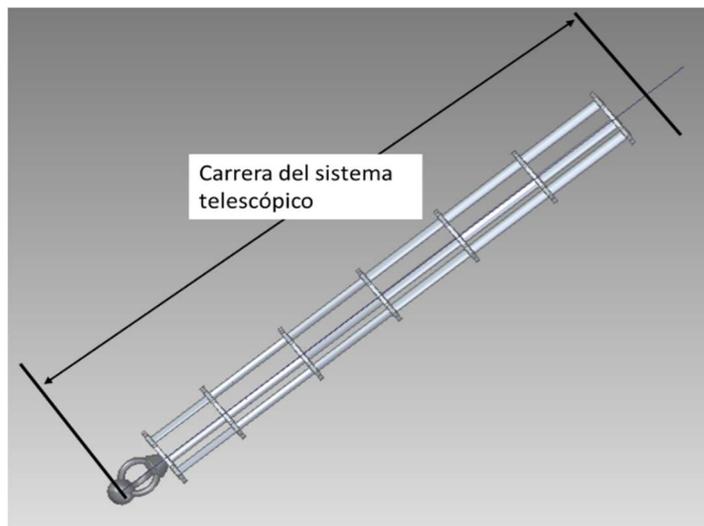
Para **distancias verticales entre nido y esfera de 100 milímetros o inferiores**, el sistema de verificación de longitudes no mide correctamente.



*Ilustración 3.4-2 Distancia entre nidos y esfera*

### 3.4.3. CARRERA DE LOS SISTEMAS TELESCÓPICOS

Como se explica anteriormente, el sistema de verificación está formado por tres elementos telescópicos. Estos elementos, cuyo diseño no es parte de este proyecto, tienen unos límites de extensión y compresión máxima: La **extensión máxima** de cada elemento es de **1500 milímetros**, así como su **compresión máxima** es de **300 milímetros**.



*Ilustración 3.4-3 Carrera de los sistemas telescópicos*

Además de estas condiciones de contorno, existen otras condiciones referentes a las distintas zonas en las que se puede producir colisiones de los sistemas telescópicos con distintos elementos del entorno de trabajo. Estas colisiones se explican en detalle en el anexo I zonas de colisión.

Las colisiones que se describen más a fondo en el anexo son: 6 zonas distintas de colisión con el divisor, 1 con el portaherramientas y 3 colisiones entre brazos.

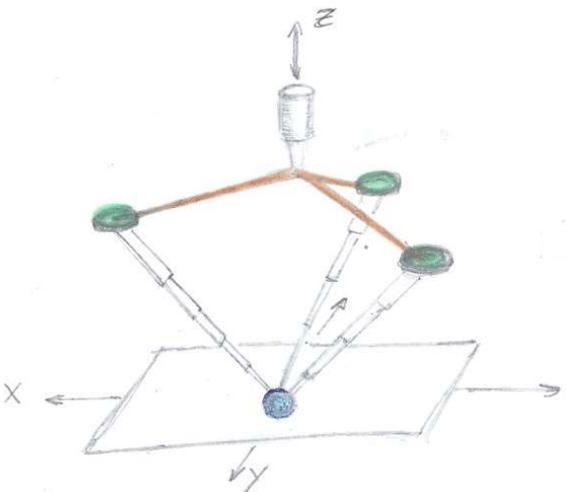
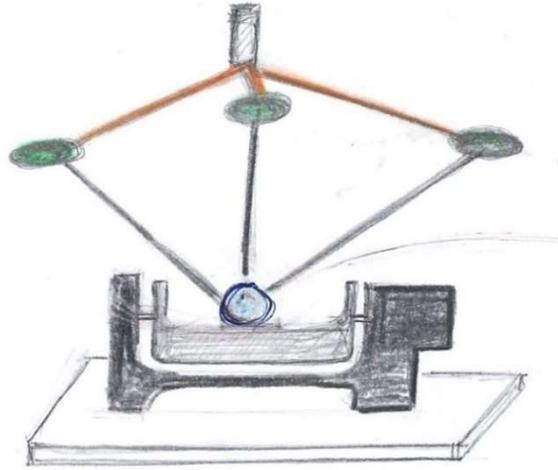
# 4. ELECCIÓN DE LA DISPOSICIÓN DEL UTILLAJE

En este capítulo se muestran las diferentes alternativas para anclar el sistema de verificación, se analizan las distintas alternativas y se escoge la más adecuada.

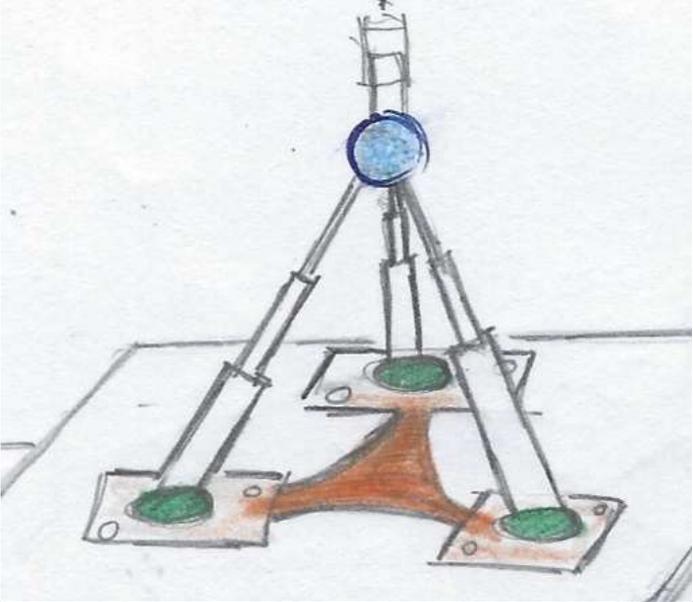
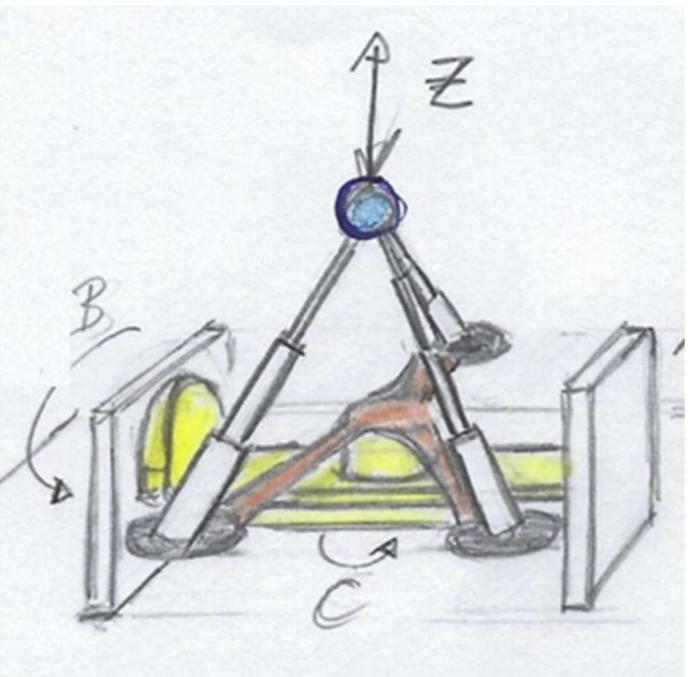
## 4.1. DISTINTAS CONFIGURACIONES DE ANCLAR EL SISTEMA

A la hora de anclar el sistema de verificación se barajan distintas alternativas que se reflejan en la *tabla 4.1-1*:

*Tabla 4.1-1 Alternativas de anclar el sistema*

CONFIGURACIÓN		BOCETO
CONFIGURACIÓN 1	SIN DIVISOR	
ESTRELLA ANCLADA EN EL CABEZAL	CON DIVISOR	

4. ELECCIÓN DE LA DISPOSICIÓN DEL UTILLAJE

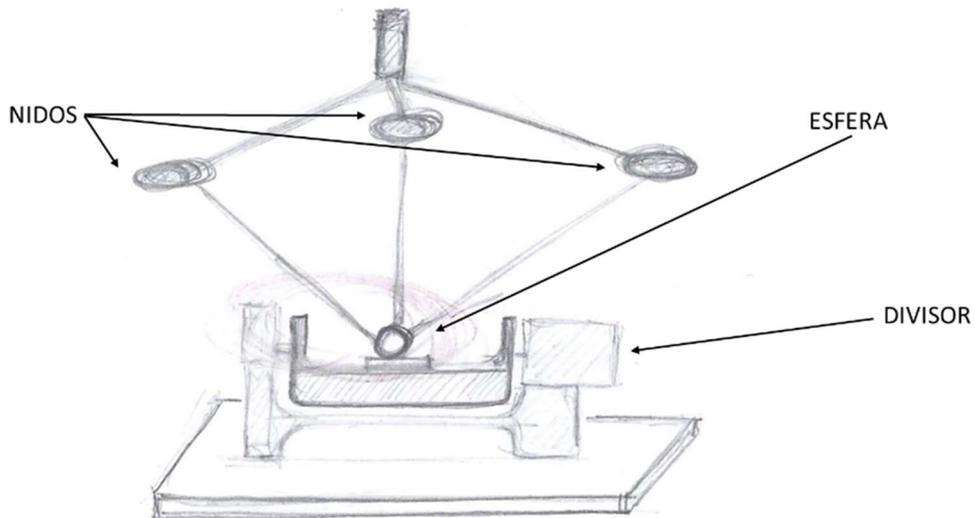
<p>CONFIGURACIÓN 2</p> <p>ESTRELLA ANCLADA A LA MESA O AL DIVISOR</p>	<p>SIN DIVISOR</p>	
	<p>CON DIVISOR</p>	

A continuación, se muestran y explican las distintas configuraciones, los pros y contras que se aprecian.

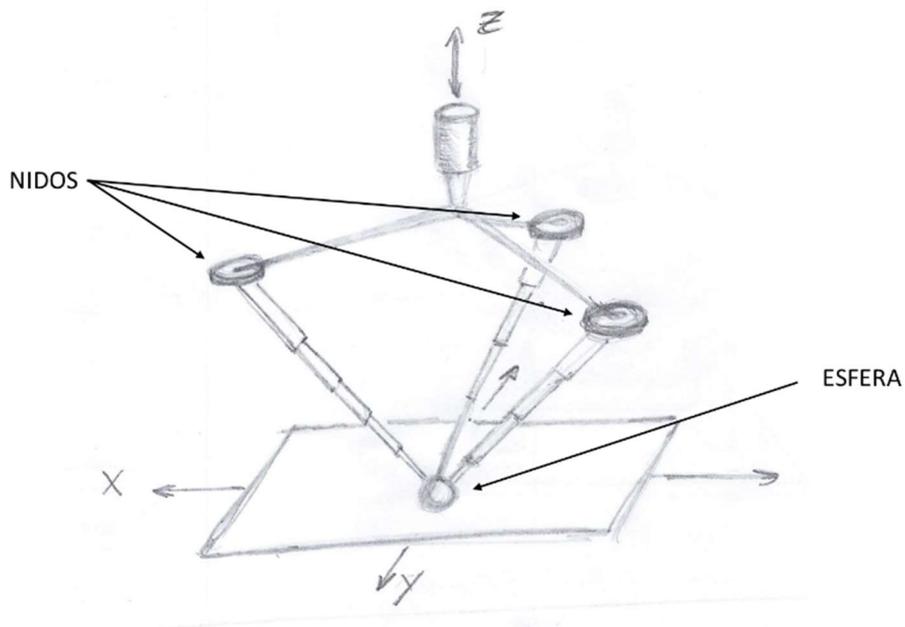
Para cada configuración estudiada existen otras dos configuraciones: Con o sin el divisor.

## 4.2. ANÁLISIS DE CADA UNA DE LAS CONFIGURACIONES

### 4.2.1. CONFIGURACIÓN 1 → ESFERA EN MESA o DIVISOR – NIDOS EN TORRE



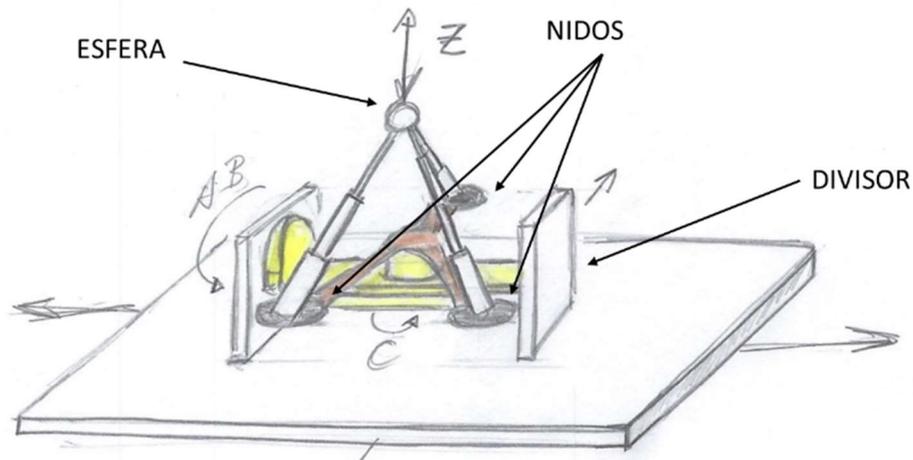
*Ilustración 4.2-1 Configuración 1 con divisor*



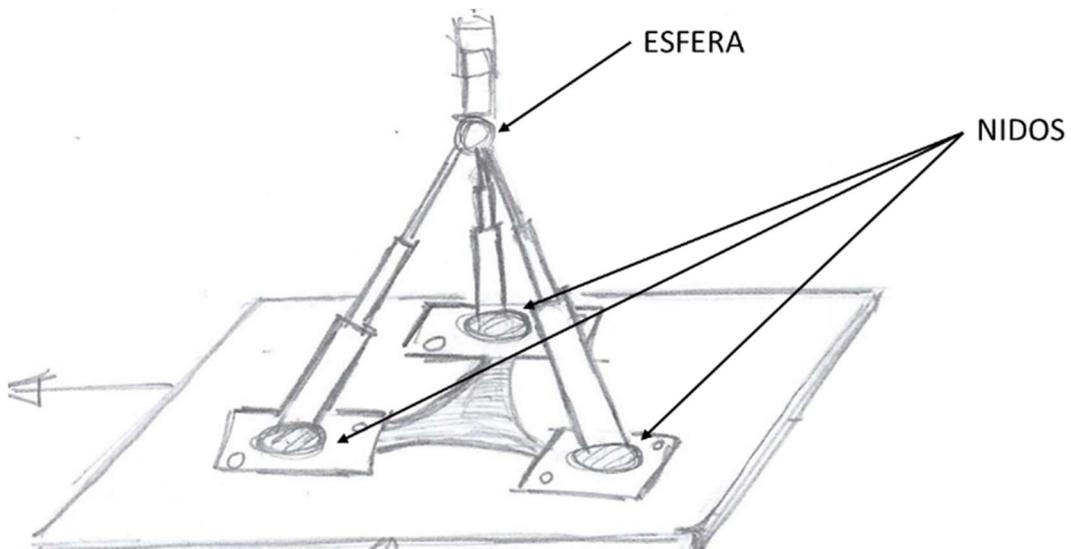
*Ilustración 4.2-2 Configuración 1 sin divisor*

Mediante un utillaje con tres brazos se anclan los nidos al cabezal y con otro utillaje la esfera a la mesa o al divisor. Al tener los nidos arriba colgados de los brazos se producen flexiones de los mismos, se tendrá que elegir un diseño y un material para evitar una potencial flexión y asegurar una verificación precisa. Habrá que minimizar el peso de dichos brazos para que no sea excesivo para el cabezal.

#### 4.2.2. CONFIGURACIÓN 2 → NIDO EN MESA o DIVISOR – ESFERA EN TORRE



*Ilustración 4.2-1 Configuración 2 con divisor*



*Ilustración 4.2-2 Configuración 2 sin divisor*

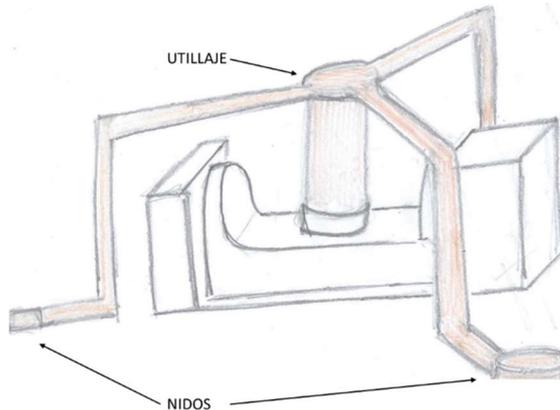
En este sistema la esfera se encuentra anclada mediante un utillaje al cabezal. Los nidos se anclan a la mesa o al divisor mediante otros utillajes.

Si se anclan los nidos a la mesa, un utillaje que aúne los tres elementos favorecerá la repetibilidad de las mediciones tras el montaje del utillaje en la mesa.

Si se ubican los nidos sobre el divisor (ilustración 4.2-3), habría que tener en cuenta dos factores:

- El giro de C quedaría limitado porque colisionarían los brazos que sostienen los nidos.
- La longitud de los brazos y el peso de cada nido pueden generar pandeo.

Para este problema que se produce al girar el eje C, se podría plantear una solución levantando la estrella sobre el divisor. (Ilustración 4.2-5)



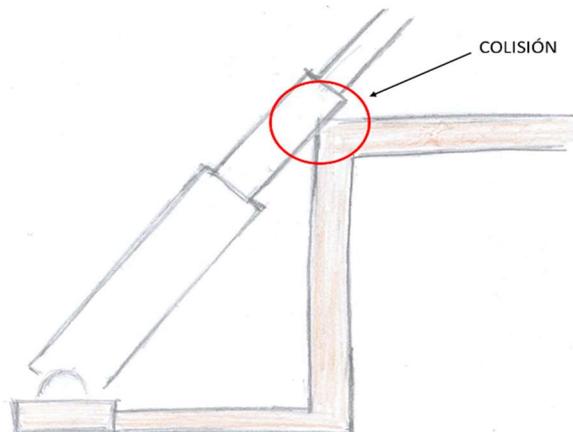
**Ilustración 4.2-5 Posible solución**

Aparentemente a simple vista podría parecer una buena solución, pero si se estudia con detenimiento se pueden apreciar varios problemas.

En primer lugar, un utillaje con tanta distancia en sus brazos (tanto en horizontal como en vertical) puede producir deflexiones y pérdidas de precisión del sistema.

Por otra parte, la geometría del utillaje daría pie a colisiones con los sistemas telescópicos. En la siguiente ilustración 4.2-6 se aprecia mejor.

Este último problema podría solucionarse aumentando la distancia de los brazos horizontales que sustentan directamente los nidos, pero ésto empeoraría la precisión del sistema por la flecha que se pudiera generar.



**Ilustración 4.2-6 Colisión producida**

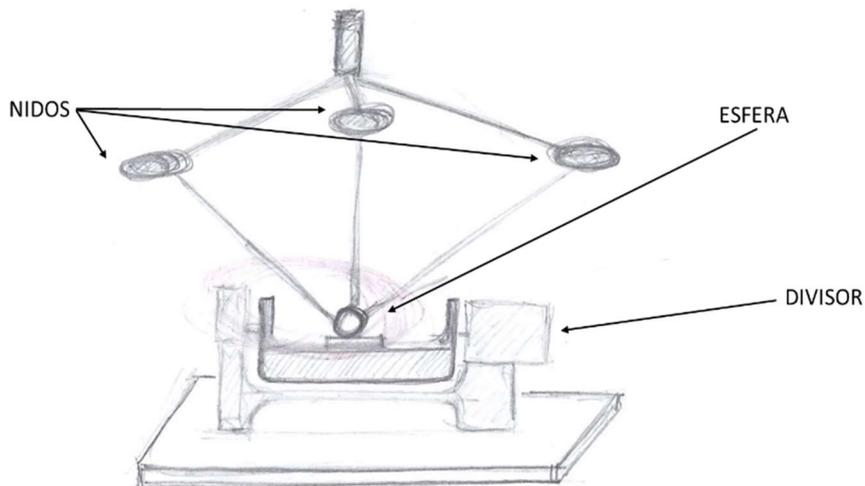
### 4.3. CONFIGURACIÓN SELECCIONADA

Tras analizar ambas configuraciones (configuración 1 y configuración 2) se han observado los siguientes aspectos.

Cuando se hace la **verificación sin el divisor** es mejor el utillaje de la segunda configuración (estrella anclada en la mesa), ya que al estar los nidos sobre la mesa, se suspende menos peso del cabezal. Esto evita problemas de deflexión.

Cuando se hace la **verificación con el divisor**, en la segunda configuración, al ubicar los nidos en el divisor origina más problemas de colisión con respecto a la primera configuración.

Como se precisa un sistema flexible con y sin divisor, se opta por la configuración (Ilustración 4.3-1) con la estrella superior. Este sistema tiene como problema potencial la deflexión de los brazos, y se puede resolver fácilmente con la elección del perfil y material adecuados. Este tema está desarrollado y resuelto en el capítulo 7.



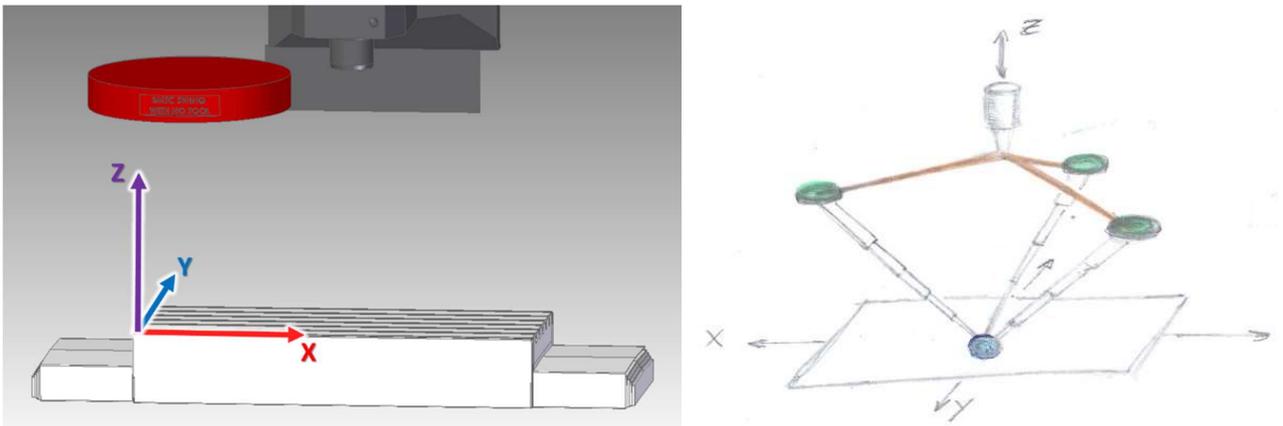
*Ilustración 4.3-1 Configuración seleccionada*

## 5. ESTUDIO DE LA GEOMETRÍA IDÓNEA DEL UTILLAJE EN LA CONFIGURACIÓN SIN DIVISOR

La configuración elegida consiste en anclar los nidos en el cabezal y la esfera en la mesa (ilustración 5-1). Los tres brazos de los nidos se separan 120 grados, esto es para poder conseguir la geometría de tetraedro trirectángulo como se ha comentado anteriormente en el capítulo 3.4.1.

Una vez elegida la configuración más adecuada del utillaje para anclar el sistema de medición, se estudia qué geometrías del utillaje permiten verificar un mayor número de puntos en el espacio de trabajo de la máquina.

Para ello, como ya se ha comentado, se ha desarrollado un programa que, en función de los diferentes valores de las variables del utillaje, permite identificar el número de puntos que se pueden medir.



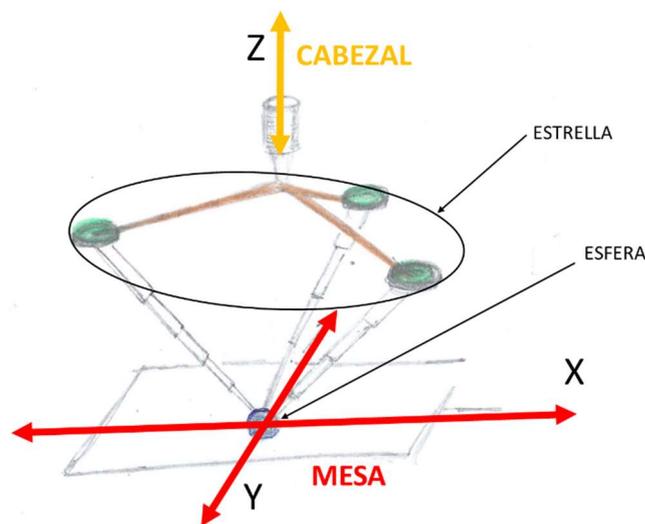
*Ilustración 5-1 (Izquierda) Sistema de coordenadas de la máquina herramienta. (Derecha) Boceto de la configuración a estudiar.*

Las variables son las siguientes:

- De la **estrella** que sustenta los nidos:
  - Longitud de los brazos de la estrella
  - Ángulo en el que se orientan los brazos de la estrella
  - Decalaje en X
  - Decalaje en Y
  - Decalaje en Z
  
- De la **esfera** anclada en la mesa:
  - Decalaje en X
  - Decalaje en Y
  - Decalaje en Z

Con todas estas variables, el programa desarrollado permite analizar las tendencias y los mejores valores. Para ello, se elegirá una variable, el resto de variables quedarán como constantes. Dicha variable se ensayará a distintos valores. En cada tanda de ensayos se analiza una variable y se obtiene su tendencia, permitiendo ver los mejores valores de cada variable para diseñar una geometría óptima del utillaje.

Una vez definida la geometría, el ensayo consiste en observar el comportamiento dinámico del sistema al mover las coordenadas de la máquina. La estrella anclada en el cabezal y se desplaza en el eje Z. La esfera está anclada a la mesa y se mueve con ella en los ejes X e Y (Ilustración 5.2).



*Ilustración 5.2 Esquema del movimiento de los ejes de la máquina*

La máquina herramienta se desplazará de la siguiente manera en cada ensayo.

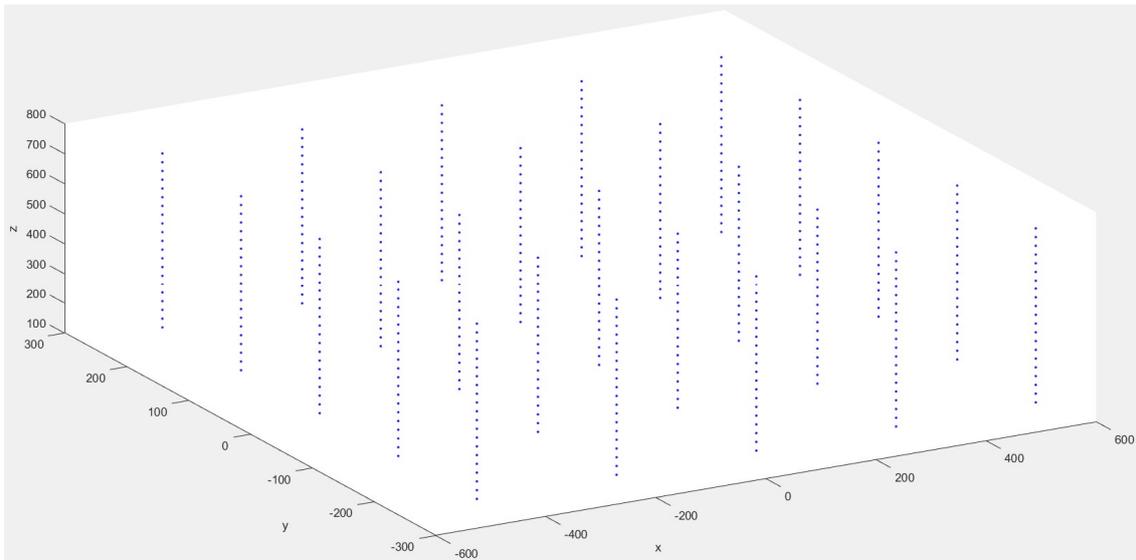
- En X se desplaza de 0 a 1016 milímetro desplazándose con pasos de 127 milímetros
- En Y se desplaza de 0 a 508 milímetro desplazándose con pasos de 63.5 milímetros
- En Z se desplaza de 120 a 800 milímetro desplazándose con pasos de 32 milímetros

Todas estas coordenadas dispuestas en el espacio, genera una nube de puntos en forma de prisma rectangular (ilustración 5.3).

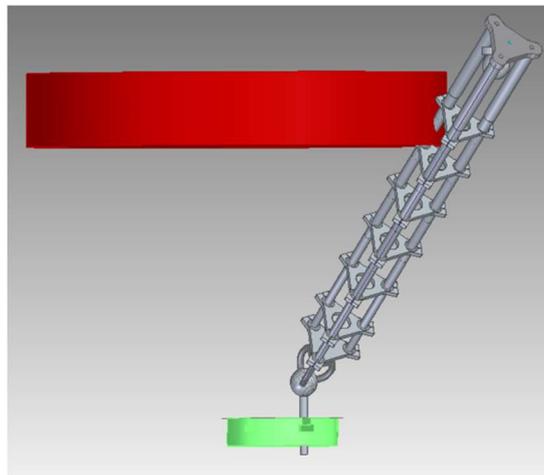
En total **se analizan 1701 puntos para cada valor que damos a cada una de las ocho variables** en el espacio de trabajo de la máquina.

En cada punto el programa comprueba si puede verificar ese punto o existe alguna incompatibilidad (por ejemplo: la colisión de un de los elementos telescópicos con el portaherramientas Ilustración 5.4). Cada punto analizado se registra en una base de datos para su posterior procesamiento y estudio.

En todos los ensayos se analizarán los mismos puntos para que al comparar las tendencias de los parámetros variados se puedan estudiar las variaciones de manera coherente



*Ilustración 5.3 Representación de los puntos verificados en tres dimensiones*



*Ilustración 5.4 Colisión del sistema telescópico contra el portaherramientas*

## **5.1. VARIACIÓN DE PARÁMETROS DE LA ESTRELLA Y SU EFECTO**

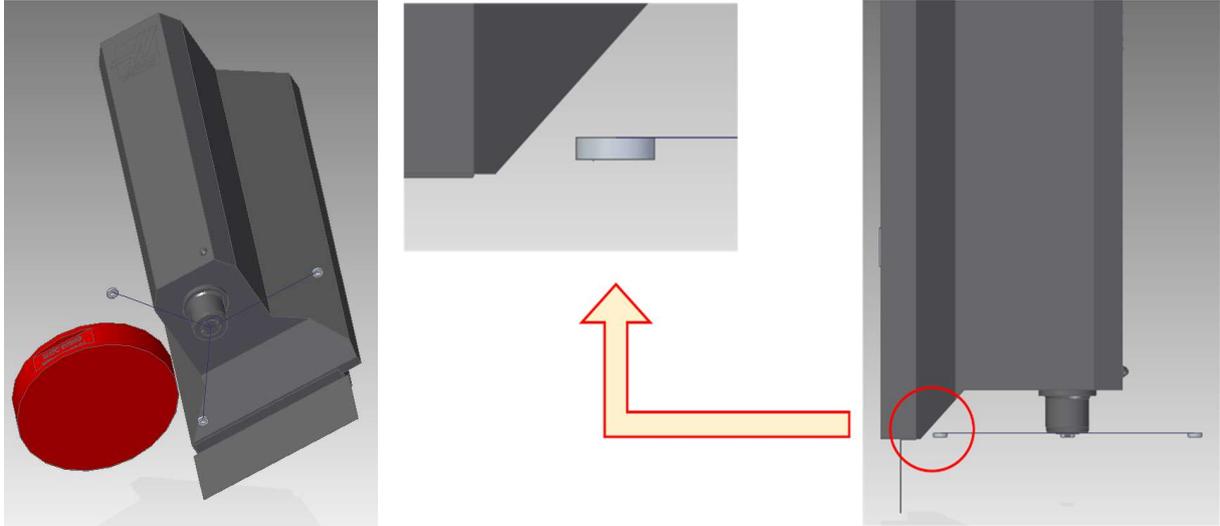
### **5.1.1. VARIACIÓN DE LA LONGITUD DEL BRAZO DE LA ESTRELLA.**

Para diseñar los brazos del utillaje, ha de tenerse en cuenta la geometría de la máquina herramienta, donde va anclado la estrella (utillaje).

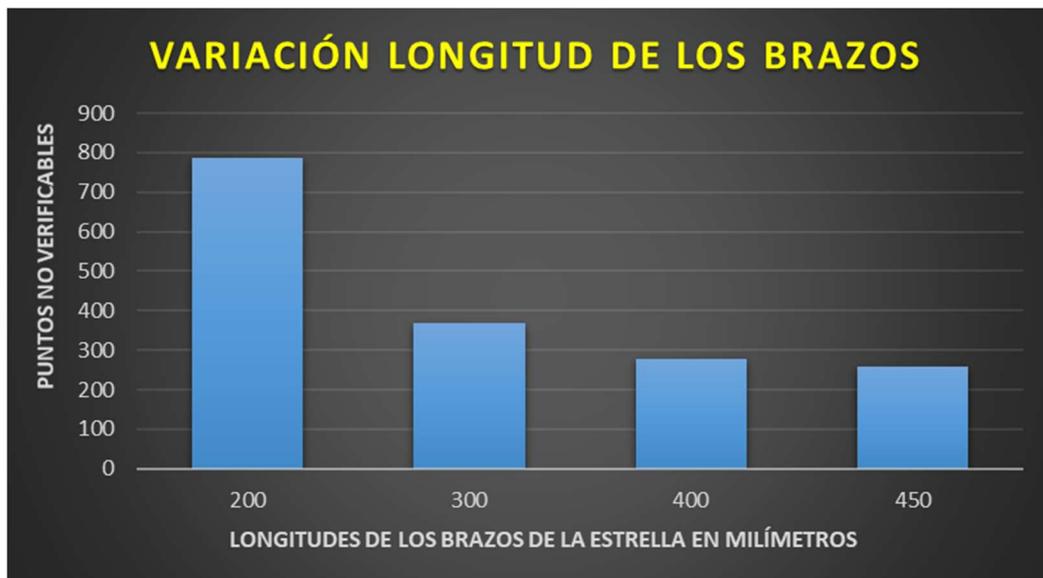
Para visualizarlo, se hace una simulación en CAD 3D, buscando la dimensión máxima de los brazos que permita un anclaje sin interferencias geométricas en el utillaje y el entorno máquina herramienta.

Simulando en CAD 3D se observa (Ilustración 5.1-1), que para brazos mayores de 450 milímetros existiría colisión de uno de los nidos con el carenado.

Por otra parte, se considera un mínimo de 200 milímetros de brazo incrementando la longitud de 100 en 100 milímetros, y el valor máximo de 450 milímetros.



**Ilustración 5.1-2 (izquierda) Visualización 3D de la colocación de los nidos. (centro y derecha) Visualización con detalle de posible interferencia al aumentar los brazos de la estrella**



**Gráfico 1 Número de puntos verificables en función de la longitud de los brazos de la estrella**

Con ayuda del programa se obtienen los puntos no verificables totales para cada ensayo.

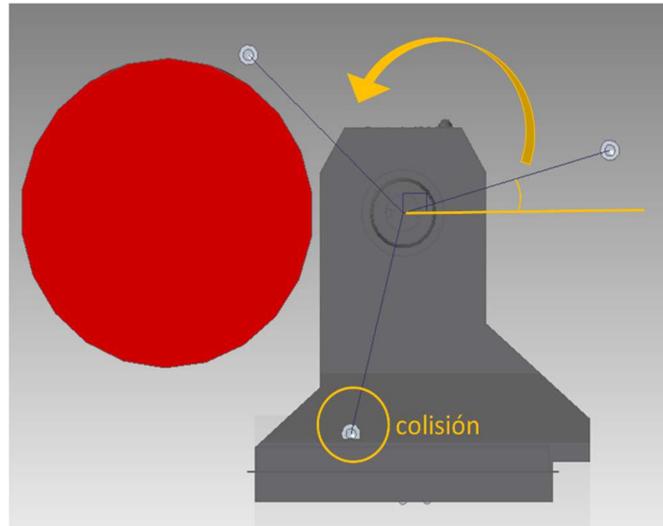
La tendencia clara que se observa en el gráfico 1 es que cuanto más largo es el brazo de la estrella, los puntos verificables disminuyen.

Esta tendencia se debe a que, al aumentar los brazos, la distancia nido-esfera aumenta y, en consecuencia, los puntos no verificables por compresión máxima disminuyen. A su vez, al estar los nidos alejados entre ellos, los elementos telescópicos colisionan menos entre ellos.

### 5.1.2. VARIACIÓN DEL ÁNGULO DE ORIENTACIÓN DE LOS BRAZOS DE LA ESTRELLA.

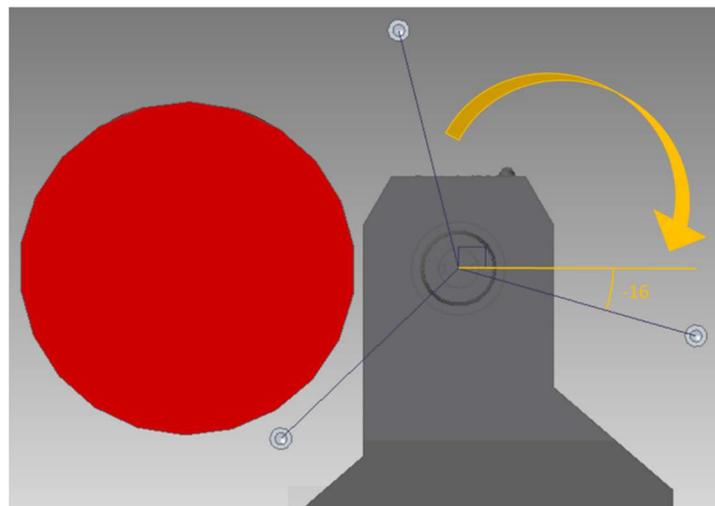
Con ayuda de CAD 3D se va a visualizar cuales son los ángulos límite en el que se puede posicionar la estrella.

Si se mueve la estrella en sentido horario, el nido que antes estaba próximo al carenado de la máquina, termina de colisionar (Ilustración 5.1-1).



*Ilustración 5.1-1 Giro en sentido horario (según criterio de signos) y colisión del nido con carenado de la máquina en consecuencia.*

En cambio, si se gira en el otro sentido se puede girar 16 grados antes de que uno de los nidos colisione con el cabezal (Ilustración 5.1-2).



*Ilustración 5.1-2 Giro anti-horario (según criterio de signos) de la estrella*

Por ello, como en giro horario no se puede girar porque está al límite de la colisión, se gira en el otro sentido (anti horario) hasta llegar a 16 grados.



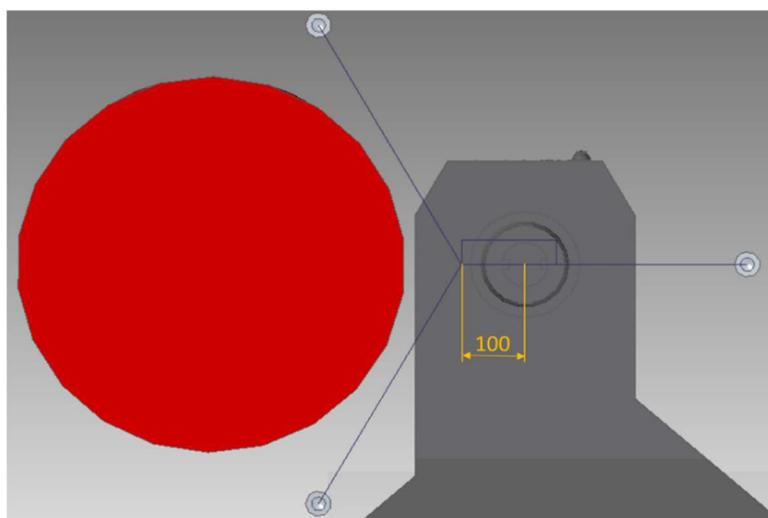
*Gráfico 2 Número de puntos verificables en función del ángulo de la estrella*

Se observa que conforme se disminuye el ángulo los puntos no verificables aumentan (Gráfico 2). Una de las causas de esta relación es que al disminuir el ángulo del brazo uno de los nidos se acerca al portaherramientas aumentando las colisiones del brazo que sustenta dicho nido.

### 5.1.3. DECALAJE EN X DE LA ESTRELLA.

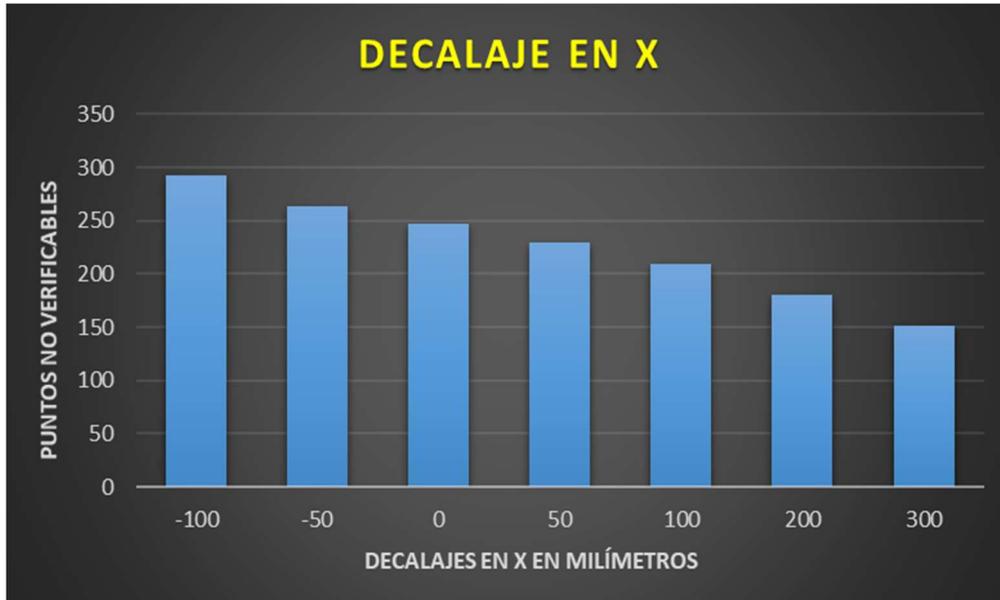
Se denomina decalaje en X, la distancia que hay entre el centro del cabezal y el centro de la estrella. (Ilustración 5.1-3)

De nuevo, se simula en el CAD 3D en busca de posibles incompatibilidades geométricas. Cuando se desplaza la estrella hacia el portaherramientas llegará una posición en la cual colisionan los brazos de la misma. Por ello, considerando que los brazos de la estrella tienen cierto grosor, se considera no desplazar la estrella más de 100 milímetros hacia el portaherramientas.



*Ilustración 5.1-3 Decalaje en X antes de la colisión de los brazos con el portaherramientas*

En el otro sentido no hay problema; se podría desplazar hasta 1000 milímetros sin que colisionase la estrella con el carenado de la máquina. No obstante, el descentrar tanto la estrella del cabezal implica que la geometría de tetraedro trirrectángulo se descentraría del centro del volumen de verificación. En consecuencia, se decide realizar el ensayo entre -100 y 300 milímetros.



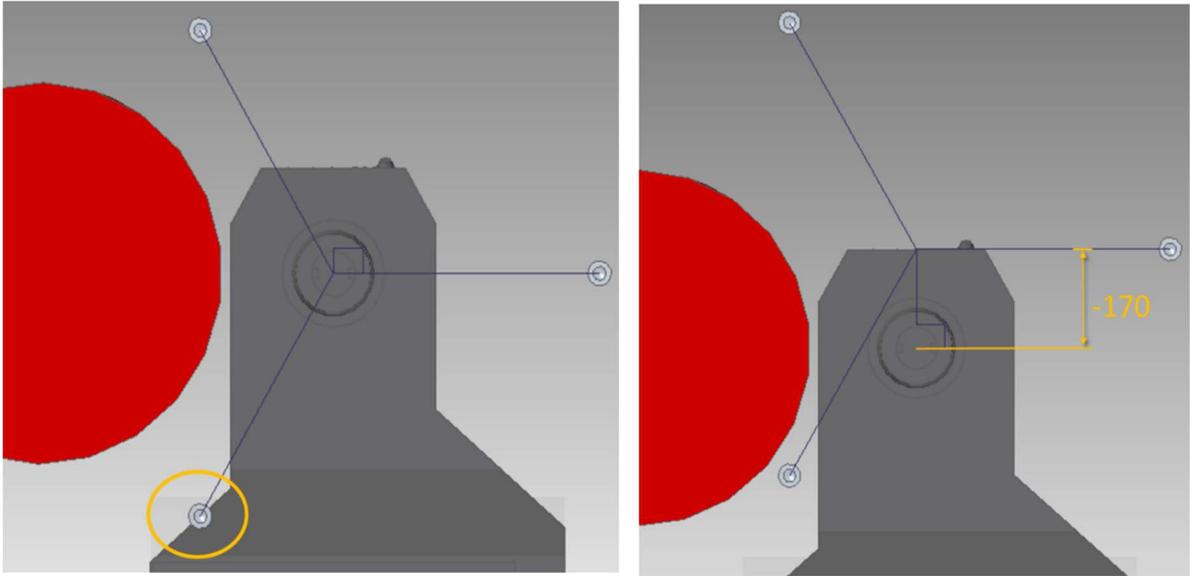
*Gráfico 3 Número de puntos verificables en función del decalaje en X*

La tendencia mostrada en el gráfico 3 indica que, al alejar la estrella del portaherramientas las colisiones disminuyen. Esto se debe a que conforme los nidos se alejan del portaherramientas es más difícil la colisión de los elementos telescópicos con el mismo. Por otra parte, al descentrar los nidos hacia los extremos, se reducen las incompatibilidades producidas por compresiones máximas de los sistemas telescópicos.

#### **5.1.4. DECALAJE EN Y DE LA ESTRELLA.**

Al comenzar el estudio del decalaje en Y, se buscan los límites en los que algún nido u otra parte de la estrella interfiera con otro elemento de la máquina herramienta. Para ello se emplea CAD mecánico.

Si se hace un decalaje positivo (hacia el fondo de la máquina) se aprecia en la ilustración 5.1-4 que uno de los nidos colisionaría inmediatamente con el carenado posterior de la máquina. En cambio, si se aplica un decalaje negativo se podría mover unos 170 milímetros antes de que uno de los nidos colisionase con el portaherramientas. En consecuencia, el ensayo se realizará entre 0 y -170 milímetros.



