

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**  
**ESCUELA POLITÈCNICA SUPERIOR DE ALCOY**



**UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA**

**CAMPUS D'ALCOY**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

**“ESTUDIO, ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DE UNA MÁQUINA  
PARA PROCESOS DE ROTOMOLDEO”**

**Autor:**

**Javier Llobregat Fernández**

**Dirigido por:**

**José Ignacio Martínez Sánchez**

**Noviembre 2020**





## **RESUMEN**

“Estudio, análisis y optimización de una máquina para procesos de rotomoldeo”

En este trabajo el alumno investigará sobre el proceso de rotomoldeo, máquinas y materiales empleados para tal fin, seleccionando un modelo de máquina ya creada para optimizar su diseño y mejorar sus capacidades.

A partir del modelo de maquina seleccionada, tomándola como modelo preliminar, se crea una nueva, máquina de rotomoldeo como sugerencia de mejora de la versión preliminar.

Esta nueva máquina es sometida a diferentes estudios, para conocer su comportamiento a estática y a fatiga. A partir de los resultados obtenidos se seleccionarán los componentes y materiales adecuados para la optimización de la nueva máquina.

La nueva máquina es diseñada con herramientas 3D-CAD, el estudio estático con herramientas FEM y el estudio a fatiga con Wolfram Mathematica mediante los métodos estudiados en teoría y diseño de máquinas.



# SUMMARY

“Examination, analysis and optimization of a machine for the rotomolding process”

In this study the student investigates the rotomolding process, machines, and materials used for such end, selecting an already developed machine model to optimize its design and improve its capacity.

Based on the selected machine model, and taking it as a preliminary model, the student will create a new rotomolding machine as a suggested improvement to the original version.

This new machine will be under investigation with the goal of understanding its behaviour in still and fatigue mode (?). Based on the results the student will select the components and materials better suited for the optimization of the new machine.

The new machine will be designed with 3D-CAD (?) tools, the still (?) study will be conducted with FEM (?) tools, and the fatigue (?) one with Wolfram Math (?) using studied methods in they and machine design



# RESUM

## “Estudi, anàlisi i optimització d'una màquina per a processos d'emollament per rotació”

En aquest treball l'alumne investigà sobre el procés d'emollament per rotació, màquines i materials emprats per a aquest fi, seleccionant un model de màquina ja creat a fi d'optimitzar-ne el disseny i millorar-ne les capacitats.

A partir del model de màquina seleccionada, prenent-la com un model preliminar, es crea una nova màquina d'emollament per rotació com a suggeriment de millora de la versió preliminar.

Aquesta nova màquina és sotmesa a diferents estudis, per conèixer el seu comportament a estàtica i a fatiga. A partir dels resultats obtinguts se'n seleccionaran els components i materials adequats per a l'optimització de la nova màquina.

La nova màquina està dissenyada amb ferramentes 3D-CAD, l'estudi estàtic amb ferramentes FEM i l'estudi de fatiga amb Wolfram Mathematica mitjançant els mètodes estudiats en teoria i disseny de màquines.



## Tabla de contenido

1.	ESTADO DEL ARTE:	3
1.1.	PROCESOS:	3
1.1.1.	EXTRUSIÓN:	3
1.1.2.	INYECCIÓN:	4
1.1.3.	MOLDEO POR SOPLADO:	5
1.1.4.	ROTOMOLDEO:	6
1.1.5.	TERMOCONFORMADO:	9
1.2.	CONFIGURACIÓN PARA MÁQUINAS DE ROTOMOLDEO:	10
1.2.1.	CONFIGURACIÓN EN CARRUSEL:	12
1.2.2.	CONFIGURACION DE GIRO BASCULANTE o ROCK & ROLL:	13
1.2.3.	CONFIGURACION DE ESTACION SIMPLE o DE CONCHA o CLAM SHELL:	13
1.3.	MATERIALES APLICADOS EN ROTOMOLDEO:	16
2.	OBJETIVOS:	21
3.	SELECCIÓN DE LA MÁQUINA:	25
3.1.	ANÁLISIS DE PARTIDA:	26
4.	DISEÑO Y CÁLCULOS:	31
4.1.	PROPUESTA:	31
4.1.1.	BANCADA:	32
4.1.2.	SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN:	33
4.1.3.	ELECTRIFICACIÓN:	34
4.1.4.	EJE PRINCIPAL:	35
4.1.5.	BRAZOS MÓVILES:	39
4.1.6.	EJE VERTICAL:	40
4.1.8.	MOLDE:	44
4.2.	CÁLCULO ESTÁTICO:	46
4.2.1.	CÁLCULO DE LA BANCADA:	46
4.2.2.	CÁLCULO DEL ARBOL PRINCIPAL:	56
4.3.	CÁLCULO A FATIGA:	60
5.	PLANOS	65
6.	ESTUDIO ECONÓMICO:	69
7.	CONCLUSIONES:	75
7.1.	MEJORAS APORTADAS:	75
7.2.	BALANCE DE LA OPTIMIZACIÓN:	77
8.	BIBLIOGRAFÍA	83