**Ilustración 5.1-4** Posiciones del utillaje antes de que se produzca una interferencia por decalar el sistema en Y

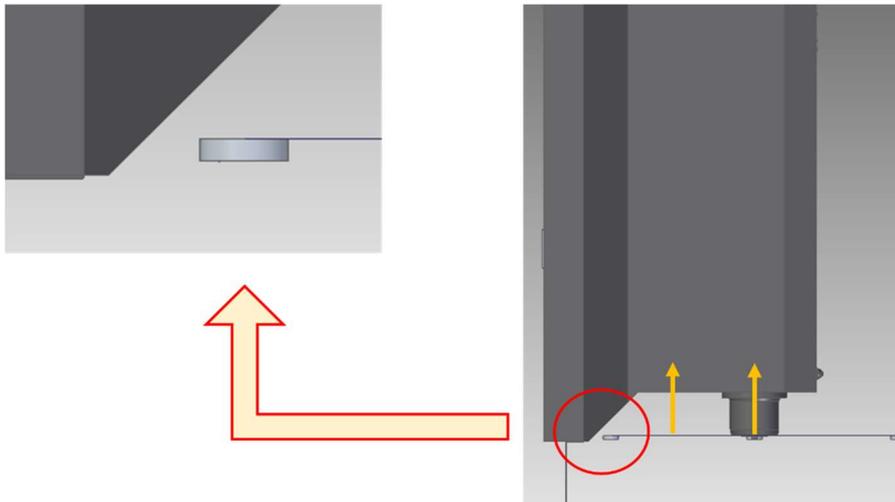
Tras realizar el ensayo se observa que conforme uno de los nidos se acerca al portaherramientas debido al decalaje que se introduce, aumentan las colisiones. Como en los casos anteriores esto se debe a que conforme un nido se dispone más próximo al portaherramientas, se incrementan las colisiones entre sistema telescópico y portaherramientas.



**Gráfico 4** Número de puntos verificables en función del decalaje respecto del cabezal en Y de la estrella.

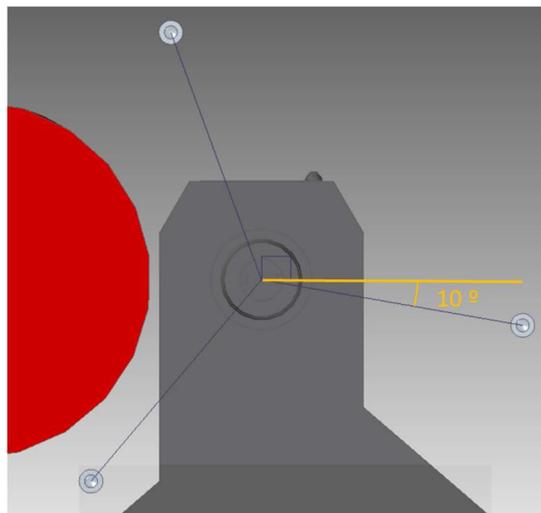
### 5.1.5. DECALAJE EN Z

Se define decalaje en Z coma distancia que hay desde la parte inferior del cabezal hasta la estrella en dirección Z. Al buscar los límites en los que se podrá variar la posición de la estrella en Z, se observa ilustración 5.1-4 que al desplazar dicha estrella colisiona casi inmediatamente al desplazarla unos pocos de milímetros. Para remediar este problema y poder ensayar con un rango mayor en el decalaje se rota la estrella 10 grados.



**Ilustración 5.1-3** Al aumentar el decalaje en Z la colisión de uno de los nidos es inminente

Pero al levantar los nidos se observa que hay otra parte de la máquina con la que colisiona uno de los nidos. Esta colisión existe en determinado rango de la altura del cabezal.

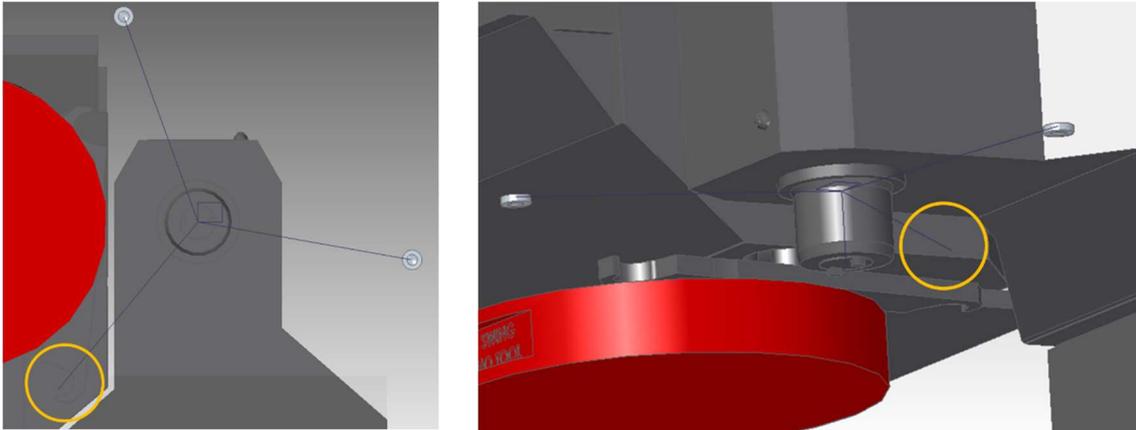


**Ilustración 5.1-6** Se reposiciona la estrella para solucionar la colisión inminente mediante un giro de 10 grados.

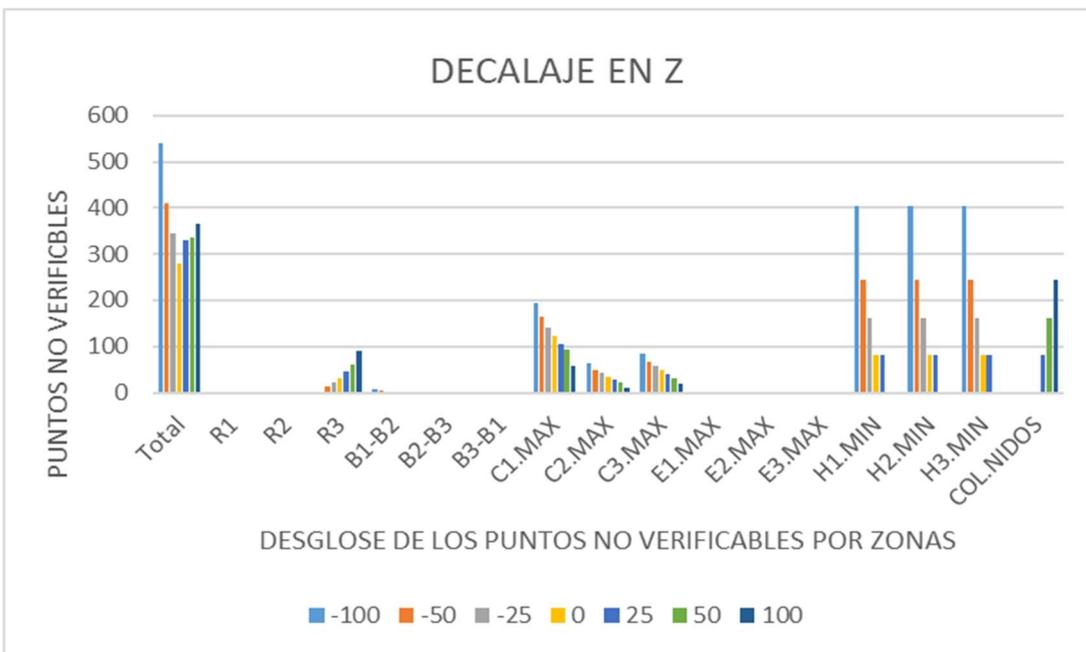
Si se va bajando el cabezal desde la altura máxima llegará un punto en el que desaparezca dicha colisión. Para ello se programará en la hoja de cálculo que cuando el nido colisione con esta parte de la máquina se indique como punto no verificable.

Con ayuda de CAD 3D se detecta que para alturas de los nidos superiores a 760 milímetros se produce colisión de uno de los nidos con el carenado de la máquina. (Ilustración 5.1-5)

Para este ensayo se variará de -100 a 100 milímetros el decalaje de la en el eje Z de los nidos respecto al cabezal.



*Ilustración 5.1-7 Cuando se decala la estrella hacia arriba, en posiciones altas del cabezal aparecen colisiones de los nidos con el carenado superior de la máquina.*



*Gráfico 5 Distintas colisiones e incompatibilidades en función del decalaje en z de la estrella respecto del cabezal. Mirar leyenda 1.*

<b>R1, R2, R3</b>	Colisión de los sistemas telescópicos 1,2,3 con el portaherramientas
<b>B1-B2; B2-B3; B1-B3</b>	Colision entre los sistemas telescópicos 1 y 2; 2 y 3; 1 y 3
<b>C1.MAX, C2.MAX, C3.MAX</b>	Compresión máxima de los sistemas telescópicos 1,2 y 3
<b>E1.MAX, E2.MAX E3.MAX</b>	Extensión máxima de los sistemas telescópicos 1, 2 y 3
<b>H1.MIN, H2.MIN, H3.MIN</b>	Altura mínima vertical entre nidos 1,2 y 3 y esfera
<b>COL. NIDOS</b>	Colisión del nido 3 con el carenado de la máquina

*Leyenda 1 Descripción de colisiones e incompatibilidades*



*Gráfico 6 Número de puntos verificables en función del decalaje en z de los nidos respecto del cabezal*

Al analizar los datos de las gráficas, se aprecia que al incrementar el decalaje en Z de los nidos, disminuyen las incompatibilidades por compresión máxima de los sistemas telescópicos y también las producidas por altura mínima. Pero por otra parte aumentan las colisiones con el portaherramientas y aparecen colisiones con los nidos.

## 5.2. DECALAJE EN LA ESFERA

A continuación, se estudian los puntos más óptimos donde ubicar la esfera para conseguir el mayor número de puntos verificables. Para estos ensayos no hay problemas de colisiones a la hora de ubicar la esfera.

### 5.2.1. DECALAJE EN X



*Gráfico 7 Número de puntos verificables en función del decalaje en X respecto al centro de la mesa*

### 5.2.2. DECALAJE EN Y



Gráfico 8 Número de puntos verificables en función del decaje en Y respecto al centro de la mesa

### 5.2.3. DECALAJE EN Z



Gráfico 9 Número de puntos verificables en función del decaje en Z respecto al centro de la mesa

Analizando los resultados de los gráficos anteriores (7,8,9), el punto óptimo de ubicación de la esfera en la mesa para verificar el máximo de puntos es: (-250, 0, 25). Obviamente este resultado ha de ser estudiado y optimizado al hacer el estudio global con todas las variables. Esto se abordará más adelante en el apartado 5.4.

### 5.3. CONCLUSIONES DE LOS ANÁLISIS

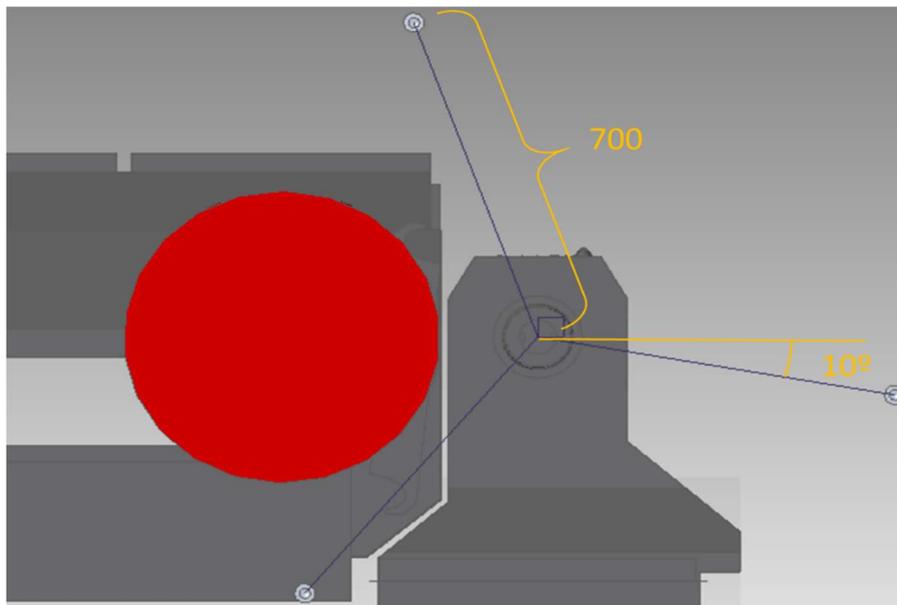
Analizando los ensayos, se observa que realmente lo que interesa es la posición relativa de los nidos y además las siguientes conclusiones:

- Conforme se aumentan la longitud de los brazos hacia el valor máximo, se reducen los puntos no verificables.
- Si se aumenta el decalaje en Z de la estrella respecto del cabezal. Se incrementa el campo de medida en Z.
- Cuanto menor sea el decalaje de Z en la esfera respecto a la mesa, más puntos podrán medirse.
- Girando la estrella puede aumentarse el brazo de la estrella, evitando que los nidos colisionen con la parte trasera del carenado de la máquina.

### 5.4. CONSTRUCCIÓN DE UN PRIMER DISEÑO

Con las conclusiones anteriormente descritas se intenta obtener un diseño que permita obtener el mayor número de puntos de verificación y lo más centrado posible en el campo de trabajo.

En primer lugar, se trata de poner los brazos de la estrella lo más largos posible, es decir la máxima longitud antes de que puedan interferir con cualquier elemento de carenado de la máquina. Se propone una distancia de nidos de 700 milímetros, para poder instalarlos se gira la estrella 10 grados anti-horario (Ilustración 5.4-1).



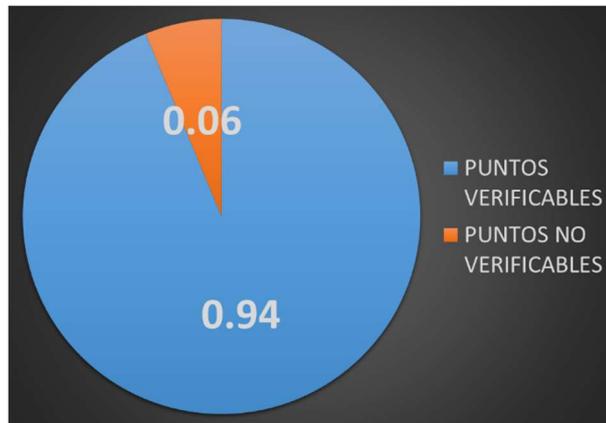
*Ilustración 5.4-1 Diseño inicial propuesto*

A continuación, se obtienen los resultados tras simular el ensayo en el programa con la geometría propuesta y se recogen los resultados en un gráfico para su estudio.

Con esta configuración se logra poder medir el 94% de los puntos. No obstante, analizamos más a fondo cuales son las colisiones que se producen y cuales lo hacen en mayor número para tratar de reducirlas.

GEOMETRÍA DISEÑO	
RADIO NIDOS	700
ANGULO NIDOS	10
DECALAJE X NIDOS	0
DECALAJE Y NIDOS	0
DECALAJE Z NIDOS	0
DECALAJE X ESFERA	0
DECALAJE Y ESFERA	0
DECALAJE Z ESFERA	50

*Ilustración 5.4-2 Dimensiones del sistema propuesto*



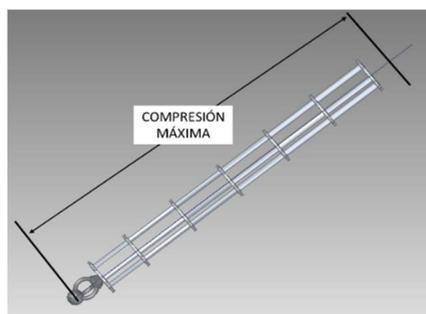
*Ilustración 5.4-3 Porcentaje de puntos verificables del sistema propuesto*



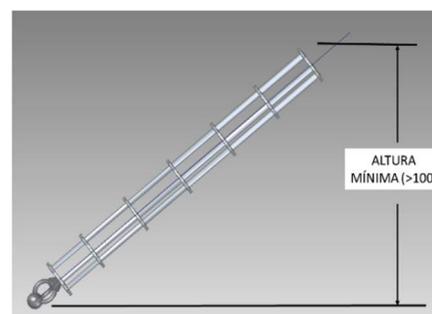
*Gráfico 10 Puntos no verificables desglosados. Mirar leyenda 1*

Se producen dos efectos:

- Compresiones máximas del elemento telescópico 1. (Representado en el gráfico 10 como C1) (Ilustración 5.4-2)
- Situaciones de altura mínima (<100 mm) entre nidos y esfera. (Representado en el gráfico 10 como H1MIN, H2MIN, H3MIN)



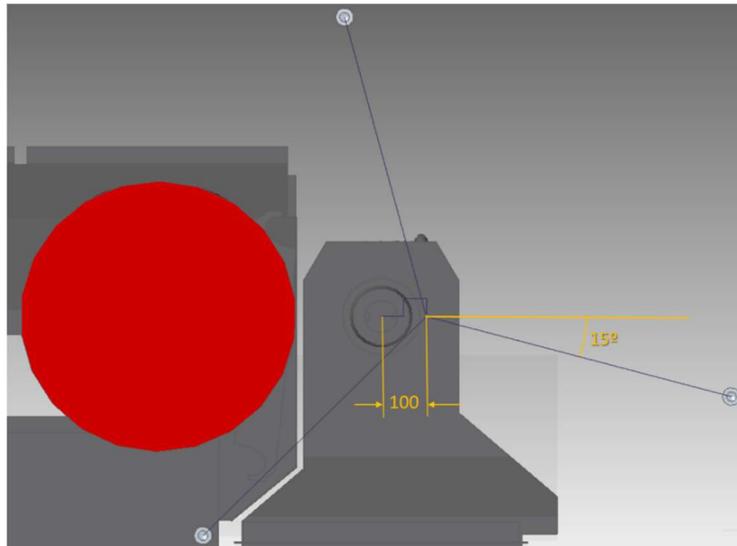
*Ilustración 5.4-5 Esquema compresión máxima*



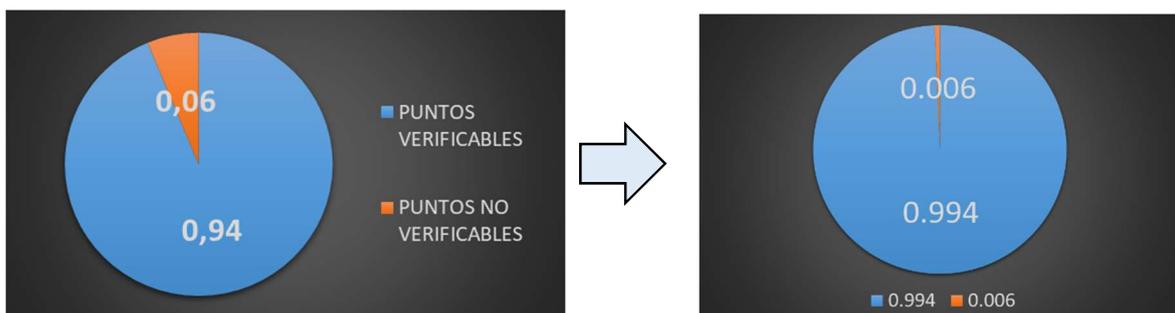
*Ilustración 5.4-6 Esquema de la situación de altura mínima*

## 5.5. MEJORAS DEL DISEÑO EN FUNCIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

- Para solucionar el problema de compresión máxima se aleja la estrella 100 mm en dirección X, alejando así el nido del volumen de trabajo.
- A su vez, se decala la estrella en Z positiva y se al contrario se decala en Z negativa la esfera con la intención de alejar los nidos de la esfera y así reducir ambas incompatibilidades.
- Los brazos de la estrella siguen siendo de 700 milímetros (es la distancia máxima que se puede instalar sin que colisione alguno de los nidos con alguna de las partes de la máquina)



*Ilustración 5.5-1 Diseño mejorado propuesto*



*Ilustración 5.5-2 Mejora de los puntos verificables de un diseño a otro*

Tras hacer el análisis con los nuevos parámetros propuestos aumenta el número de puntos verificables pasando de un 94% a un 99,4%. Este diseño permite medir 1691. de un total de 1701, en el espacio de trabajo

5. ESTUDIO DE LA GEOMETRÍA IDÓNDEA DEL UTILLAJE EN LA CONFIGURACIÓN SIN DIVISOR

GEOMETRÍA DISEÑO FINAL	
RADIO NIDOS	700
ANGULO NIDOS	15
DECALAJE X NIDOS	100
DECALAJE Y NIDOS	0
DECALAJE Z NIDOS	17
DECALAJE X ESFERA	0
DECALAJE Y ESFERA	0
DECALAJE Z ESFERA	20

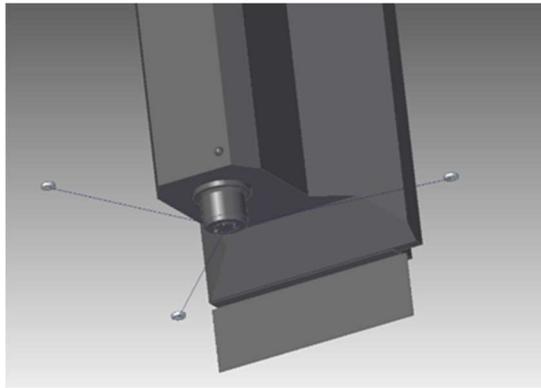


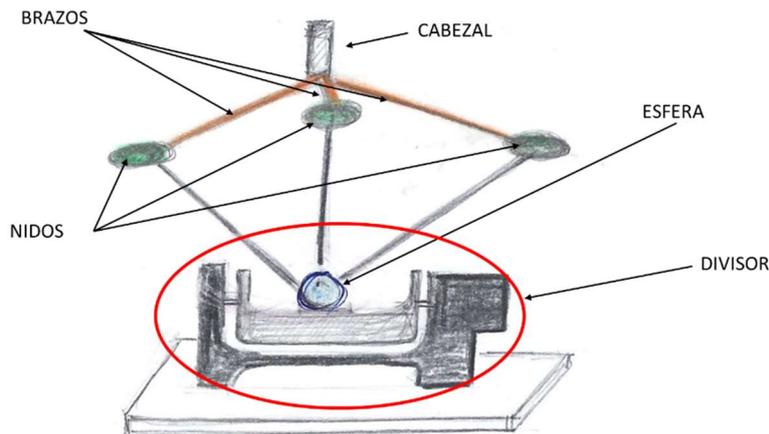
Ilustración 5.5-3 Dimensiones del sistema mejorado propuesto

Ilustración 5.5-4 Geometría del diseño final



Gráfico 11 Mejora de los puntos verificables de un diseño a otro

## 6. ESTUDIO DE LA GEOMETRÍA IDÓNEA DEL UTILLAJE EN LA CONFIGURACIÓN CON DIVISOR



*Ilustración 6-1 Boceto de la configuración a estudiar*

En este capítulo se va a proceder, de forma análoga al anterior, a una configuración del utillaje cuando se introduce un divisor en la máquina herramienta.

La configuración del utillaje consiste en anclar los nidos en el cabezal y la esfera en el divisor. Los tres brazos de los nidos se separan 120 grados como en el caso anterior.

Como en el otro ensayo, se estudia qué geometrías del utillaje permiten verificar un mayor número de puntos en el campo de trabajo de la máquina.

Este análisis tiene más complicación respecto al capítulo anterior, ya que el divisor añade dos ejes más de movimiento. La geometría del divisor hace que aumenten las zonas donde pueden colisionar los sistemas telescópicos.

Para ello, se ha desarrollado un programa que, en función de los diferentes valores de las variables del utillaje, permite identificar el número de puntos que se pueden medir.

Los parámetros que se van a variar son los siguientes:

- De la estrella que sustenta los **nidos** puede variarse:
  - Longitud de los brazos
  - Ángulo en el que se orientan los brazos
  - Decalaje en X
  - Decalaje en Y
  - Decalaje en Z

- De la **esfera** anclada en el divisor puede variarse:
  - Decalaje en radio respecto al eje de rotación del plato del divisor.
  - Decalaje en Z
- Del **divisor**
  - Decalaje en X
  - Decalaje en Y

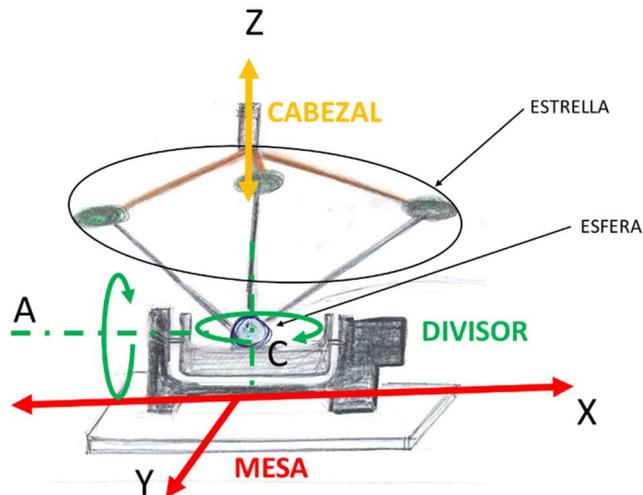
Con todas estas variables, el programa desarrollado permite analizar las tendencias y los mejores valores. Para ello, se elegirá una variable, el resto de variables quedarán como constantes. Dicha variable se ensayará a distintos valores. En cada tanda de ensayos se analiza una variable y se obtiene su tendencia, permitiendo ver los mejores valores de cada variable para **diseñar una geometría óptima del utillaje**.

La estrella está anclada al **cabezal** y se desplaza en el **eje Z**.

El divisor está anclado en la **mesa** y se mueve en los **ejes X e Y**.

A su vez el **divisor** rota en los **ejes A y C**.

La esfera se ancla en el plato del divisor.



*Ilustración 6-2 Esquema movimiento de la máquina herramienta con divisor*

La máquina herramienta se desplazará de la siguiente manera en cada ensayo.

- En X se desplaza de 0 a 1016 milímetro desplazándose con pasos de 508 milímetros
- En Y se desplaza de 0 a 508 milímetro desplazándose con pasos de 254 milímetros
- En Z se desplaza de 120 a 800 milímetro desplazándose con pasos de 37 milímetros
- En A se desplaza de -100 a 100 grados desplazándose con pasos de 25 grados
- En C se desplaza de 0 a 360 grados desplazándose con pasos de 90 grados

En total **se analizan 4455 puntos para cada valor que se da a cada una de las nueve variables** en el espacio de trabajo de la máquina.

## 6.1. VARACIÓN DE PARÁMETROS DE LA ESTRELLA Y SU EFECTO

### 6.1.1. LONGITUD DEL BRAZO DE LA ESTRELLA

Se realiza un ensayo para distintos radios de los brazos de la estrella. Este ensayo se realiza para una posición de la estrella centrada en el cabezal, (es decir, sin decalajes en los ejes X e Y)

Los radios que permiten verificar más puntos son los de 375 milímetros de largo.



Gráfico 12 Número de puntos verificables en función de la longitud de los brazos de la estrella

### 6.1.2. ÁNGULO DE ORIENTACIÓN DE LOS BRAZOS DE LA ESTRELLA

Se rota la estrella sobre el cabezal en el cual está anclada. Con ayuda de CAD mecánico se determinan cuáles son los ángulos de giro máximos antes de que algunos de los nidos interfieran con el portaherramientas.

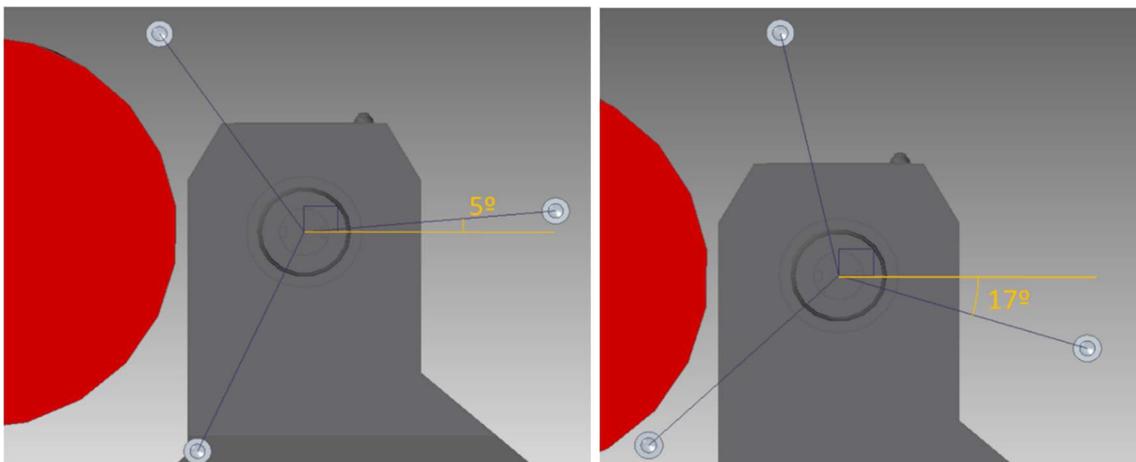


Ilustración 6.1-1 Posiciones de giro máximo del utillaje antes de que el utillaje colisione



*Gráfico 13 Número de puntos verificables en función de la variación del ángulo de la estrella.*

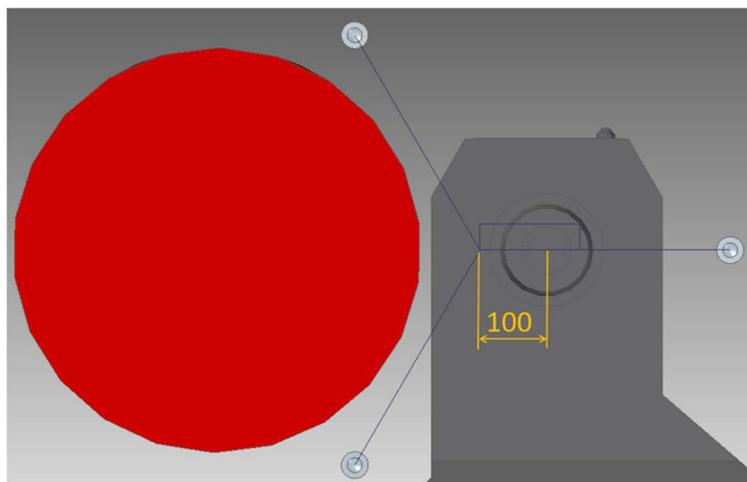
Se realiza el ensayo para distintos ángulos y se analizan los resultados.

Se observa que el punto que menos colisiones tiene es cuando no se gira la estrella (Gráfico 13).

### 6.1.3. DECALAJE EN X DE LA ESTRELLA

Se denomina decalaje en X, la distancia que hay entre el centro del cabezal y el centro de la estrella (Ilustración 6.1-2).

Antes de empezar el análisis se comprueba con CAD mecánico cuáles son las distancias máximas que se puede mover la estrella sin que se produzca interferencia alguna.

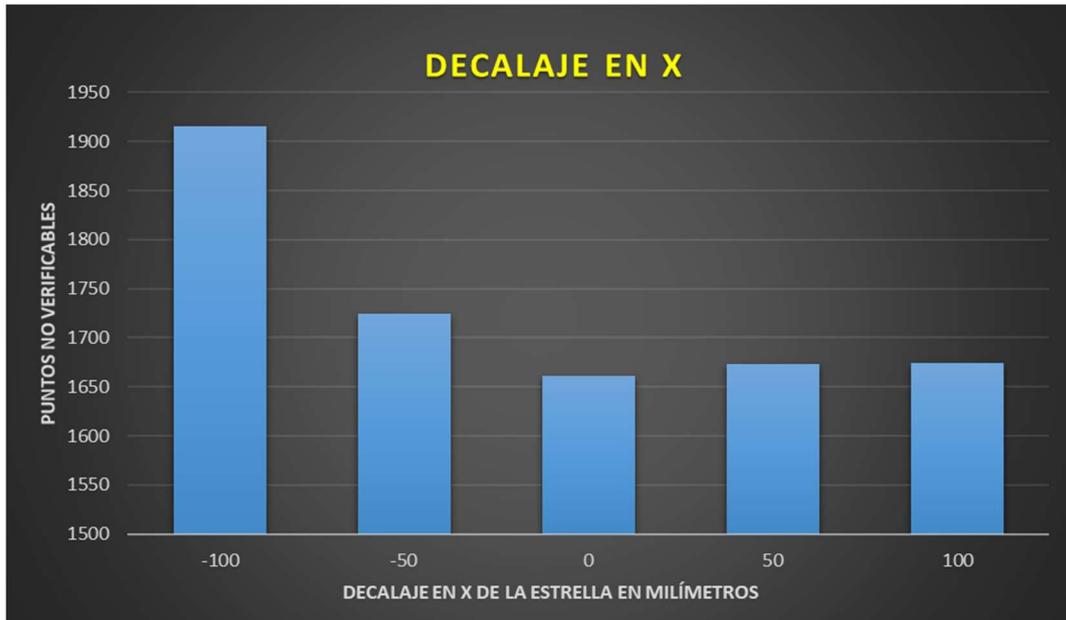


*Ilustración 6.1-3 Decalaje en X antes de la colisión.*

Se puede mover hasta unos 100 milímetros sin que interfieran los brazos de los nidos con el portaherramientas. Los brazos de los nidos se diseñarán más adelante es por ello por lo que se da un valor aproximado.

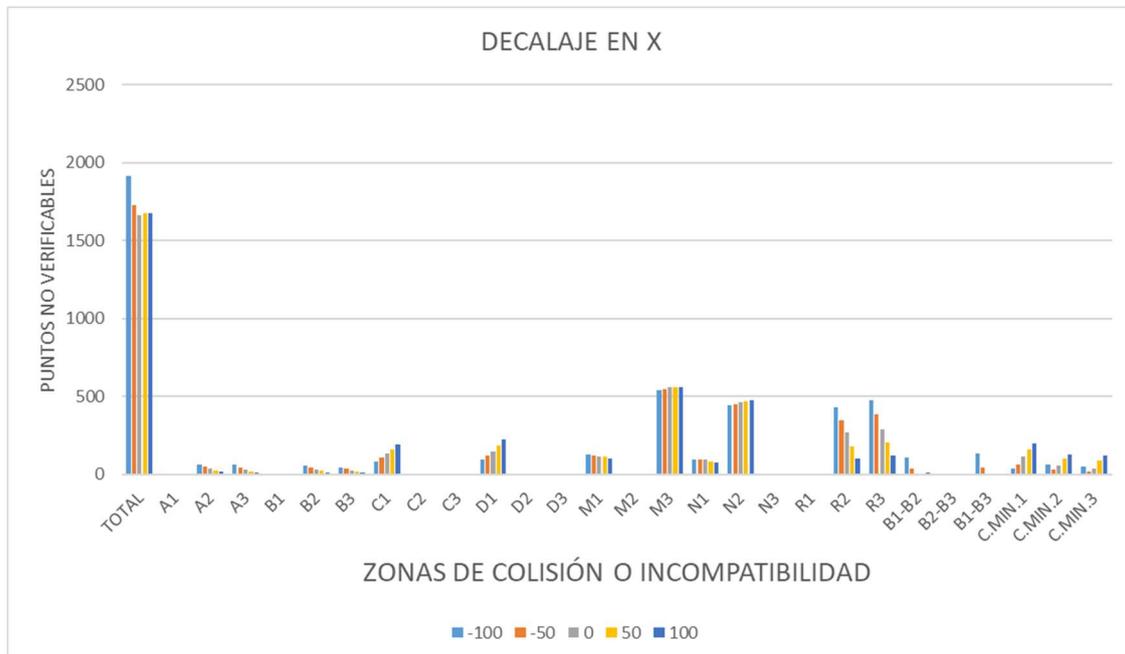
Se realiza el experimento para distintas distancias de decalaje y se analizan los resultados.

El ensayo se realiza en un rango de -100 mm a +100 mm de decalaje en X.



**Gráfico 14** Número de puntos verificables en función del decalaje en X de la estrella.

Observando los datos se concluye que interesa tener la estrella centrada con el eje del cabezal (gráficos 14 y 15).



**Gráfico 15** Número de puntos verificables desglosados en función de la variación del ángulo de la estrella. Mirar leyenda 2.

<b>TOTAL</b>	Suma total de la colisiones de cada parámetro variado
<b>A1, A2, A3</b>	Colisión de los sistemas telescópicos 1,2,3 con la zona A portaherramientas
<b>B1, B2, B3</b>	Colisión de los sistemas telescópicos 1,2,3 con la zona B portaherramientas
<b>C1, C2, C3</b>	Colisión de los sistemas telescópicos 1,2,3 con la zona C portaherramientas
<b>D1, D2, D3</b>	Colisión de los sistemas telescópicos 1,2,3 con la zona D portaherramientas
<b>M1, M2, M3</b>	Colisión de los sistemas telescópicos 1,2,3 con la zona M portaherramientas
<b>N1, N2, N3</b>	Colisión de los sistemas telescópicos 1,2,3 con la zona N portaherramientas
<b>R1, R2, R3</b>	Colisión de los sistemas telescópicos 1,2,3 con el portaherramientas
<b>B1-B2; B2-B3; B1-B3</b>	Colision entre los sistemas telescópicos 1 y 2; 2 y 3; 1 y 3
<b>C1.MAX, C2.MAX, C3.MAX</b>	Compresión máxima de los sistemas telescópicos 1,2 y 3
<b>E1.MAX, E2.MAX E3.MAX</b>	Extensión máxima de los sistemas telescópicos 1, 2 y 3
<b>H1.MIN, H2.MIN, H3.MIN</b>	Altura mínima vertical entre nidos 1,2 y 3 y esfera
<b>COL. NIDOS</b>	Colisión del nido 3 con el carenado de la máquina

#### *Leyenda 2 Descripción de colisiones e incompatibilidades*

Tras observar los gráficos 14 y 15 se aprecia que cuando los nidos se acercan al portaherramientas, las colisiones entre brazo telescópico y el portaherramientas aumentan. También se aprecia que cuando se descentra el centro de la estrella del cabezal, aumentan las colisiones de los brazos telescópicos con el divisor.

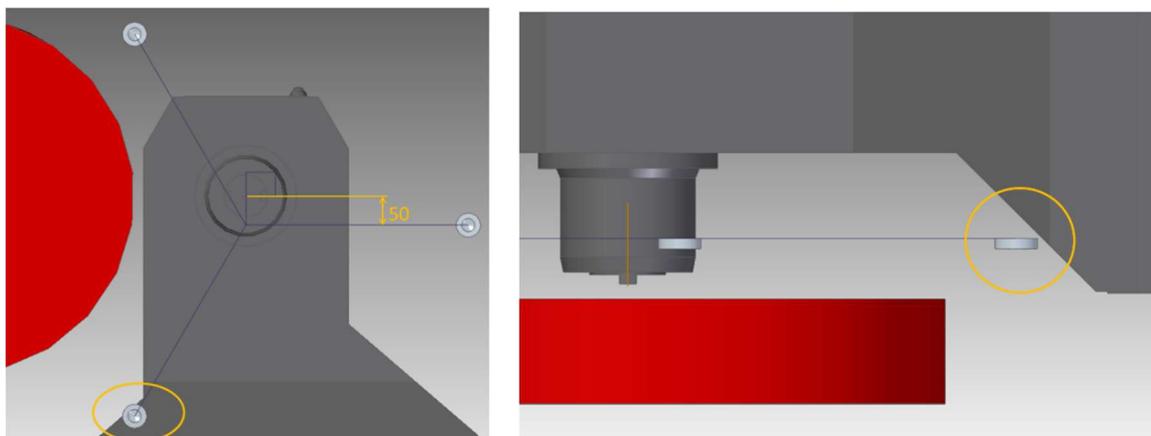
#### **6.1.4. DECALAJE EN Y DE LA ESTRELLA**

Previamente antes del análisis se comprueban cuáles son las distancias máximas en las que se puede desplazar la estrella. Se emplea como en los casos anteriores CAD mecánico.

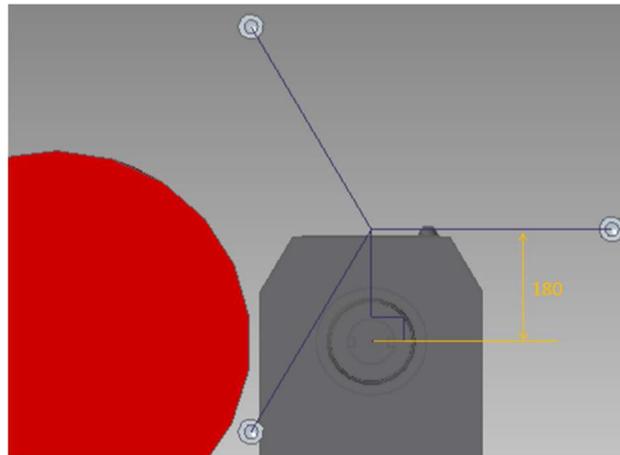
El ensayo se realiza entre los valores -50 mm y 150 mm, para distintos decalajes en Y de la estrella.

Tras variar las distancias del decalaje de la estrella en Y se obtienen los distintos resultados

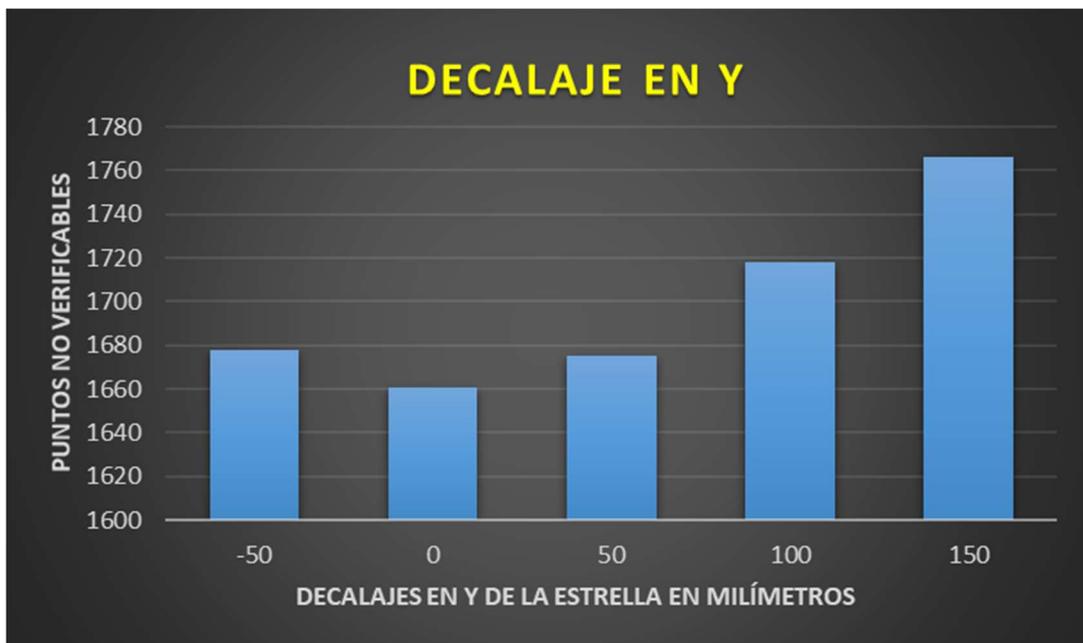
Se observa que al descentrarse la estrella en el eje Y, aumentan los puntos no verificables (Gráfico 16).



*Ilustración 6.1-4 Desplazamientos máximos de la estrella en el eje Y antes de que se produzca una interferencia*



*Ilustración 6.1-5 Desplazamientos máximos de la estrella en el eje Y*



*Gráfico 16 Número de puntos verificables en función del decalaje en X de la estrella.*

### 6.1.5. DECALAJE EN Z DE LA ESTRELLA

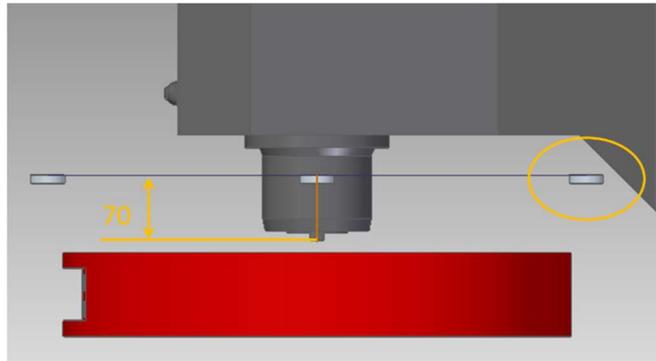
Se comprueba a través de CAD mecánico cuáles son los puntos límite en los que los nidos interfieren con alguna parte del carenado de la máquina (Ilustración 6.1-4).

Se observa que no se pueden decalar los nidos a más de 70 milímetros en Z positiva.

A continuación, se estudian los resultados para distintos decalajes en Z de la estrella que contiene a los nidos. El ensayo se realiza desde -35mm hasta 70mm. Por ensayos anteriores, se intuye que los decalajes negativos no interesan puesto aumentarían las compresiones de los sistemas telescópicos y las incompatibilidades por alturas mínimas entre nidos y esfera.

Al alejar los nidos hacia el divisor, donde se encuentra la esfera, disminuyen los puntos no verificables por altura mínima y compresión máxima de los sistemas telescópicos. Esto se debe a que los nidos y la esfera se encuentran más alejados. También disminuyen otras colisiones de partes del divisor con los sistemas telescópicos.