<b>Figura 1:</b> Máquina extrusora. Fuente: Procesado de polímeros .....	4
<b>Figura 2:</b> Máquina de inyección de tornillo. Fuente: Procesado de polímeros .....	5
<b>Figura 3:</b> Proceso de Extrusión previo al soplado. Fuente: Procesado de polímeros .....	6
<b>Figura 4:</b> Proceso de soplado. Fuente: Procesado de polímeros .....	6
<b>Figura 5:</b> Esquema del proceso de rotomoldeo. Fuente: Procesado de polímeros. ....	7
<b>Figura 6:</b> Proceso de conformado en caliente por compresión. Fuente: apuntes de Hugo Carlos Sanchís Gomis.....	8
<b>Figura 7:</b> Proceso de prensado en frío. Fuente: Apuntes de Hugo Carlos Sanchís Gomis .....	8
<b>Figura 8:</b> Proceso de calentamiento de una lámina polimérica. Fuente: Procesado de polímeros .....	9
<b>Figura 9:</b> Proceso de cierre de molde de máquina de termoconformado. Fuente: Procesado de polímeros .....	9
<b>Figura 10:</b> Proceso de conformado por vacío en una máquina de termoconformado. Fuente: Procesado de polímeros .....	9
<b>Figura 11:</b> Proceso de rotomoldeo. Fuente: grupoasuma.com .....	10
<b>Figura 12:</b> Esquema tipos de rotomoldeo. Fuente: Original.....	11
<b>Figura 13:</b> Esquema de carrusel de 3 brazos y 3 estaciones. Fuente: <a href="https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/rotomoldeo.html">https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/rotomoldeo.html</a> .....	12
<b>Figura 14:</b> Esquema de rotomoldeo estilo Rock & Roll. Fuente: <a href="https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/rotomoldeo.html">https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/rotomoldeo.html</a> .....	13
<b>Figura 15:</b> Máquina de rotomoldeo, estilo Rock & Roll. Fuente: <a href="https://spanish.alibaba.com/product-detail/plastic-rock-n-roll-rotomoulding-machine-241466156.html">https://spanish.alibaba.com/product-detail/plastic-rock-n-roll-rotomoulding-machine-241466156.html</a> .....	13
<b>Figura 16:</b> Esquema de rotomoldeo de un brazo, estilo clam shell. Fuente: <a href="https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Rotomoldeo_imagen.JPG">https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Rotomoldeo_imagen.JPG</a> .....	13
<b>Figura 17:</b> Horno estilo concha, para rotomoldeo simple. Fuente: <a href="https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/rotomoldeo.html">https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/rotomoldeo.html</a> .....	14
<b>Figura 18:</b> Esquema tipos de molde para rotomoldeo. Fuente Original .....	15
<b>Figura 19:</b> Materiales más utilizados para rotomoldeo. Fuente: Original.....	16
<b>Figura 20:</b> Productos y sectores posibles para aplicar rotomoldeo. Fuente: Original .....	17
<b>Figura 21:</b> <i>Maqueta rotomoldeo de madera. Fuente: Memoria TFG Pablo Aragón Sesma. Maqueta de Rotomoldeo de perfilera de aluminio. Fuente: GrabCAD.com. Máquina de rotomoldeo. Fuente: Manufactura, ingeniería y tecnología por S. Kalpakjian y S. R. Schmid. ....</i>	25
<b>Figura 22:</b> Máquina seleccionada a analizar. Fuente: Manufactura, ingeniería y tecnología por S. Kalpakjian y S. R. Schmid .....	26
<b>Figura 23:</b> Máquina creada a partir de la máquina seleccionada. Fuente: Original.....	31
<b>Figura 24:</b> Bancada. Fuente: Original .....	32
<b>Figura 25:</b> Sistema dinámico. Fuente: Original.....	33
<b>Figura 26:</b> Vistas caja de luz. Fuente: Original .....	34
<b>Figura 27:</b> Ejemplo de izado de 3 puntos. Fuente: <a href="https://www.peerlesschain.com/wp-content/uploads/Sling-User-Manual-SPANISH-v4c.pdf">https://www.peerlesschain.com/wp-content/uploads/Sling-User-Manual-SPANISH-v4c.pdf</a> .....	34
<b>Figura 28:</b> Eje principal. Fuente: Original.....	35
<b>Figura 29:</b> Corte sección del árbol principal. Fuente: Original .....	36

<b>Figura 30:</b> Vista explosionada de conjunto fijo. Fuente: Original .....	37
<b>Figura 31:</b> Explosionado del eje móvil. Fuente: Original.....	38
<b>Figura 32:</b> Corte sección eje móvil. Fuente: Propia .....	38
<b>Figura 33:</b> Árbol móvil. Fuente: Original .....	39
<b>Figura 34:</b> Sección del alojamiento del árbol vertical. Fuente: Original .....	40
<b>Figura 35:</b> Corte sección del alojamiento del árbol vertical con los complementos. Fuente: Original.....	41
<b>Figura 36:</b> Explosionado de árbol vertical con elementos de fijación. Fuente: Original.....	42
<b>Figura 37:</b> Árbol auxiliar con reductora. Fuente: Original. ....	43
<b>Figura 38:</b> Corte en sección de árbol auxiliar y reductora. Fuente: Original .....	43
<b>Figura 39:</b> Corte en sección del molde y sus componentes. Fuente: Original.....	44
<b>Figura 40:</b> Molde abierto con el producto acabado. Fuente: Original. ....	45
<b>Figura 41:</b> Bancada simplificada para el cálculo. Fuente: Original .....	46
<b>Figura 42:</b> Vista frontal. Posición inicial.....	48
<b>Figura 43:</b> Posición cargas. Caso1. Fuente: Original.....	49
<b>Figura 44:</b> Resultados tensional de Von Mises. Caso 1 Fuente: Original.....	50
<b>Figura 45:</b> Desplazamiento producido. Caso 1. Fuente: Original .....	51
<b>Figura 46:</b> Vista frontal. Posición más desfavorable.....	52
<b>Figura 47:</b> Vistas de cálculo más desfavorable. Caso 2. Fuente: Original .....	53
<b>Figura 48:</b> Resultados de las tensiones de Von Mises. Caso 2. Fuente: Original .....	54
<b>Figura 49:</b> Desplazamiento producido. Caso 2. Fuente: Original. ....	55
<b>Figura 50:</b> Vista general Voladizo. Fuente: Original.....	56
<b>Figura 51:</b> Vistas del árbol principal. Fuente: Original .....	56
<b>Figura 52:</b> Vistas de aplicación de cargas al árbol en voladizo. Fuente: Original.....	57
<b>Figura 53:</b> Tensiones de Von Mises. Fuente: Original .....	58
<b>Figura 54:</b> Solicitación de máxima tensión del apoyo empotrado. Fuente: original.....	58
<b>Figura 55:</b> Vistas del estudio del desplazamiento. Fuente: Original .....	59
<b>Figura 56:</b> Bancada. Fuente: Original .....	75
<b>Figura 57:</b> Sistema de automatización. Fuente: Original .....	76
<b>Figura 58:</b> Transformación de árbol auxiliar y engranajes. Fuente: Original y Manufactura, ingeniería y tecnología. <i>S.Kalpakistan - S.R.Schmid</i> .....	76
<b>Figura 59:</b> Explosionado árbol fijo. Fuente: Original .....	78
<b>Ilustración 60:</b> Árbol móvil explosionado. Fuente: Original .....	78





# 1. Estado del arte



## 1. ESTADO DEL ARTE:

El presente trabajo trata del proceso de rotomoldeo, cuya característica principal es la producción de piezas completamente huecas. Sin embargo, este no es el único proceso que nos permita realizar dichas piezas, debido a esto, se va a explicar diferentes procesos con la misma utilidad. Todo ello nos conducirá a la selección del proceso de rotomoldeo, y a su configuración para el estudio que llevaremos a cabo a continuación.

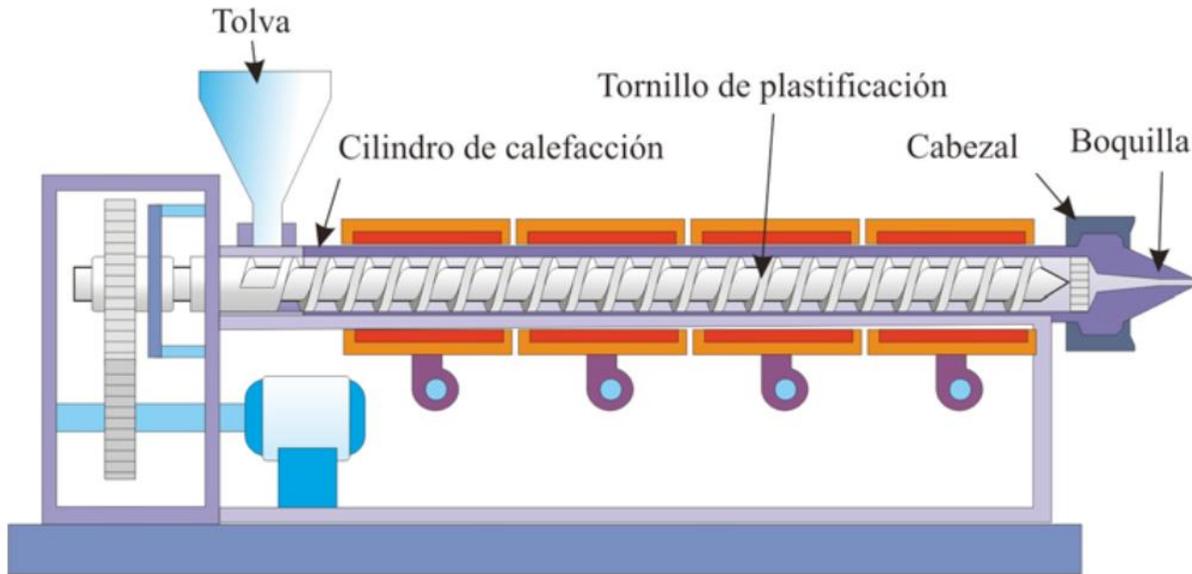
### 1.1. PROCESOS:

Los métodos más utilizados para la conformación de plásticos son varios; extrusión, inyección, moldeo por soplado, rotomoldeo, moldeo por compresión y termoconformado. En este apartado se va a explicar brevemente las características principales de cada uno. Por lo tanto, se expondrá una visión general de las diferentes transformaciones que van a percibir los plásticos en dichos procesos. A lo largo de este trabajo se ahondará concretamente en el proceso de rotomoldeo.

#### 1.1.1. EXTRUSIÓN:

El proceso de extrusión se utiliza cuando existe una producción constante con sección uniforme, mayoritariamente para materiales termoplásticos, aunque también materiales termoestables. La extrusión también es utilizada para la obtención de preformas, como las que se utilizan en el moldeo por soplado, además de para el recubrimiento de superficies.

Este proceso, como podemos ver en la figura 1, consiste en hacer pasar el material por un husillo que le proporcione al material las condiciones necesarias para ser procesado o extruido en este caso. Las condiciones se fundamentan en la presión y en la temperatura para poder reblandecer el material, el cual deberá salir por una boquilla o matriz con el diseño deseado.



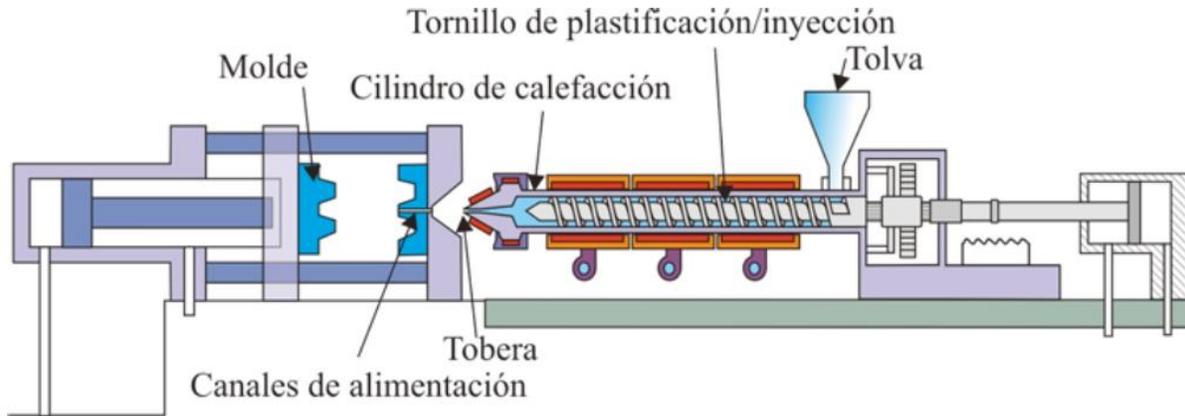
**Figura 1:** Máquina extrusora. Fuente: Procesado de polímeros

Una vez llenada la tolva con el material, es decir, con los pellets a extruir, se podrá comenzar el proceso. El husillo es el encargado de mover el material hacia la matriz, no sin antes pasar por un proceso de calefactores que llevarán al material hasta el punto de fusión que, junto con la presión y la fuerza de cizalla producidas por el husillo, hará posible que el material llegue con las condiciones necesarias. Es decir, el material quedará plastificado, y estará preparado para ser extruido en la forma adecuada que la boquilla le ha proporcionado. Por último, el material se dispondrá en el sistema de enfriado, al igual que en los equipos de tensionado y recogida.

### 1.1.2. INYECCIÓN:

El modelo de inyección es probablemente el proceso de moldeo más utilizado en la industria del plástico. En términos generales, el material plástico se fundirá bajo unas condiciones óptimas y se introducirá a presión en un molde, para proceder al enfriamiento hasta una temperatura adecuada, de esta forma no se deforman las piezas resultantes. Previamente al desarrollo del proceso de inyección, es interesante conocer las características más importantes de los materiales que pueden introducirse en este proceso. Estas son el peso molecular y distribución, configuración química y morfología, cristalinidad, viscosidad, entre otras.

El proceso de inyección se puede dividir en dos fases diferenciadas. En la primera fase, es el proceso que más se asemeja a la extrusión, consiste en fundir el material, y la segunda fase, se basa en la inyección del material con la forma que se desea obtener.



**Figura 2:** Máquina de inyección de tornillo. Fuente: Procesado de polímeros

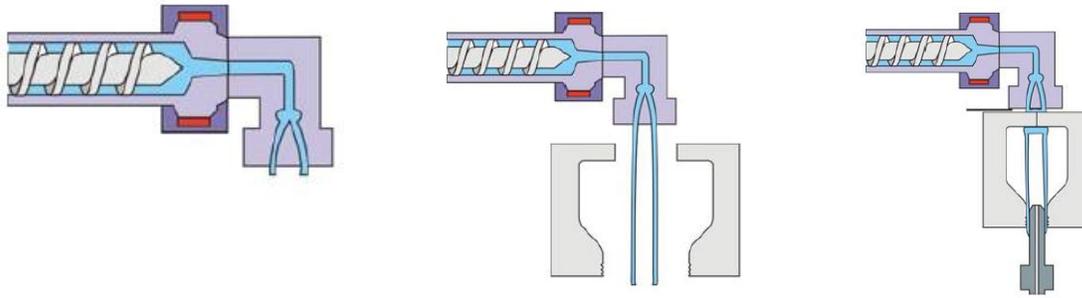
El material se introduce en forma sólida, en forma de granza, los cuales atraviesan el husillo calefactado. Al llegar al punto adecuado de fusión el material cambiará de estado sólido a esto liquido-viscoso, para poder ser inyectado en la cavidad de un molde. Una vez realizada la inyección, y tras un tiempo prudencial, el material ya en estado sólido, será extraído del molde con la forma deseada.

### 1.1.3. MOLDEO POR SOPLADO:

Botellas de agua, bidones gasolina, ruedas de coches de juguete, son algunos de los elementos que se pueden conseguir mediante el moldeo por soplado. Su característica principal es la obtención de cuerpos huecos.