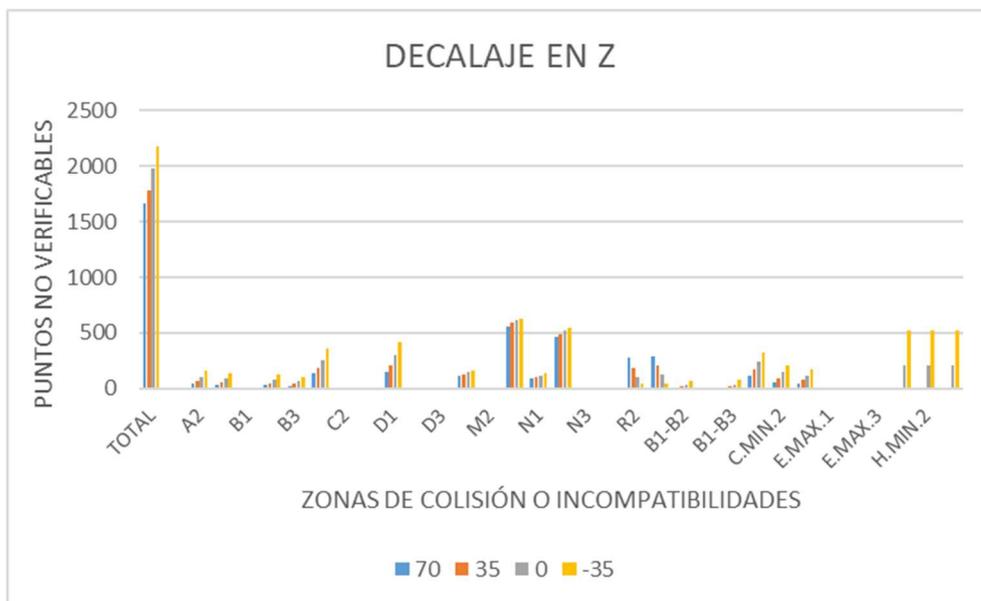
6. ESTUDIO DE LA GEOMETRÍA IDÓNDEA DEL UTILLAJE EN LA CONFIGURACIÓN CON DIVISOR



**Ilustración 6.1-5** Decalaje máximo de la estrella en Z antes de la colisión.



**Gráfico 17** Número de puntos verificables en función del decalaje en X de la estrella



**Gráfico 18** Número de puntos verificables desglosados en función del decalaje en X de la estrella. Mirar leyenda 2.

## 6.2. VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LA ESFERA Y SU EFECTO

### 6.2.1. DECALAJE DEL RADIO

Para poder verificar el giro del plato del divisor, la esfera tiene que rotar de forma excéntrica respecto al eje de giro del plato (Ilustración 6.2-2). A continuación, se prueban distintos decalajes en el radio del plato.

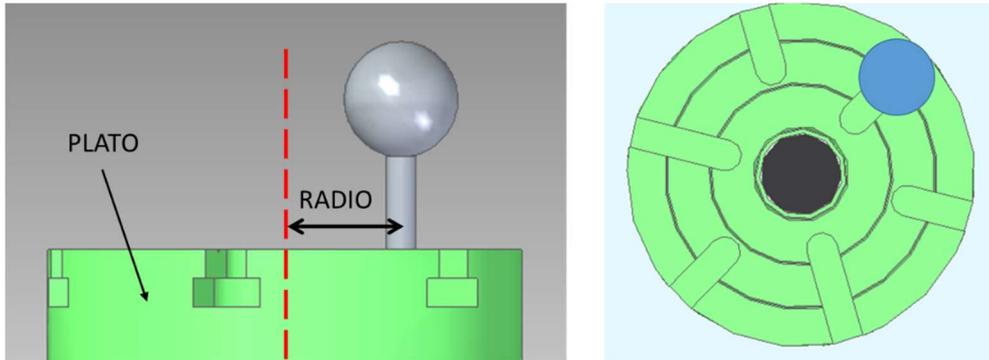


Ilustración 6.2-1 Decalaje del radio respecto al eje de giro del plato

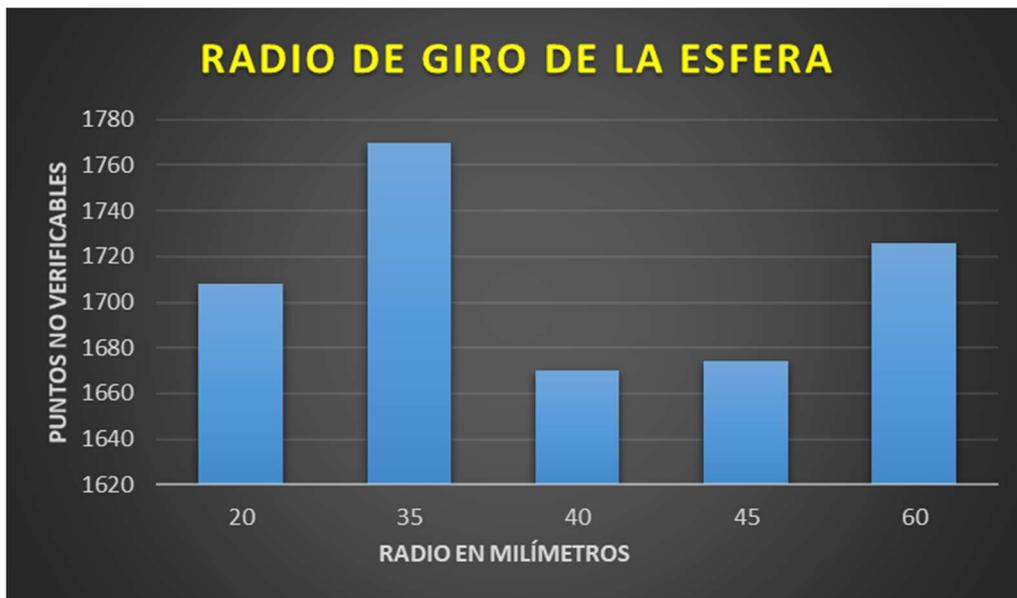
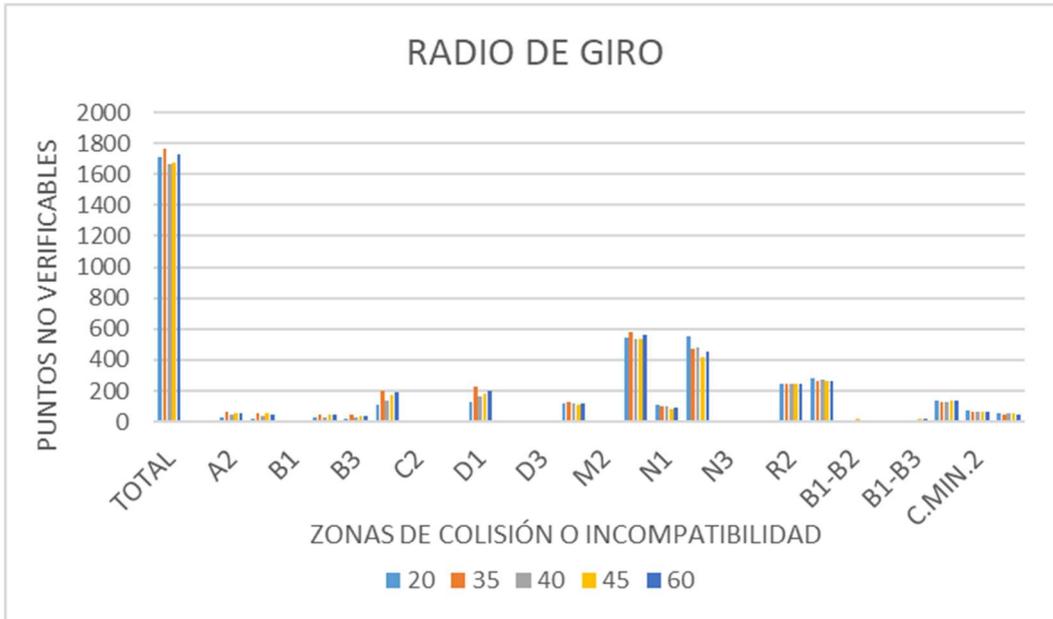


Gráfico 19 Número de puntos verificables en función del decalaje del radio de giro de la esfera

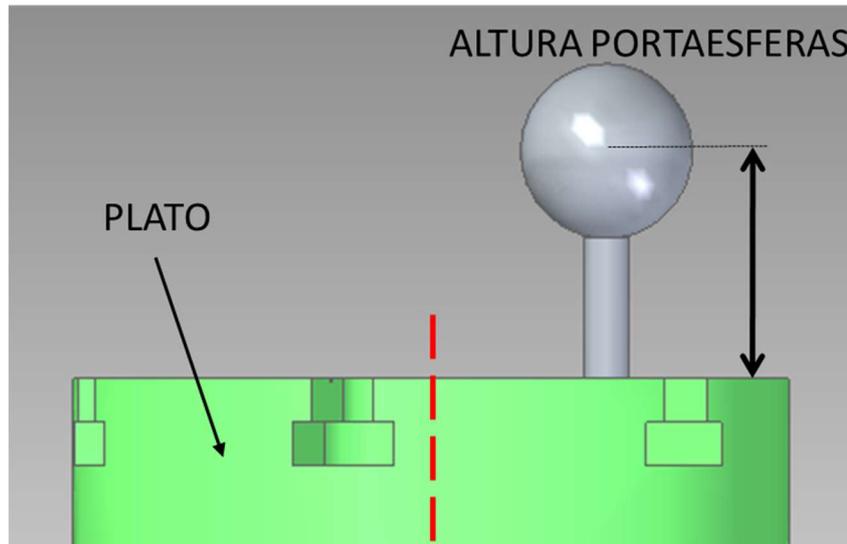


**Gráfico 20** Número de puntos verificables por zonas en función del decalaje del radio de giro de la esfera. Mirar leyenda 2.

Analizando los resultados se aprecia que un radio de entre 40 y 45 milímetros es la posición más adecuada para situar el porta-esferas en el plato del divisor (Gráfico 19).

### 6.2.2. VARIACIÓN DE LA ALTURA DEL PORTA-ESFERAS

Se varía la longitud del porta-esferas que se encuentra anclado en el plato del divisor y se analizan los resultados obtenidos.



**Ilustración 6.2-3** Altura del porta-esferas



Gráfico 21 Número de puntos verificables en función de la altura del porta-esferas.

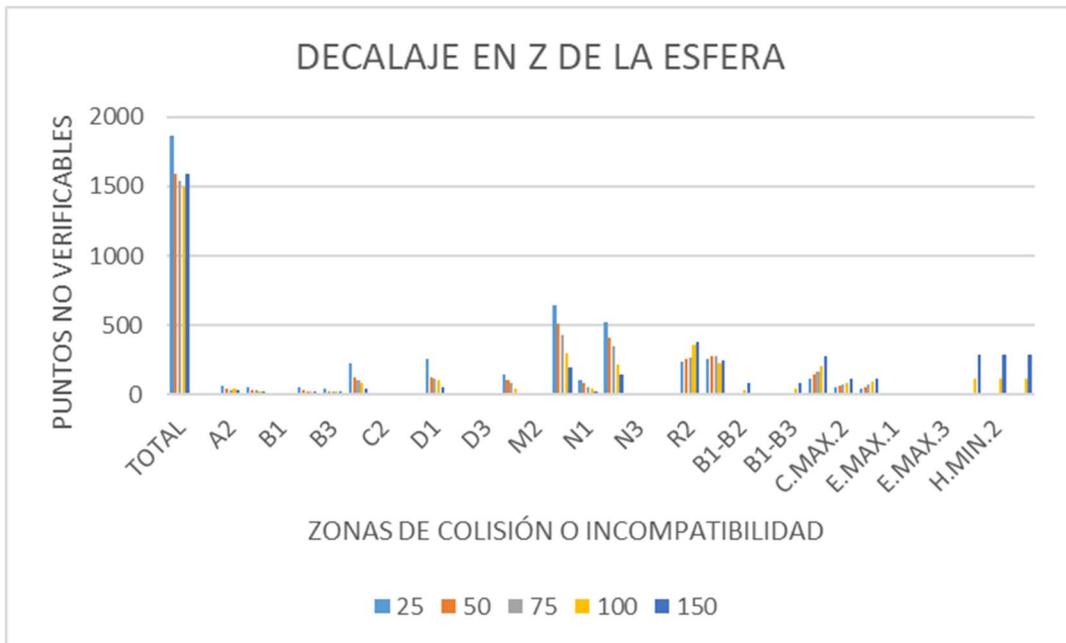


Gráfico 22 Número de puntos verificables desglosados en función de la altura del porta-esferas. Mirar leyenda 2.

Analizando los resultados se aprecia (grafico 21 y 22):

- Al aumentar la altura del porta-esfera se producen menos colisiones entre los brazos telescópicos y elementos del divisor.
- Cuando el porta-esfera mide 100 milímetros se reducen más los puntos no verificables.
- Al acercar la esfera a los nidos se produce un aumento en los puntos no verificables. (Esto es debido a compresiones máximas de los sistemas telescópicos y alturas mínimas entre nidos y esfera).

### 6.3. VARIACIÓN DE LA POSICIÓN DEL DIVISOR RESPECTO DEL CENTRO DE LA MESA Y SU EFECTO

#### 6.3.1. DECALAJE EN X



Gráfico 23 Número de puntos verificables en función del decaje del divisor en X.

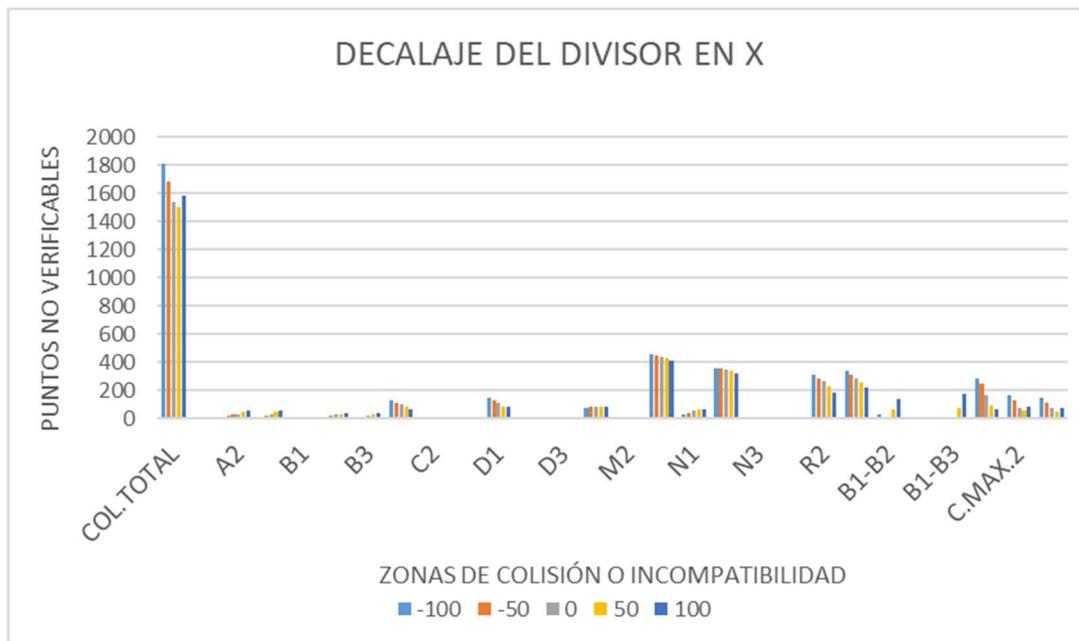


Gráfico 24 Número de puntos verificables desglosados por zonas, en función del decaje del divisor en X. Mirar leyenda 2.

Las principales conclusiones que se pueden sacar son:

- Que al alejar la esfera de los nidos se reducen las colisiones con el portaherramientas y al alejar la esfera de los nidos más próximos al portaherramientas se reducen los puntos no verificables por compresiones máximas.
- La mejor opción es la de un decalaje de 50 milímetros en X.

### 6.3.2. DECALAJE EN Y



Gráfico 25 Número de puntos verificables en función del decalaje del divisor en X.

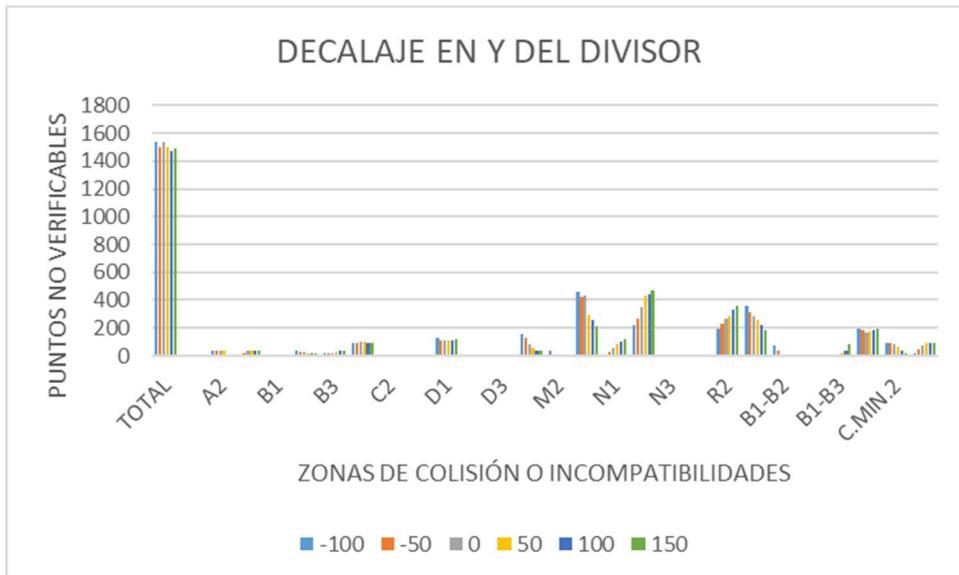


Gráfico 26 Número de puntos verificables desglosados por zonas, en función del decalaje del divisor en Y. Mirar leyenda 2.

Las principales conclusiones son:

- Al desplazar el divisor hacia el nido 2 y alejarlo del nido 3, aumentan las colisiones del elemento telescópico 2 con el portaherramientas y disminuye el del elemento telescópico 3.
- La mejor opción es decalar el divisor respecto del centro de la mesa 100 milímetros.

## 6.4. CONSTRUCCIÓN DE UN PRIMER DISEÑO

Es importante tener en cuenta que en cada ensayo únicamente se variaba una de las nueve variables, pero el mejor resultado de cada ensayo se guardaba como parámetro fijo para la siguiente. Esto permite progresar con cada ensayo. La razón por la que se emplea este método es que cruzar variables habría que hacer miles de ensayos.

Por ejemplo: en este ensayo se estudian 9 variables. Si cada variable se quiere variar 6 veces serían 54 (9\*6) dimensiones diferentes a analizar. Si se quisiera analizar la influencia entre cada una de ellas habría que hacer un total de 1431 ensayos. Si cada ensayo tarda en torno a un minuto serían unas 24 horas de cálculo. También se podrían ver la influencia agrupando las variables de tres en tres y una infinidad de combinaciones.

De esta otra manera se consiguen buenos resultados de una manera más ágil y rápida

Se va a hacer un diseño basado en los parámetros más favorables de cada uno de los ensayos.

Se realiza el estudio para un sistema, introduciendo los parámetros que más puntos verificables se habían obtenido.

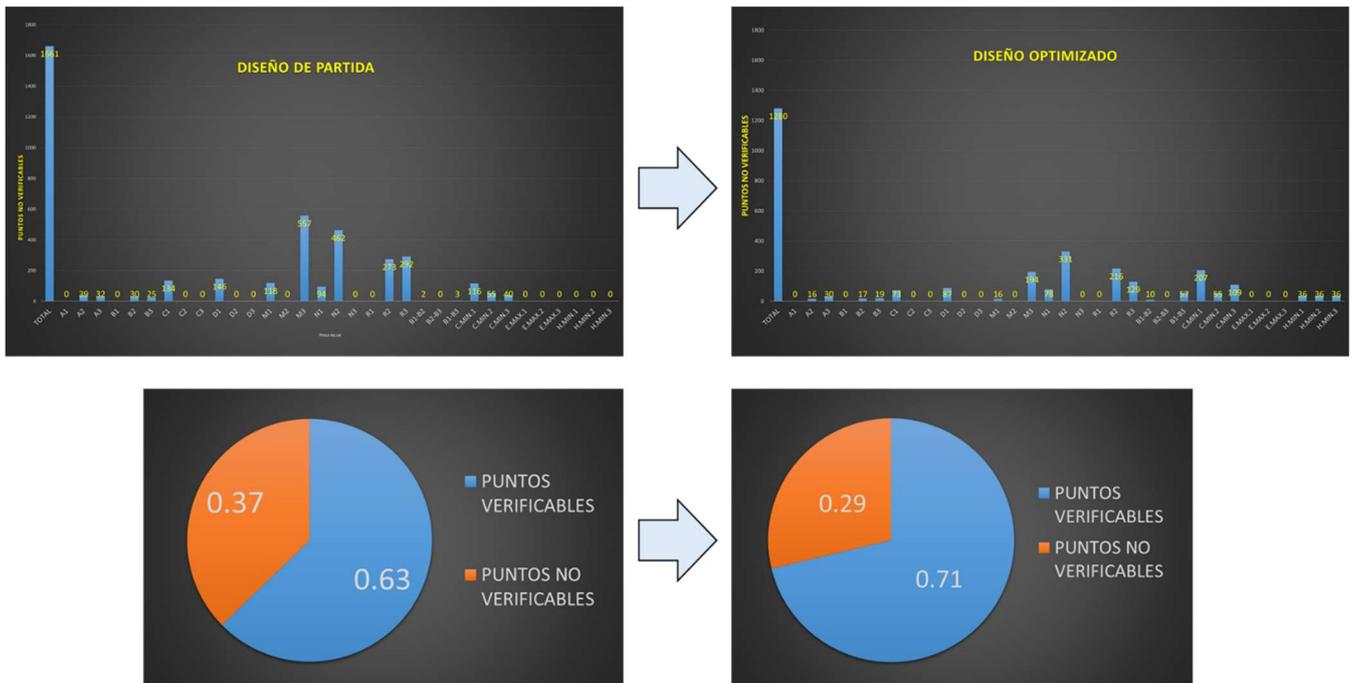
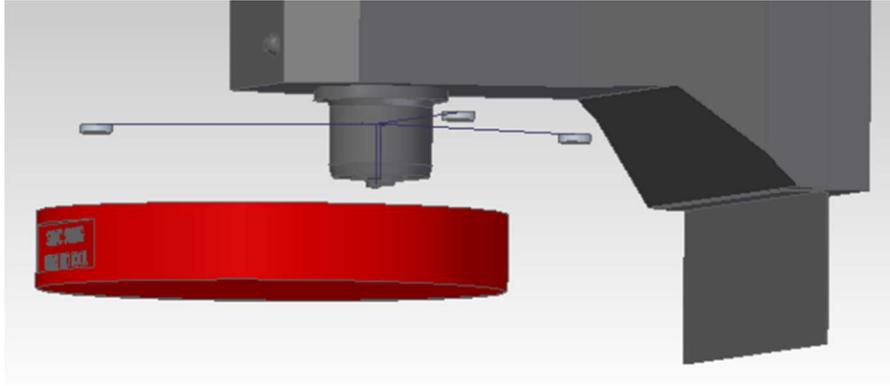


Ilustración 6.4-1 Mejora del diseño (estadísticas)

Este diseño permite verificar 3175 puntos en el espacio de trabajo sobre un total de 4455.



*Ilustración 6.4-2 Geometría del diseño final*

GEOMETRÍA DISEÑO FINAL	
RADIO NIDOS	375
ANGULO NIDOS	0
DECALAJE X NIDOS	0
DECALAJE Y NIDOS	0
DECALAJE Z NIDOS	70
DECALAJE RADIO ESFERA	40
DECALAJE Z ESFERA	100
DECALAJE X DIVISOR	50
DECALAJE Y DIVISOR	100

*Ilustración 6.4-3 Dimensiones del diseño final.*

## 7. DISEÑO DEL UTILLAJE

En el capítulo anterior del proyecto se analizaban las distintas configuraciones y se ha escogido aquellas que permiten verificar el mayor número de puntos. Seguidamente, se procede a buscar un diseño basado en ellas. En este capítulo se diseña:

- Utillaje para la esfera:
  - Para la configuración con divisor
  - Para la configuración sin divisor
- Utillaje de la estrella.
  - Para la configuración con divisor
  - Para la configuración sin divisor

### 7.1. CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO

Para realizar el diseño, también se tienen en cuenta los siguientes factores:

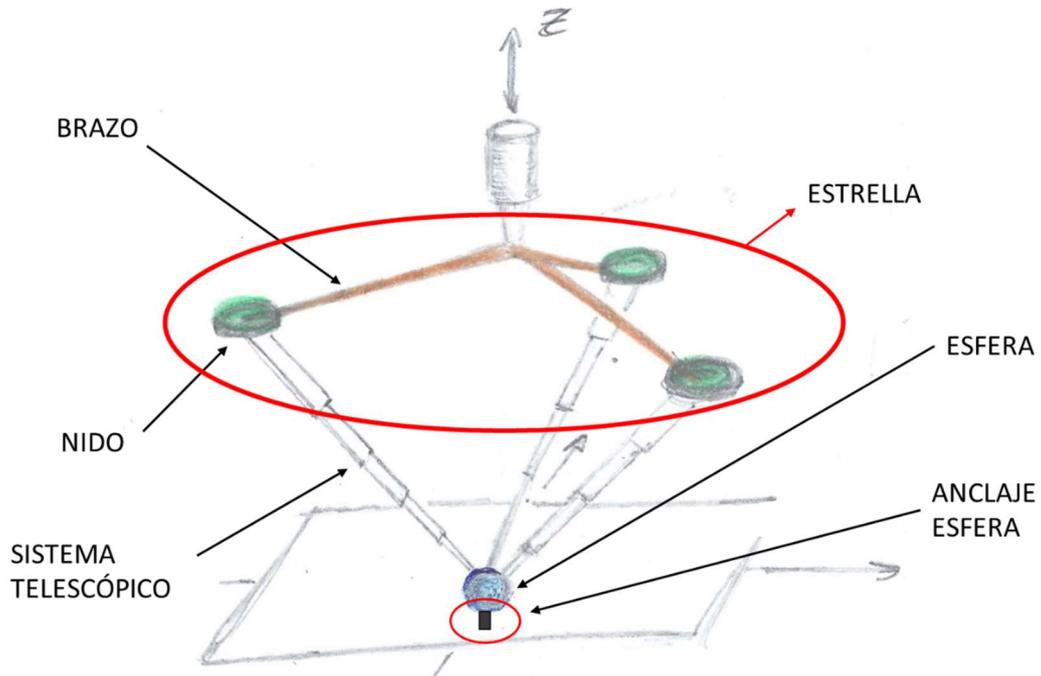
- **Versatilidad:** Que sus geometrías y dimensiones puedan ser modificadas de forma sencilla.
- **Ligereza:** Que permita una fácil instalación y transporte, y no sobrecargue el cabezal al anclarlo.
- **Rigidez mecánica:** buscar buenos ajustes entre piezas, materiales y geometrías para minimizar al máximo las flechas producidas por la flexión de elementos.
- **Repetibilidad en el montaje:** que permita materializar la misma geometría del utillaje, montaje tras montaje.

### 7.2. PARTES DE LOS UTILLAJES DEL SISTEMA

Para el diseño de la estrella que soporta a los nidos podrían distinguirse tres elementos principales que la componen.

- **ESTRELLA:** parte del utillaje que contiene los nidos y se ancla sobre el cabezal de la máquina.
  - **La base:** la cual se ancla al cabezal y la que se anclan los brazos de los nidos.
  - **Los brazos:** a los cuales se ancla un extremo a la base y del otro extremo se anclará un nido que quedará suspendido en el voladizo.
  - **Nidos:** sobre el cual rotará el sistema telescópico a través de un anclaje tipo rótula.
- **ANCLAJE ESFERA:** elemento del diseño sobre el cual se anclará la esfera. Dependiendo de la configuración con la que se trabaje, este elemento se anclará directamente sobre la mesa o en divisor.

Nota: el diseño los sistemas telescópicos no son parte de este TFG

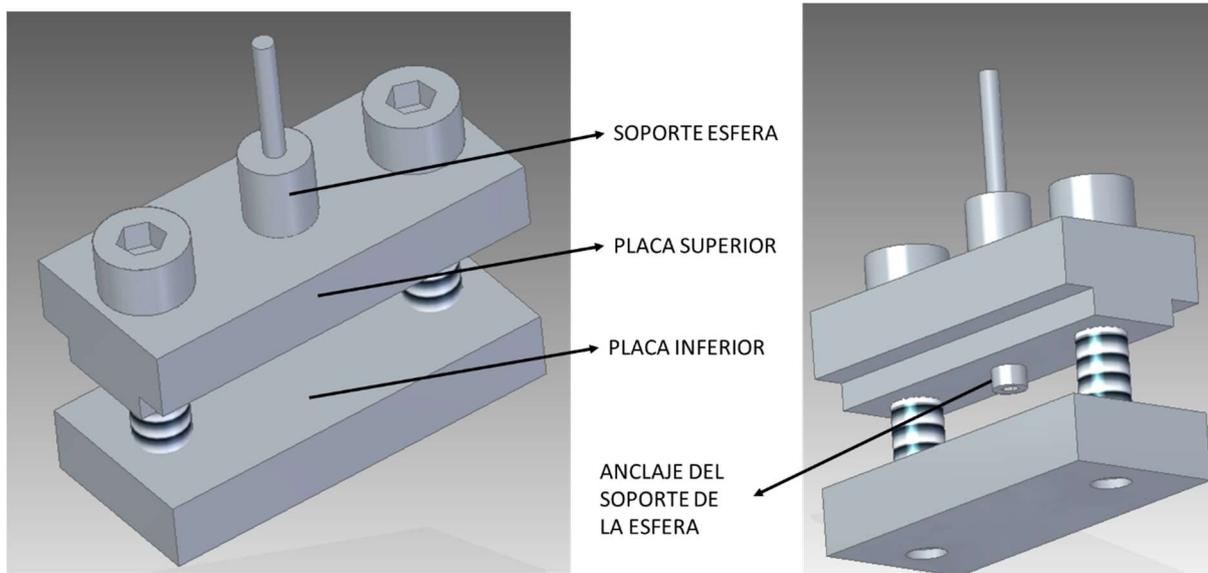


*Ilustración 7.2-1 Esquema ilustrativo del sistema*

### 7.3. DISEÑO DEL UTILLAJE PARA EL ANCLAJE DE LA ESFERA

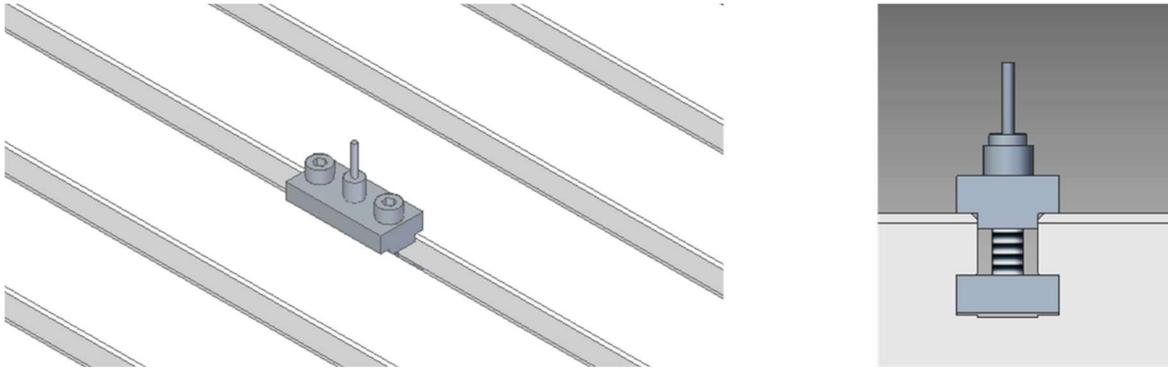
Este utillaje será distinto según si es para anclar la esfera a la mesa o al plato del divisor. La esfera irá insetada a presión en el soporte para esfera.

#### 7.3.1. UTILLAJE PARA ANCLAJE A LA MESA (CONFIGURACIÓN SIN DIVISOR)



*Ilustración 7.3-2 Partes del utillaje para anclaje en mesa*

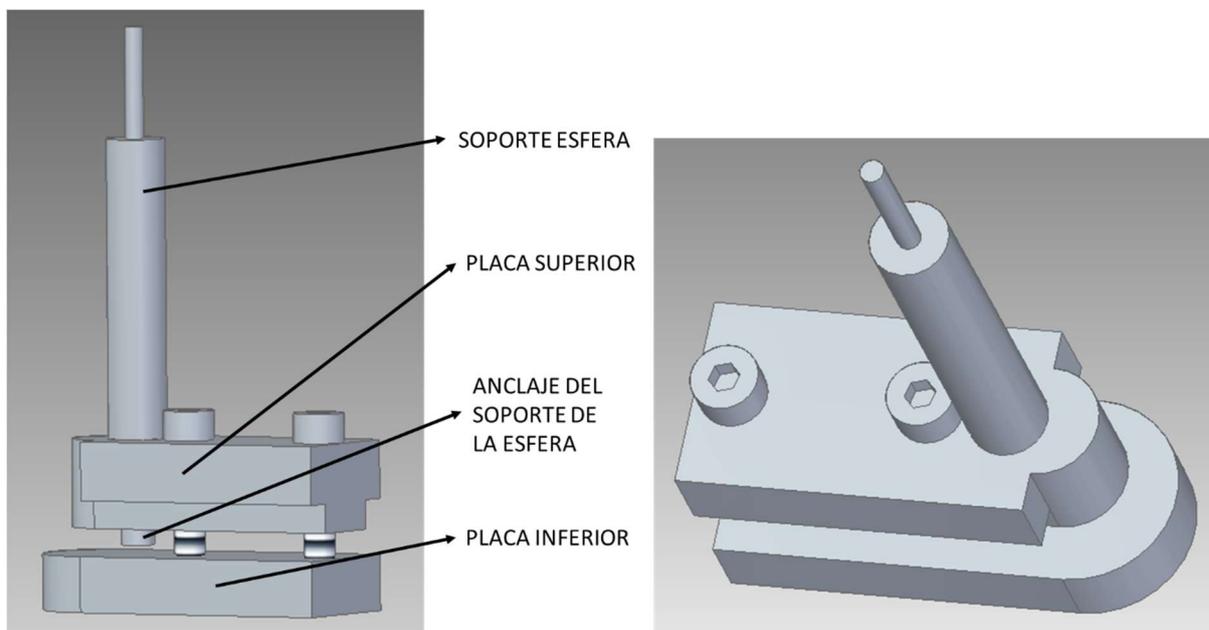
El sistema consiste en dos piezas mecanizadas que muerden la mesa apretándose a través dos tornillos. El soporte de la esfera se inserta en un orificio situado la placa superior y se atornilla en la parte inferior de dicha placa.



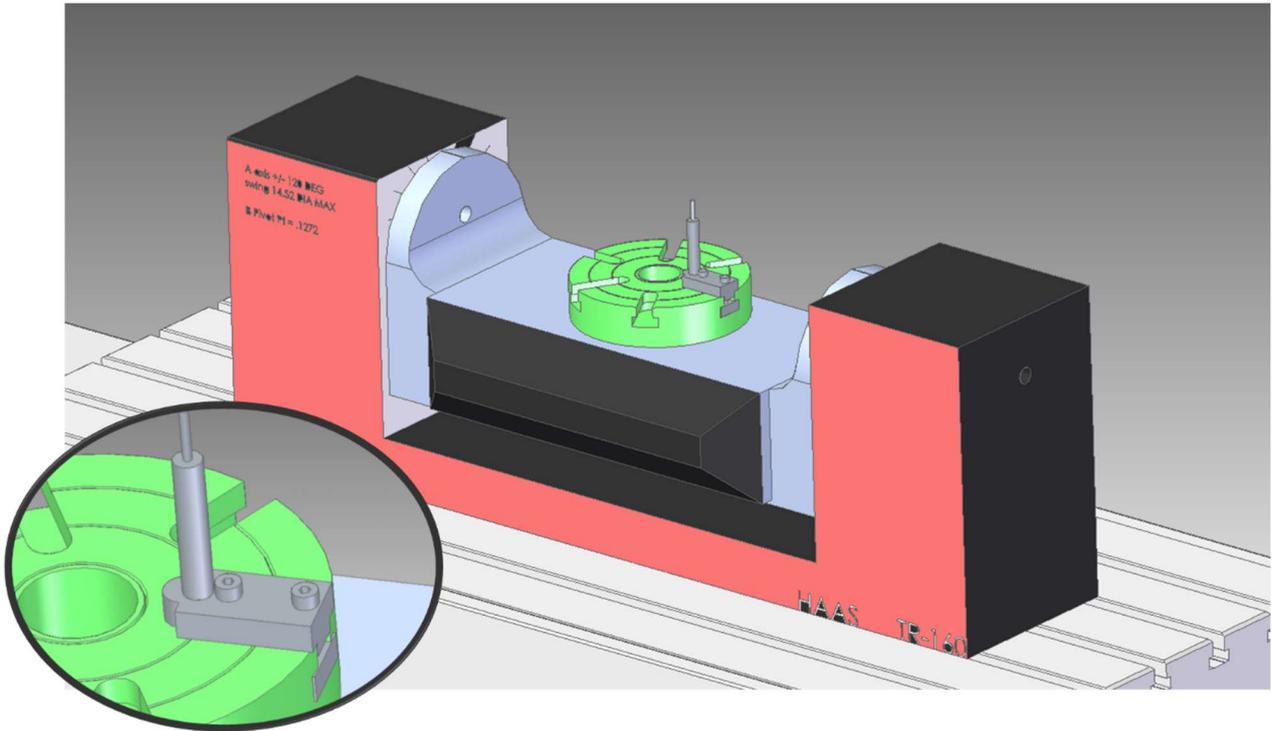
*Ilustración 7.3-3 Instalación del utillaje en la mesa*

### 7.3.2. UTILLAJE PARA ANCLAJE AL PLATO DEL DIVISOR (CONFIGURACIÓN CON DIVISOR)

El sistema es similar al utillaje que se ancla a la mesa. Dos chapas apretadas mediante tornillos que se fijan al plato. La geometría y dimensiones de este utillaje está pensado para encajar en la ranura del plato, así queda fijo simplemente haciendo tope.



*Ilustración 7.3-4 Partes del utillaje para anclaje en el divisor*



*Ilustración 7.3-1 Anclaje del sistema en el plato divisor.*

## 7.4. DISEÑO DE LA ESTRELLA

### 7.4.1. GEOMETRÍA Y MATERIAL EMPLEADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE LOS BRAZOS DE LA ESTRELLA

Para realizar el diseño va a comenzarse por buscar un perfil para los brazos de la estrella, cuya geometría y material aporte ligereza y resistencia mecánica frente a la flexión. Para ello, se analizan distintos materiales frente a una misma geometría del perfil. Dicho ensayo se repite para distintas geometrías del perfil para definir el perfil idóneo.

En las geometrías idóneas calculadas, se obtienen brazos de 700 milímetros para la configuración sin divisor y de 375 para la configuración con divisor. Al ser 700 milímetros la longitud más larga, será en consecuencia la que más flecha obtenga y la más desfavorable.

Por ello se realiza el análisis con una barra de 700 milímetros en voladizo y con una carga suspendida en el extremo de 2 kilos que simula el peso de los sistemas telescópicos y los nidos.

Investigando en el mercado materiales que sean ligeros, resistentes a la flexión y de la geometría deseada se seleccionan: aluminio, fibra de vidrio, fibra de carbono y acero.

Se comienza con el siguiente perfil:

- Perfil rectangular 30mm de alto x 20mm de ancho x 2 mm de espesor

PERFIL RECTANGULAR 20 x 30 x 2 mm			
ALUMINIO	FLECHA TOTAL	1.58	mm
	PESO TOTAL	350	gramos
FIBRA DE VIDRIO	FLECHA TOTAL	3.64	mm
	PESO TOTAL	259	gramos
FIBRA DE CARBONO	FLECHA TOTAL	0.89	mm
	PESO TOTAL	140	gramos
ACERO	FLECHA TOTAL	0.62	mm
	PESO TOTAL	1050	gramos

**Tabla 1** Peso y flecha en distintos materiales para perfil rectangular 20x30x2

Se repite el mismo análisis con los siguientes perfiles:

- Perfil circular de 30 milímetros y un espesor de 1 milímetro

PERFIL CIRCULAR 30 x 28			
ALUMINIO	FLECHA TOTAL	1.97	mm
	PESO TOTAL	349.30	gramos
FIBRA DE VIDRIO	FLECHA TOTAL	4.52	mm
	PESO TOTAL	252.00	gramos
FIBRA DE CARBONO	FLECHA TOTAL	1.12	mm
	PESO TOTAL	182.00	gramos
ACERO	FLECHA TOTAL	0.77	mm
	PESO TOTAL	1008.00	gramos

**Tabla 2** Peso y flecha en distintos materiales para perfil circular  $\varnothing$  30 x 28

Analizando los valores de las tablas 1 y 2, se obtienen las siguientes conclusiones:

- La fibra de carbono es mejor tanto en peso como en flecha que el aluminio y la fibra de vidrio, por ello desestimamos el aluminio y la fibra de vidrio.
- La fibra de vidrio tiene menor peso que el acero, pero peor flecha. Por lo cual se van a analizar dichos materiales para otros perfiles.

Se continúa estudiando otras geometrías en busca de obtener menores flechas sin que aumente demasiado la masa de los brazos.

- Perfil circular de 40 mm de diámetro y 3 mm de espesor

PERFIL CIRCULAR $\varnothing 40 \times 3$ mm			
FIBRA DE CARBONO	FLECHA TOTAL	0.33	mm
	PESO TOTAL	373.10	gramos
ACERO	FLECHA TOTAL	0.19	mm
	PESO TOTAL	1995.00	gramos

Tabla 3 Peso y flecha en distintos materiales para perfil circular  $\varnothing 40 \times 3$

- Perfil cuadrado 40 mm de lado por 3 mm de espesor

PERFIL RECTANGULAR 40 x 40 x 3			
FIBRA DE CARBONO	FLECHA TOTAL	0.20	mm
	PESO TOTAL	459.20	gramos
ACERO	FLECHA TOTAL	0.12	mm
	PESO TOTAL	2422.00	gramos

Tabla 4 Peso y flecha en distintos materiales para perfil rectangular 40x40x3

Tras estudiar las distintas geometrías y los distintos materiales **se escoge el perfil cuadrado de 40x40 con 3 milímetros de espesor de fibra de carbono**. Aunque el acero da menos flecha el peso de los tres brazos es de 7,27 kilos lo cual es un peso excesivo. Además, también debe tenerse en cuenta que el utillaje está compuesto por más elementos que añadirán peso al utillaje.

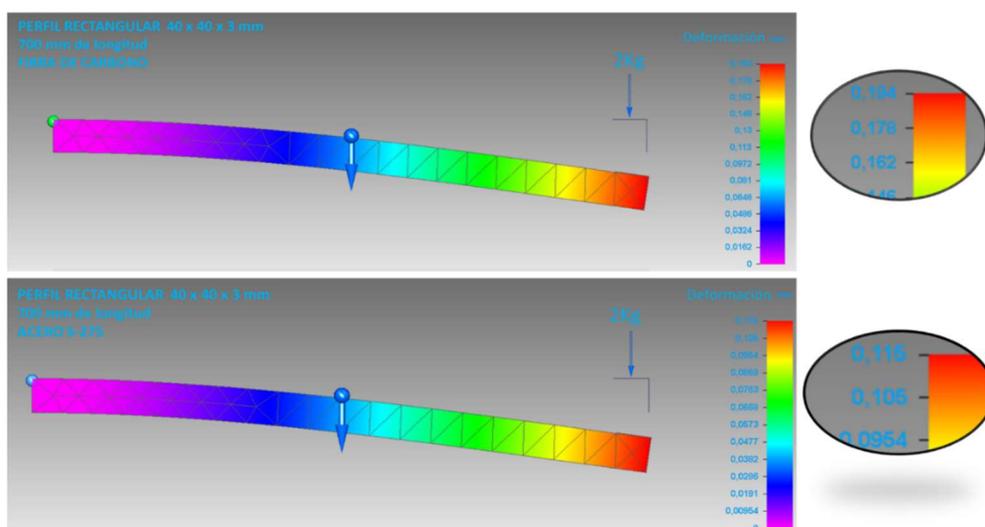


Ilustración 7.4-2 Comprobación de los cálculos de flecha máxima. (Superior) fibra de vidrio (inferior) acero.

A través de un programa de elementos finitos se comprueban los cálculos de flecha realizados. Como se aprecia en la ilustración 7.4-3 los cálculos son correctos. Podemos fiarnos del programa para futuros cálculos.

## 7.4.2. DISEÑO DE LA BASE DE LA ESTRELLA

El diseño de la estrella va a ser común para ambas configuraciones (con y sin divisor). Se trata de un diseño modular variable. El diseño para cada configuración se diferencia únicamente en sus dimensiones geométricas.

### 7.4.2.1. ANCLAJE AL CABEZAL

La máquina con la que se está trabajando posee un cono ISO40 para el anclaje de herramientas. Para ello se busca un sistema de amarre que sujete con firmeza y precisión. Se escogen unas pinzas de alta precisión ER32 para un diámetro de 15 milímetros, dichas pinzas irán albergadas en un porta-pinzas ISO 40 para pinzas ER32. La forma de anclaje será igual a la de una broca. Por lo tanto, la base tendrá un vástago de 15 milímetros.



*Ilustración 7.4-4 (Izquierda) Cono ISO-40 (Derecha) Portaherramientas ER32*

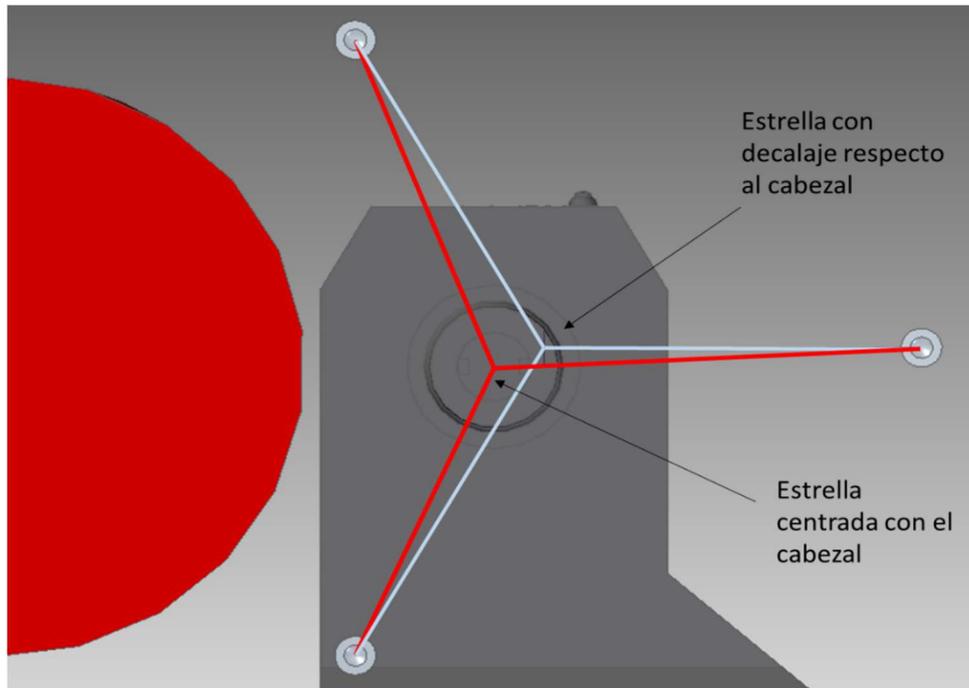
### 7.4.2.2. DECALAJE DEL CENTRO DE LA ESTRELLA

Tanto para la configuración con divisor como para la de sin divisor el posicionamiento propuesto tiene un decalaje del centro de la estrella respecto al cabezal.

En la configuración sin divisor se separa el centro de la estrella 100 milímetros respecto del centro del cabezal, mientras en la configuración con divisor se separa 60 milímetros en X y 40 en Y. Si se sitúa el centro de la estrella en los puntos descritos, apenas queda espacio para situar las zonas a las que irán anclados los brazos de la estrella.

Para solucionar este problema se opta por dejar el centro de la estrella alineado con el cabezal de la máquina y recalcular los ángulos y radios con ayuda de CAD mecánico.

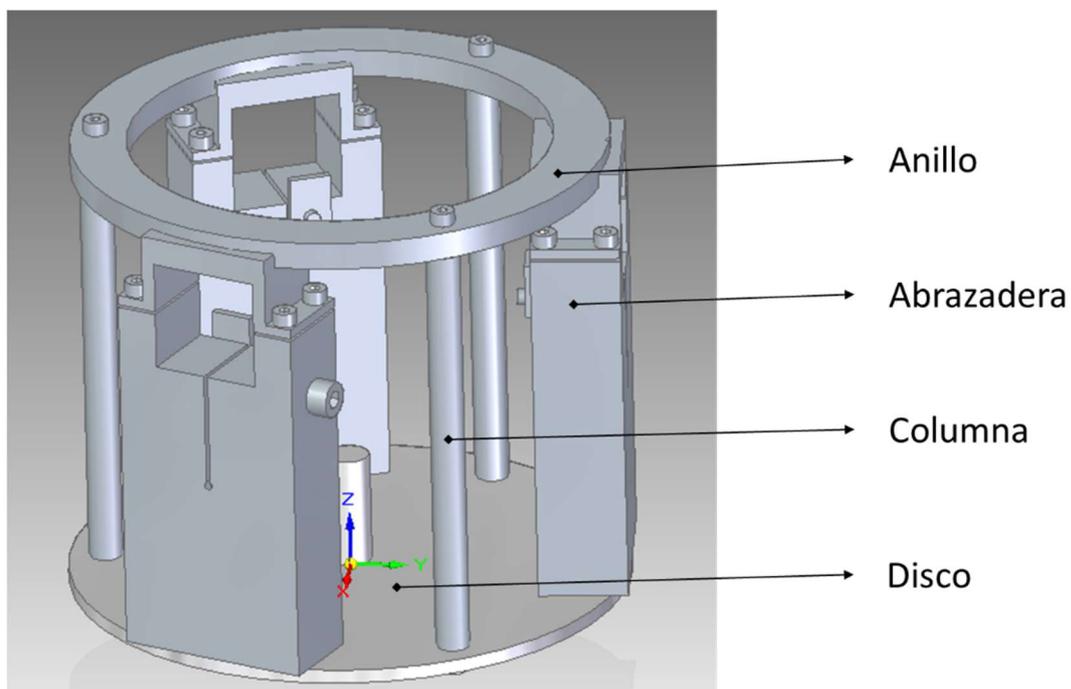
En la ilustración Ilustración 7.4-5 se representa en azul la geometría obtenida en los ensayos. En rojo se representa la geometría que tendrá el sistema para que los brazos de la estrella queden centrados en el cabezal.



*Ilustración 7.4-6 Esquema ilustrativo de la orientación de los brazos.*

Tras haber obtenido las longitudes nuevas de los brazos, debe comprobarse qué flecha se produce en el radio con mayor longitud. El brazo de mayor longitud que hay es de 800 milímetros para el cual se produce una flecha (para el perfil seleccionado) de 0,3 milímetros.

### 7.4.2.3. EXPLICACIÓN DEL DISEÑO Y DE LAS DISTINTAS PARTES DE LA BASE

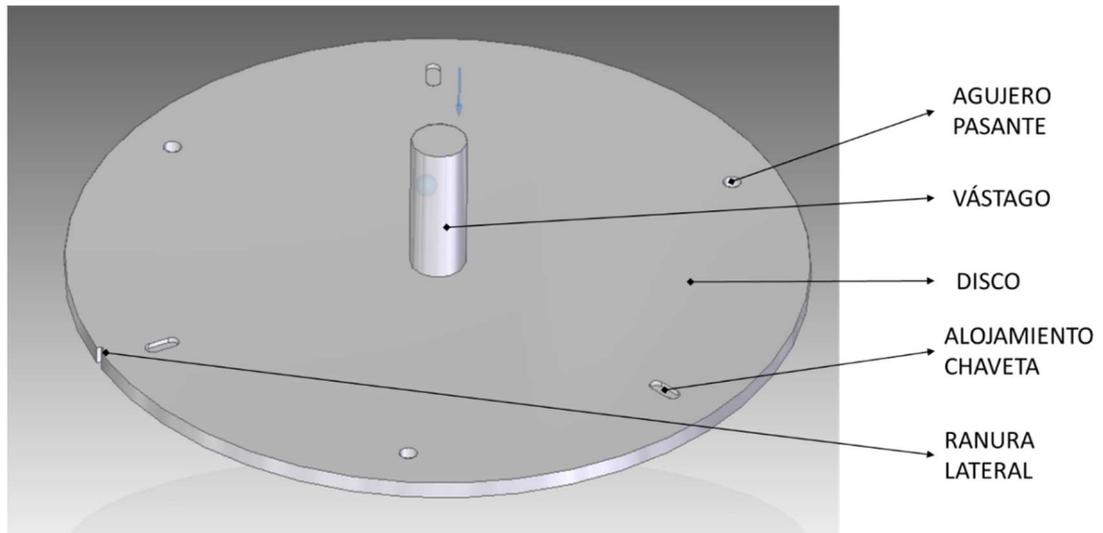


*Ilustración 7.4-7 Partes de la base*

La base está compuesta por cuatro partes fundamentales:

- **DISCO**

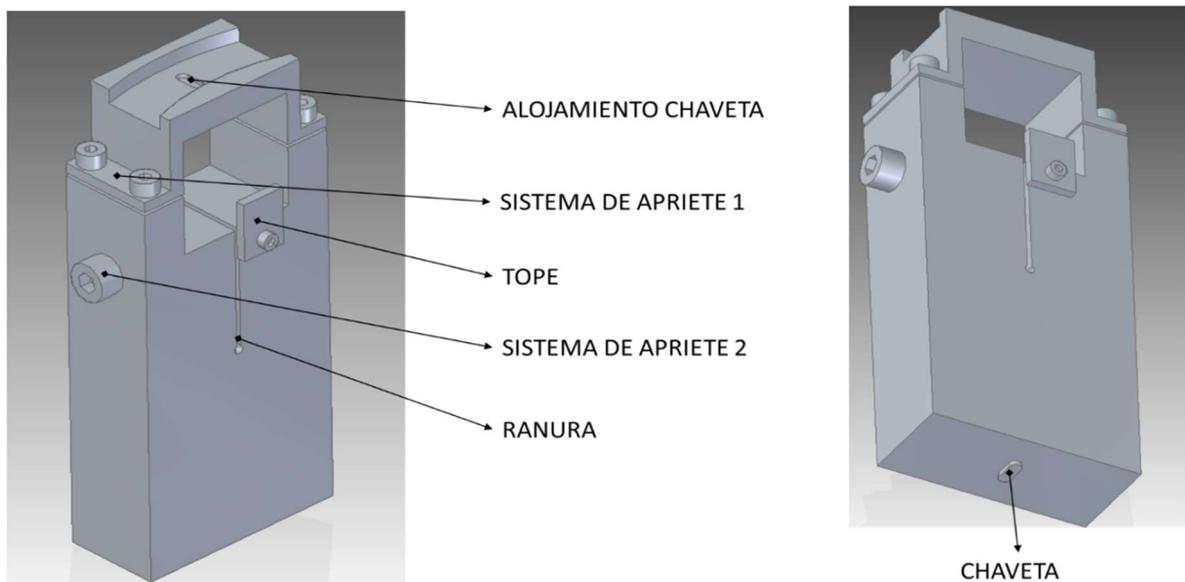
El disco es la parte de la base que se amarra al cabezal que a su vez orienta y fija las abrazaderas.



*Ilustración 7.4-8 Partes del disco*

- Las chavetas asientan y orientan las abrazaderas.
- Los agujeros fijan las columnas que junto al disco fijarán las abrazaderas al disco y formarán un conjunto sólido.
- El vástago es una pieza que se ensambla en el disco y es la parte del sistema que se amarrará al cabezal.
- Se mecaniza una ranura en el lateral que servirá para asegurar su montaje de forma correcta (a prueba de errores o poka-yoke).

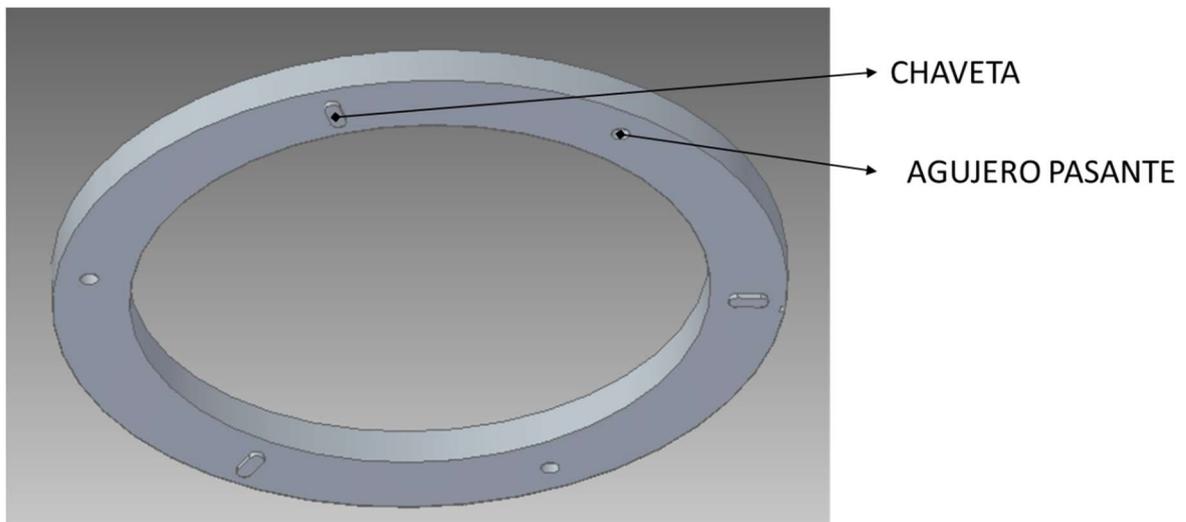
- **ABRAZADERA**



*Ilustración 7.4-9 Partes de la abrazadera*

- La abrazadera se ancla al disco y sustenta los brazos de la estrella.
- La parte superior se mecaniza para que encaje el anillo y pueda ejercer presión para que quede bien fijo.
- El alojamiento de chaveta en la parte superior ayuda a posicionar correctamente el anillo y evitar que rote.
- El sistema de fijación 1 compuesto está por cuatro tornillos que unen las dos partes en las que se asentará el brazo de la estrella. Justamente debajo, una ranura y un tornillo forman el sistema de apriete 2 que aprietan el brazo en dirección horizontal para una mayor fijación.
- El tope permite posicionar correctamente los brazos en la abrazadera.
- En la parte inferior se encuentra una ranura para chaveta, que permite posicionarlo correctamente en el disco.

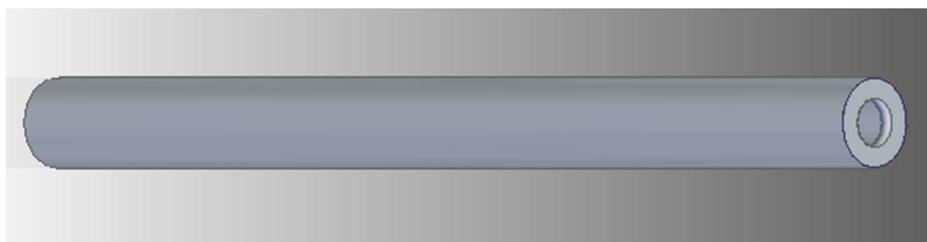
- **ANILLO**



*Ilustración 7.4-10 Partes del anillo*

- La función principal del anillo es, a través de las columnas ejercer presión sobre las abrazaderas y fijarlas firmemente al disco.
- Las chavetas tienen la función de asentar el disco y centrar los agujeros pasantes del anillo con los del disco para que las columnas queden bien centradas. A su vez, las chavetas impiden el giro del anillo.

- **COLUMNA**



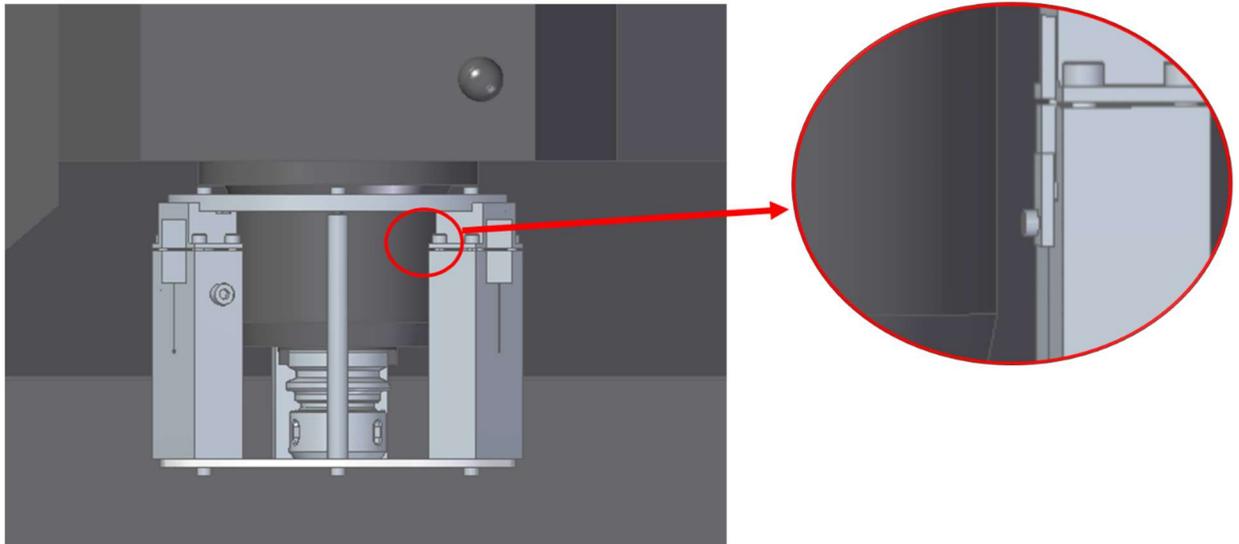
*Ilustración 7.4-11 Columna*

- La columna es un cilindro con agujeros roscados en ambos extremos, cuya función es unir el disco y anillo para crear una fuerza de compresión en la abrazadera.

#### 7.4.2.4. ENSAMBLAJE DE LA BASE EN EL CABEZAL DE LA MÁQUINA.

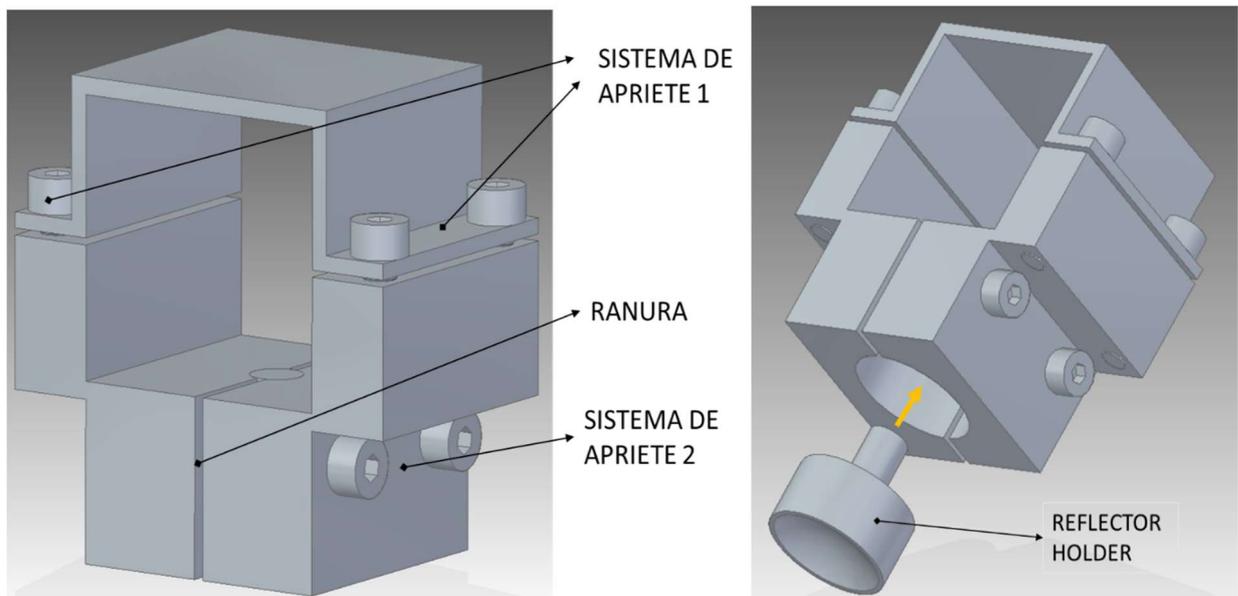
Para comprobar de que no existe ningún problema de diseño se comprueba con ayuda de CAD que la pieza encaja correctamente.

Como se observa la base encaja perfectamente en el cabezal.



*Ilustración 7.4-12 Comprobación del diseño de la base*

#### 7.4.3. DISEÑO Y PARTES DE LOS NIDOS

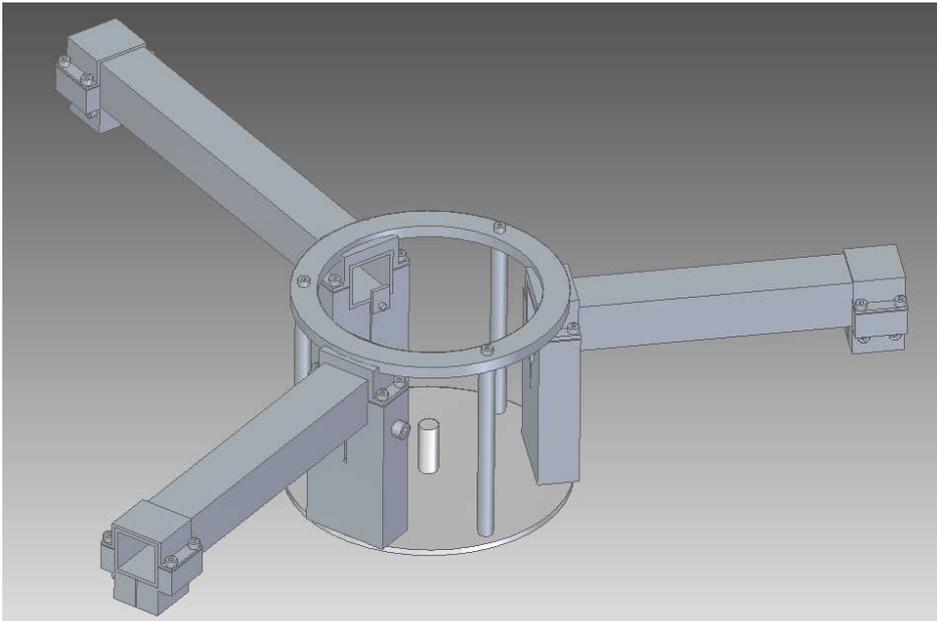


*Ilustración 7.4-13 Pates del nido*

La función principal de los nidos es sustentar el reflector-holder, el cual se encarga de anclar el sistema telescópico. Como se observa el alojamiento cuadrado corresponde con del perfil del brazo. El brazo se ancla fundamentalmente mediante el sistema de apriete 1. El sistema de apriete 2 es para fijar el reflector-holder al nido, aunque también hace un apriete horizontal extra en el brazo. La ranura facilita el apriete.

#### 7.4.4. ENSAMBLAJE DE LA ESTRELLA

Finalmente se ensamblan las distintas partes principales, es decir: la base los brazos y los nidos.

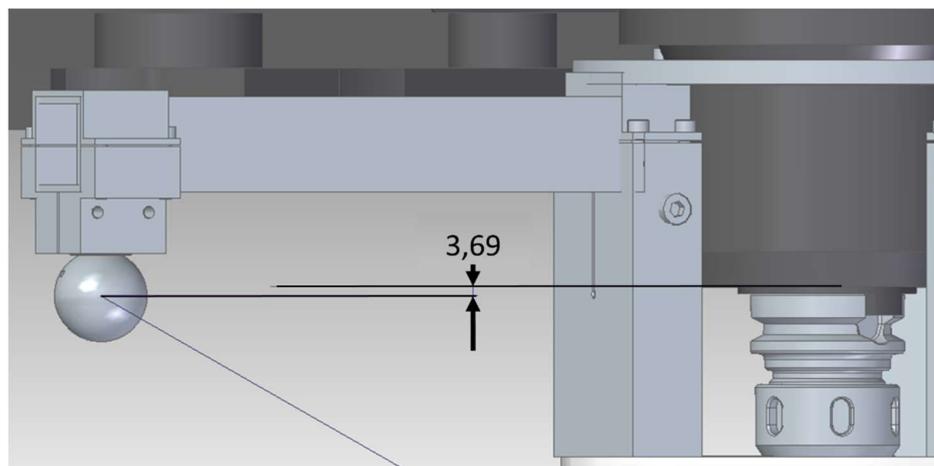


*Ilustración 7.4-14 Ensamblaje final de la estrella*

#### 7.4.5. REDISEÑO DE LA ESTRELLA

Tras finalizar el diseño de la estrella se observan dos aspectos:

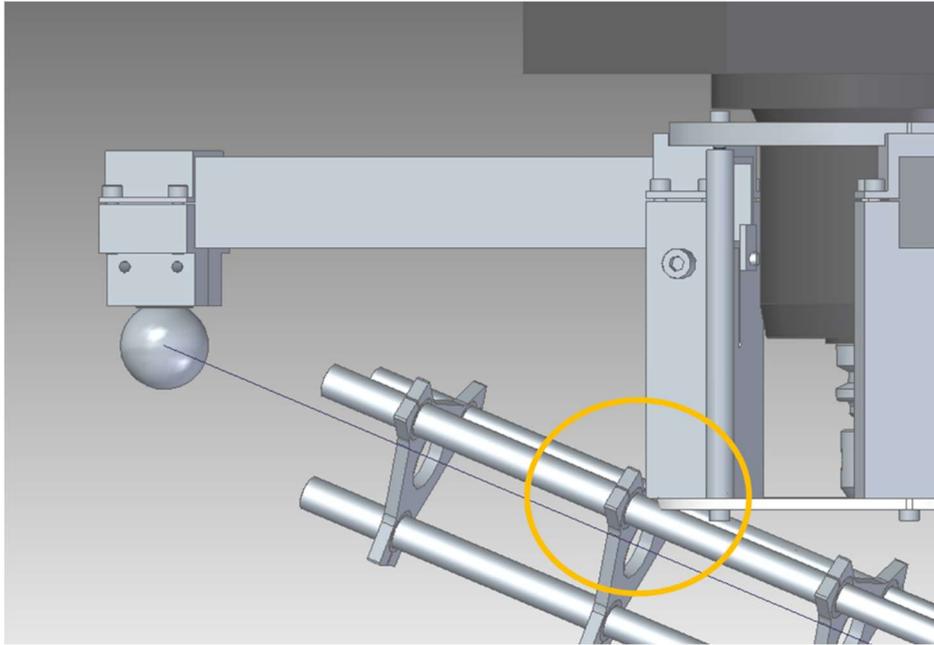
- El decalaje en Z es la distancia que existe entre el la parte final del cabezal (la que hace frontera con el cono) y el centro de la esfera que se ancla en el reflector holder. Lo



*Ilustración 7.4-15 Decalaje en Z de los nidos resultante tras realizar el diseño*

máximo que se ha conseguido es un decalaje de - 3.68 milímetros. Es decir, 3.68 milímetros por debajo de la altura del cabezal.

- En el programa se ha añadido una colisión o situación de punto no verificable, esta se debe a la interferencia entre alguno de los sistemas telescópicos y el disco de la base.



*Ilustración 7.4-16 Colisión entre sistema telescópico y el utillaje*

Con el nuevo decalaje en Z y el programa actualizado con la nueva colisión se ejecuta de nuevo el programa, se analizan los resultados y se busca un nuevo diseño que permita verificar el mayor número de puntos.

#### 7.4.6. REDISEÑO PARA LA CONFIGURACIÓN SIN DIVISOR

Para esta configuración la geometría se mantiene, es decir el único parámetro que se modifica es el del decalaje en Z ( $Z=3,69$ ). Esta geometría es la que más puntos permite verificar.

GEOMETRÍA DISEÑO	
RADIO NIDOS	700
ANGULO NIDOS	15
DECALAJE X NIDOS	100
DECALAJE Y NIDOS	0
DECALAJE Z NIDOS	-3.69
DECALAJE X ESFERA	0
DECALAJE Y ESFERA	0
DECALAJE Z ESFERA	20

*Ilustración 7.4-18 Geometría del rediseño para configuración sin divisor*



*Ilustración 7.4-18 Porcentaje de puntos verificables del rediseño para configuración sin divisor*



Gráfico 27 Puntos verificables del rediseño para configuración sin divisor. Mirar leyenda 3

<b>TOTAL</b>	Suma total de la colisiones de cada parámetro variado
<b>A1, A2, A3</b>	Colisión de los sistemas telescópicos 1,2,3 con la zona A portaherramientas
<b>B1, B2, B3</b>	Colisión de los sistemas telescópicos 1,2,3 con la zona B portaherramientas
<b>C1, C2, C3</b>	Colisión de los sistemas telescópicos 1,2,3 con la zona C portaherramientas
<b>D1, D2, D3</b>	Colisión de los sistemas telescópicos 1,2,3 con la zona D portaherramientas
<b>M1, M2, M3</b>	Colisión de los sistemas telescópicos 1,2,3 con la zona M portaherramientas
<b>N1, N2, N3</b>	Colisión de los sistemas telescópicos 1,2,3 con la zona N portaherramientas
<b>R1, R2, R3</b>	Colisión de los sistemas telescópicos 1,2,3 con el portaherramientas
<b>B1-B2; B2-B3; B1-B3</b>	Colision entre los sistemas telescópicos 1 y 2; 2 y 3; 1 y 3
<b>C1.MAX, C2.MAX, C3.MAX</b>	Compresión máxima de los sistemas telescópicos 1,2 y 3
<b>E1.MAX, E2.MAX E3.MAX</b>	Extensión máxima de los sistemas telescópicos 1, 2 y 3
<b>H1.MIN, H2.MIN, H3.MIN</b>	Altura mínima vertical entre nidos 1,2 y 3 y esfera
<b>COL. NIDOS</b>	Colisión del nido 3 con el carenado de la máquina
<b>DISCO1, DISCO2, DISCO3</b>	Colisión de los sistemas telescópicos 1,2,3 con el disco del utillaje

Leyenda 3

Se observa que los puntos no verificables han aumentado un poco, en parte se debe a la bajada de altura del decalaje en Z de los nidos respecto al cabezal y a la colisión de los brazos con el disco. Aun así, un 97% de los puntos ensayados serán verificables (Gráfica 27).

#### 7.4.7. REDISEÑO PARA CONFIGURACIÓN CON DIVISOR:

De forma empírica se han variado los parámetros y se concluye que para esta configuración como en el caso anterior la mejor opción es mantener la geometría.

GEOMETRÍA DISEÑO	
RADIO NIDOS	375
ANGULO NIDOS	0
DECALAJE X NIDOS	0
DECALAJE Y NIDOS	0
DECALAJE Z NIDOS	-3.69
DECALAJE RADIO ESFERA	40
DECALAJE Z ESFERA	100
DECALAJE X DIVISOR	50
DECALAJE Y DIVISOR	100

Ilustración 7.4-20 Geometría del rediseño para configuración con divisor



Ilustración 7.4-20 Porcentaje de puntos verificables del rediseño para configuración con divisor



Gráfico 28 Puntos verificables del rediseño para configuración con divisor. Mirar leyenda 3

## 7.5. COMPROBACIÓN DEL DISEÑO

A continuación, se comprueba con CAD mecánico que los diseños propuestos no interfieran con la máquina herramienta.

### 7.5.1. CONFIGURACIÓN SIN DIVISOR

Al instalarse el utillaje para la configuración sin divisor, no se produce colisión alguna entre utillaje y carenado de la máquina.

Las dimensiones finales de la estrella para la configuración sin divisor son las siguientes:

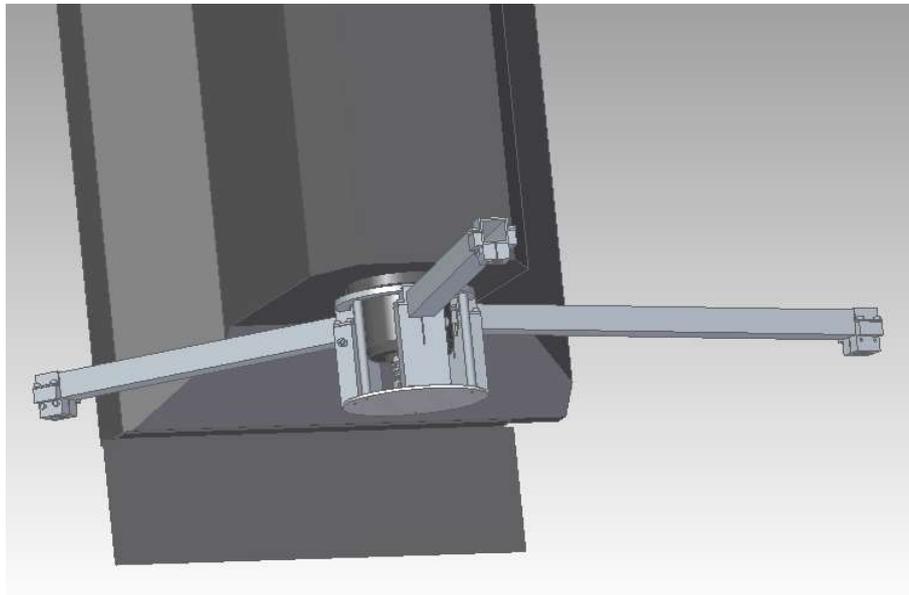
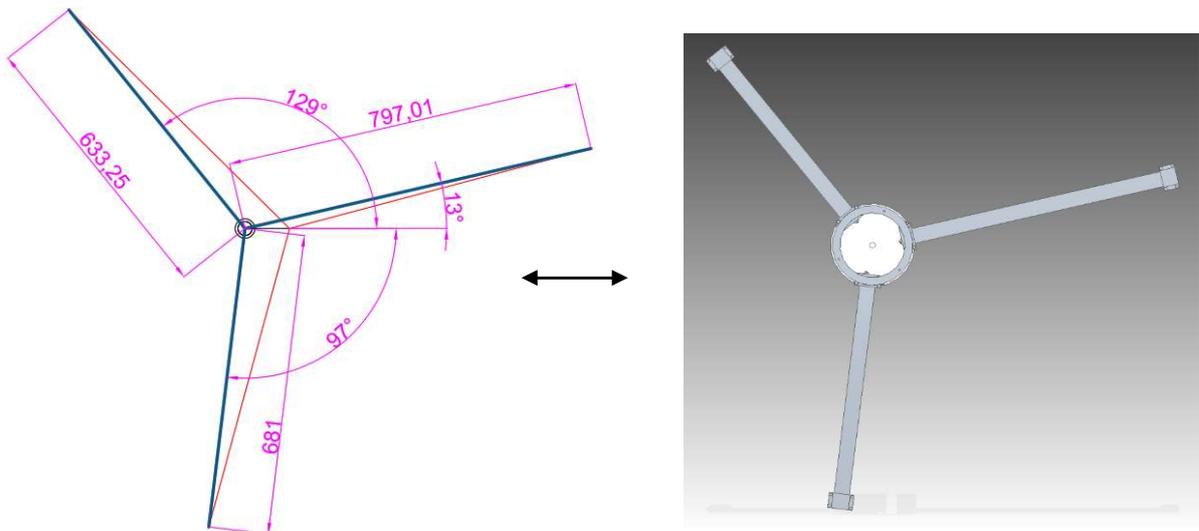


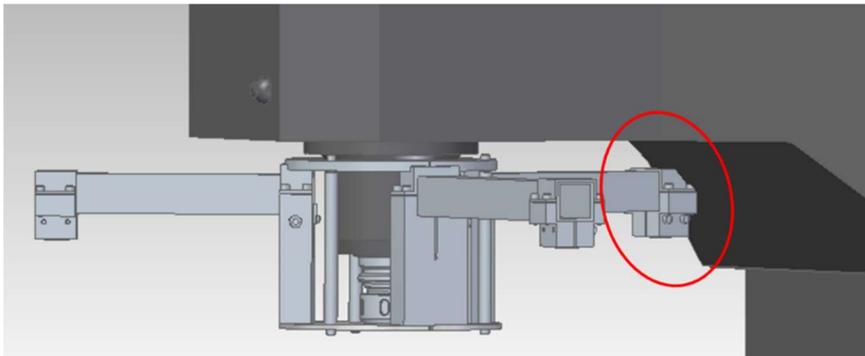
Ilustración 7.5-1 Comprobación del ensamblaje del utillaje para la configuración sin divisor



*Ilustración 7.5-2 Dimensiones finales para la configuración sin divisor*

### 7.5.2. CONFIGURACIÓN CON DIVISOR

En cambio, en la configuración en la que se instala el divisor sí que se visualiza una colisión de uno de los nidos y la parte trasera del carenado de la máquina.



*Ilustración 7.5-3 Colisión del ensamblaje del utillaje para la configuración con divisor*

Para ello se realizará un rediseño modificando la orientación de la estrella para que desaparezca la colisión.

## 7.6. SEGUNDO REDISEÑO DEL UTILLAJE SIN DIVISOR

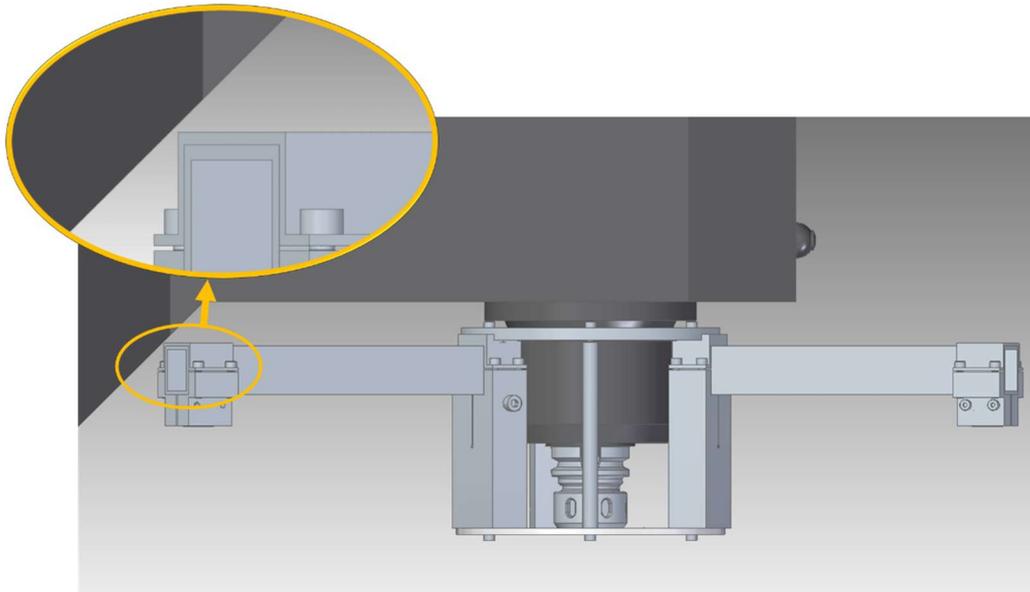
Para solucionar el problema hay dos opciones:

- Girar la posición de los nidos respecto al centro de simetría
- Disminuir el decalaje en Z de los nidos.

En apartados anteriores se llegó a la conclusión de que interesaba tener los nidos lo más arriba posible por lo que se intenta solucionar el problema rotando la posición de los nidos.

Tras rotarse 8 grados la estrella, se observa que la interferencia desaparece.

Con CAD mecánico se comprueba que el utillaje encaja sin interferencias.



**Ilustración 7.6-1 Ensamblaje del utillaje tras e segundo rediseño**

Se incluyen los cambios de geometría en el diseño y a utilizando el programa se busca la configuración más óptima. La configuración obtenida es la siguiente:

GEOMETRÍA DISEÑO	
RADIO NIDOS	375
ANGULO NIDOS	8
DECALAJE X NIDOS	60
DECALAJE Y NIDOS	40
DECALAJE Z NIDOS	-3.69
DECALAJE RADIO ESFERA	40
DECALAJE Z ESFERA	70
DECALAJE X DIVISOR	100
DECALAJE Y DIVISOR	0

**Ilustración 7.6-3 Geometría del segundo rediseño**



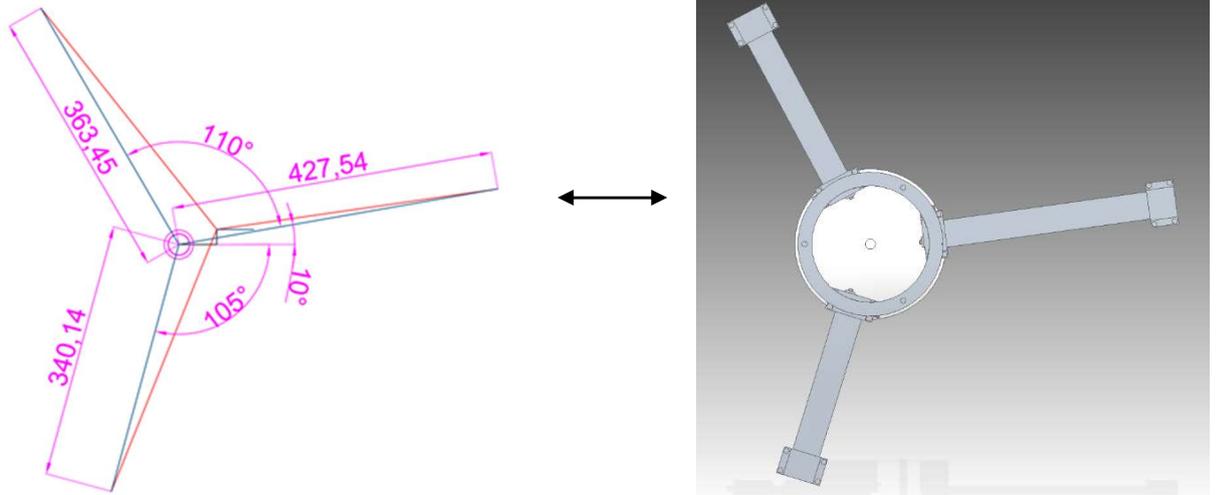
**Ilustración 7.6-3 Puntos verificables tras el segundo rediseño**



**Gráfico 29 Puntos verificables desglosados por zonas del segundo rediseño del utillaje para configuración con divisor.**

Las dimensiones finales de la estrella para la configuración con divisor son las siguientes

Ilustración 7.6-4:



*Ilustración 7.6-5 Dimensiones finales para la configuración con divisor*

## 8. COMPROBACIÓN DEL DISEÑO

En este capítulo se va a comprobar si el sistema resiste mecánicamente y cuál es su deformación. También se analizará su fabricabilidad y se desarrollará un esquema de montaje.

### 8.1. ANÁLISIS MECÁNICO DEL DISEÑO CON ELEMENTOS FINITOS

A continuación, se hace un cálculo de elementos finitos del sistema. Para obtener los resultados se emplean programas específicos para el cálculo de elementos finitos (Abaqus). La configuración que se va a ensayar es la configuración sin divisor. El motivo es que al tener ésta configuración los brazos más largos, sufre mayores momentos en las abrazaderas y mayores desplazamientos en los extremos de los brazos.

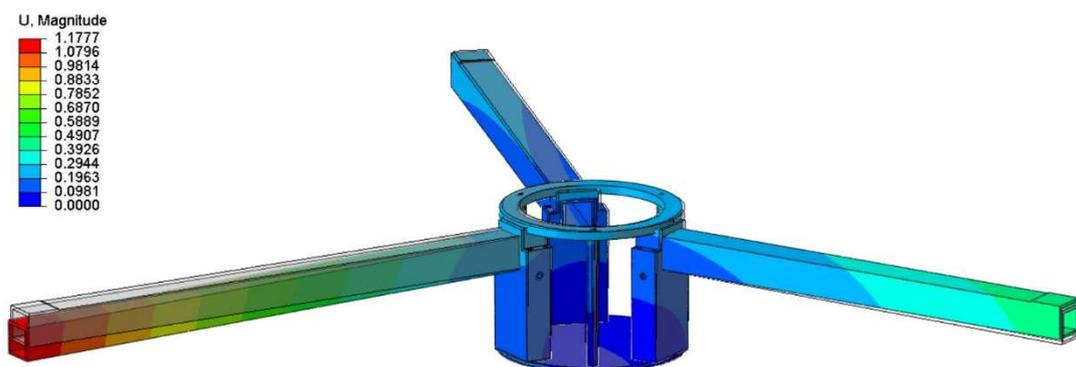
Para el ensayo se emplea una malla tetraédrica lineal de 6 milímetros.

Las condiciones de contorno son las siguientes:

- El vástago se encuentra encastrado simulando el anclaje del mismo a la máquina
- Se aplica un esfuerzo de 2 kilos en el extremo de cada brazo que simula el peso de los sistemas telescópicos
- Se tiene en cuenta el peso propio del utillaje

Se han usado entre las partes restricciones tipo Tie, para simular las uniones atornilladas de las abrazaderas con los brazos, de las columnas con el disco y el anillo, y el resto de uniones con chavetas.

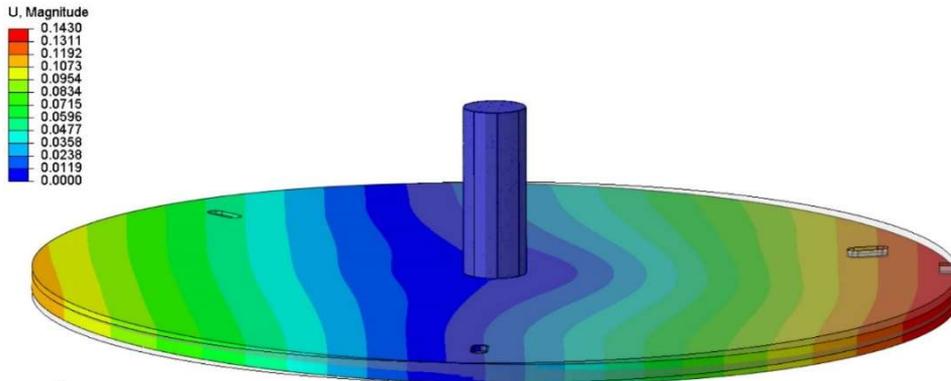
Hasta ahora solo se ha elegido el material de los brazos. Puesto que se quiere que el diseño sea ligero y resistente, se emplea aluminio para la fabricación del resto de componentes del utillaje.



*Ilustración 8.1-1 Análisis del desplazamiento en el utillaje*

En la ilustración 8.1-1 se observa que el desplazamiento en el extremo del brazo más largo es de 1,17 milímetros. A continuación, se va a buscar qué elementos de la base de la estrella se deforman más y se buscará la manera de aumentar su rigidez.

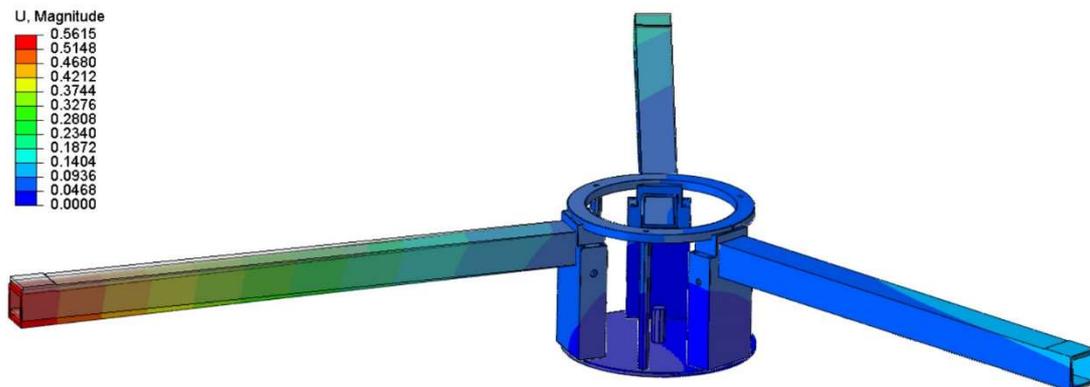
Tras analizar los resultados del ensayo de elementos finitos se observa que el disco es una pieza crítica, ya que los desplazamientos producidos en el disco producen una amplificación de la flecha en los extremos de los brazos.