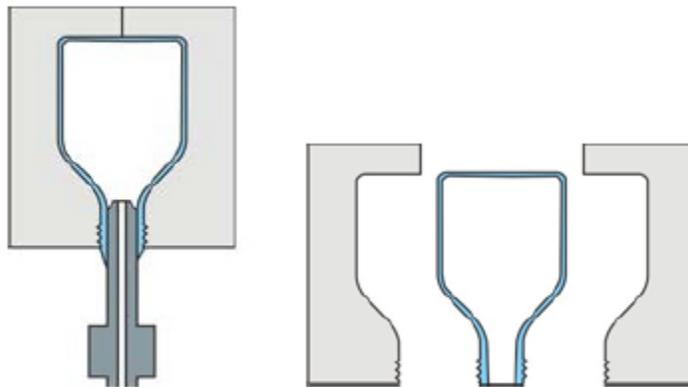
Para comenzar este proceso, es necesario la obtención de preformas mediante procesos preliminares, como los explicados anteriormente.

Únicamente se pueden obtener a partir de materiales termoplásticos, ya que los materiales termoplásticos se pueden llevar al punto de fusión varias veces sin dañar sus características, lo que nos permite obtener preforma, dejar enfriar, y volver a su punto de fusión para insuflar el aire comprimido que nos otorgará la forma final deseada. En el caso de los termoestables no cabe esa posibilidad, ya que no se pueden llevar a su punto de fusión varias veces sin dañar el material.



**Figura 3:** Proceso de Extrusión previo al soplado. Fuente: Procesado de polímeros

Una vez cerrado y precalentado el molde, mediante una unidad de soplado, y con la presión adecuada, se insufla aire dentro de la preforma, para que a su vez adquiera la forma deseada, en el caso de la figura 4. Obtenida ya la forma del molde, el objeto final obtenido se enfriará en el molde hasta su posterior extracción como se puede apreciar en la figura 4.

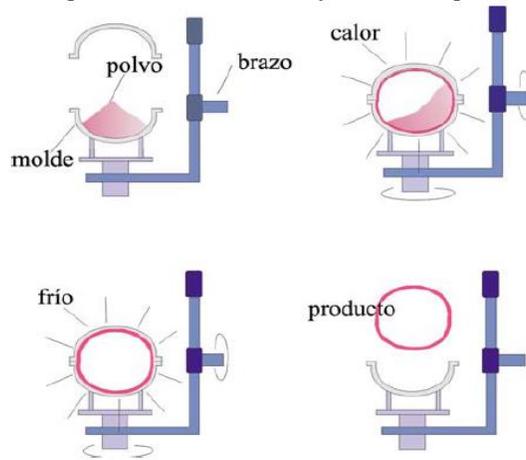


**Figura 4:** Proceso de soplado. Fuente: Procesado de polímeros

#### 1.1.4. ROTOMOLDEO:

El moldeo rotacional o rotomoldeo puede ser considerado como el competidor directo contra el moldeo por soplado en cuanto a la elaboración de productos huecos. Sin embargo, el moldeo rotacional tiene algunas ventajas sobre el moldeo por soplado. El volumen de las piezas y la complejidad de su forma es superior al moldeo por soplado, además se pueden utilizar al mismo tiempo diferentes moldes en cuanto a su tamaño y forma se refiere. Aunque una característica para tener en cuenta es que los tiempos de ciclo suelen ser más largos, ya que parte del proceso es manual. A su vez, las piezas extraídas por rotomoldeo no tienen tensiones superficiales, ya que el material introducido en el molde no sufre contracciones y dilataciones residuales debido a los repentinos cambios de temperaturas. A diferencia de los procesos explicados anteriormente.

Una vez comparados estos dos procesos, se va a exponer brevemente las principales características de este proceso. Aunque también se pueden apreciar de forma visual en la figura 5.



**Figura 5:** Esquema del proceso de rotomoldeo. Fuente: Procesado de polímeros.

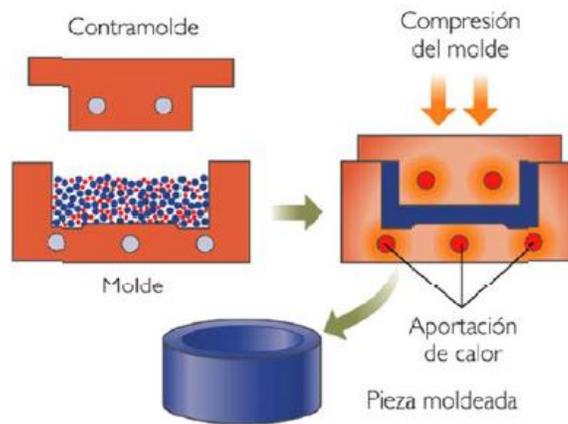
Primeramente, se introduce el material en el interior del molde. Dicho material debe estar en forma de polvo, ya que se procederá a la fusión del material en el interior del molde. No existe presión, únicamente se eleva la temperatura del molde.

Una vez cerrado el molde comienza a girar biaxialmente, de este modo cuando el material está plastificado se distribuye gracias al movimiento de los dos ejes por todo el molde. Adquirida ya la solidez adecuada, se puede dejar enfriar la pieza nueva, sin parar de rotar el molde en sus dos ejes, de esta forma se obtiene mayor uniformidad. Cuando esté solidificado, se puede sacar la pieza finalizada, tal y como expone en la figura 5.

Dependiendo del material aportado, ya sea termoestable o termoplástico se expondrá a una temperatura diferente al molde. Incluso si el tiempo del ciclo no es relevante a la hora de fabricar un nuevo artículo, utilizando un material termoestable, se puede no aportar temperatura al molde o también se puede aplicar temperatura al molde de forma más moderada que los termoplásticos, para acelerar el proceso de curado.

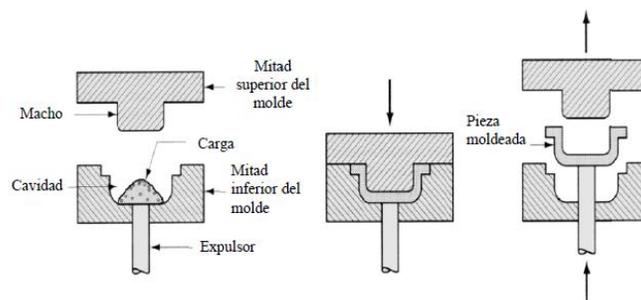
## MOLDEO POR COMPRESIÓN:

El moldeo por compresión es uno de los procesos más antiguos que se conocen y se utiliza para moldear materiales termoestables. El ciclo empieza con la apertura del molde para realizar la extracción de la nueva pieza elaborada en el ciclo anterior. Una vez se haya calentado el material, se coloca dentro del molde seleccionado y previamente colocado en la prensa, ésta puede estar tanto fría como caliente. Además, es interesante saber que el material de moldeo puede estar en su forma de polvo o en pastilla. Cuando el molde está ya cerrado, y con la aplicación de presión realizada, se fuerza a que el material toque todas las paredes del molde. De esta forma el material queda prensado, se mantiene la presión y la temperatura, hasta que el material cure, para poder extraerlo del molde.



**Figura 6:** Proceso de conformado en caliente por compresión. Fuente: apuntes de Hugo Carlos Sanchís Gomis

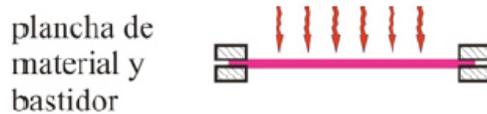
Este tipo de moldeo por compresión es importante, ya que a través de él se pueden obtener piezas complejas de alta resistencia mecánica utilizando fibra de vidrio. Pero, también es interesante destacar no sólo el moldeo con aportación de calor, sino el moldeo en frío, ya que ayuda a abaratar los costes en equipamiento. Además, la complejidad de las piezas será menor que con el aporte de calor.