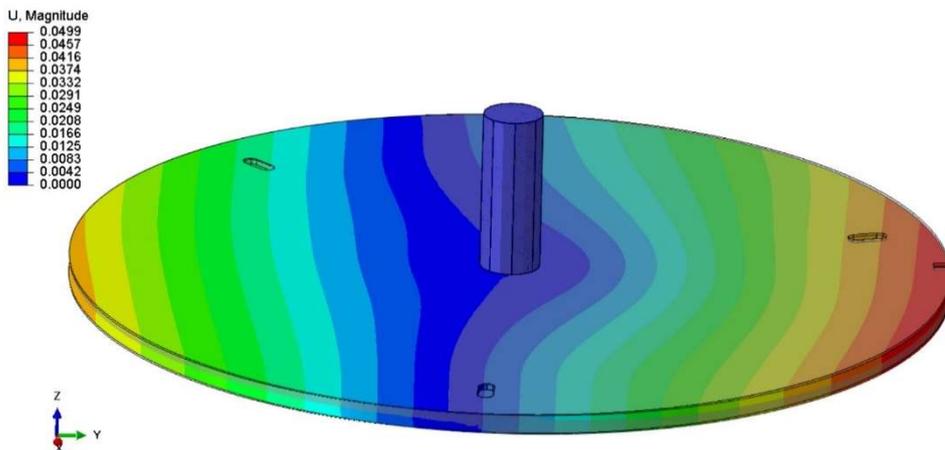
**Ilustración 8.1-2 Deformación del disco de aluminio**

Para solucionar este problema se propone emplear acero para la fabricación del disco únicamente. El acero tiene más rigidez que el aluminio, pero también es más pesado, por ello el resto de componentes se mantienen en aluminio.

En la ilustración 8.1-5 se observa que al repetir el análisis de elementos finitos para sistema con un disco de acero la flecha pasa de 1,17 a 0,56 milímetros de desplazamiento. Por ello se escoge esta última configuración con el disco de acero.



**Ilustración 8.1-4 Análisis del desplazamiento en el utillaje con el disco de acero**



**Ilustración 8.1-3 Desplazamiento en el disco de acero**

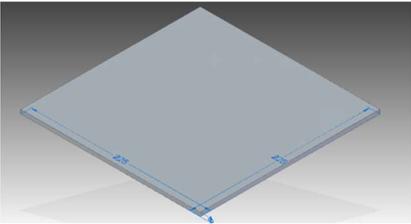
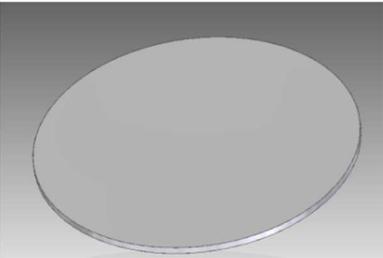
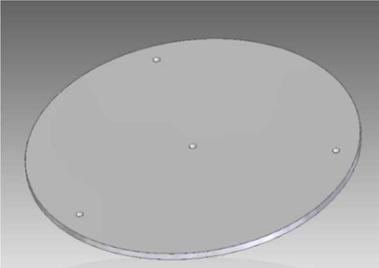
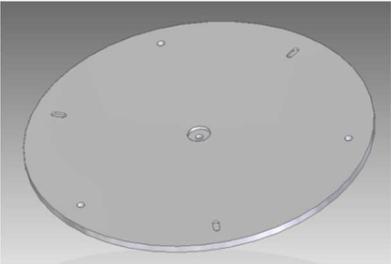
En la tabla 6 se recogen las propiedades de los elementos utilizados en los ensayos

MATERIAL	MÓDULO ELÁSTICO (MPa)	DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> )	MÓDULO DE POISSON
Aluminio	70 000	2,7	0,33
Acero inoxidable AISI-316	210 000	7,8	0,29
Fibra de carbono	120 000	1,6	0,21

Tabla 6

## 8.2. FABRICABILIDAD

Para cada pieza se describe un esquema del proceso de fabricación a seguir. A continuación, se muestra una a modo de ejemplo la fabricación del disco y el resto se recogen en el anexo IV.

DISCO	
	<p>PREFORMA</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Material: Acero inoxidable AISI-316</li> <li>Dimensiones: 225 x 225 x 5 cm</li> </ul>
	<p>OPERACIÓN 1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Desbaste y acabado del perímetro del disco</li> </ul>
	<p>OPERACIÓN 2</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Taladrado de los agujeros pasantes para tornillos.</li> </ul>
	<p>OPERACIÓN 3</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Mecanizado de alojamiento para el vástago y mecanizado del alojamiento de las chavetas.</li> </ul>



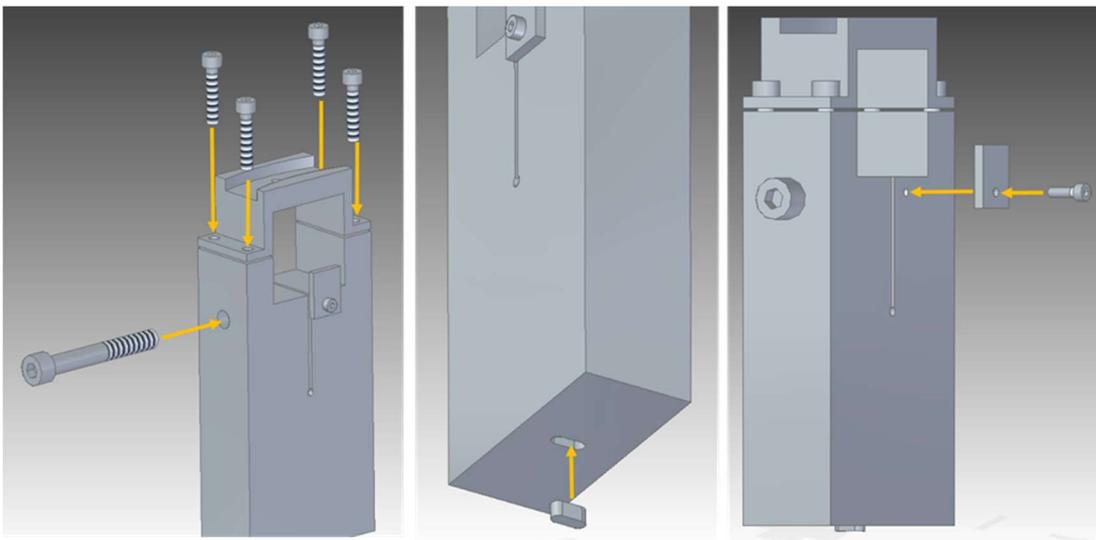
### 8.3. ESQUEMA DE MONTAJE

Para que el montaje del utillaje y la instalación del sistema en la máquina herramienta se repetible, se emplea una metodología. Además, el utillaje incorpora elementos como chavetas o topes que ayudan a la repetibilidad del sistema.

A continuación, se muestra una a modo de ejemplo el montaje del disco, y el resto se recogen en el anexo V.

Ejemplo de proceso de montaje:

Para montar las abrazaderas se siguen los siguientes pasos: se introduce la chaveta en la parte inferior. A continuación se rosca un tornillo de métrica 8 en el lateral y cuatro tornillos de métrica 5 en superior que une las dos partes de la abrazadera. Los tonillos no se aprietan aún, puesto que aún debe alojarse los tubos en los alojamientos. Y para finalizar el montaje se introduce la chapa que hará de tope y se fija con un tornillo de métrica 3.



*Ilustración 8.3-1 Proceso de montaje de las abrazaderas.*

## 9. CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS

En este proyecto se ha desarrollado un utillaje para instalar un sistema de verificación en una máquina herramienta. Se ha buscado obtener una configuración que permita verificar un máximo de puntos. Para llevar a cabo el proceso de análisis de las geometrías más adecuadas se ha diseñado un programa. Posteriormente se ha propuesto un diseño y se ha comprobado que su montaje fuera correcto y no interfiriera con otros elementos a través de CAD mecánico. Además, se realiza un análisis estático del soporte con un programa de elementos finitos- Finalmente se elabora un proceso montaje y de fabricación.

### 9.1. CONCLUSIONES

En este proyecto se ha diseñado unos utillajes que permiten verificar gran cantidad de puntos en el entorno de trabajo.

Tras analizar y comparar varias alternativas de diseño, se ha escogido una configuración en la que los nidos se anclan al cabezal, y la esfera a la mesa o al divisor. Una vez escogida la disposición del sistema se ha analizado que dimensiones y geometría debe tener el utillaje para una mayor verificación de puntos posible. Este proceso se realiza a través del programa desarrollado.

Finalmente, tras el diseño, se obtiene un utillaje modular que comparte la mayoría de componentes para la verificación en un entorno con divisor o sin divisor. Al compartir la mayoría de sus piezas, se abarata el coste y tiempo de fabricación, y a su vez, se reduce el peso total del sistema para el transporte.

Estos utillajes han sido diseñados para una máquina en concreto, no obstante, se ha tenido en cuenta la posibilidad de que el sistema de verificación pueda instalarse con pequeñas adaptaciones en otras máquinas herramienta, robots o máquinas de medición por coordenadas.

A través de chavetas y topes mecánicos se facilita el proceso de montaje y además, un igual montaje entre distintos ensayos. La sólida estructura y la selección adecuada de materiales hacen que estos utillajes sean robustos.

### 9.2. LINEAS FUTURAS

A la hora de buscar la mejor geometría para el utillaje, son varios parámetros los que definen dicha geometría. Como línea futura de trabajo se propone la búsqueda una metodología que contemple todos los parámetros del ensayo con la finalidad de encontrar mejores combinaciones a través de otras formas de trabajo como las redes neuronales.

Finalmente, se propone fabricar un prototipo del utillaje. Para ello puede emplearse procesos de fabricación aditiva (como impresoras 3D) para algunas piezas. Las piezas fabricadas a medida pueden combinarse con otros elementos normalizados para el ensamblaje del prototipo. Dicho prototipo se instalaría en la máquina y se comprobaría su comportamiento. Una vez se chequease que la geometría es la deseada y cumple con las especificaciones, se puede proceder a la fabricación del utillaje según el proceso de fabricación descrito.

# 10. REFERENCIAS

Cálculos de flecha

J. M. Gere. Timoshenko. Resistencia de Materiales. Ed. Paraninfo 5ª edición

Geometría y propiedades del tetraedro trirrectángulo

<https://www.universoformulas.com/matematicas/geometria/tipos-poliedro-irregular/>

Características de la máquina herramientas

<https://www.haascnc.com/es/machines/vertical-mills/vf-series/models/medium/vf-3.html>

Video de un sistema láser tracer

<https://www.youtube.com/watch?v=mhh3c27MQ0Q>

## 10.1. CATÁLOGOS DE PIEZAS Y ELEMENTOS NORMALIZADOS

Catálogo Leica de elementos metrológicos en el que se encuentra el reflector-holder

[http://metrology.precizika.lt/uploads/Downloads/Leica%20Geosystems%20Metrology%20Products\\_catalog\\_en.pdf](http://metrology.precizika.lt/uploads/Downloads/Leica%20Geosystems%20Metrology%20Products_catalog_en.pdf)

Catálogo de tornillos

[http://www.gallastegi.com/images/catalogos/Catalogo\\_tornilleria.pdf](http://www.gallastegi.com/images/catalogos/Catalogo_tornilleria.pdf)

Soporte de anclaje para cono ISO 40

<https://allindustrial.com/huot-50526-bt40-heavy-duty-toolholder-vice-tightening-fixture/>

Cono Portapinza MAS403 BT40 de sujeción para pinza ER32

<https://www.tn-tools.com/bt-mas-403-portapinzas-er/cono-portapinzas-bt40-de-sujeccion-para-pinza-er32.html?controllerUri=product>

Pinzas de Sujeción tipo ER32

[https://www.tn-tools.com/pinzas-er/pinzas-de-sujeccion-tipo-er32-con-capacidad-1mm.html?search\\_query=pinza+ER32&results=18](https://www.tn-tools.com/pinzas-er/pinzas-de-sujeccion-tipo-er32-con-capacidad-1mm.html?search_query=pinza+ER32&results=18)

Catálogo tubos acero

<http://www.ferrospuig.com/index.php/es/catalogo/producto/ferros/tubos/tubo-laminado-rectangular-soldado-s-235/103000007>

Catálogo tubos fibra de vidrio

<https://polymec.com/perfil-fibra-vidrio/tubo-rectangular/>

Catálogo tubos aluminio

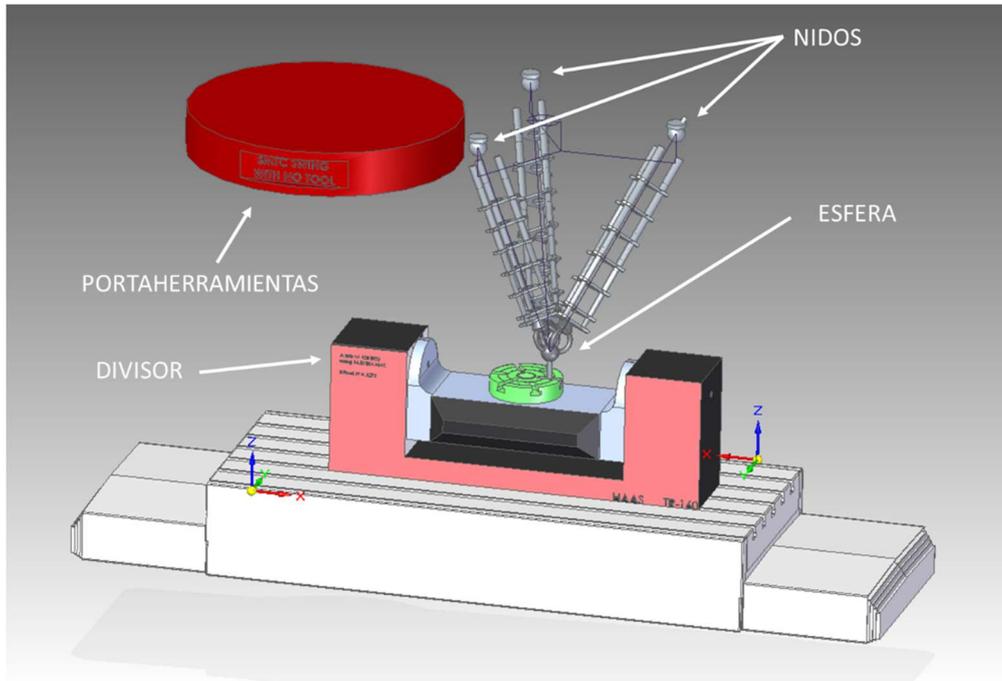
<https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/tubos-rectangulares/>

Catálogo tubos de fibra de carbono

<http://www.kompozitsan.com/en/carbon-fiber-profile-tubing-products/517-rectangular-carbonfiber-tubes-30x20-32x22.html>

# 11. ANEXO I ZONAS DE COLISIÓN DE LOS ELEMENTOS TELESCÓPICOS

Se estudian las posibles colisiones que pueden existir al mover la máquina herramienta en distintas posiciones.



**Ilustración 11-1 Esquema de la configuración del sistema**

En este sistema los nidos se encuentran en una posición fija en X e Y, como se encuentran unidos mediante un utillaje (el cual no aparece en la imagen puesto que se diseñará a posteriori) únicamente se desplazarán en el eje Z. Lo único que habrá que tener en cuenta a la hora de instalar los nidos es que no choquen con el portaherramientas. El cabezal no baja lo suficiente como para colisionar, además, antes se producirían compresiones totales de los sistemas telescópicos.

La esfera se moverá solidaria al divisor en los ejes X, Y, A (giro de la cuna) y C (giro del plato). Puesto a que se mueve solidaria al divisor y por su diseño la esfera tampoco colisionará con el divisor.

Por lo tanto, se concluye que las colisiones van a aparecer entre los sistemas telescópicos y distintos elementos. A continuación, se muestran las distintas zonas con las que puede colisionar cada sistema telescópico.

- **COLISIÓN A:** La colisión A consiste en la colisión de alguno de los elementos telescópicos con la izquierda estructura del divisor la orejeta izquierda de la cuna.

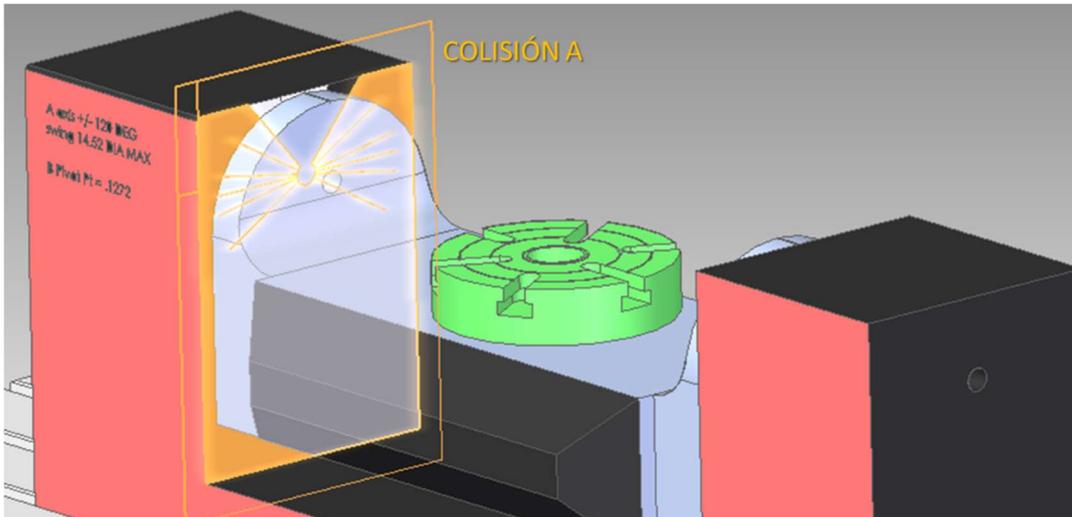


Ilustración 10.1-1 Área de colisión A

- **COLISIÓN D:** La colisión C consiste en la misma colisión de D, solo que con la estructura derecha del divisor en vez de la izquierda.

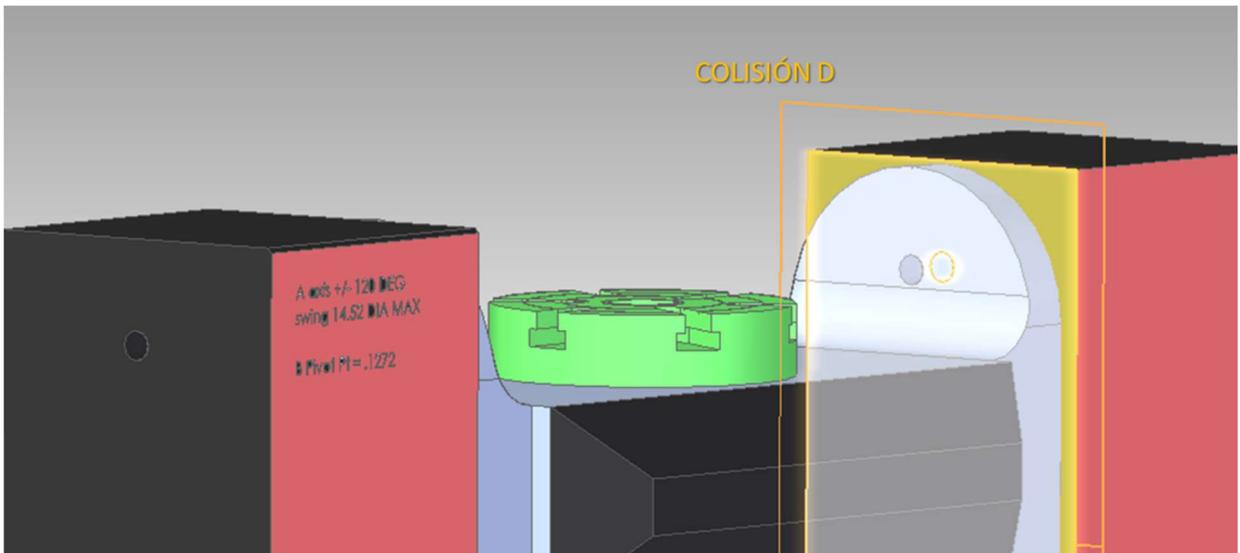
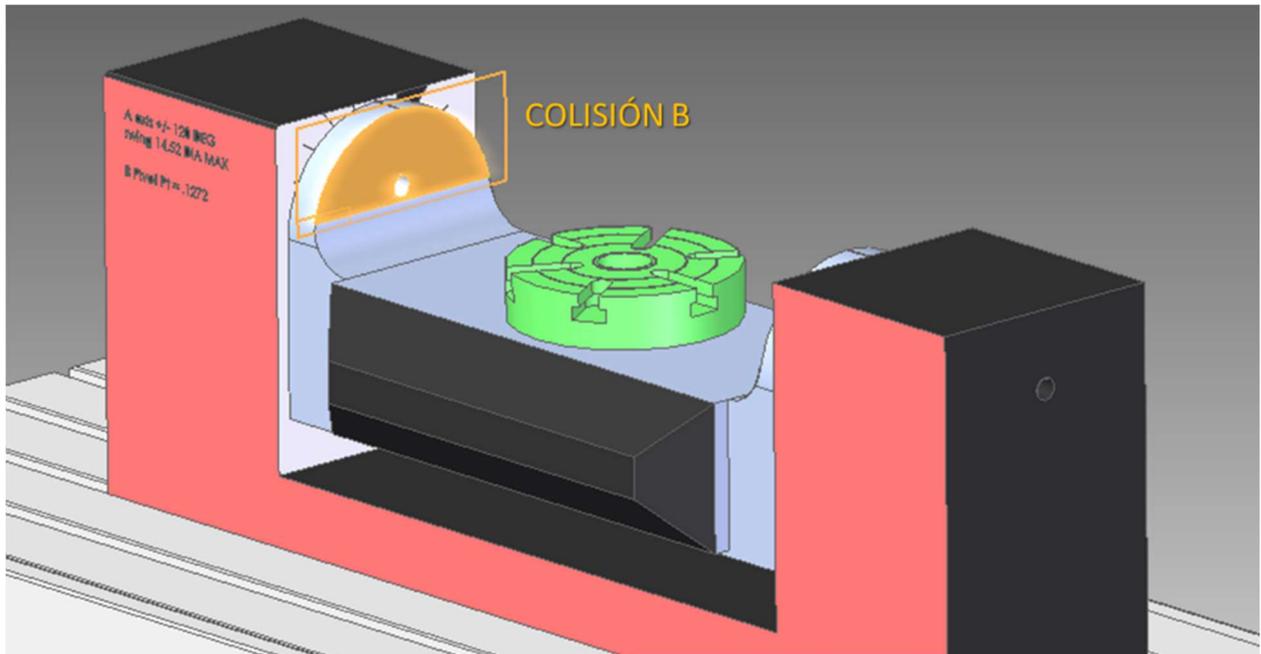


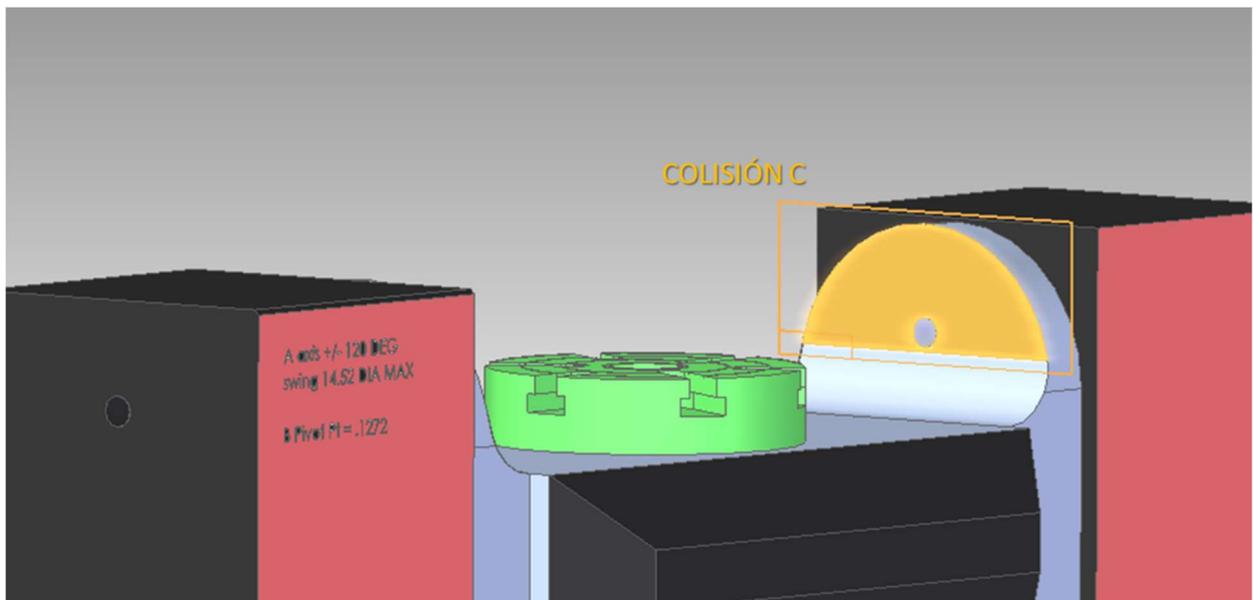
Ilustración 11-10.1-2 Área de colisión D

- **COLISIÓN B:** La colisión B consiste en la colisión de alguno de los elementos telescópicos con el perfil de la orejeta izquierda de la cuna.



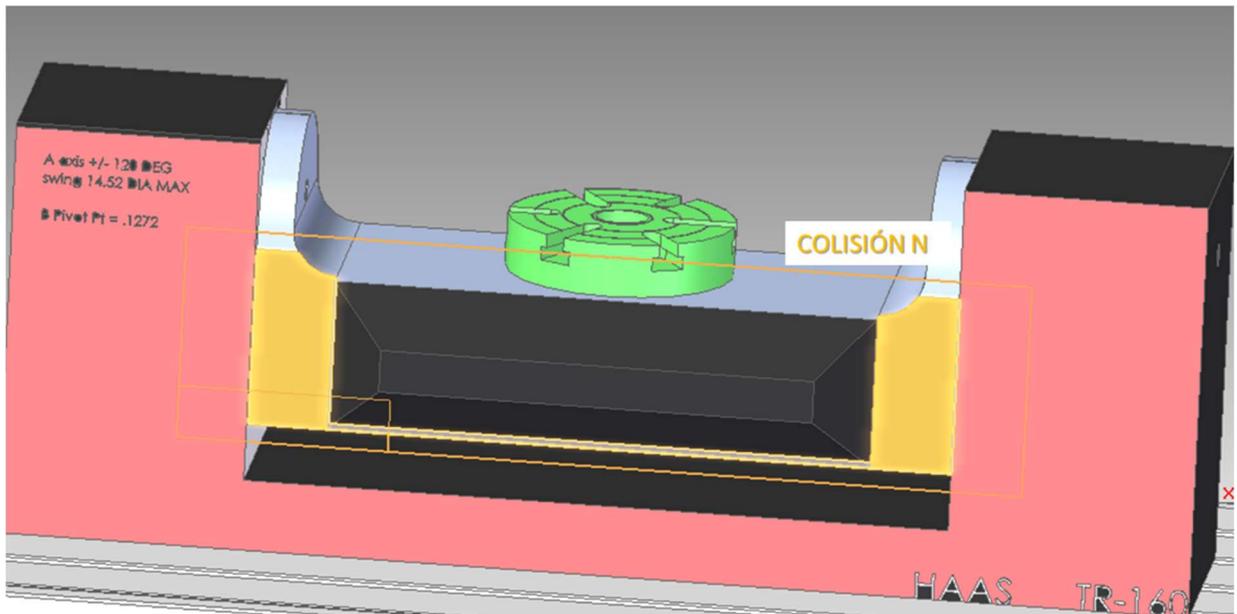
*Ilustración 1110.1-3 Área de colisión B*

- **COLISIÓN C:** La colisión C consiste en la misma colisión de B, solo que con la orejeta derecha en vez de la izquierda.

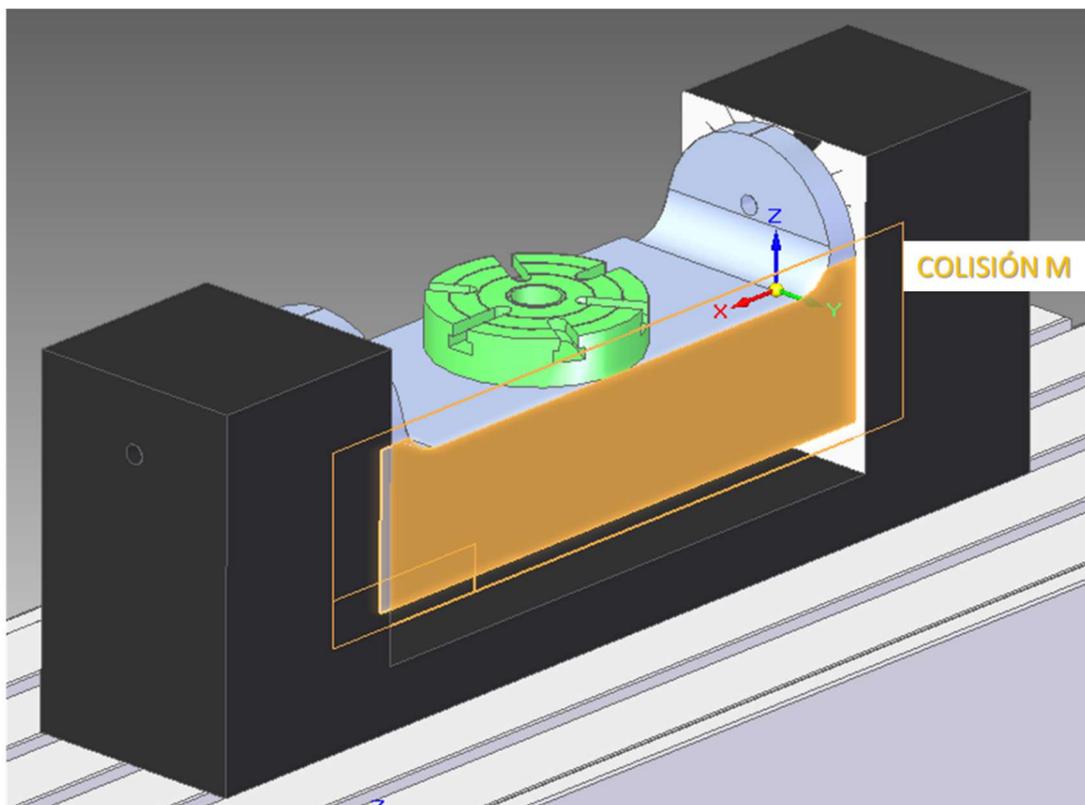


*Ilustración 11-10.1-4 Área de colisión C*

- **COLSIONES N y M:** Las colisiones N y M se producen con las aristas laterales de la cuna que se indican en la ilustración.

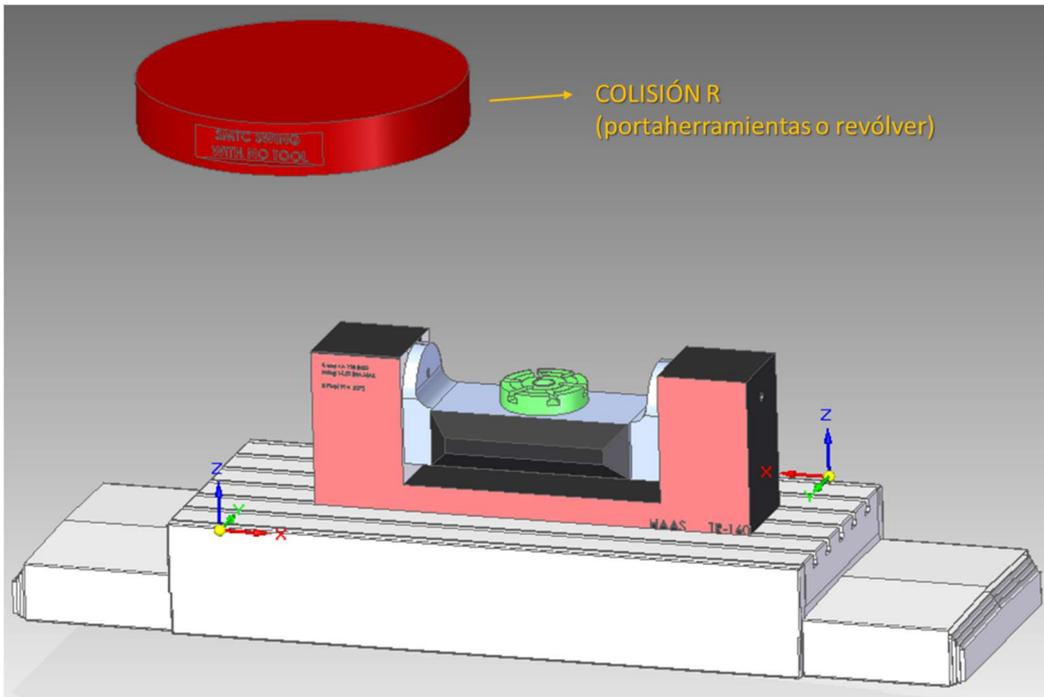


*Ilustración 11-10.1-5 Área de colisión N*



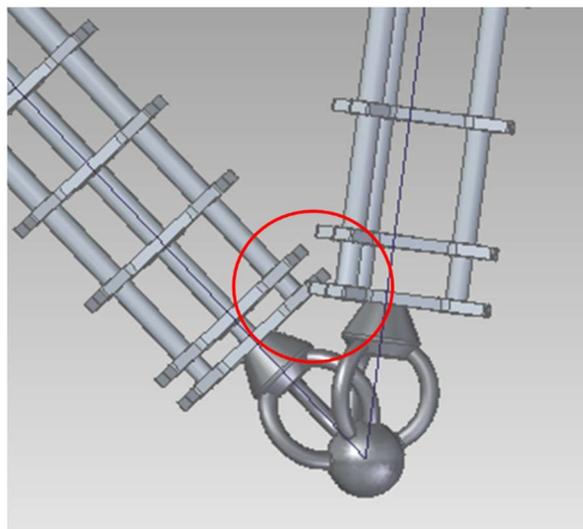
*Ilustración 11-10.1-6 Área de colisión M*

- **COLISIÓN R:** La colisión R se produce cuando alguno de los elementos telescópicos colisiona con el revolver, en particular con el perímetro inferior.



*Ilustración 11-10.1-7 Zona de colisión R*

- **COLISIÓN ENTRE BRAZOS:** Esta colisión se produce al colisionar dos elementos telescópicos entre ellos. Existen tres combinaciones de que se produzca esta colisión: brazo 1 con 2, brazo 2 con 3 y brazo 3 con 1. Pueden producirse varias de estas colisiones simultáneamente.



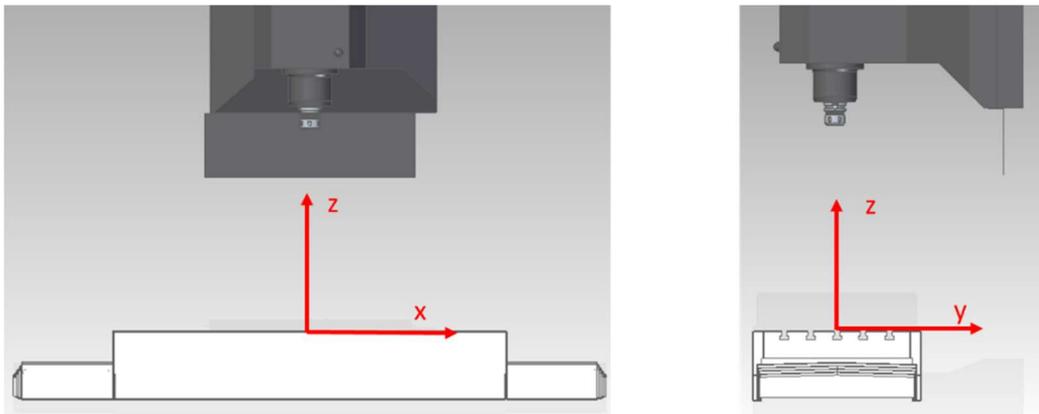
*Ilustración 11-10.1-8 Colisión entre elementos telescópicos*

## 12. ANEXO II: PROGRAMA PARA EL ANÁLISIS DE PUNTOS VERIFICABLES

Este programa se construye como herramienta para la detección de las distintas colisiones de los elementos del sistema de medición con las distintas partes de la máquina herramienta y otras incompatibilidades referentes a las condiciones de contorno de los elementos telescópicos. Este programa analiza distintas posiciones de la máquina y anota en cada una si hay colisión o incompatibilidad y de qué tipo. A continuación, se explica cómo se representa geoméricamente el sistema y como se detectan las colisiones e incompatibilidades.

### 12.1. SISTEMA DE COORDENADAS GLOBALES DEL PROGRAMA

En el sistema coordenadas global se sitúa el eje Z verticalmente alineado con el cabezal. Y las coordenadas X e Y alineadas con el movimiento X e Y de la mesa. La coordenada Z nace a la altura de la mesa.



*Ilustración 12.1-1 Sistema de coordenadas globales del programa*

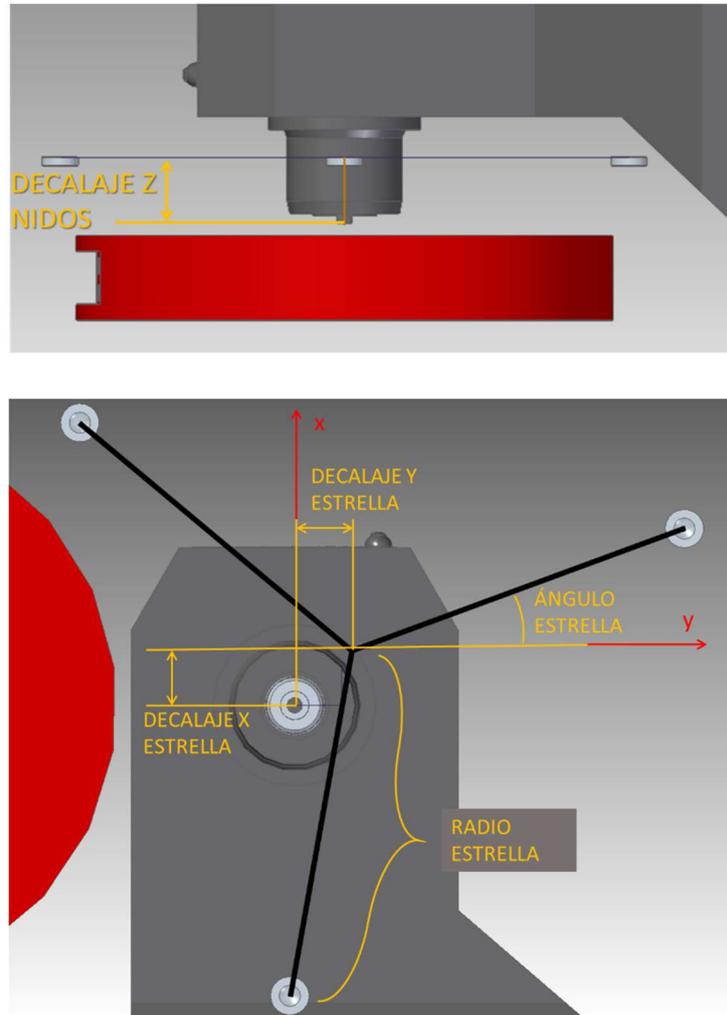
### 12.2. DATOS DE ENTRADA Y GEOMETRÍA:

#### 12.2.1. DATOS DE ENTRADA ESTRELLA (Parte superior).

La estrella se encuentra anclada al cabezal de la máquina. En el extremo de cada brazo de la estrella, se encuentra un nido.

Datos de entrada o parámetros de diseño:

- Brazo estrella/nidos
- Ángulo estrella/nidos
- Decalaje X estrella/nidos
- Decalaje Y estrella/nidos
- Decalaje Z estrella/nidos



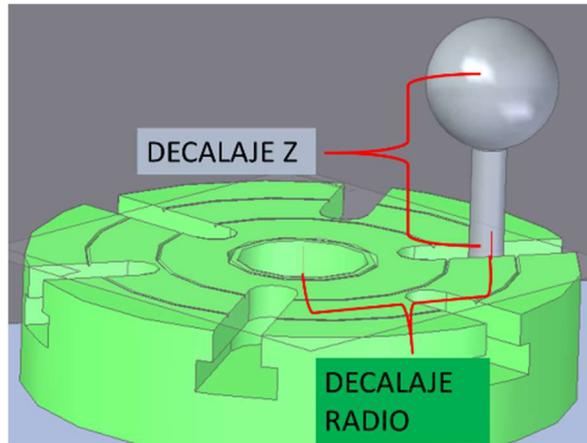
*Ilustración 12.2-1 Geometría del sistema*

### 12.2.1.1. DATOS DE ENTRADA DE LA ESFERA Y SU SUPERFICIE DE ANCLAJE (Parte inferior)

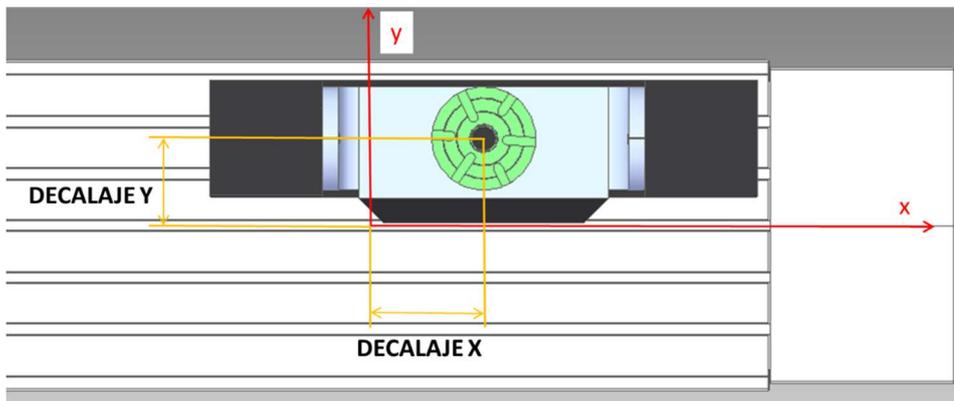
La esfera se ancla a otra superficie a través de un utillaje llamado porta-esferas. El conjunto esfera-portaesferas se puede anclar directamente a la mesa o al divisor, según la configuración.

- **Configuración con divisor:**
  - Decalaje del radio en el disco del divisor
  - Delacaje Z de la esfera
  - Decalaje X del divisor respecto del centro de la mesa
  - Decalaje Y del divisor respecto del centro de la mesa

El decalaje X e Y del divisor hace referencia a donde se sitúa el divisor respecto al centro de la mesa



*Ilustración 12.2-2 Posicionamiento de la esfera en el plato del divisor*

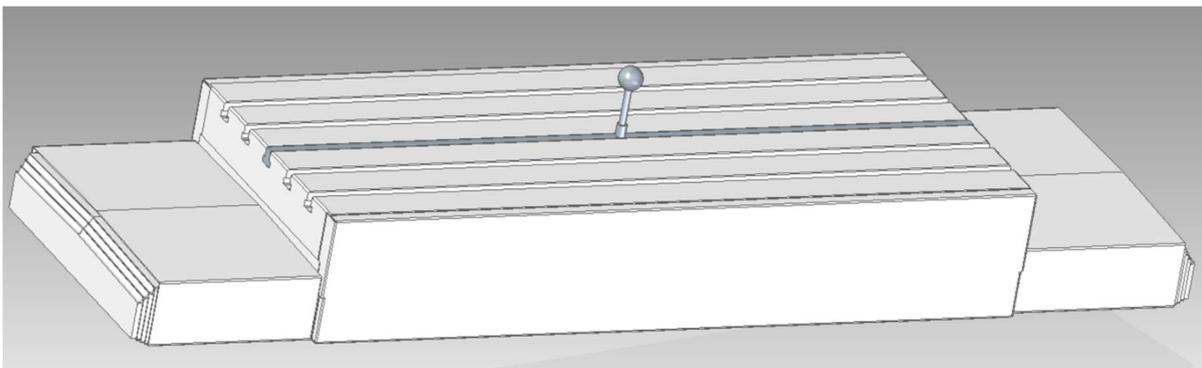


*Ilustración 12.2-3 Posicionamiento del divisor en la mesa de la máquina herramienta*

- **Sin divisor:**

Es decir, cuando se ancla el portaesferas directamente sobre la mesa

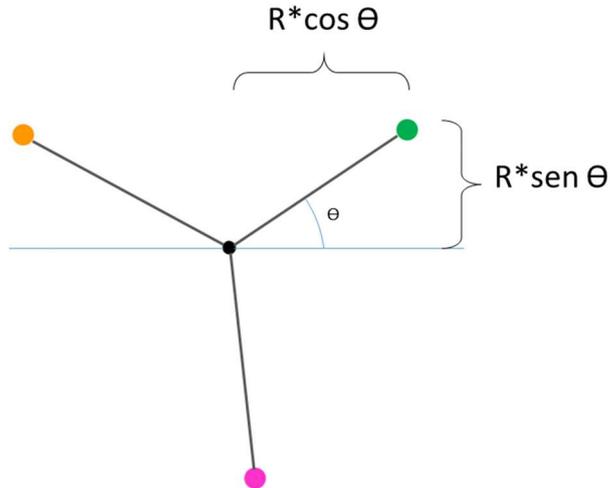
- Decalaje X de la esfera respecto del centro de la mesa
- Decalaje Y de la esfera respecto del centro de la mesa
- Decalaje Z de la esfera respecto de la mesa



*Ilustración 12.2-4 Posicionamiento de la esfera en la mesa*

### 12.3. CÁLCULO DE LAS COORDENADAS DE LOS NIDOS

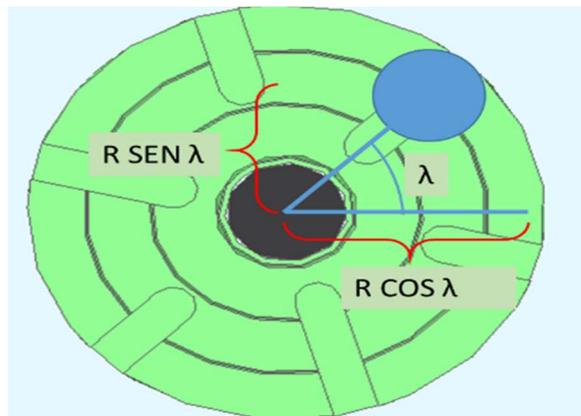
Para calcular las coordenadas X,Y,Z se parte de las coordenadas X, Y del centro de la estrella. A estas coordenadas se les suma la proyección X e Y del radio respectivamente. Es decir, a X se le suma  $R \cos\theta$  y Y se le suma  $R \sin\theta$ .



*Ilustración 12.3-1 Esquema de descomposición de las coordenadas de posición de los nidos*

### 12.4. CÁLCULO DE LAS COORDENADAS DE LA ESFERA CUANDO SE ENCUENTRA SOBRE EL DIVISOR

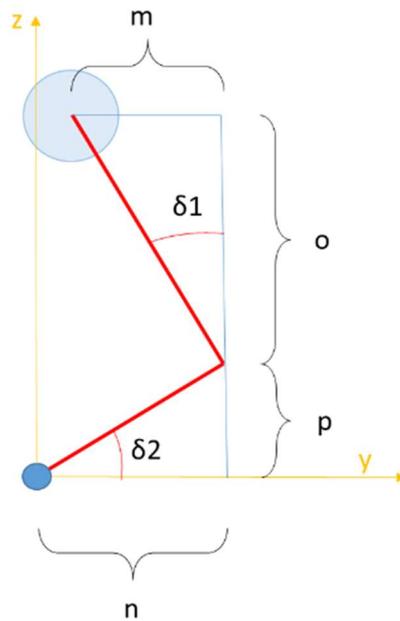
- **Giro C:** se calcula la posición de la esfera según el giro de C. Se calcula de manera similar a como se ha hecho con los nidos. Las coordenadas relativas X e Y contenidas en el plano del plato. Si el disco gira, estas coordenadas giran con el disco. Para calcular la posición relativa de X se calcula con  $R \cos\lambda$  y para Y  $R \sin\lambda$ . Siendo R la distancia radial del centro del plato a la esfera.



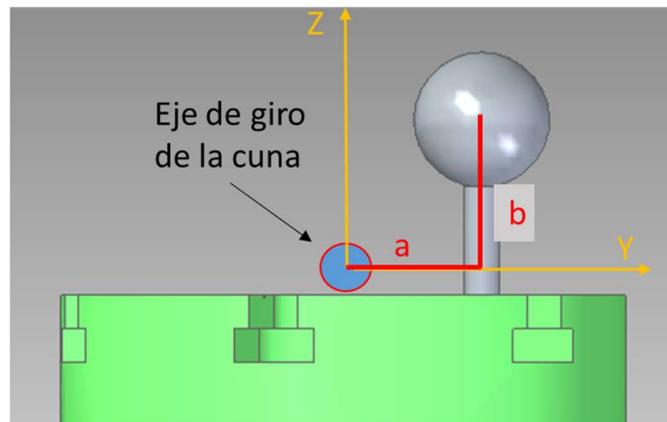
*Ilustración 12.4-1 Esquema de descomposición de las coordenadas de posición de la esfera (base)*

- **Giro A:** A simple vista el eje de giro está por encima del plato, pero el portaesferas levanta la esfera por encima de dicho eje.

Como se observa en la ilustración las coordenadas relativas forman una figura en forma de L



*Ilustración 12.4-1 Esquema de descomposición de las coordenadas de posición de la esfera para el giro del eje A (Alzado)*



*Ilustración 12.4-2 Esquema de descomposición de las coordenadas de posición de la esfera (alzado)*

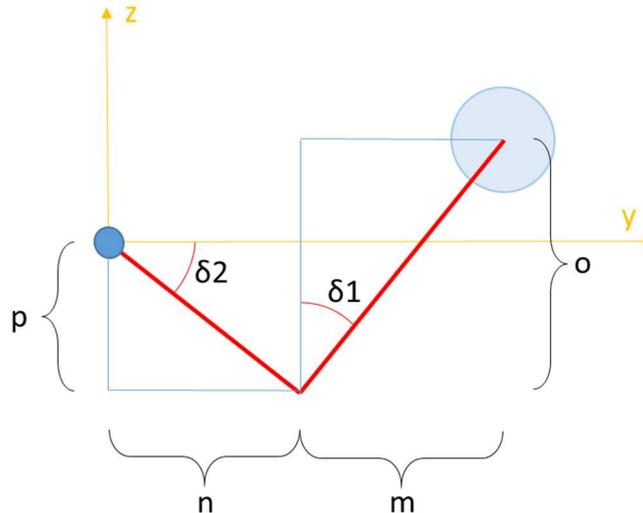
compuesta por los segmentos a, b.

- El segmento **a** se obtenido anteriormente con la proyección de radio según el giro de C.
- El segmento **b** es la distancia que hay desde el eje de giro menos la distancia a la que se encuentra la esfera, dependiendo del decalaje en Z que se le de a la esfera.

El giro del eje A se define por la letra griega  $\delta$ . Siendo  $\delta_1$  igual que  $\delta_2$ . En la figura imaginaria en forma de L se descompone en segmentos proyectados en Z e Y.

Para obtener la coordenada relativa de Z se suman los segmentos o y p. Y para la coordenada en Y se realiza la operación n-m. Los cálculos de los segmentos son los siguientes:

- $n = a * \cos (\delta_2) = a * \cos (\delta)$
- $p = a * \sin (\delta_2) = a * \sin (\delta)$
- $o = b * \cos (\delta_1) = b * \cos (\delta)$
- $m = b * \sin (\delta_1) = b * \sin (\delta)$



*Ilustración 12.4-2 Esquema de descomposición de las coordenadas de posición de la esfera para el giro del eje A en sentido horario (Alzado)*

Para situaciones en las que el ángulo es negativo no cambian las operaciones puesto que el seno se vuelve negativo. Entonces n-m en realidad sería n - (-m). Y o + p en realidad sería o + (-p). Si se observa el esquema se ve que todo cuadra.

Para obtener las coordenadas globales de la esfera se parte de la posición en la que se encuentre el divisor respecto al sistema de coordenadas, luego se le sumarán los segmentos necesarios. La coordenadas globales quedan de la siguiente manera:

- X = distancia del centro de la mesa al divisor en X + R cos  $\lambda$
- Y = distancia del centro de la mesa al divisor en Y + n - m
- Z = distancia del centro de la mesa al divisor en Z + o + p

## 12.5. CÁLCULO DE LAS COORDENADAS DE LA ESFERA CUANDO SE ENCUENTRA SOBRE LA MESA

Para esta situación es más sencillo el cálculo de la esfera.

- X = distancia en X al portaesferas
- Y = distancia en Y al portaesferas
- Z = distancia en Z al portaesferas

## 12.6. DETECCIÓN DE COLISIONES

Una vez obtenidas las coordenadas globales de los nidos y de la esfera se calculan las posibles colisiones entre los elementos telescópicos. Para ello se formula la línea imaginaria que existe entre la coordenada de la esfera y la coordenada del nido. Esta línea simula esquemática el sistema telescópico.

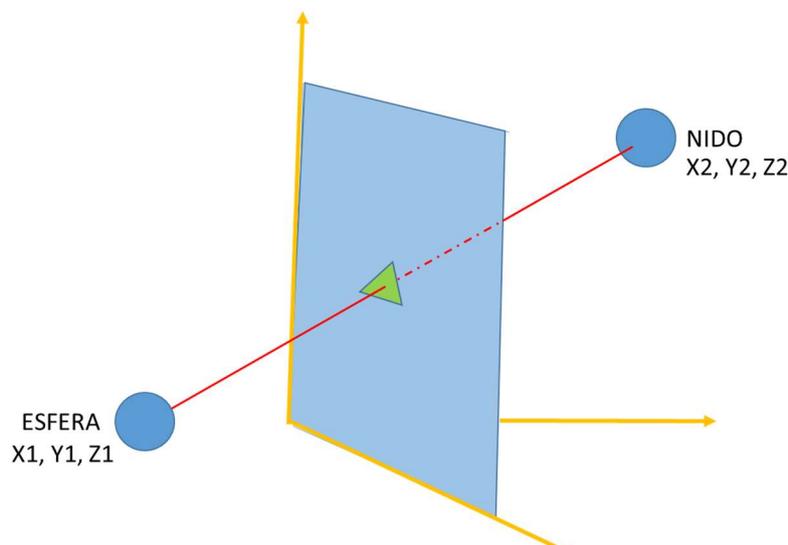
Suponiendo que las coordenadas de la esfera fueran  $X_1, Y_1, Z_1$  y las de coordenadas de los nidos  $X_2, Y_2, Z_2$ , las ecuaciones de la recta se formularían de la siguiente manera:

- $X \rightarrow X_1 + (X_2 - X_1) * t$
- $Y \rightarrow Y_1 + (Y_2 - Y_1) * t$
- $Z \rightarrow Z_1 + (Z_2 - Z_1) * t$

Las distintas zonas de colisiones se representan como planos. Dichos planos no son infinitos, tienen unas dimensiones determinadas, acordes con la geometría de la parte de la máquina o el divisor con la que pueda existir una colisión.

La detección de la colisión se realiza efectuando los siguientes pasos:

1. Se escoge un tipo de colisión, se obtiene el valor de  $t$  para saber las coordenadas tienen el punto resultante de la intersección entre la recta y el plano.
2. Se comprueba que el plano se encuentre entre la esfera y el nido.
3. Las coordenadas de dicho punto son corregidas, puesto que el sistema telescópico tiene un espesor y se tiene en cuenta para hacer los cálculos más precisos.
4. Se compara si el punto corregido está dentro o fuera de los límites del plano. Si está dentro existe colisión, si en está fuera no existe colisión.



*Ilustración 12.6-1 Esquema de la colisión de uno de los elementos telescópicos con cualquier zona de colisión*

## 12.7. DETECCIÓN DE INCOMPATIBILIDADES DE LOS SISTEMAS TELESCÓPICOS

### 12.7.1. ALTURA MÍNIMA:

en las condiciones de contorno se define que la distancia en vertical entre nidos y esfera debe ser superior a 100 milímetros. Para ello se calcula la diferencia de altura entre nidos y esfera, y se comprueba a ver si el valor obtenido es mayor o menor a 100.

### 12.7.2. COMPRESIÓN Y EXTENSIÓN MÁXIMA:

Los sistemas telescópicos no pueden comprimirse más de 300 milímetros y no pueden extenderse más de 1500 milímetros. Para comprobarlos se obtiene la distancia en línea recta que hay entre un nido y la esfera haciendo la siguiente operación:

$$\sqrt{(X2 - X1)^2 + (Y2 - Y1)^2 + (Z2 - Z1)^2}$$

### 12.7.3. COLISIÓN ENTRE SISTEMAS TELESCÓPICOS:

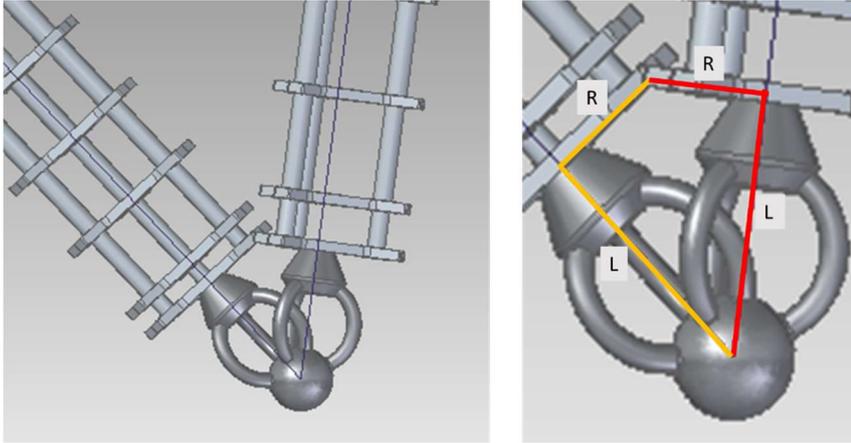
Si se observa en la Ilustración 12.7-1 que unas garras unen la esfera los nidos, tras esas garras comienza el sistema telescópicos. Se ha medido la distancia entre la esfera y la primera placa y el radio del cilindro imaginario que envuelve el sistema telescópico. Dichas distancias se muestran como los segmentos R y L. Para calcular si los elementos colisionan o no, primero ha que definir cual es el ángulo a partir del cual se produce la colisión. Para ello se calcula el ángulo que forman los segmentos L cuando los extremos de los segmentos R se tocan.

Para calcular el ángulo se halla de la siguiente manera:  $2 * \text{atan}\left(\frac{R}{L}\right)$ . Una vez obtenido el ángulo límite se calcula cual es el ángulo entre sistemas telescópicos. Para calcularlo en verdadera magnitud hay que calcularlo en el plano que pasa por dos rectas que representan a los sistemas telescópicos. Para ello se calcula la longitud de los dos sistemas y la distancia que existe entre nidos. Con estas tres distancias o segmentos se forma un triángulo.

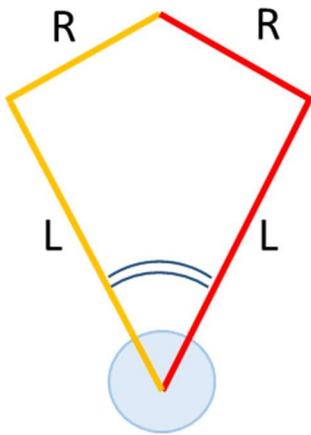
Para calcular el ángulo se emplea el teorema del coseno. En la ilustración 12.7-3 se muestran los tres segmentos denominados por las letras a, b, c y ángulo a calcular  $\phi$ . El teorema del coseno dice que según los datos mostrados en la ilustración 12.7-3  $\rightarrow$

$$\rightarrow b^2 = a^2 + c^2 - 2 * a * c * \cos \phi$$

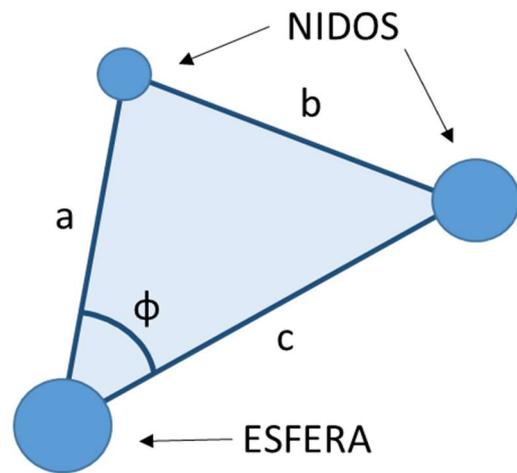
Despejando la ecuación se obtiene el valor de  $\phi$ , comparando el valor obtenido con el valor límite se determina si existe o no colisión entre los sistemas telescópicos.



*Ilustración 12.7-1 Colisión entre sistemas telescópicos*



*Ilustración 12.7-2 Esquema de colisión entre sistemas telescópicos*



*Ilustración 12.7-3 Esquema para el cálculo del ángulo entre sistemas telescópicos*

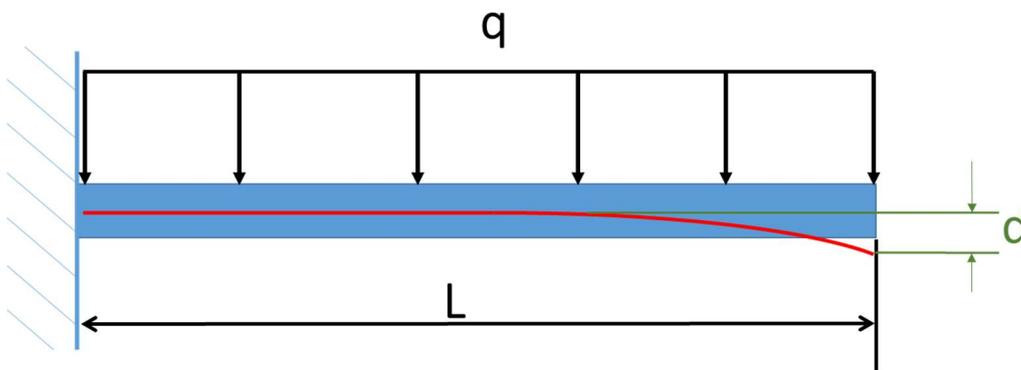
# 13. ANEXO III CÁLCULO DE LA FLECHA DE LOS BRAZOS

## 13.1. CÁLCULO DE LA FLECHA

Los brazos van anclados van por una parte empotrados a la base de la estrella y en su otro extremo se suspende el peso (2 Kg) del sistema telescópico anclado al brazo a través del nido.

Para calcular la flecha producida por la carga del peso del sistema telescópico y el nido se divide el cálculo en dos partes:

1. La flecha producida por la carga distribuida producida por el peso del brazo.



*Ilustración 13.1-1 Esquema de barra empotrada con carga distribuida*

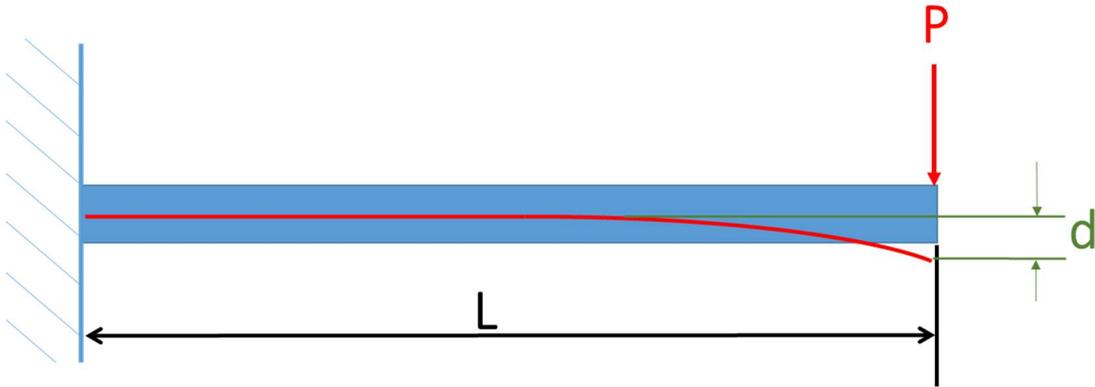
Esta situación es la deflexión de una barra empotrada con carga distribuida. Para calcular la flecha **d** o la deflexión del brazo se calcula a través de la siguiente fórmula.

$$d = \frac{q \cdot L^4}{8 \cdot E \cdot I_z}$$

Siendo:

- $d \rightarrow$  la flecha producida
- $q \rightarrow$  la carga distribuida
- $E \rightarrow$  el módulo de elasticidad (en la dirección longitudinal de la barra)
- $I_z \rightarrow$  la inercia del perfil

2. La flecha producida por la carga puntual producida por el peso del nido y el sistema telescópico (2 Kg).



**Ilustración 13.1-2 Esquema de barra empotrada con carga puntual**

Esta situación es la deflexión de una barra empotrada con carga puntual. Para calcular la flecha  $d$  o la deflexión del brazo se calcula a través de la siguiente fórmula.

$$d = \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I_z}$$

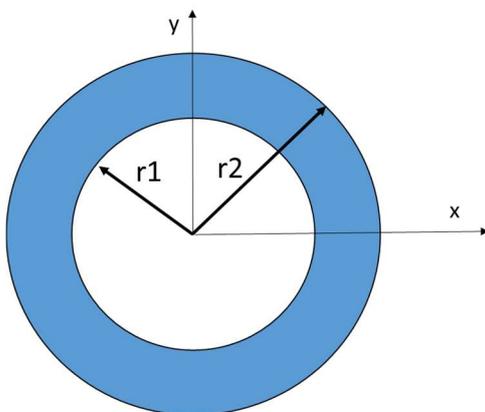
Siendo:

- $d \rightarrow$  la flecha producida
- $P \rightarrow$  la carga puntual (2 Kg)
- $E \rightarrow$  el módulo de elasticidad (en la dirección longitudinal de la barra)
- $I_z \rightarrow$  la inercia del perfil

Para el cálculo total de la flecha, deben sumarse las flechas de las dos situaciones.

## 13.2. CÁLCULO DE INERCIAS

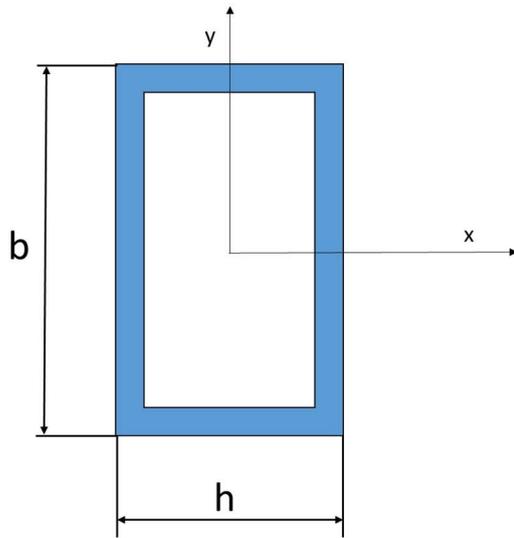
Dependiendo del perfil, la inercia y la forma de calcularla será diferente.



- INERCIA PERFIL CILÍNDRICO

$$I_z = \frac{\pi}{4} \cdot (r_2^4 - r_1^4)$$

**Ilustración 13.2-1 Geometría perfil cilíndrico**



*Ilustración 13.2-2 Geometría perfil rectangular*

- INERCIAPERFIL RECTANGULAR

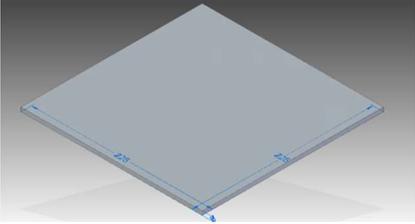
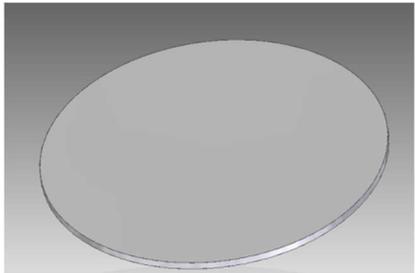
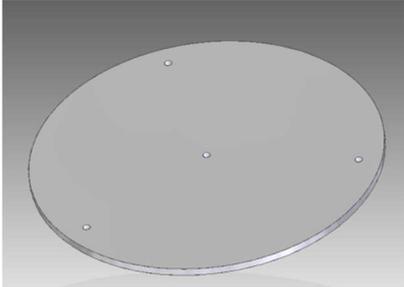
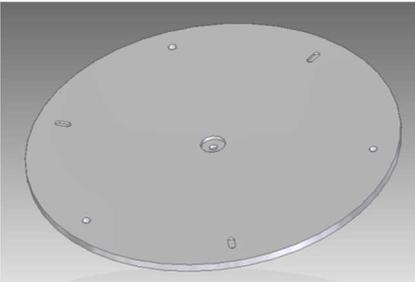
$$I_z = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

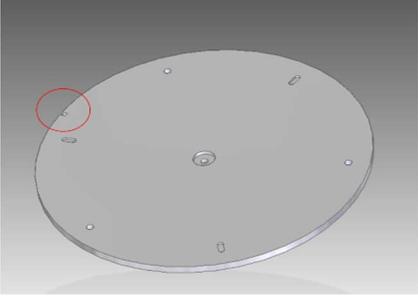
### 13.3. MÓDULO DE ESLASTICIDAD DE LOS MATERIALES (MÓDULO DE YOUNG)

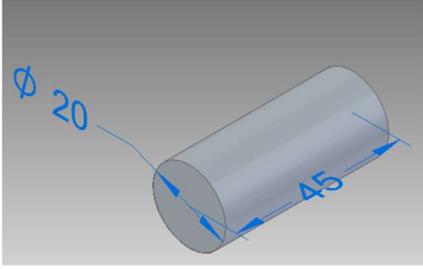
MATERIAL	MÓDULO DE ESLASTICIDAD (MPa)
ALUMINIO	70 000
FIBRA DE VIDRIO	30 000
ACERO	120 000
FIBRA DE CARBONO	275 000

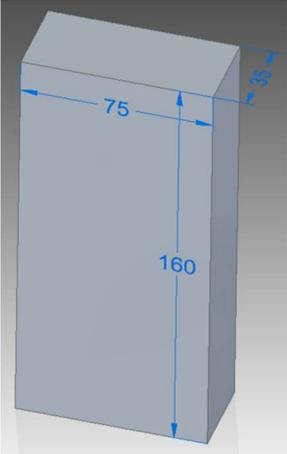
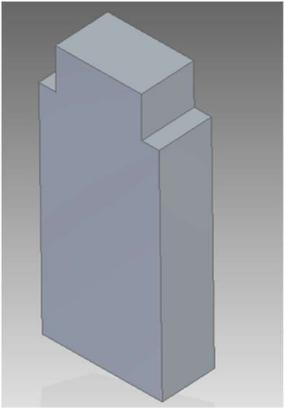
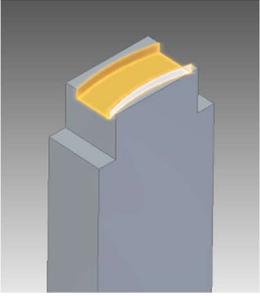
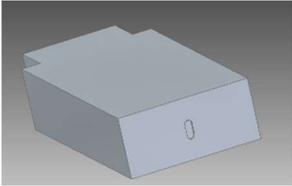
# 14. ANEXO IV ESQUEMA DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

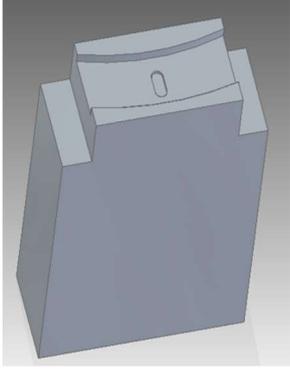
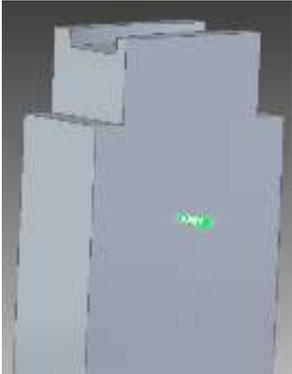
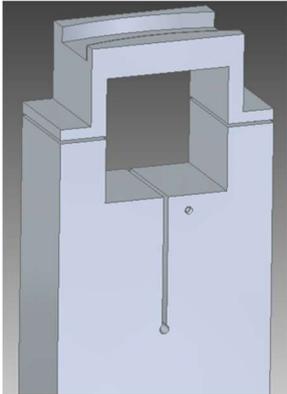
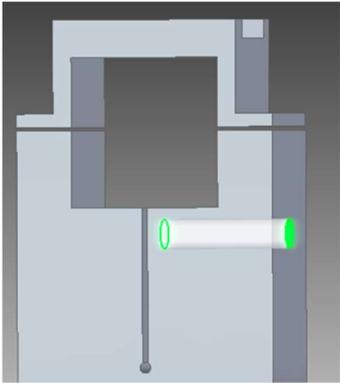
## DE FABRICACIÓN

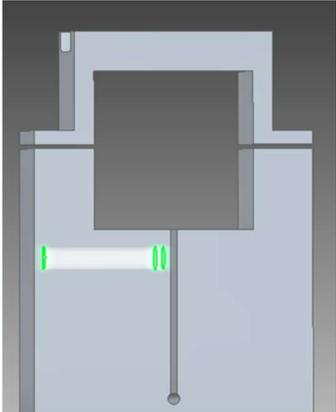
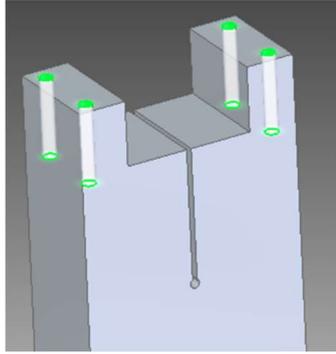
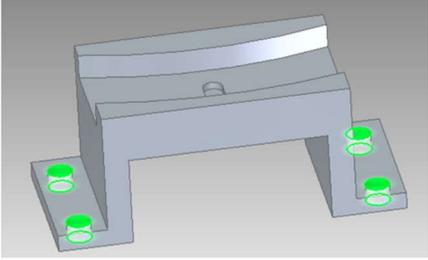
DISCO	
	<p>PREFORMA</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Material: Acero</li> <li>• Dimensiones: 225 x 225 x 5 cm</li> </ul>
	<p>OPERACIÓN 1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desbaste y acabado del perímetro del disco</li> </ul>
	<p>OPERACIÓN 2</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Taladrado de los agujeros pasantes para tornillos.</li> </ul>
	<p>OPERACIÓN 3</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mecanizado de alojamiento para el vástago y mecanizado del alojamiento de las chavetas.</li> </ul>

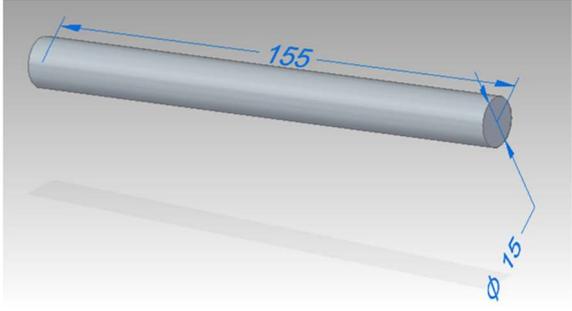
	<p><b>OPERACIÓN 4</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mecanizado de una ranura lateral</li> </ul>
---	--

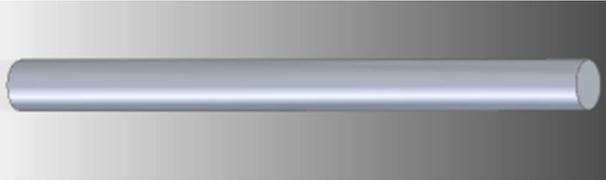
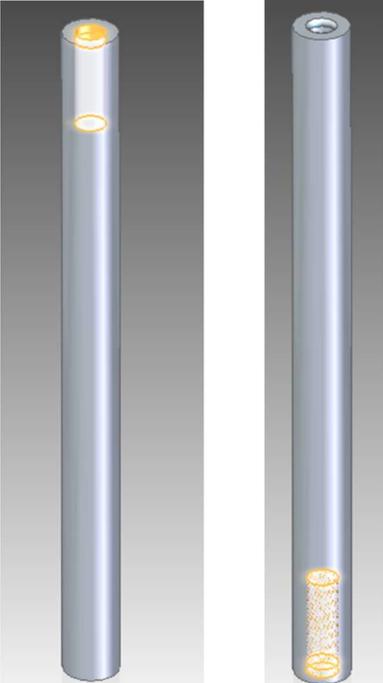
VÁSTAGO	
	<p><b>PREFORMA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Material: Aluminio</li> <li>• Dimensiones: 45 x <math>\varnothing</math>20 cm</li> </ul>
	<p><b>OPERACIÓN 1</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cilindrado y refrentado</li> </ul>
	<p><b>OPERACIÓN 2</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Taladrado de los agujeros y mecanizado de la rosca</li> </ul>

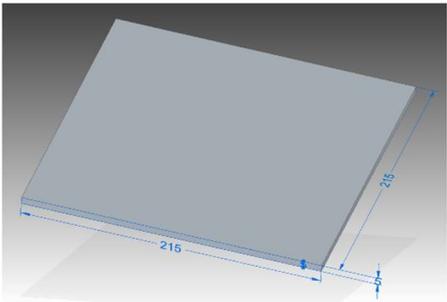
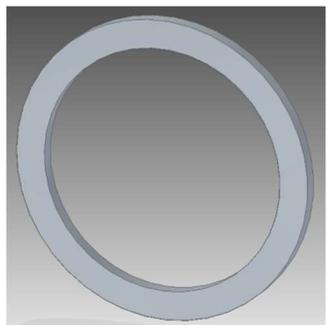
<b>ABRAZADERA</b>	
	<p><b>PREFORMA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Material: Aluminio</li> <li>• Dimensiones: 160 x 75 x 35 cm</li> </ul>
	<p><b>OPERACIÓN 1</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mecanizado del perfil de la pieza</li> </ul>
	<p><b>OPERACIÓN 2</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Taladrado de los agujeros pasantes para tornillos.</li> </ul>
	<p><b>OPERACIÓN 3</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mecanizado del alojamiento de la chaveta en la parte inferior.</li> </ul>

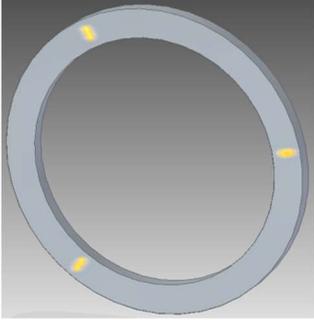
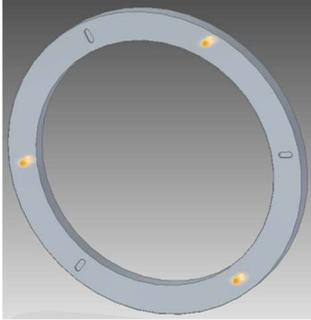
	<p>OPERACIÓN 4</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Mecanizado del alojamiento de la chaveta en la parte superior.</li></ul>
	<p>OPERACIÓN 5</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Agujereado y mecanizado de la rosca.</li></ul>
	<p>OPERACIÓN 6</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Recorte con electroerosión de hilo el alojamiento para el tubo y las ranuras de apriete.</li></ul>
	<p>OPERACIÓN 7</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Taladrado del agujero pasante</li></ul>

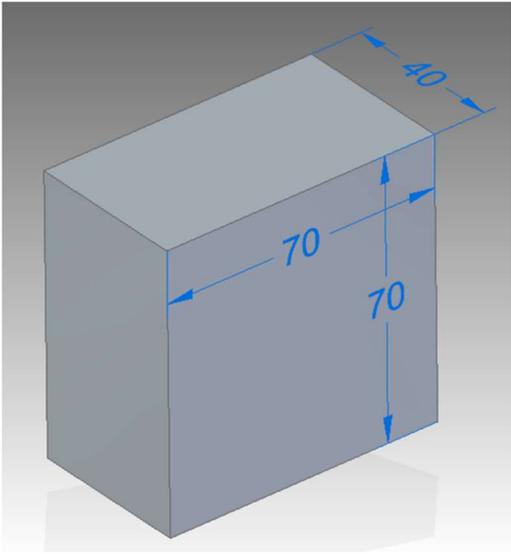
	<p><b>OPERACIÓN 8</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Taladrado y roscado del sistema de apriete</li> </ul>
	<p><b>OPERACIÓN 9</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Taladrado y roscado de los cuatro orificios del otro sistema de apriete</li> </ul>
	<p><b>OPERACIÓN 10</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Taladrado para el agujero pasante de los orificios del sistema de apriete</li> </ul>

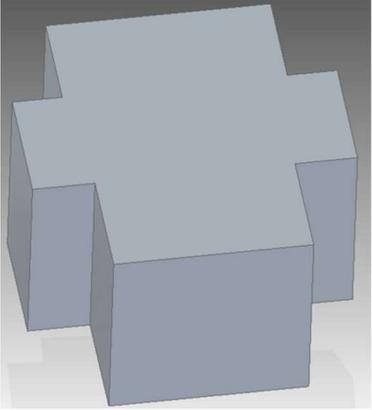
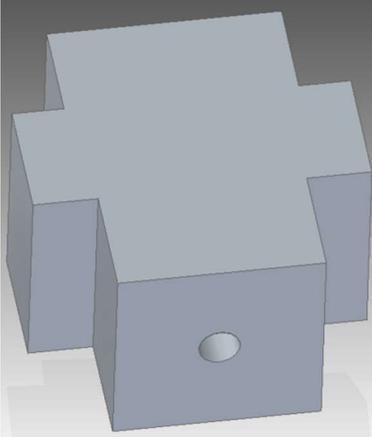
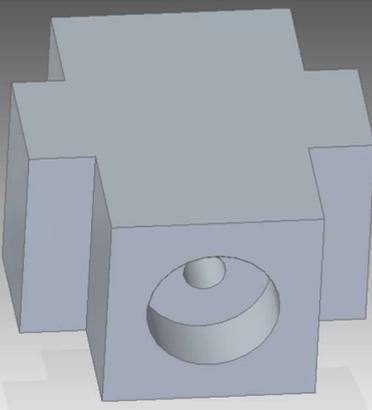
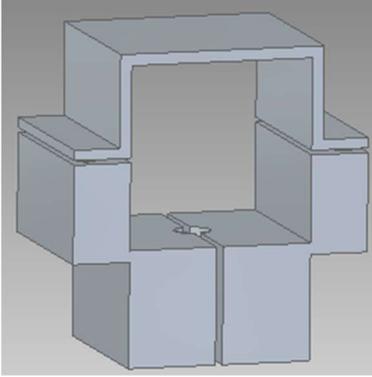
COLUMNA DE APRIETE	
	<p><b>PREFORMA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Material: Aluminio</li> <li>• Dimensiones: 155 x Ø15 cm</li> </ul>

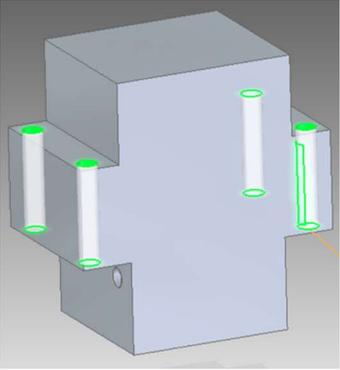
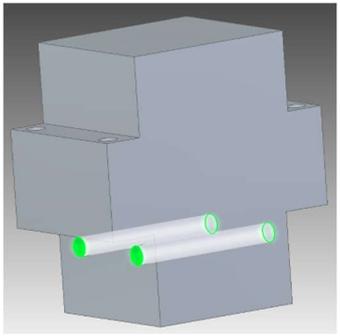
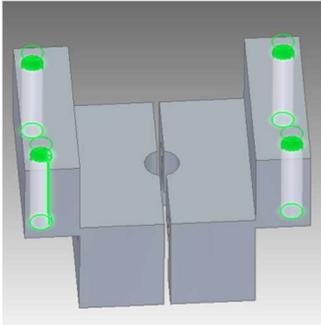
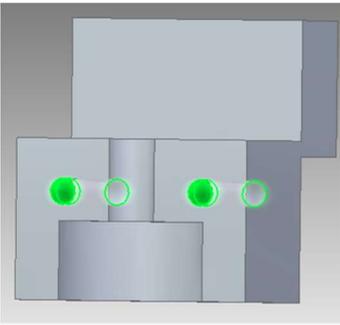
	<p>OPERACIÓN 1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cilindrado y refrentado</li> </ul>
	<p>OPERACIÓN 2</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Taladrado y roscado de la parte superior e inferior</li> </ul>

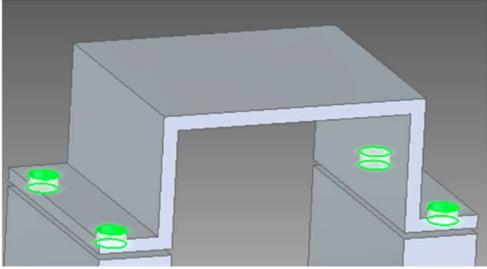
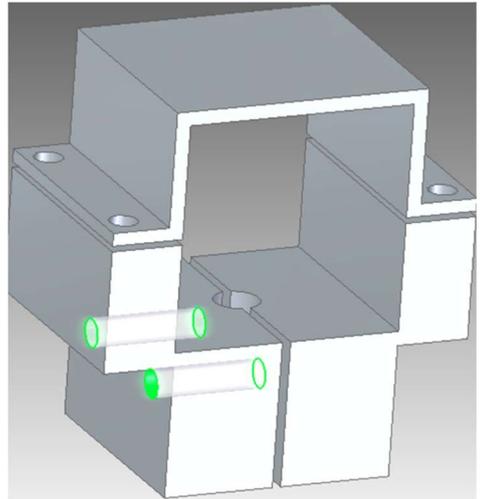
ANILLO	
	<p>PREFORMA</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Material: Aluminio</li> <li>• Dimensiones: 215 x 215 x 5 cm</li> </ul>
	<p>OPERACIÓN 1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desbaste y acabado del perímetro exterior e interior del disco</li> </ul>

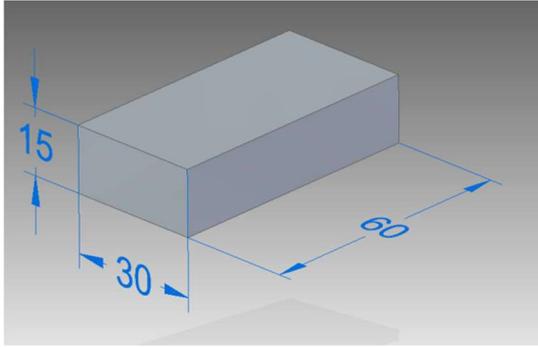
	<p><b>OPERACIÓN 2</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mecanizado de los alojamientos de las chavetas</li> </ul>
	<p><b>OPERACIÓN 3</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Taladrado de agujeros pasantes</li> </ul>

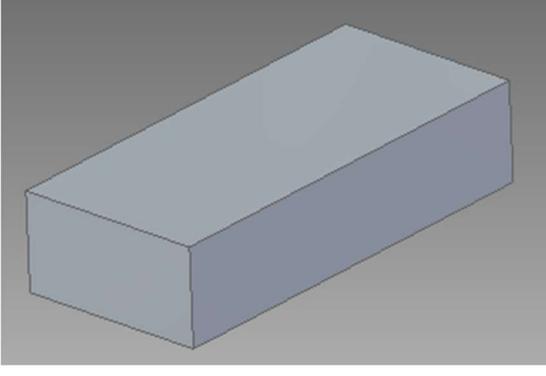
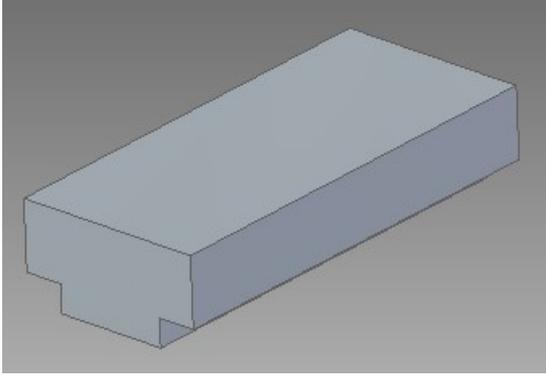
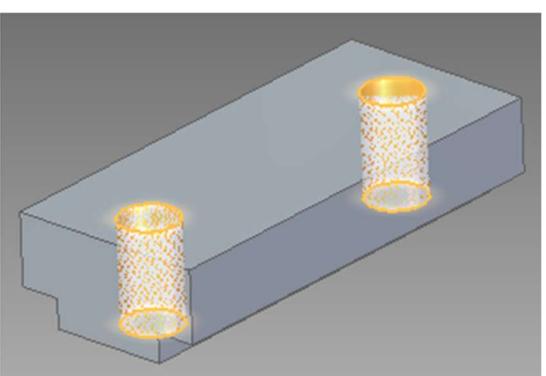
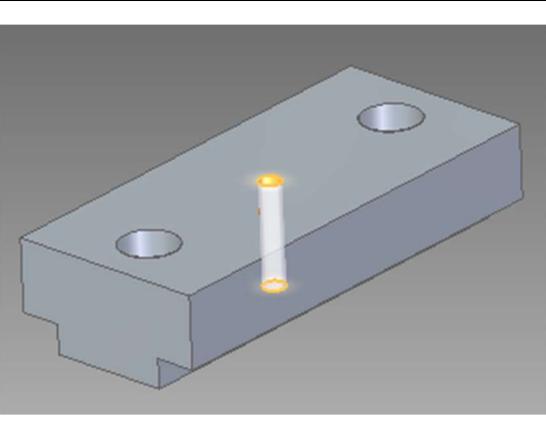
NIDO	
	<p><b>PREFORMA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Material: Aluminio</li> <li>• Dimensiones: 70 x 70 x 40 cm</li> </ul>

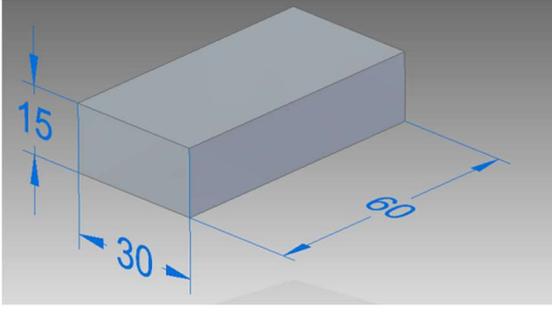
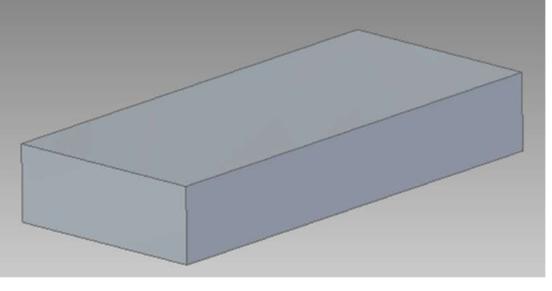
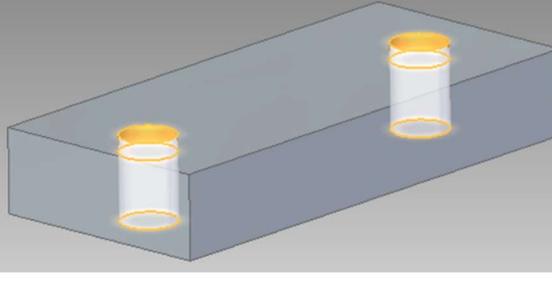
	<p><b>OPERACIÓN 1</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mecanizado del perfil de la pieza</li> </ul>
	<p><b>OPERACIÓN 2</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Agujero 1 para el alojamiento del reflector-holder</li> </ul>
	<p><b>OPERACIÓN 3</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Agujero 2 para el alojamiento del reflector-holder</li> </ul>
	<p><b>OPERACIÓN 4</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Recorte con electroerosión de hilo el alojamiento para el tubo y las ranuras de apriete.</li> </ul>

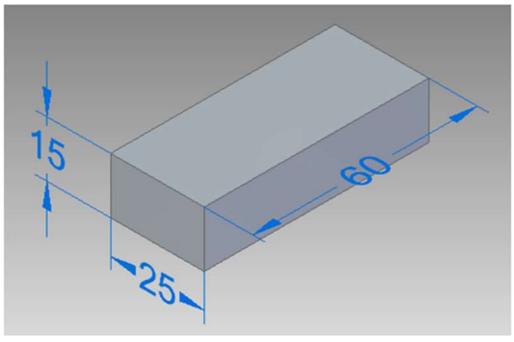
	<p>OPERACIÓN 5</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Taladrado de orificios</li> </ul>
	<p>OPERACIÓN 6</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Taladrado de orificios</li> </ul>
	<p>OPERACIÓN 6</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Roscado de orificios</li> </ul>
	<p>OPERACIÓN 7</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Roscado de orificios</li> </ul>