**Figura 7:** Proceso de prensado en frío. Fuente: Apuntes de Hugo Carlos Sanchís Gomis

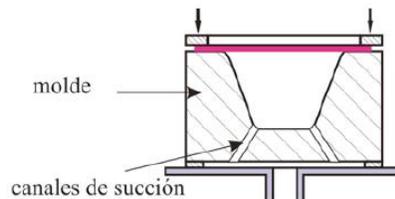
### 1.1.5. TERMOCONFORMADO:

Para el conformado mediante el moldeo por termoconformado se necesita de preformas que suelen ser láminas o planchas, que han de precalentarse antes de someterlas a presiones, vacíos o aires. Estas láminas se pueden calentar de diferentes formas, la más utilizada son los rayos infrarrojos, aunque también se pueden calentar mediante conducción o convección.



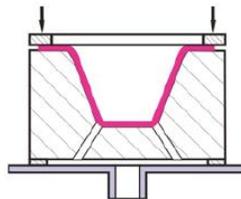
**Figura 8:** Proceso de calentamiento de una lámina polimérica. Fuente: Procesado de polímeros

Una vez calentada y pretensada la lámina, puede ser colocada en el molde y aplicarle, por ejemplo, un vacío o aire a presión, con el fin de rellenar este vacío de la lámina precalentada.



**Figura 9:** Proceso de cierre de molde de máquina de termoconformado. Fuente: Procesado de polímeros

Este vacío, como se puede apreciar en la figura 9 de la lámina plastificada, tomará la forma del molde negativo perfectamente. Cuando se haya enfriado, se podrá extraer la pieza completada del molde. Es importante saber que se pueden usar moldes negativos o positivos según si la cara de la pieza es exterior o interior, el caso de la figura 10 muestra un molde negativo.

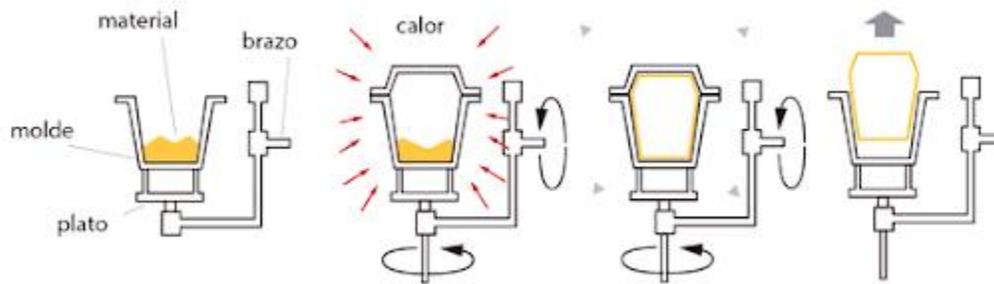


**Figura 10:** Proceso de conformado por vacío en una máquina de termoconformado. Fuente: Procesado de polímeros

La principal ventaja es el volumen de las piezas y el buen acabado superficial que aporta este tipo de proceso y que difícilmente es replicable con otro método. La desventaja es que sólo se puede dar un acabado a una de las caras de la pieza.

## 1.2.CONFIGURACIÓN PARA MÁQUINAS DE ROTOMOLDEO:

La característica principal de rotomoldeo y la influyente para su elección en este trabajo, es el conformado de piezas huecas, mediante un plástico en polvo o líquido que posteriormente tomará la forma deseada. El proceso se ha descrito anteriormente, concretamente en el apartado de los procesos más importantes.



**Figura 11:** Proceso de rotomoldeo. Fuente: grupoasuma.com

Mediante el proceso de rotomoldeo es posible la realización de diferentes piezas, debido a la libertad de diseño que ofrece este proceso. El proceso de mecanizado no requiere de herramientas complejas, ni altos costes de fabricación. Además, este proceso es posible que sea el único, en algunos casos, que facilite la fabricación de determinadas piezas.

En este proceso encontramos cierto control sobre el espesor de la pieza, lo que aporta una gran ventaja a la hora de elegir este proceso como el idóneo para la fabricación de las necesidades de este trabajo. Y como se ha descrito antes, en cuanto a las tiradas de fabricación cortas es mucho más económico que el proceso de soplado.

La producción de objetos por rotomoldeo es la elegida debido a la realización tanto de tiradas largas, como cortas, así como la obtención de prototipos. Gracias a su velocidad, y su flexibilidad en el intercambio de moldes, es interesante este proceso para el ensayo de diferentes materiales y nuevas aplicaciones en el campo de la investigación en el mundo de los materiales.

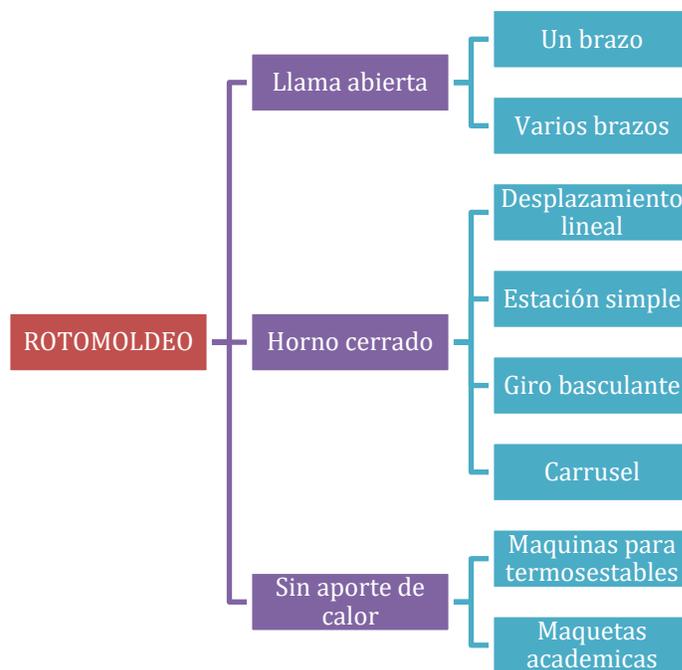
Por otro lado, el espesor de la pared puede variar, desde un 1 mm hasta el grosor adecuado a las características deseadas. Ahora bien, es importante recordar que dicho grosor es constante por toda la pieza. También es de considerar, que las paredes delgadas y a su vez gemelas nos otorgarán grandes características de resistencia mecánica.

Asimismo, se puede hablar de la flexibilidad dentro de la fabricación de diferentes tamaños, refiriéndose tanto a piezas para la fabricación de audífonos, como tanques de más de 10.000 litros. Pero es de reseñar que la producción más económica y adecuada para este proceso se obtendrá con

moldes medianos y grandes. La posibilidad de introducir, dentro del mismo proceso: roscas, orificios e insertos de metal, es importante a tener en cuenta para la reducción de costos dentro del postproceso, reduciendo así considerablemente el coste del proceso.