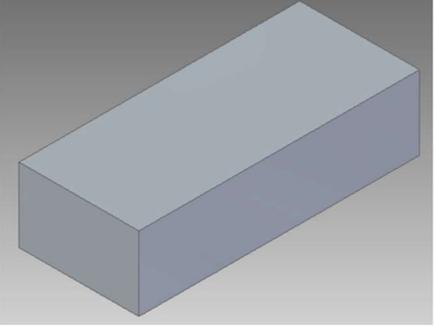
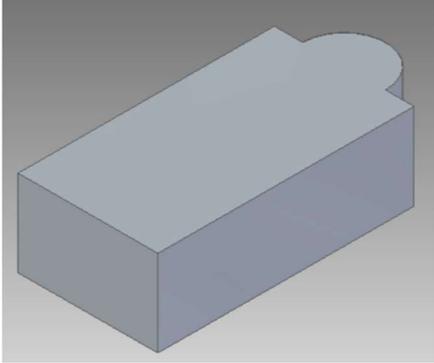
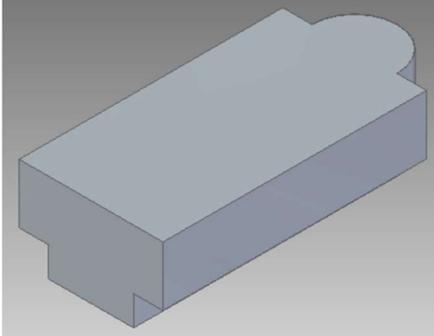
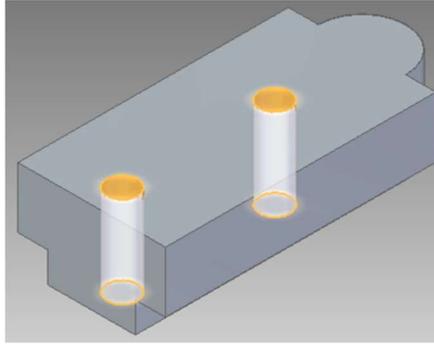
	<p><b>OPERACIÓN 8</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Taladrado de agujeros pasantes</li> </ul>
	<p><b>OPERACIÓN 9</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Taladrado de agujeros pasantes</li> </ul>

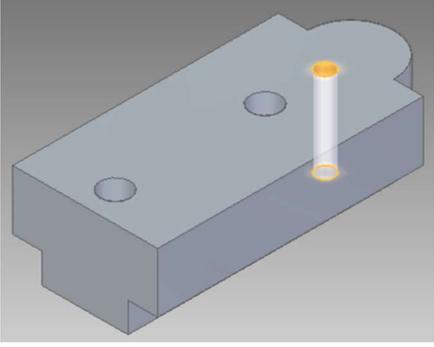
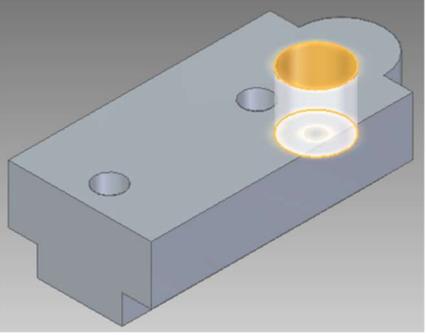
<p><b>PIEZA 2 DEL UTILLAJE PARA EL ANCLAJE DE LA ESFERA EN LA MESA (parte SUPERIOR)</b></p>	
	<p><b>PREFORMA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Material: Aluminio</li> <li>• Dimensiones: 60 x 30 x 15 cm</li> </ul>

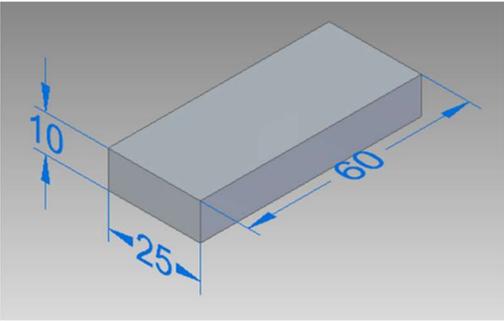
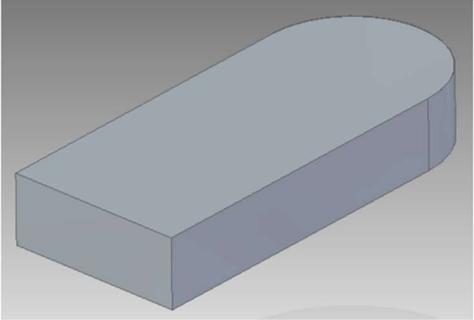
	<p>OPERACIÓN 1</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Desbaste y acabado del perímetro de la pieza</li></ul>
	<p>OPERACIÓN 2</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Mecanizado de la ranura en T</li></ul>
	<p>OPERACIÓN 3</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Mecanizado de agujeros pasantes</li></ul>
	<p>OPERACIÓN 4</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Mecanizado de agujero pasante</li></ul>

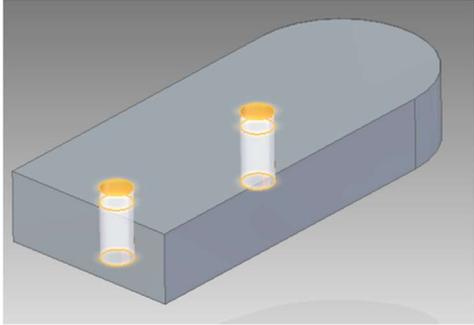
PIEZA 1 DEL UTILLAJE PARA EL ANCLAJE DE LA ESFERA EN LA MESA (parte inferior)	
	<p><b>PREFORMA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Material: Aluminio</li> <li>• Dimensiones: 60 x 30 x 15 cm</li> </ul>
	<p><b>OPERACIÓN 1</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desbaste y acabado del perímetro de la placa</li> </ul>
	<p><b>OPERACIÓN 2</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Taladrado de los agujeros y posterior roscado</li> </ul>

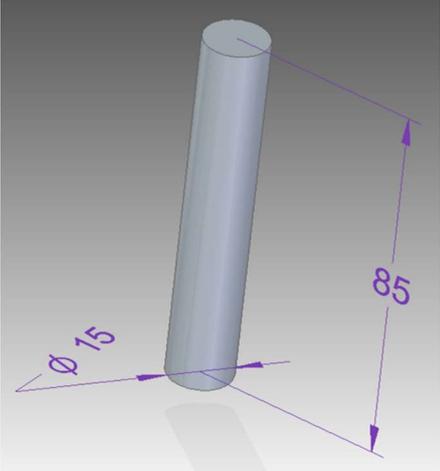
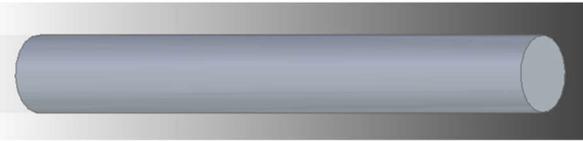
PIEZA 1 DEL UTILLAJE PARA EL ANCLAJE DE LA ESFERA EN EL DIVISOR (parte SUPERIOR)	
	<p><b>PREFORMA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Material: Aluminio</li> <li>• Dimensiones: 225 x 225 x 5 cm</li> </ul>

	<p><b>OPERACIÓN 1</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desbaste y acabado del perímetro de la placa</li> </ul>
	<p><b>OPERACIÓN 2</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mecanizado del perfil de la placa</li> </ul>
	<p><b>OPERACIÓN 3</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mecanizado de la ranura en T</li> </ul>
	<p><b>OPERACIÓN 4</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mecanizado de agujeros pasantes</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mecanizado de agujero pasante</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mecanizado del alojamiento para el porta-esfera</li> </ul>

<p>PIEZA 2 DEL UTILLAJE PARA EL ANCLAJE DE LA ESFERA EN EL DIVISOR (parte INFERIOR)</p>	
	<p>PREFORMA</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Material: Aluminio</li> <li>• Dimensiones: 225 x 225 x 5 cm</li> </ul>
	<p>OPERACIÓN 1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desbaste y acabado del perímetro de la placa</li> </ul>

	<p><b>OPERACIÓN 2</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Taladrado de agujeros y posterior roscado</li> </ul>
---	---

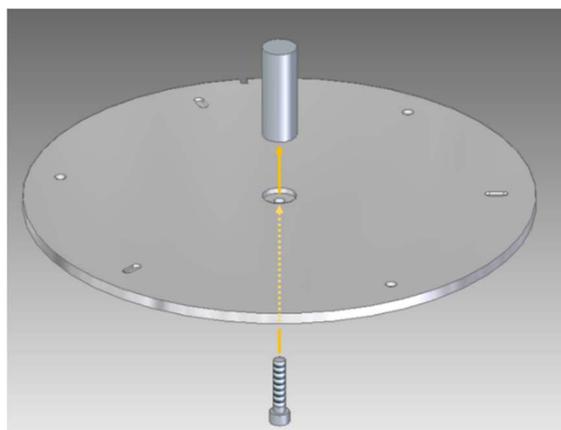
SOPORTE ESFERA	
	<p><b>PREFORMA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Material: ACERO</li> <li>• Dimensiones: 225 x 225 x 5 cm</li> </ul>
	<p><b>OPERACIÓN 1</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cilindrado y refrentado</li> </ul>
	<p><b>OPERACIÓN 2</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mecanizado del alojamiento para la esfera.</li> </ul>

## 15. ANEXO V ESQUEMA DE LA SECUENCIA DE MONTAJE DEL UTILLAJE

Para llevar a cabo la secuencia de montaje se siguen una serie de pasos similares para ambas configuraciones. Una buena secuencia ayuda a que el montaje sea repetible y reproducible.

Se comienza por el montaje la parte de la base denominada disco compuesto por el vástago y el disco perforado. Ambos elementos van unidos por un tornillo de métrica 5.

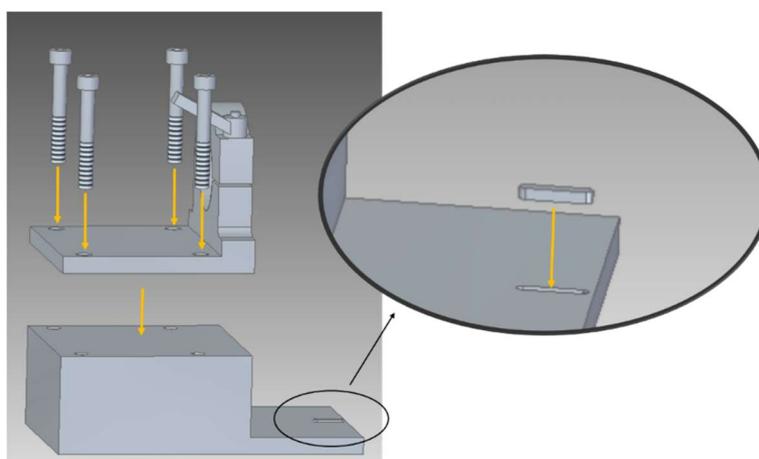
Tras montar el disco, se instala el cono ISO 40 formado por el porta-pinzas y las pinzas. El cono



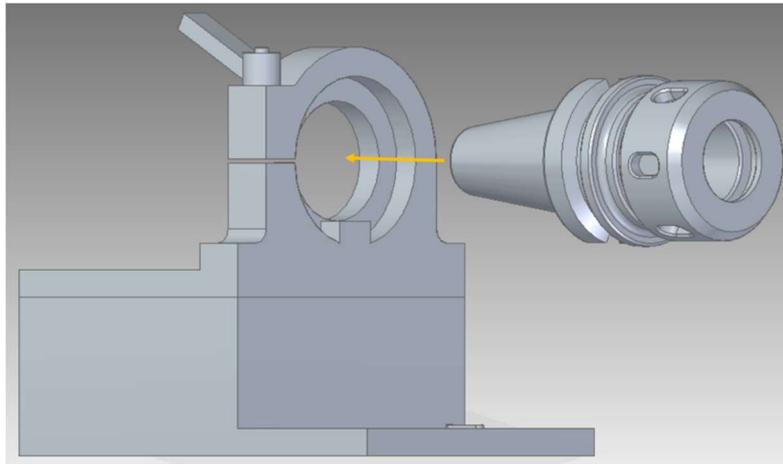
*Ilustración 13.3-1 Montaje del vástago al disco*

tiene un perfil con almenas que hace que cuando se instale en la máquina case a la perfección. Es por ello que es crítica la colocación de del disco frente a la posición del cono.

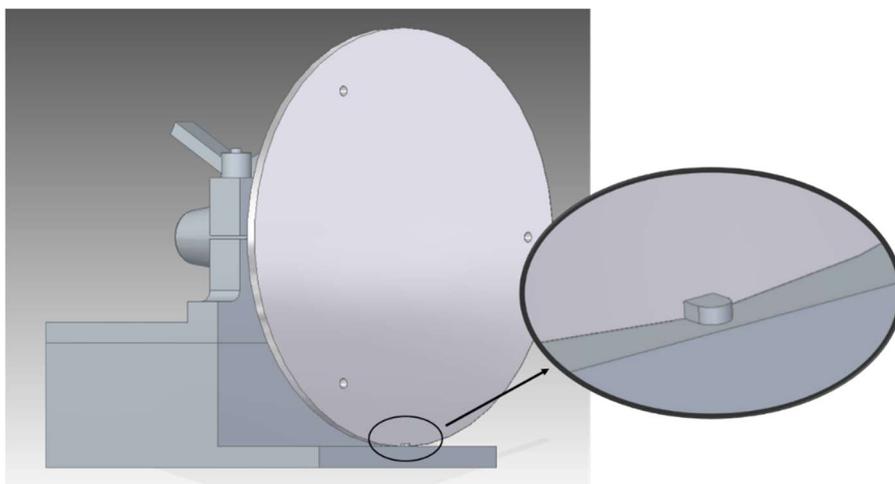
Para realizar esta secuencia se emplea un utillaje que se puede adquirir en el mercado, dicho utillaje tendrá que instalarse a otro sistema que se deberá fabricar según las medidas deseadas. Existe una chaveta que servirá para alinear el disco respecto del cono.



*Ilustración 13.3-2 Montaje del sistema de aclaje del cono*



**Ilustración 13.3-4 Anclaje cono ISO 40**



**Ilustración 13.3-3 Acople del disco al cono ISO en la posición adecuada**

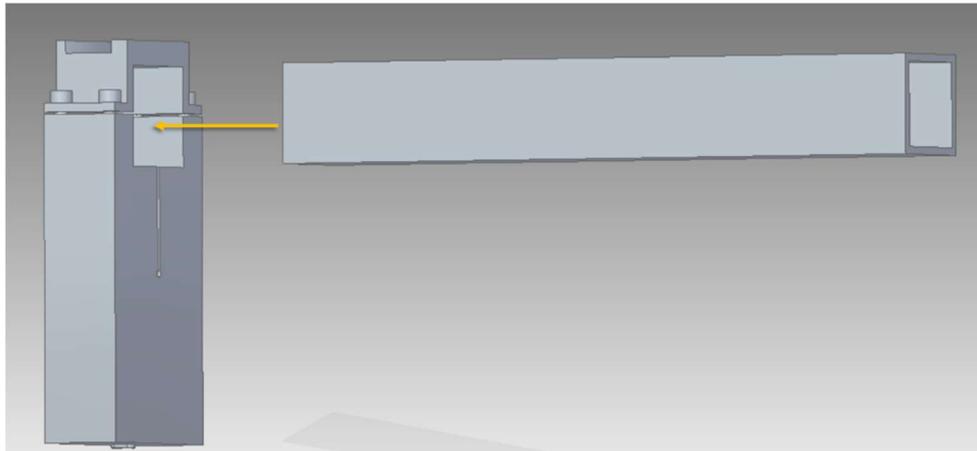
En primer lugar, se ensamblan las dos partes, es decir el utillaje comercial con el fabricado a medida, se fija mediante cuatro tornillos de métrica 8.

Se fija bien el cono en el utillaje encajando bien la almena del mismo en el hueco del cono.

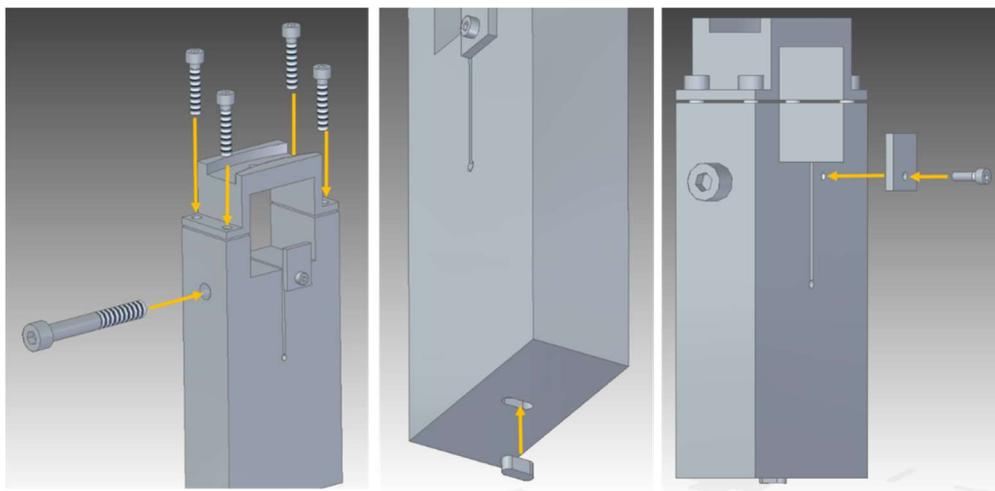
A continuación, se introduce el vástago del disco en el cono, se hace coincidir la claveta de la parte inferior del utillaje con la ranura mecanizada en un lateral del disco. Una vez posicionado el disco se aprietan las pinzas quedando el disco fijado al cono.

El siguiente consiste en montar las abrazaderas. Para ello, se introduce la claveta en la parte inferior, un tornillo de métrica 8 en el lateral y cuatro tornillos de métrica 5 en superior que une las dos partes de la abrazadera. Los tornillos no se aprietan aún, puesto que aún debe alojarse los tubos en los alojamientos. Y para finalizar el montaje se introduce la chapa que hará de tope y se fija con un tornillo de métrica 3.

A continuación, se introducen los brazos de fibra de carbono en las abrazaderas u se fijan los 5 tornillos.

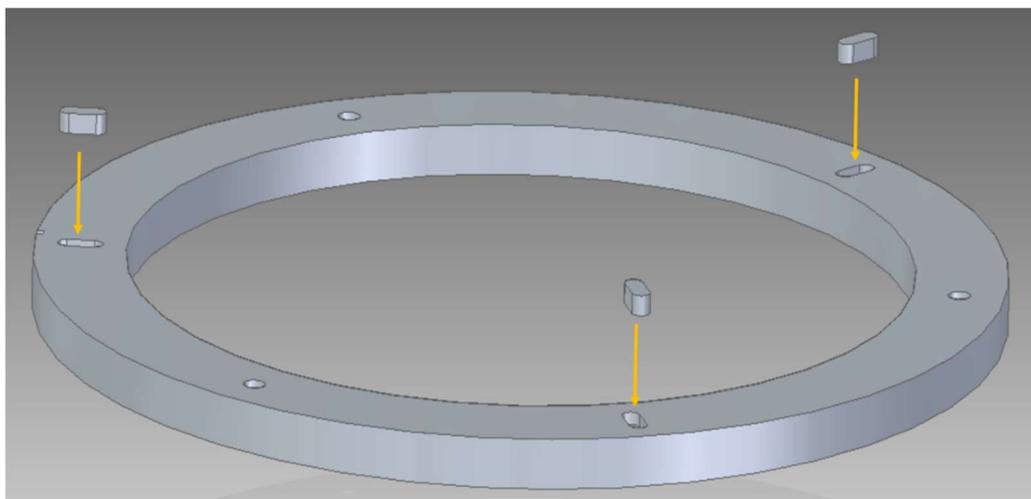


*Ilustración 13.3-7 Acople de los brazos en las abrazaderas*



*Ilustración 13.3-6 Instalación de chavetas y tornillos en la abrazadera*

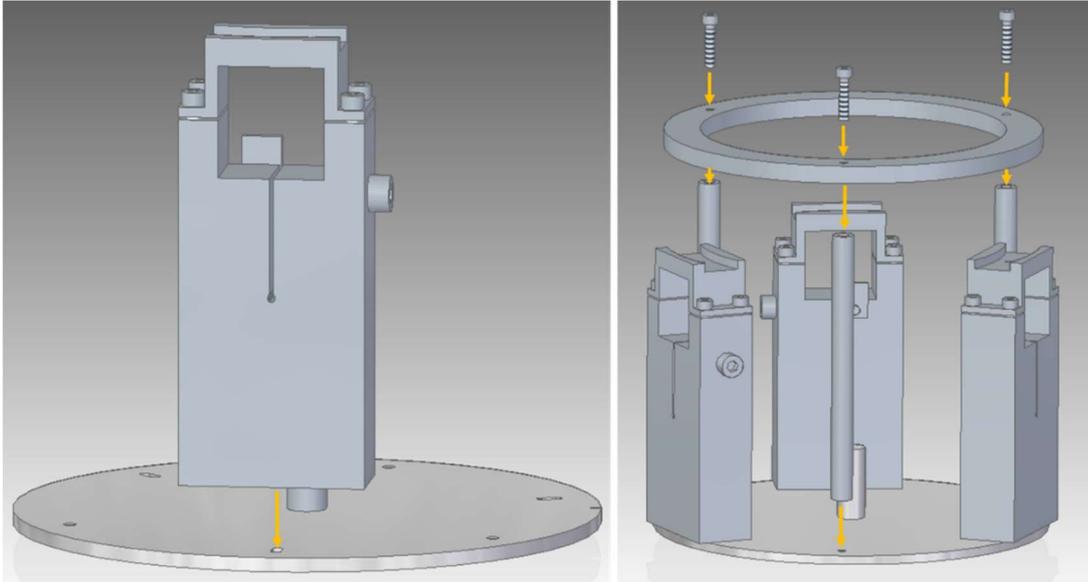
Tras haber montado las abrazaderas se instalan en el anillo las chavetas.



*Ilustración 13.3-5 Instalación de chavetas en el anillo.*

Las abrazaderas se instalan en el disco junto a otros componentes para formar la base del utillaje. Cada abrazadera se ubica en el disco con ayuda de la chaveta anteriormente instaladas. Las columnas son fijadas por ambos lados con tornillos de métrica 5.

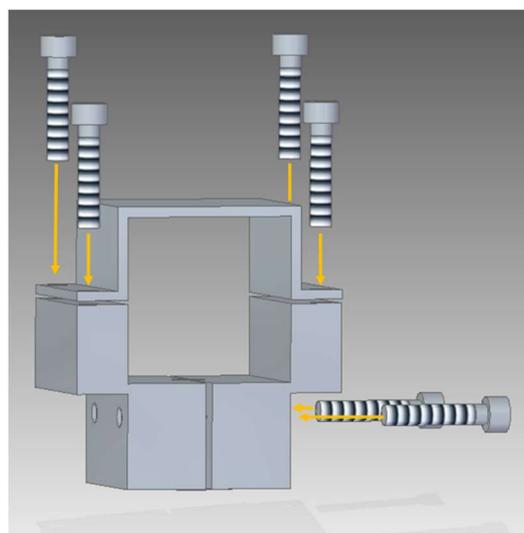
NOTA: para una mejor visualización los brazos y el cono ISO 40 no aparecen representados en la ilustración, pero en realidad, estarían montados.



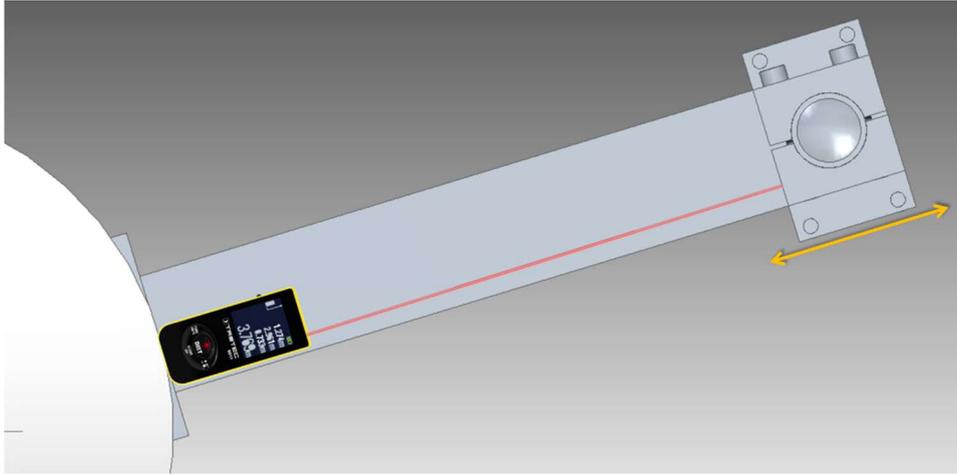
**Ilustración 13.3-8 Ensamblaje de la base del anillo**

Una vez base y brazos ensamblados se da paso al montaje de los nidos. El montaje es similar al de la abrazadera, cuatro tornillos de métrica 5 unen las dos partes del sistema de apriete, otros dos tornillos de la misma métrica posicionados horizontalmente se encargan de fijar el reflector-holder. Los tornillos meramente se introducen, no se aprietan aún.

Cada nido se introducirá en cada uno de los brazos. Posteriormente con ayuda de un medidor láser se situará el nido a la posición deseada. Una vez fijada cada posición se apretarán bien los cuatro tornillos de la parte superior de cada nido.

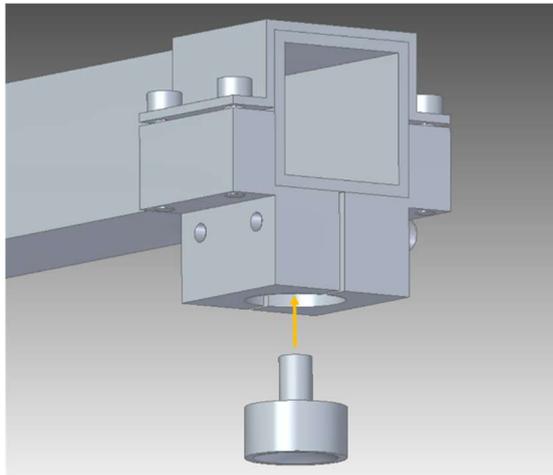


**Ilustración 13.3-9 Montaje del nido**

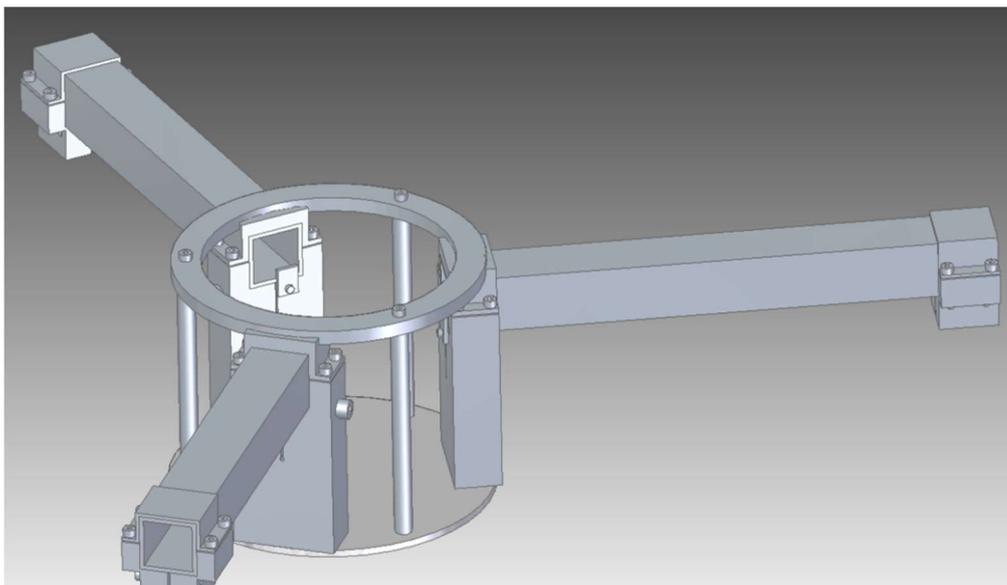


**Ilustración 13.3-12 Colocación del nido a la distancia adecuada en el brazo**

Finalmente se coloca en cada nido un reflector-holder introduciéndolo hasta que haga tope. Una vez fijado el nido deben apretarse los dos tornillos posicionado horizontalmente.



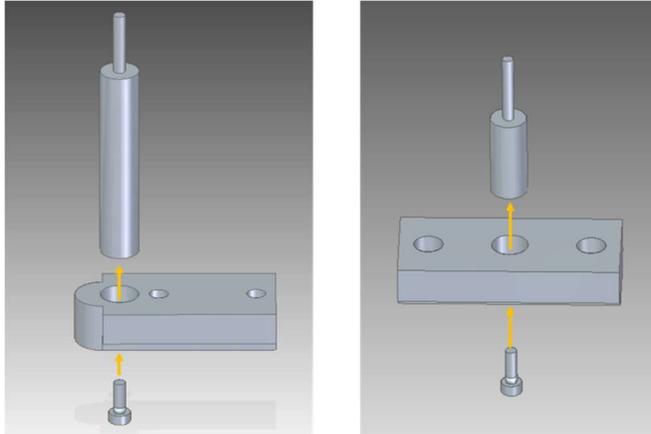
**Ilustración 13.3-11 Instalación del reflector holder en el nido**



**Ilustración 13.3-10 Sistema ensamblado**

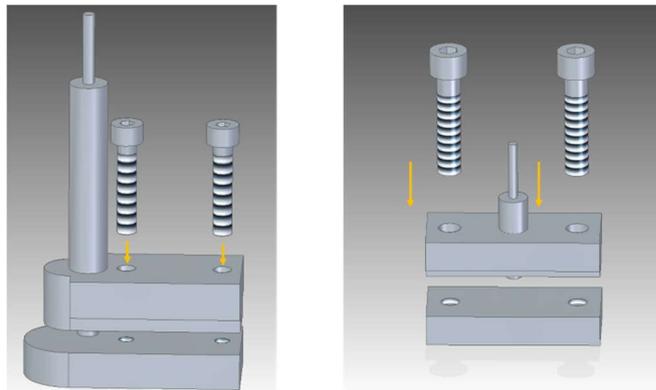
Una vez montada el utillaje que se ancla al cabezal, debe instalarse la otra parte del utillaje que se anclará a la mesa o al plato del divisor. Ambos tienen sistemas de anclaje similares.

Primeramente, se ancla el porta-esferas en la pieza superior del utillaje con un tornillo de métrica 3.



**Ilustración 13.3-13** Instalación del porta esferas en el utillaje inferior

Ambos utillajes unen ambas partes y se fijan a través de dos tonillos de métrica 5.



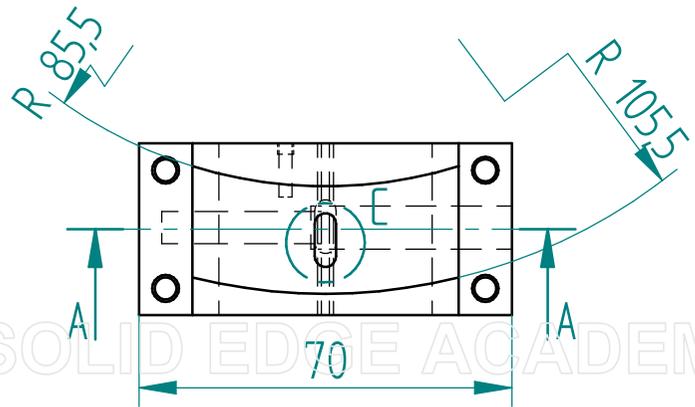
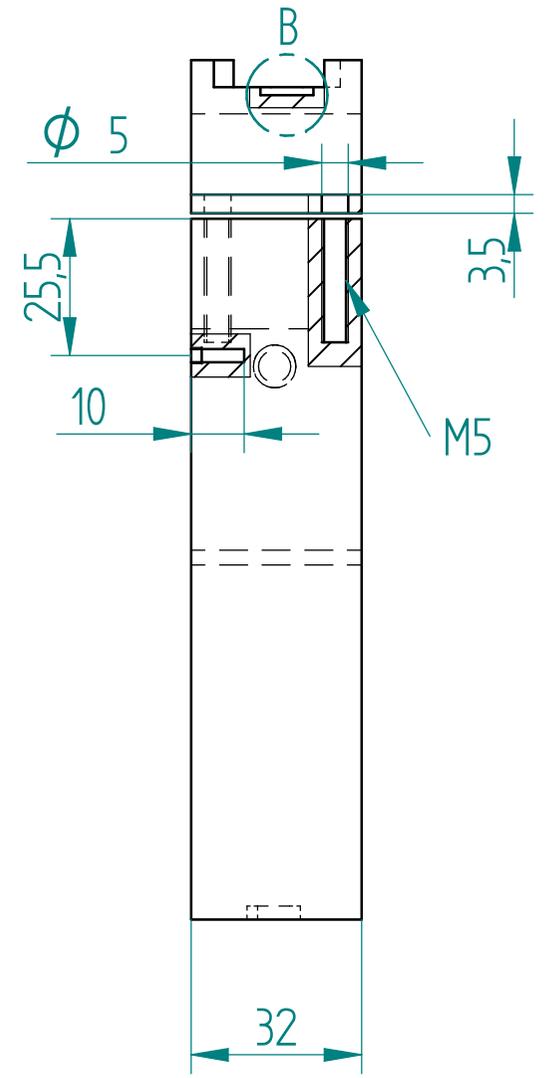
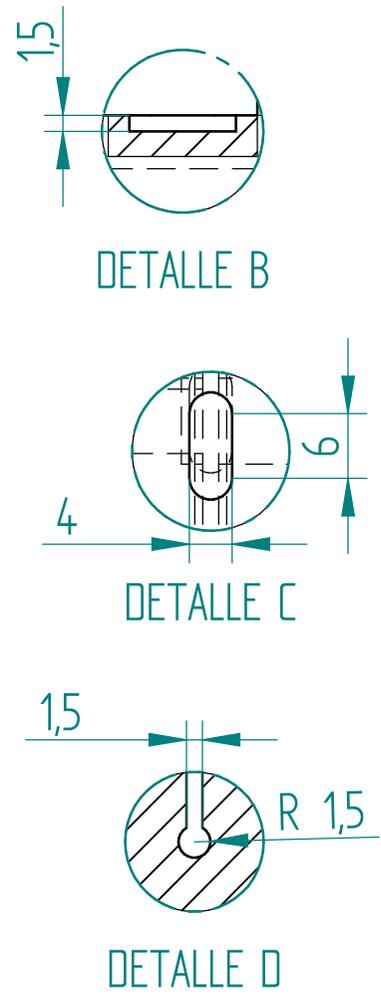
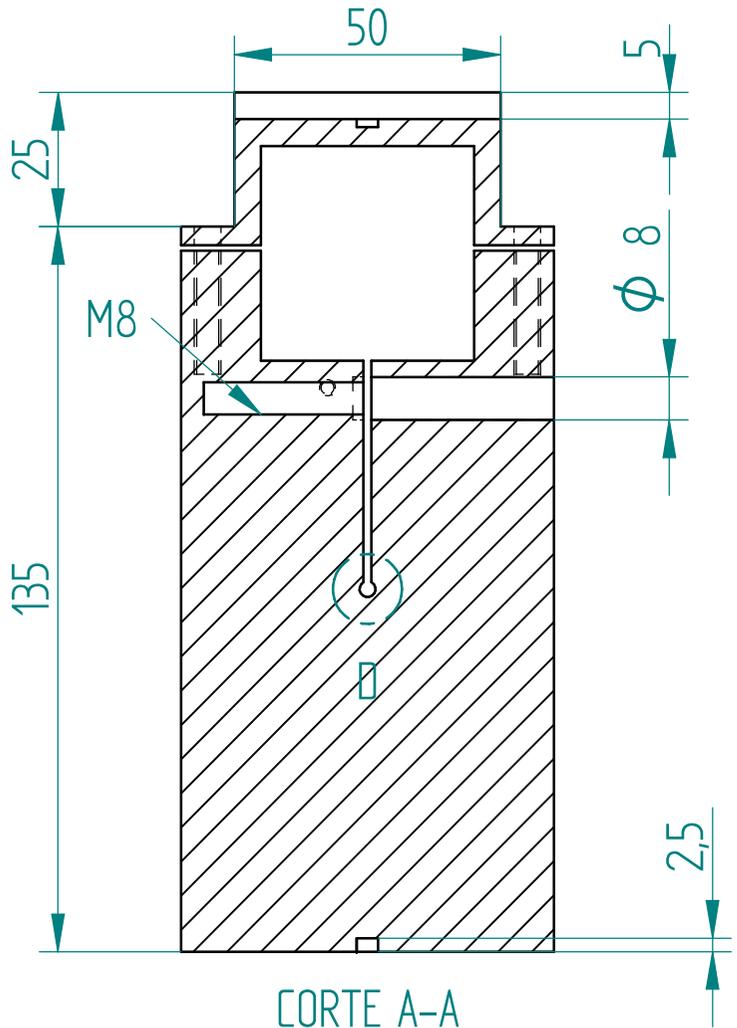
**Ilustración 13.3-14** Montaje del utillaje inferior.

El utillaje que se sitúa en el plato del divisor se posiciona haciendo tope, ya que su geometría está diseñada a medida para ello. En cambio, utillaje que se sitúa en la mesa puede posicionarse en cualquier ranura de la mesa que se desee y luego puede fijarse en cualquier posición de X. Se sitúa en la posición adecuada con ayuda de un medidor de distancia láser.

# 16. ANEXO VI PLANOS

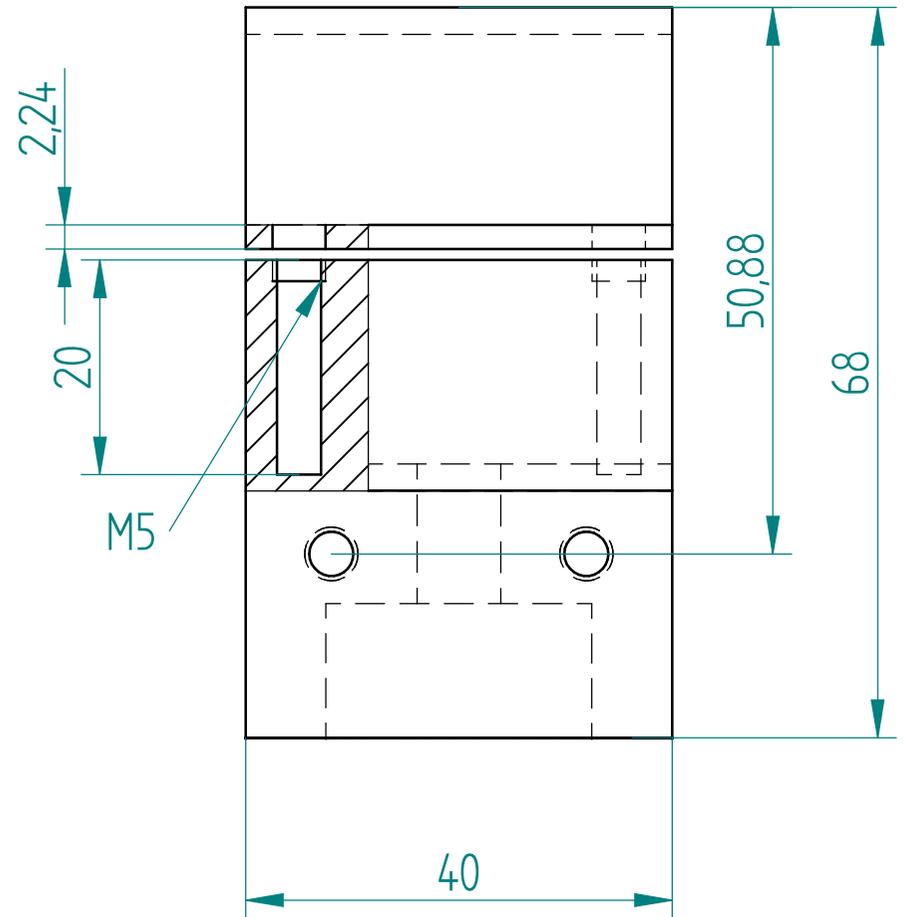
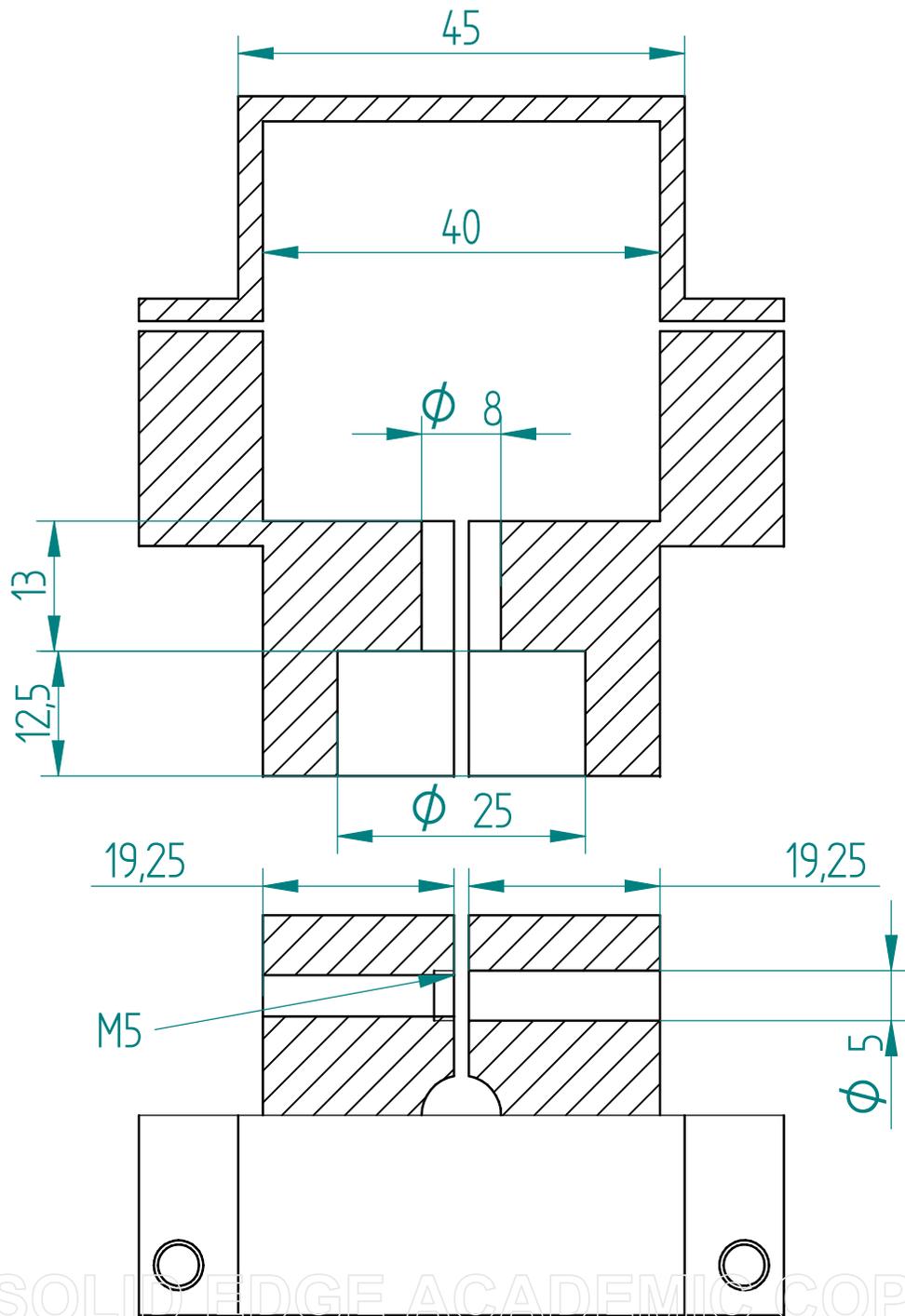
## 16.1. LISTA DE PLANOS

1. ABRAZADERA
2. NIDO
3. ANILLO (Configuración con divisor)
4. ANILLO (Configuración sin divisor)
5. DISCO (Configuración con divisor)
6. DISCO (Configuración sin divisor)
7. COLUMNA DE APRIETE
8. TOPE
9. VÁSTAGO
10. PIEZA SUPERIOR ANCLAJE MESA
11. PIEZA INFERIOR ANCLAJE MESA
12. PIEZA SUPERIOR ANCLAJE DIVISOR
13. PIEZA INFERIOR ANCLAJE DIVISOR
14. PORTA-ESFERA DIVISOR
15. PORTA-ESFERA MESA



PIEZA: ABRAZADERA		
UNE-EN 22768	AUTOR: Ignacio de la Vega Romero	
	Nº PLANO: 1	ESCALA: 1:1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



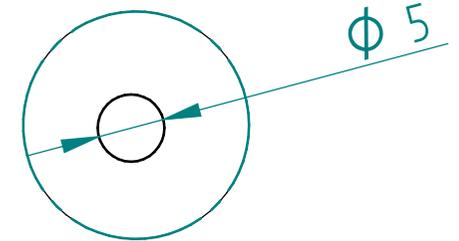
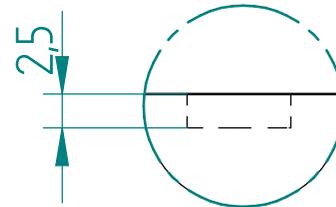
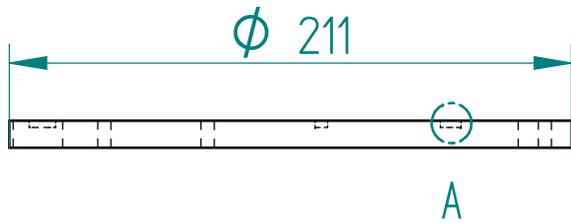
PIEZA: NIDO

UNE-EN 22768

AUTOR: Ignacio de la Vega Romero

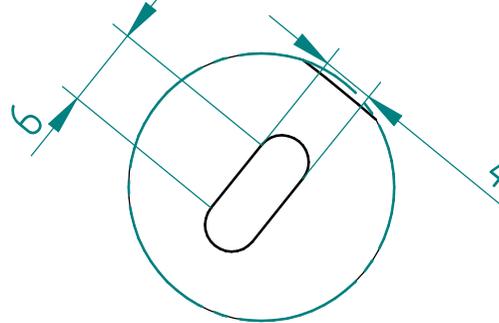
Nº PLANO: 2

ESCALA: 1:1

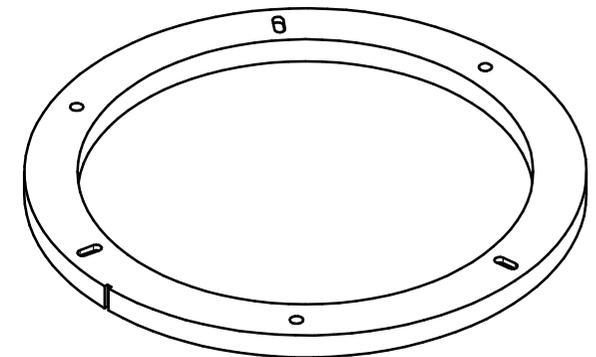
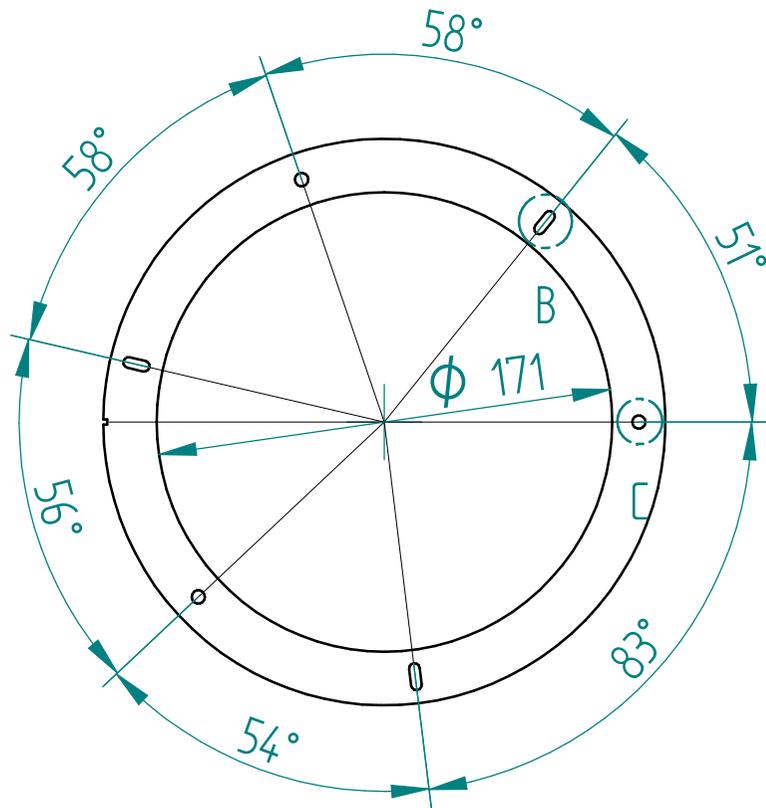


DETALLE A

DETALLE C



DETALLE B



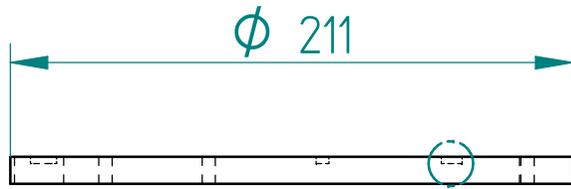
PIEZA: ANILLO (Configuración con divisor)

UNE-EN 22768

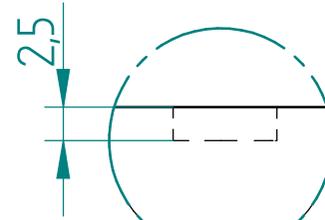
AUTOR: Ignacio de la Vega Romero

Nº PLANO: 3

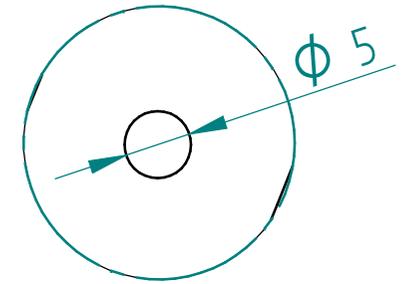
ESCALA: 1:2



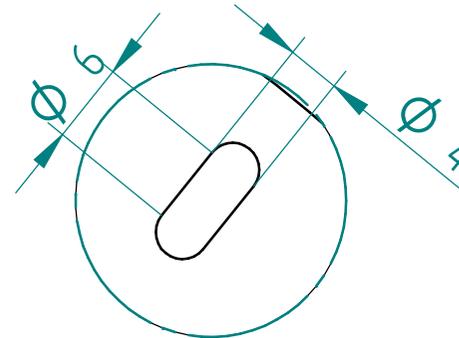
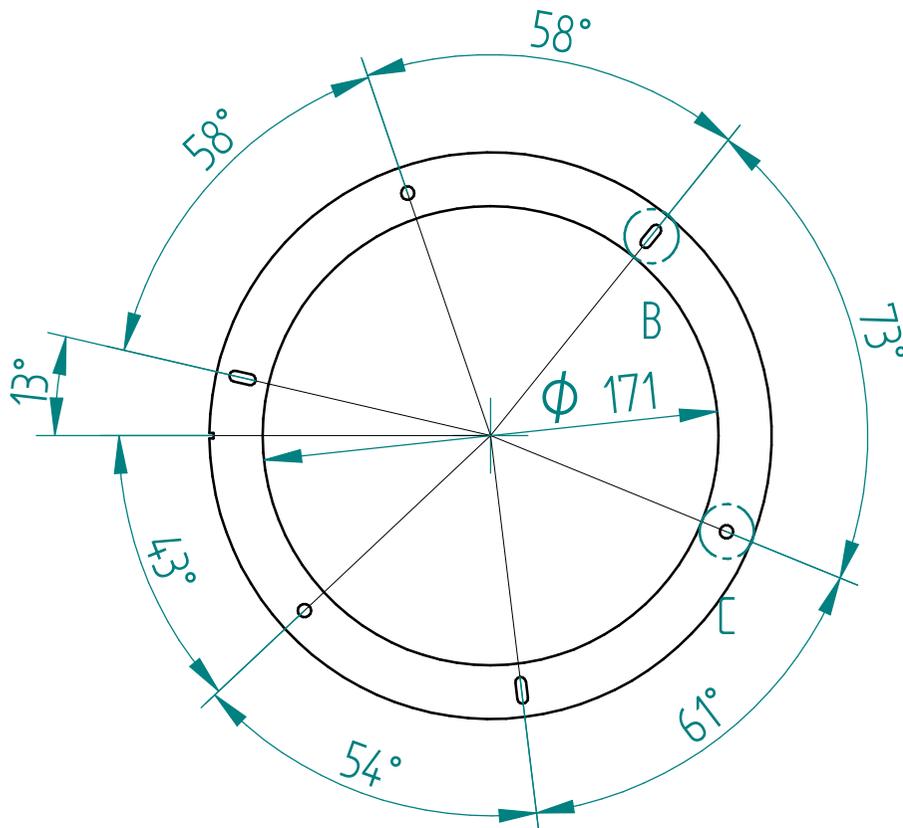
A



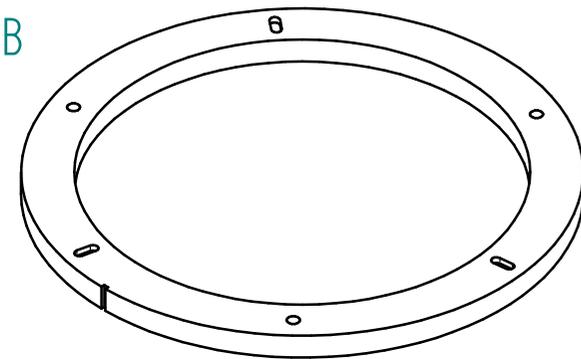
DETALLE A



DETALLE C



DETALLE B



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

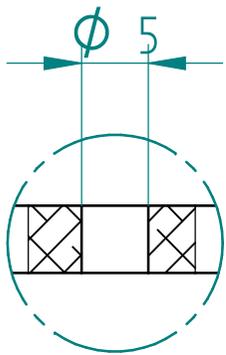
PIEZA: ANILLO (Configuración sin divisor)

UNE-EN 22768

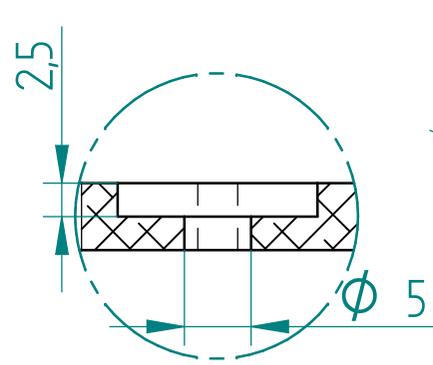
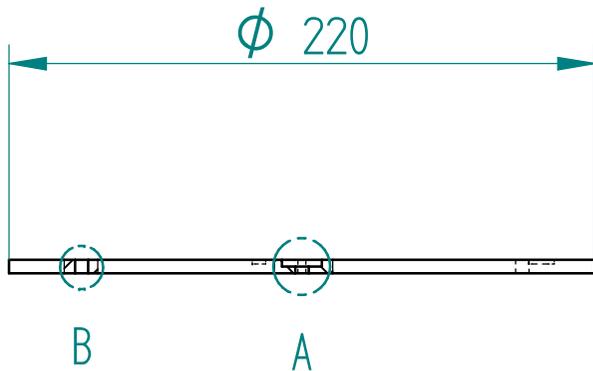
AUTOR: Ignacio de la Vega Romero

Nº PLANO: 4

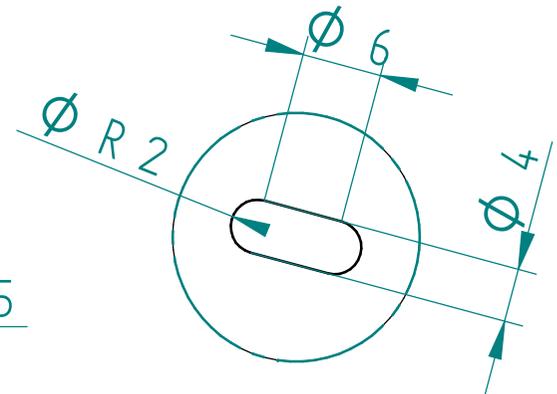
ESCALA: 1:2



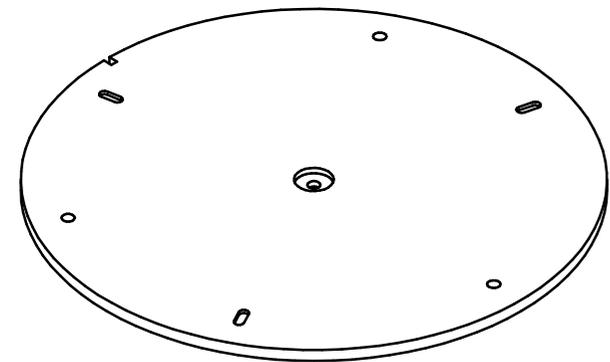
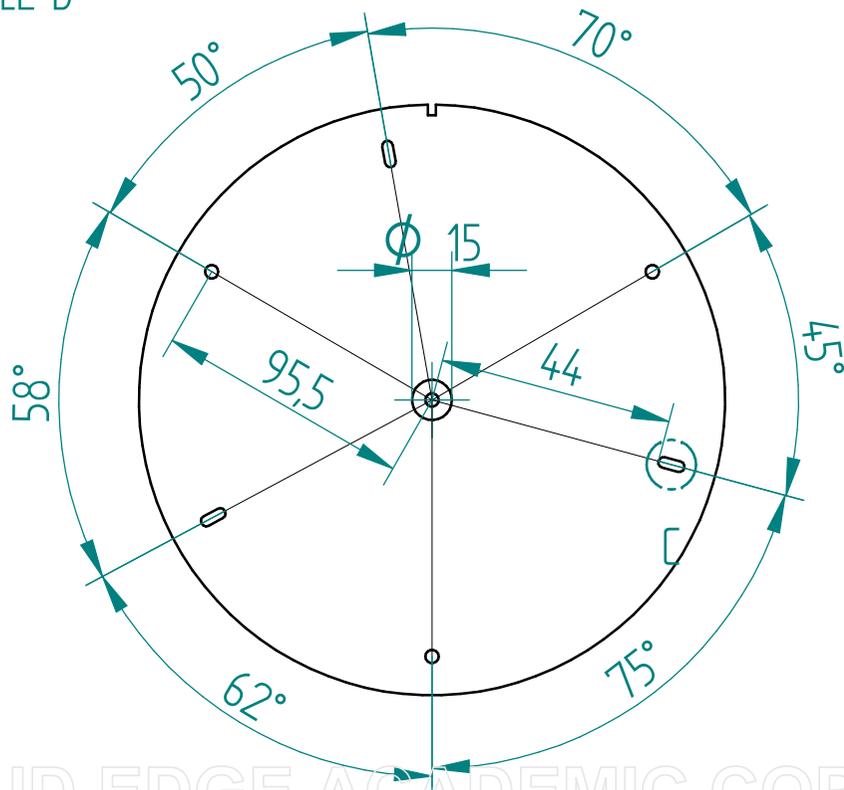
DETALLE B



DETALLE A



DETALLE C



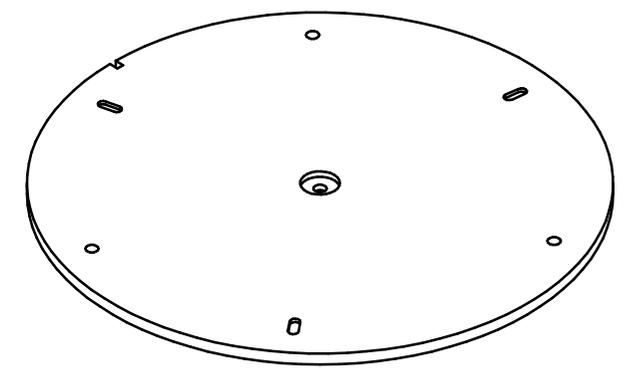
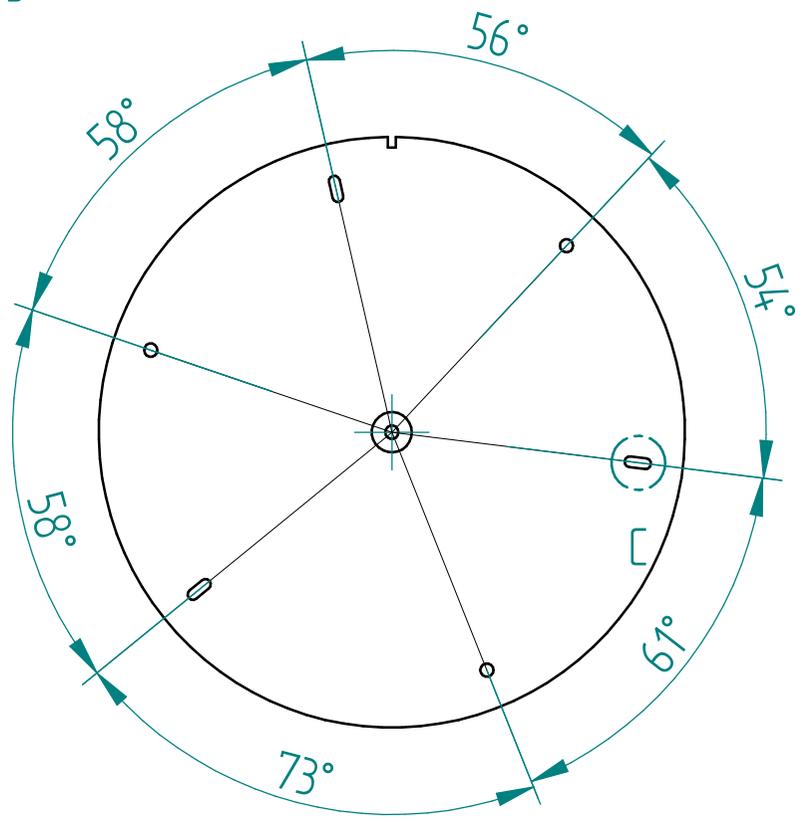
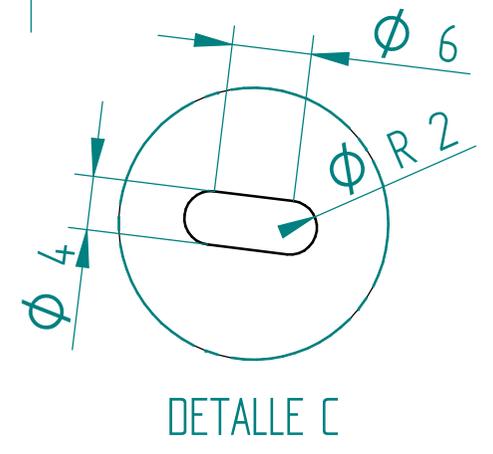
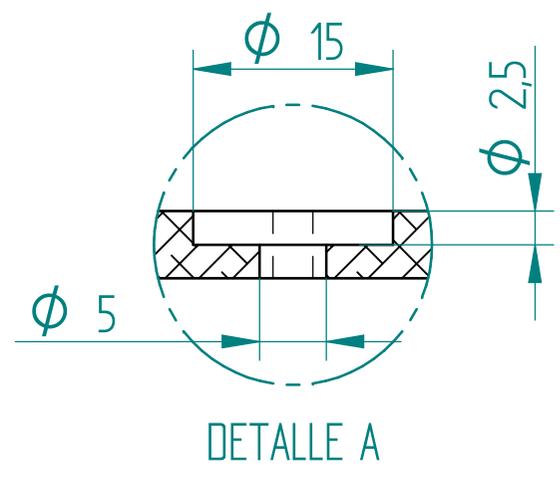
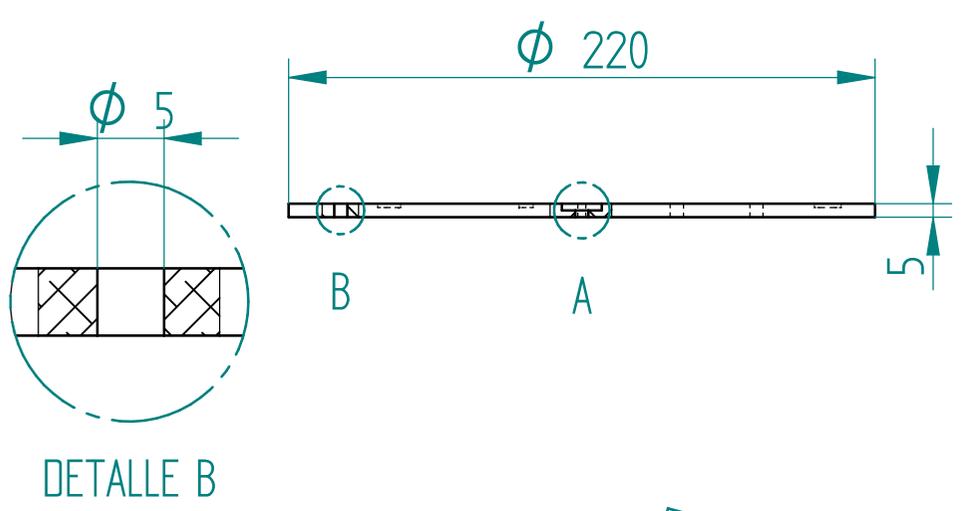
PIEZA: DISCO (Configuración con divisor)

UNE-EN 22768

AUTOR: Ignacio de la Vega Romero

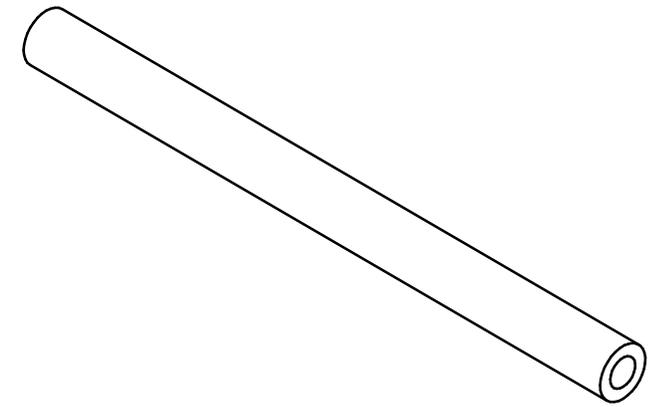
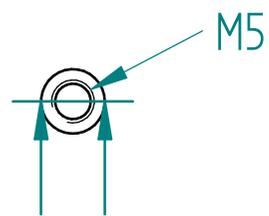
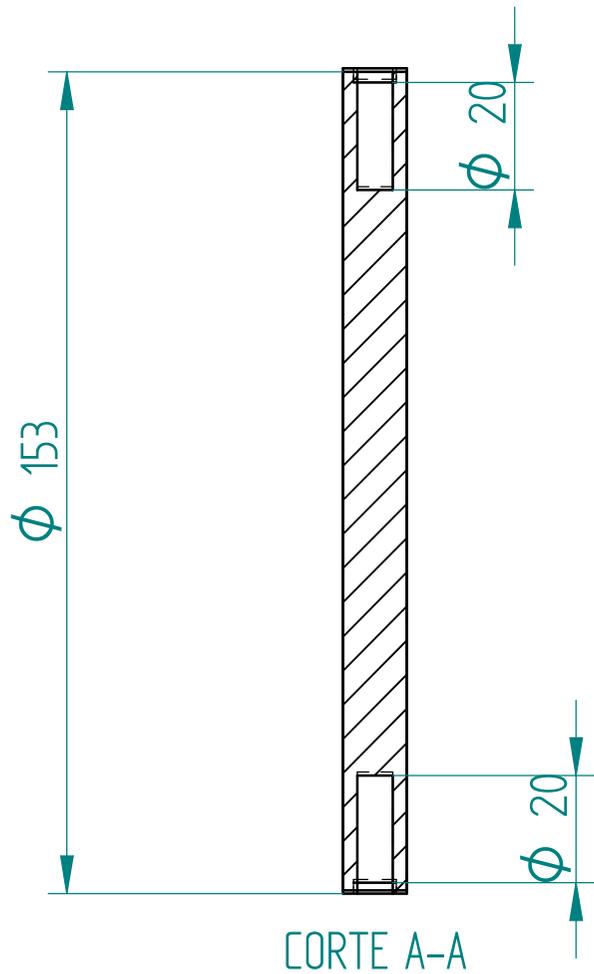
Nº PLANO: 5

ESCALA: 1:2



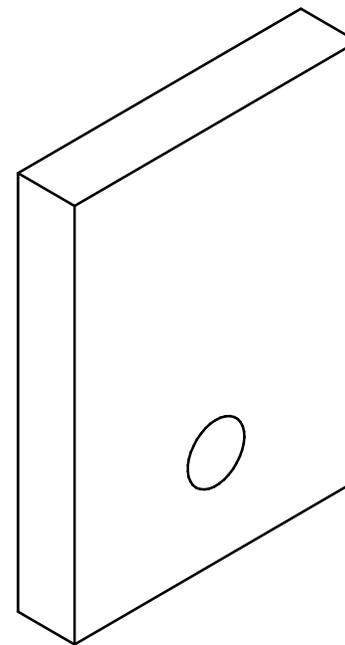
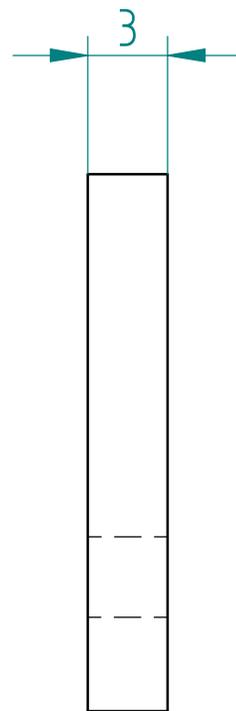
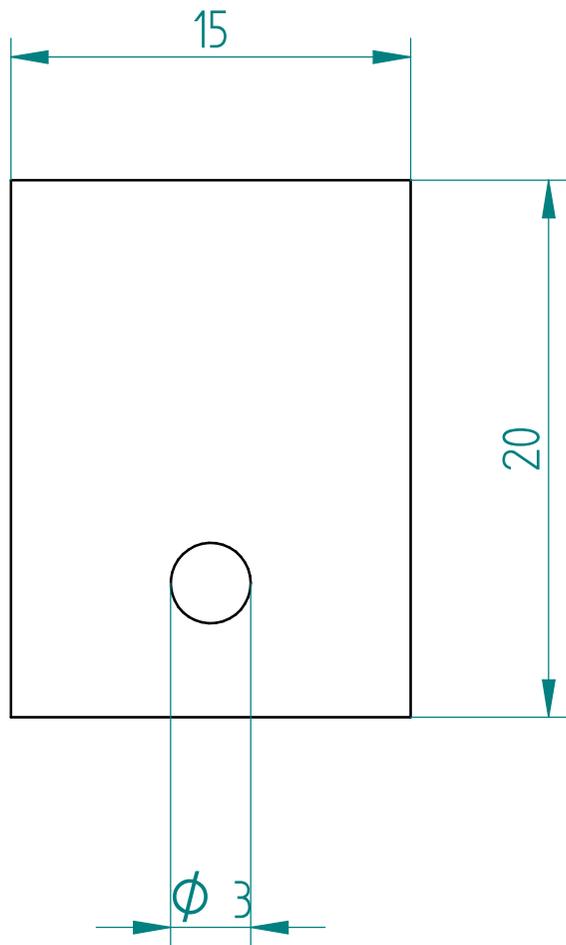
PIEZA: DISCO (Configuración sin divisor)		
UNE-EN 22768	AUTOR: Ignacio de la Vega Romero	
	Nº PLANO: 6	ESCALA: 1:2

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

PIEZA: COLUMANA DE APRIETE		
UNE-EN 22768	AUTOR: Ignacio de la Vega Romero	
	Nº PLANO: 7	ESCALA: 1:1



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

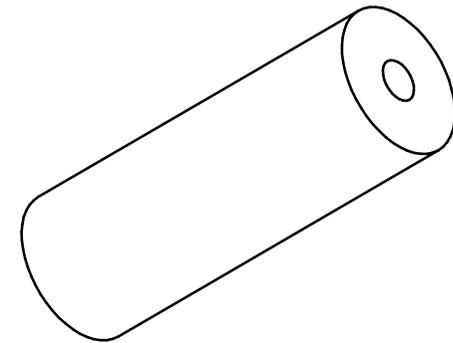
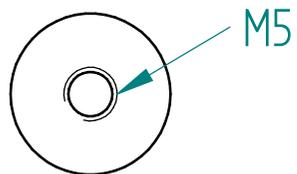
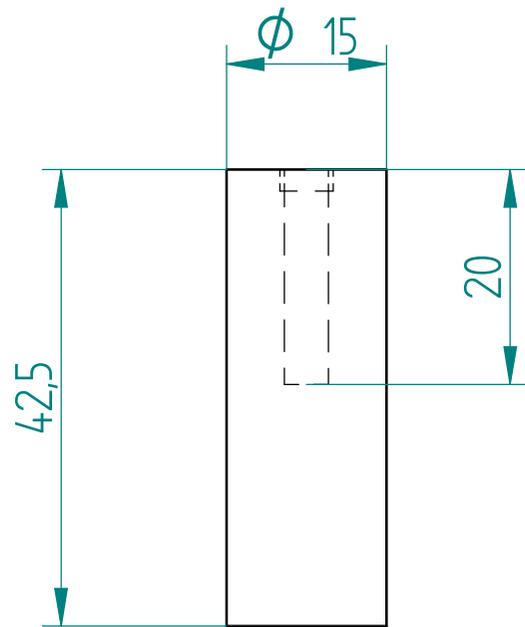
PIEZA: TOPE

UNE-EN 22768

AUTOR: Ignacio de la Vega Romero

Nº PLANO: 8

ESCALA: 5:1



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

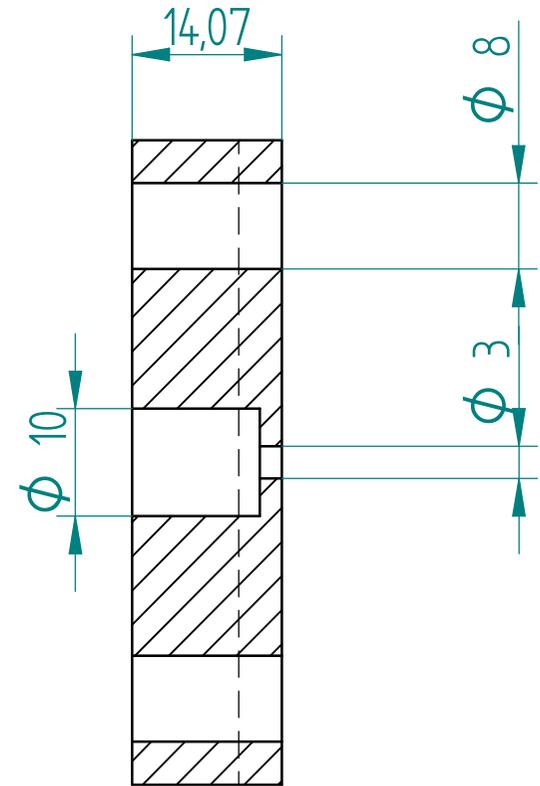
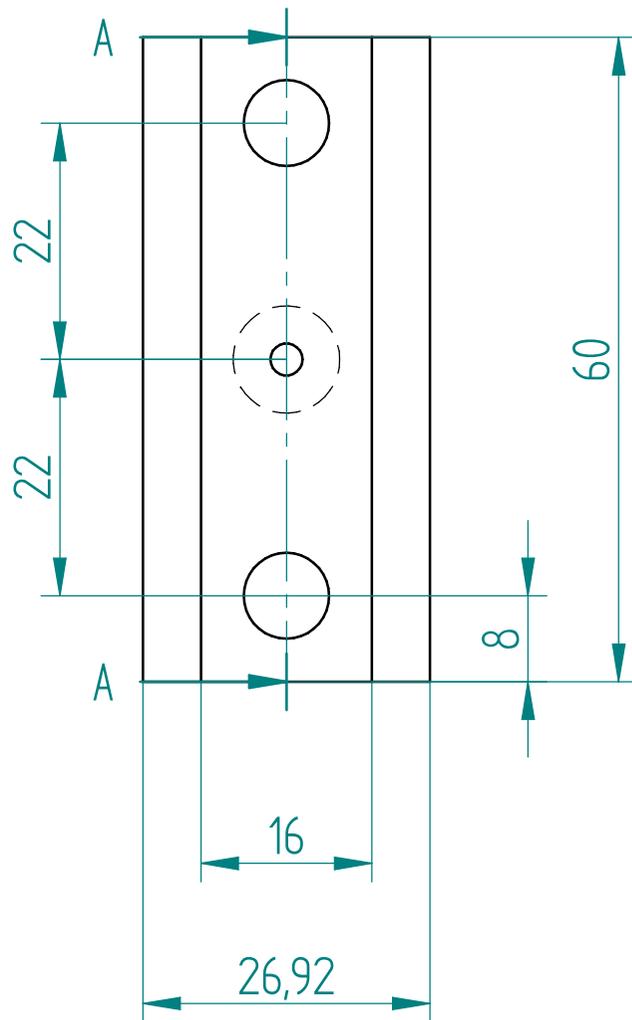
PIEZA: VÁSTAGO

UNE-EN 22768

AUTOR: Ignacio de la Vega Romero

Nº PLANO: 9

ESCALA: 2:1



CORTE A-A

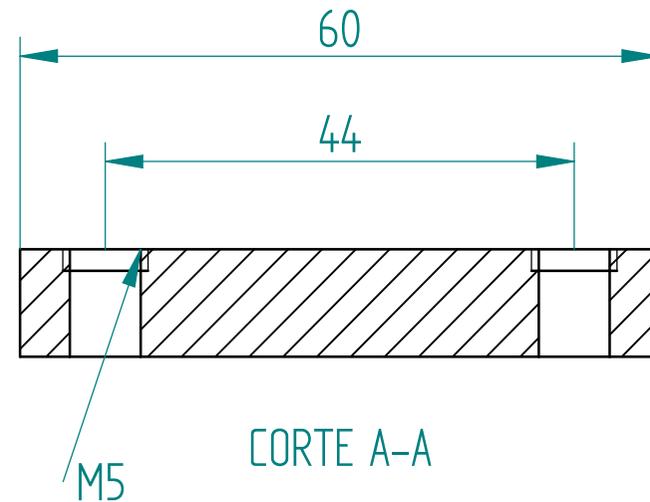
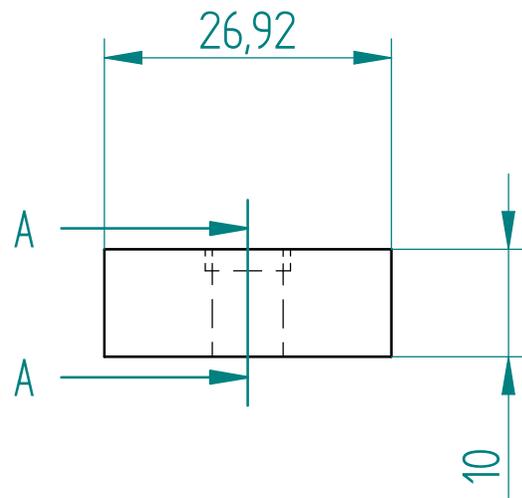
PIEZA: PIEZA SUPERIOR ANCLAJE MESA

UNE-EN 22768

AUTOR: Ignacio de la Vega Romero

Nº PLANO: 10

ESCALA: 2:1



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

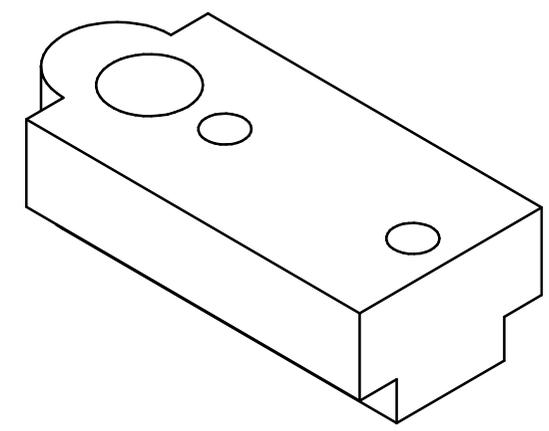
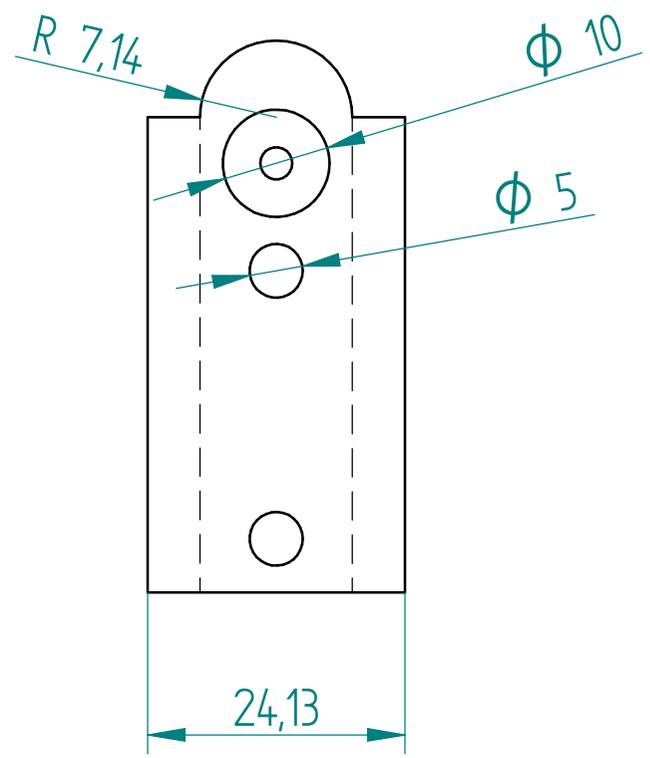
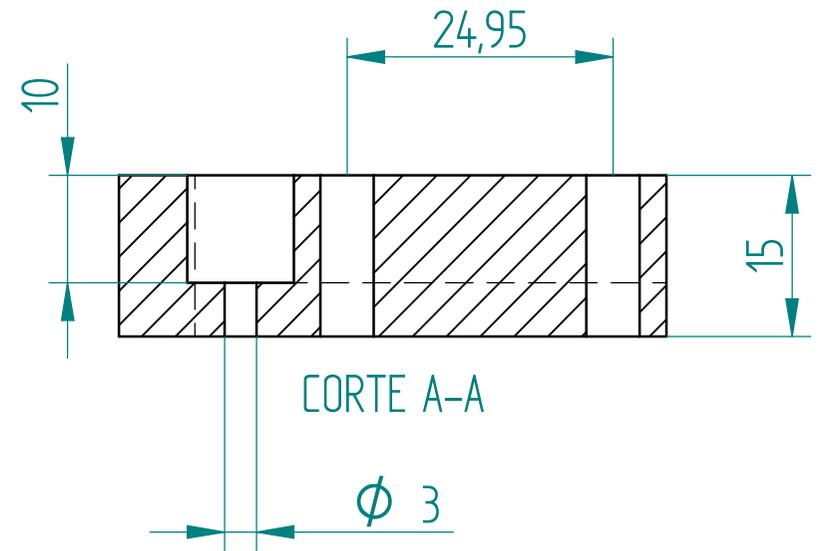
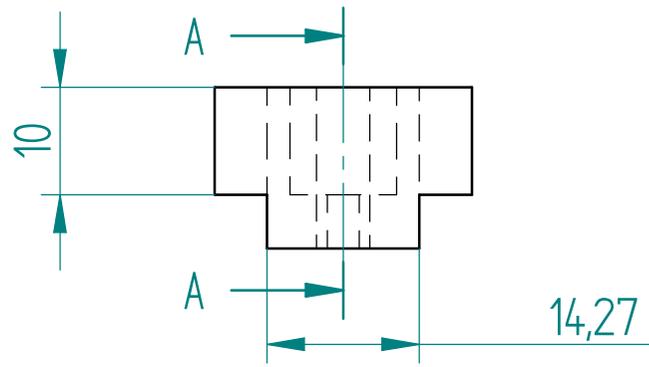
PIEZA: PLACA INFERIOR ANCLAJE MESA

UNE-EN 22768

AUTOR: Ignacio de la Vega Romero

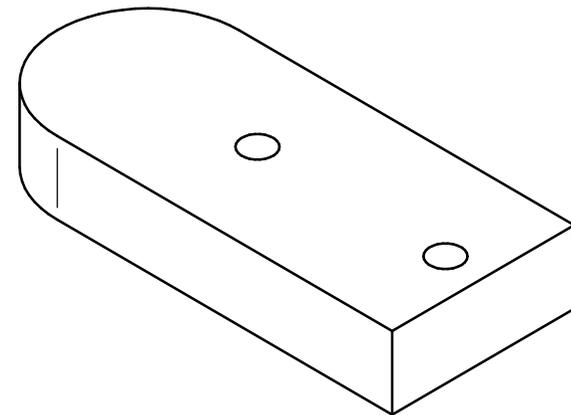
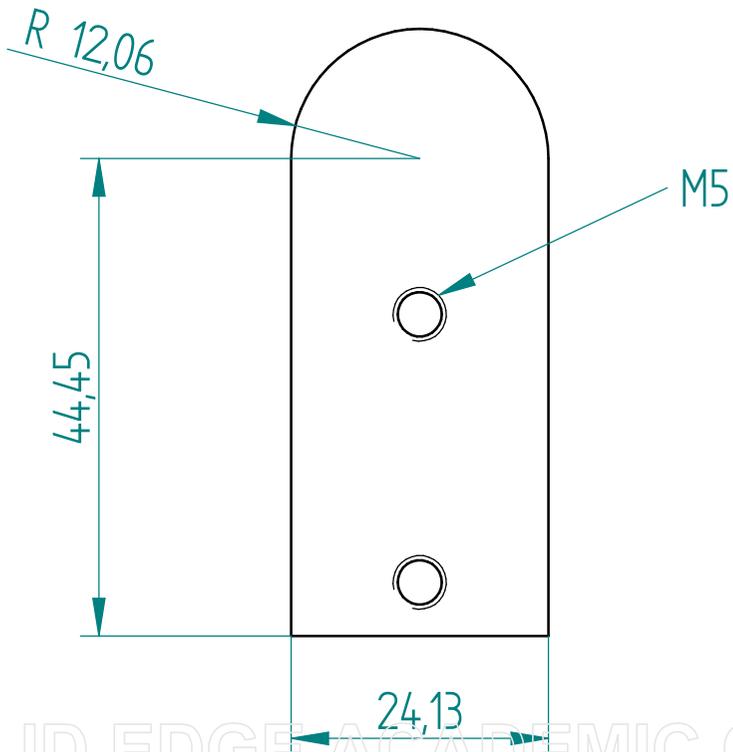
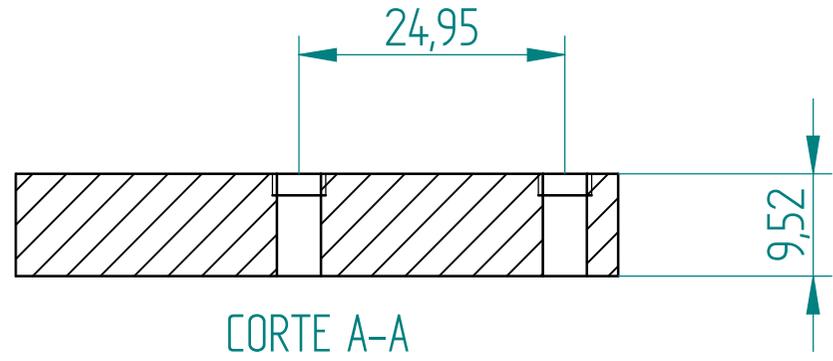
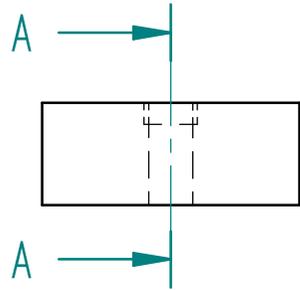
Nº PLANO: 11

ESCALA: 2:1



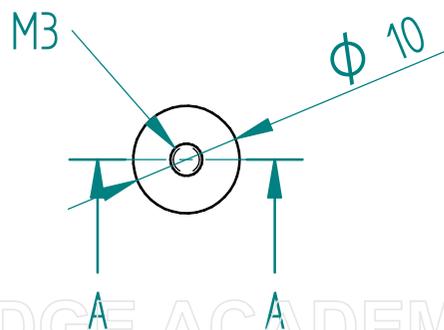
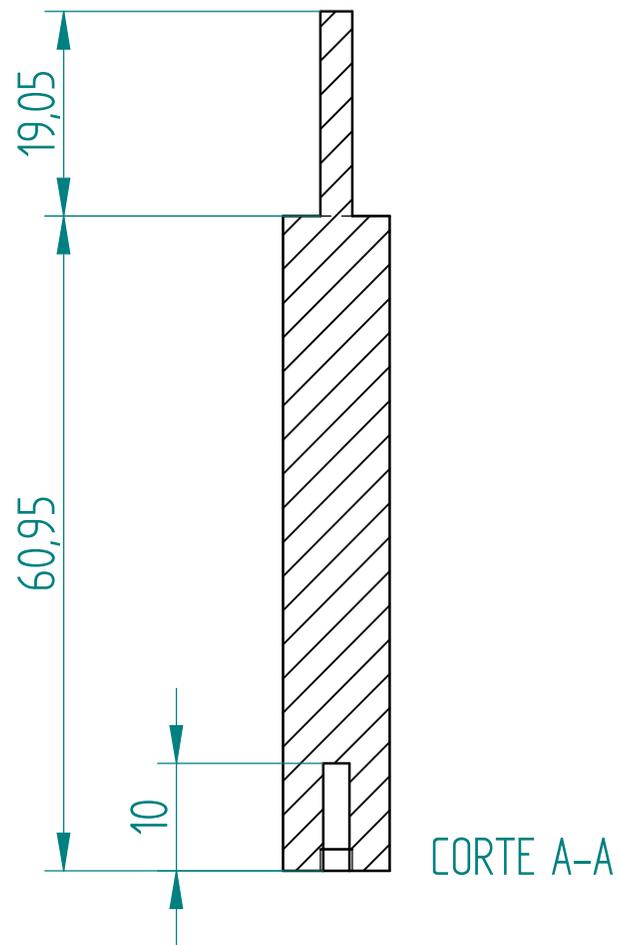
PIEZA: PLACA SUPERIOR ANCLAJE DIVISOR		
UNE-EN 22768	AUTOR: Ignacio de la Vega Romero	
	Nº PLANO: 12	ESCALA: 2:1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



PIEZA: PIEZA INFERIOR ANCLAJE DIVISOR		
UNE-EN 22768	AUTOR: Ignacio de la Vega Romero	
	Nº PLANO: 13	ESCALA: 2:1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

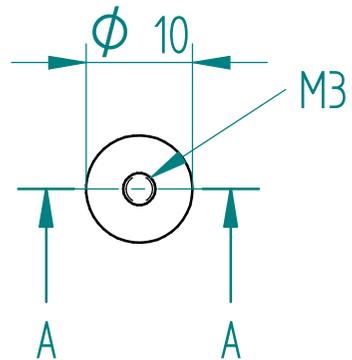
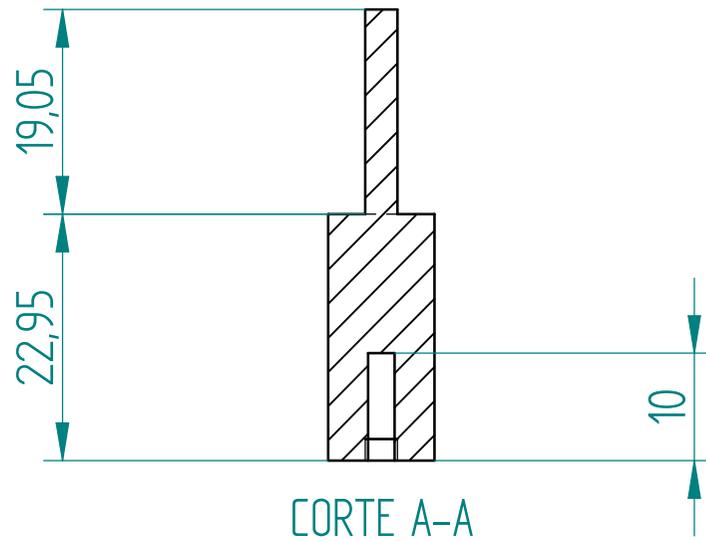
PIEZA: PORTA-ESFERA DIVISOR

UNE-EN 22768

AUTOR: Ignacio de la Vega Romero

Nº PLANO: 14

ESCALA: 2:1



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

PIEZA: PORTA-ESFERAS MESA

UNE-EN 22768

AUTOR: Ignacio de la Vega Romero

Nº PLANO: 15

ESCALA: 2:1