A modo de resumen, se puede decir que, aun teniendo una tecnología simple, es necesario el conocimiento del comportamiento de los materiales para la obtención de productos de calidad. Conocer las propiedades de los materiales que se van a introducir es importante, características como: porosidad, velocidad de enfriamiento, distribución del pigmento, tiempos de los ciclos, dilataciones y contracciones, calor necesario a aportar, material del molde, y la velocidad de rotación. Estas características son importantes si se desea obtener objetos de alta calidad.

Como se ha referido antes, este proceso es relativamente simple comparado con otros procesos de transformación, así como la inyección o extrusión, entre otros. El rotomoldeo a pesar de su sencillez se puede clasificar en tres grandes grupos: llama abierta, horno cerrado, proceso sin aporte de calor.

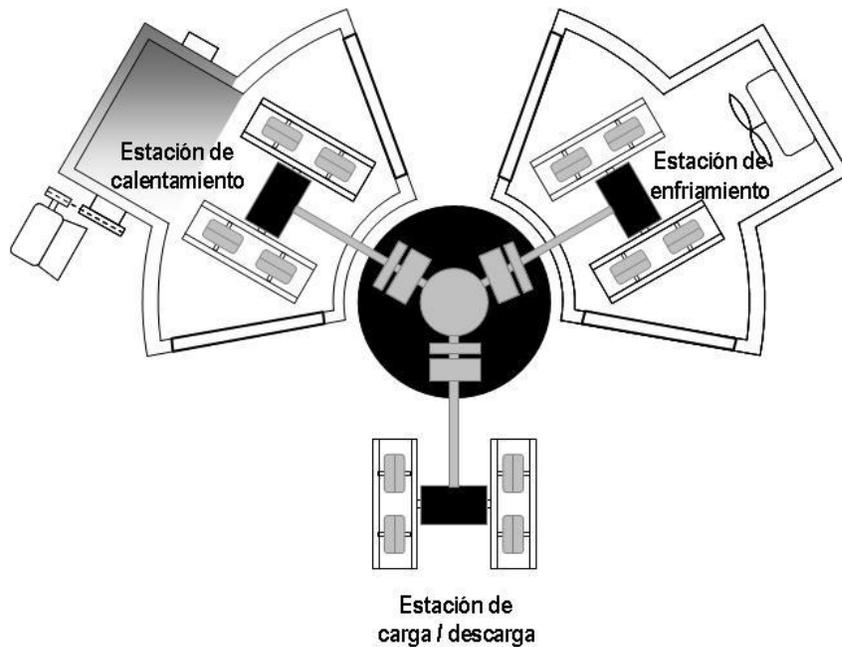


**Figura 12:** Esquema tipos de rotomoldeo. Fuente: Original

Las diferentes configuraciones para máquinas de rotomoldeo nos aportaran la optimización de tiempos productivos, al añadir más elementos en su configuración. Las configuraciones más utilizadas en la industria son:

### 1.2.1. CONFIGURACIÓN EN CARRUSEL

Hoy en día es el tipo de rotomoldeo más utilizado y eficiente que podemos ver en la industria. Los primeros carruseles llevaban 3 brazos situados a una equidistancia entre los mismos y entre la torreta central y la longitud a sus extremos.

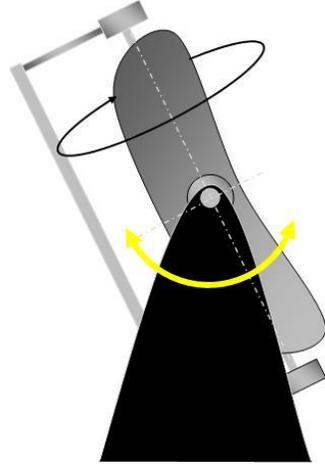


**Figura 13:** Esquema de carrusel de 3 brazos y 3 estaciones. Fuente: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/rotomoldeo.html>

Ahora bien, también existen carruseles de 4 y 5 brazos. La cantidad de brazos es seleccionada a favor de las fases que va a tener el proceso y los tiempos necesarios en cada etapa que necesita el material seleccionado. Además del tipo de molde, que se describirá más adelante, como punto en común a los diferentes tipos de rotomoldeo.

### 1.2.2. CONFIGURACION DE GIRO BASCULANTE o ROCK & ROLL:

Como su propio nombre indica, este tipo de rotomoldeo bascula de tal modo que gira en su eje longitudinal, y bascula entre 35° y 45° en su eje transversal, tal y como se aprecia en la figura 14. En el eje transversal no podemos obtener giros completos debido a la envergadura de las piezas, piezas como canoas, contenedores, cilindros etc.



**Figura 14:** Esquema de rotomoldeo estilo Rock & Roll.

Fuente:

<https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/rotomoldeo.html>



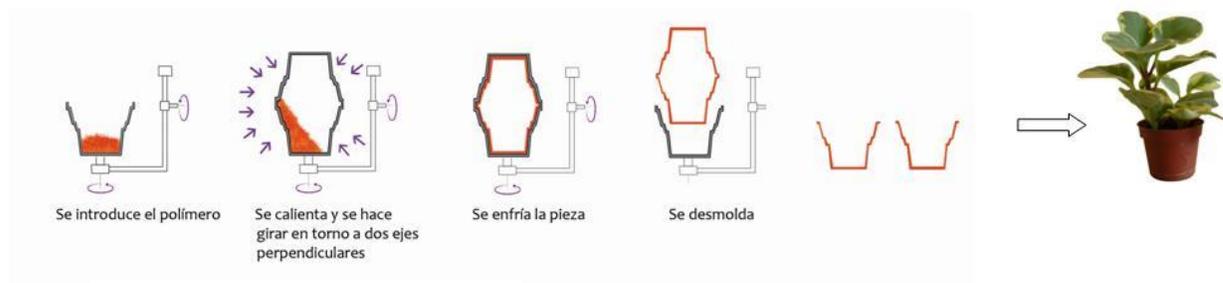
**Figura 15:** Máquina de rotomoldeo, estilo Rock & Roll. Fuente:

Fuente:

<https://spanish.alibaba.com/product-detail/plastic-rock-n-roll-rotomoulding-machine-241466156.html>

### 1.2.3. CONFIGURACION DE ESTACION SIMPLE o DE CONCHA o CLAM SHELL

Esta máquina se caracteriza por soportar su carga máxima sobre un brazo apoyado sobre un único apoyo, como podemos ver sobre en la figura 16. También es de reseñar sus dos ejes de rotación perpendiculares. Esta máquina es fija y, por lo tanto, se producirán todas las fases del proceso en la misma localización, como se ve en la figura 16. Por ello, se puede decir que es el método de rotomoldeo más compacto con el que se va a trabajar.



**Figura 16:** Esquema de rotomoldeo de un brazo, estilo clam shell. Fuente:

[https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Rotomoldeo\\_imagen.JPG](https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Rotomoldeo_imagen.JPG)

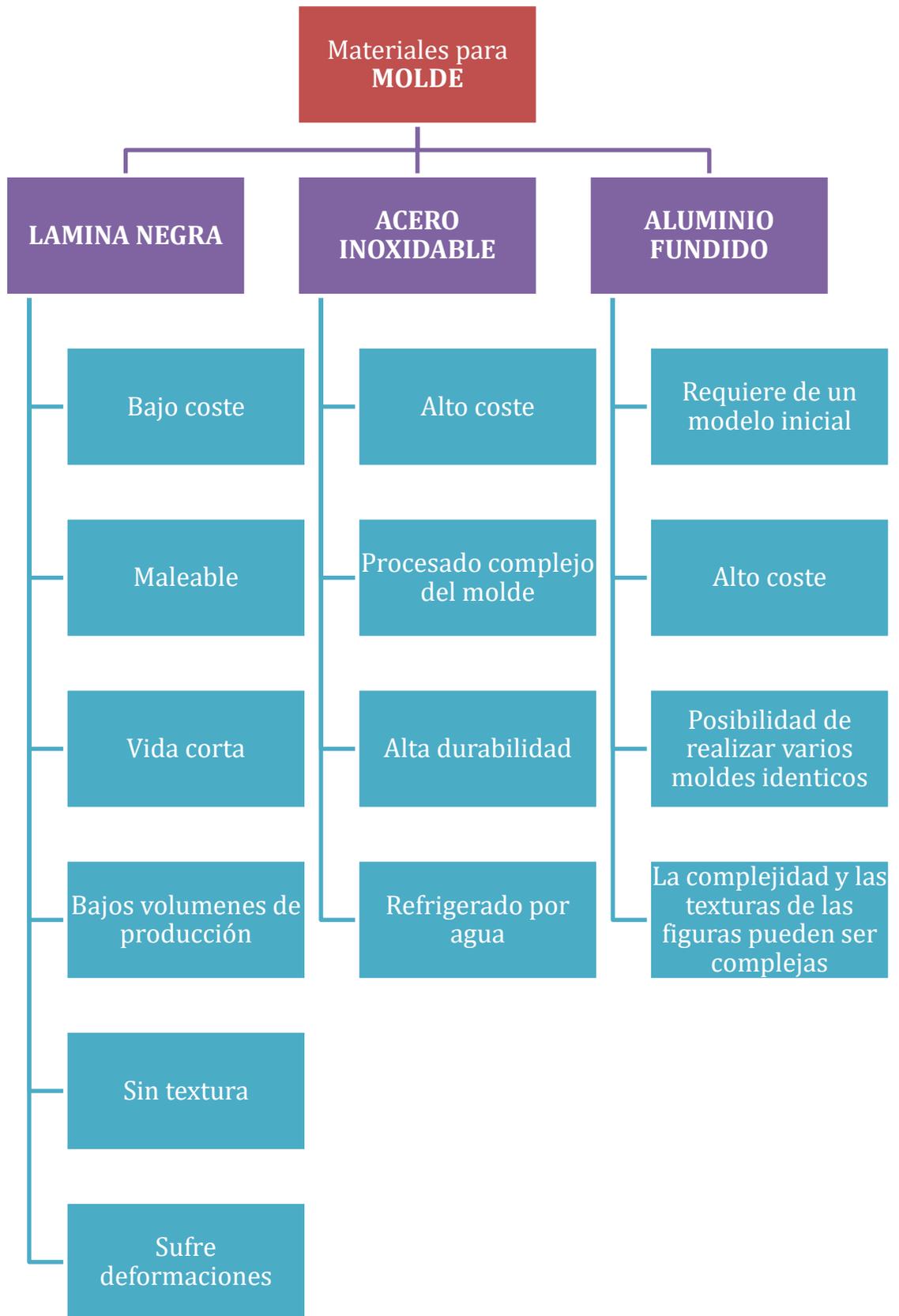
El calentamiento del material puede ser de llama directa sobre el molde, o mediante la introducción de la máquina dentro de un horno tipo almeja, como muestra la figura 17.



**Figura 17:** Horno estilo concha, para rotomoldeo simple. Fuente: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/rotomoldeo.html>

Una vez explicadas las diferentes máquinas utilizadas en el proceso de rotomoldeo, es importante hablar del tipo de molde que se utilizarán en dichas máquinas. Ya que se pueden confeccionar los moldes de diferentes materiales, entre ellos se encuentran el acero inoxidable y el aluminio fundido.

La selección de estos materiales se puede realizar basándose en sus ventajas y desventajas mostrados en la figura 18:



**Figura 18:** Esquema tipos de molde para rotomoldeo. Fuente Original

### 1.3.MATERIALES APLICADOS EN ROTOMOLDEO:

Los materiales más utilizados en rotomoldeo son los termoplásticos y los termoestables, en el caso de la ausencia de aplicación de calor en el molde.

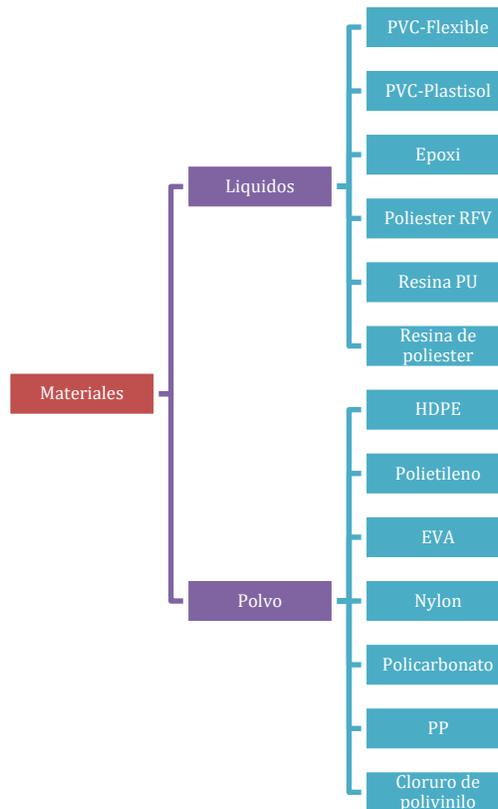
#### Termoplásticos para rotomoldeo

- Polietileno de alta densidad ó HDPE (polvo)
- Policloruro de vinilo ó PVC(liquido)
- Poliamida(polvo)

#### Termoestables para rotomoldeo

- Poliester RFV
- Resina de PU
- Epoxi

Se pueden apreciar los diferentes materiales utilizados en la figura 19:



**Figura 19:** Materiales más utilizados para rotomoldeo. Fuente: Original

Normalmente, se pueden utilizar materiales como: ABS, acetal, acrílico, fluorocarbonos, polibutileno, poliéster, poliestireno, poliuretano y silicona. También es importante nombrar otros materiales no poliméricos que de algún otro modo pasan por una máquina de rotomoldeo, como son el aluminio, varios alimentos como el chocolate o también el yeso para la realización de piezas huecas, como esculturas.

Las aplicaciones de los materiales en rotomoldeo pueden dar diferentes resultados en diferentes ámbitos, como:

### PRODUCTOS

- Depositos de agua, gasoleo o aceite
- Conductores de aire
- Piezas de aviones
- Material deportivo
- Carrocerias
- Sillas
- Papeleras
- Lámparas
- Señales y rotulos
- Neveras
- Piezas técnicas

### SECTORES

- Vehiculos Industriales
- Obras públicas
- Autobus
- Mobiliario urbano
- Mobiliario de diseño e iluminación
- Maquinaria Agricola

**Figura 20:** Productos y sectores posibles para aplicar rotomoldeo. Fuente: Original



## 2. Objetivos



## 2. OBJETIVOS:

En este trabajo el alumno investigará sobre los diferentes procesos de fabricación de piezas poliméricas, haciendo hincapié en el proceso de rotomoldeo, las máquinas más utilizadas para este proceso y los diferentes materiales, productos y sectores en el que se aplica este método de procesado de plásticos.

Tras la selección de una máquina de rotomoldeo ya diseñada, se realizará el diseño en 3D-CAD desde cero para su optimización. Mediante cálculos estáticos y a fatiga se seleccionarán los componentes y materiales adecuados para dicho prototipo

Con todo ello el alumno, mediante diferentes softwares conseguirá conocer diferentes elementos de diseño de máquinas, y conseguir conocer procesos básicos de diseño y teoría de máquinas.

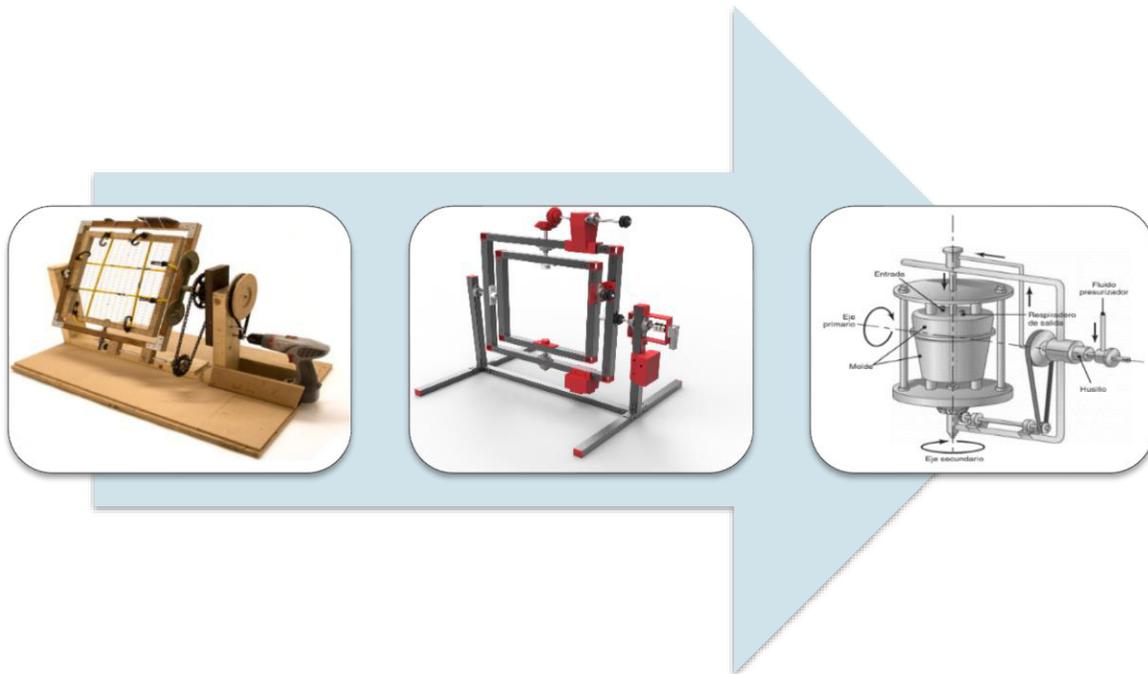


### 3. Selección de la máquina



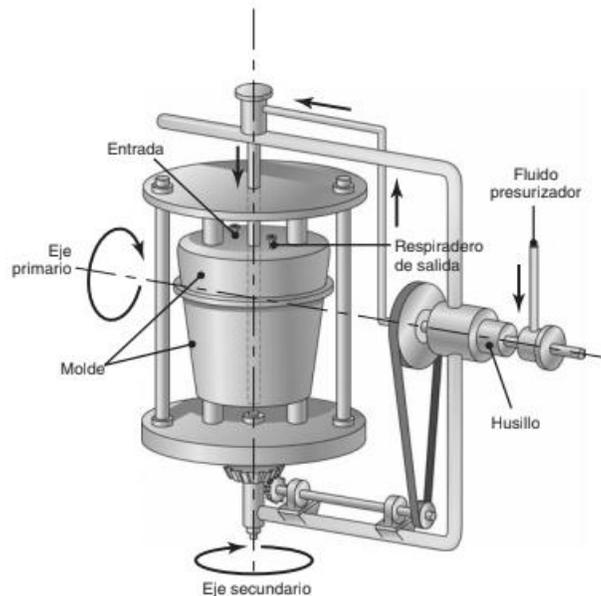
### 3. SELECCIÓN DE LA MÁQUINA:

El alumno ha seleccionado el estudio de la máquina planteada en el libro “Manufactura, ingeniería y tecnología” del autor S. Kalpakjian y S. R. Schmid que muestra la figura 22, movido por la curiosidad de conocer más sobre el proceso de rotomoldeo y más concretamente de esta máquina que se ha presentado durante el Grado en Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica de Valencia.



**Figura 21:** Maqueta rotomoldeo de madera. Fuente: Memoria TFG Pablo Aragón Sesma. Maqueta de Rotomoldeo de perfiles de aluminio. Fuente: GrabCAD.com. Máquina de rotomoldeo. Fuente: Manufactura, ingeniería y tecnología por S. Kalpakjian y S. R. Schmid.

### 3.1. ANÁLISIS DE PARTIDA:



**Figura 22:** Máquina seleccionada a analizar. Fuente: Manufactura, ingeniería y tecnología por S. Kalpakjian y S. R. Schmid

La máquina aportada por S. Kalpakjian y S. R. Schmid que muestra la figura 22 se ve desfasada para las tecnologías actuales. Además, a primera vista se puede observar la falta de una bancada que soporte esta máquina. Asimismo, se puede ver una inyectora de un fluido presurizado, el cual crea complejidad en los cálculos.

Es más factible la introducción de plástico en polvo, como un termoplástico o en formato líquido como un termoestable. Lo que posteriormente se demostrará que reducirá el coste de la instalación y mejorará el proceso de moldeo de plásticos. También, se pueden apreciar los engranajes de la máquina al aire, lo que posteriormente, por la sedimentación de polvos y otros residuos, producirán desgaste excesivo, aumento del mantenimiento y posibles roturas de los engranajes.

Llegados a este punto se ha procedido a la creación de la máquina del libro “Manufactura, ingeniería y tecnología”, con mejoras de diseño. Como crear una bancada y vaciar algunos elementos mecánicos para reducir el peso. Además de la eliminación del sistema de alimentación de plástico líquido por presurización para evitar el emboce y posteriores mantenimientos.

También se han cambiado los engranajes que se encontraban en contacto con el exterior por una caja reductora de engranajes cónicos. Y se ha empleado un sistema de aporte de potencia mediante un motor conectado a otra caja reductora para aportar la potencia idónea, así el molde girará a la velocidad indicada. Se podrán apreciar todas las mejoras posteriormente, en el apartado de la Propuesta (4.1), desglosada en diferentes figuras.

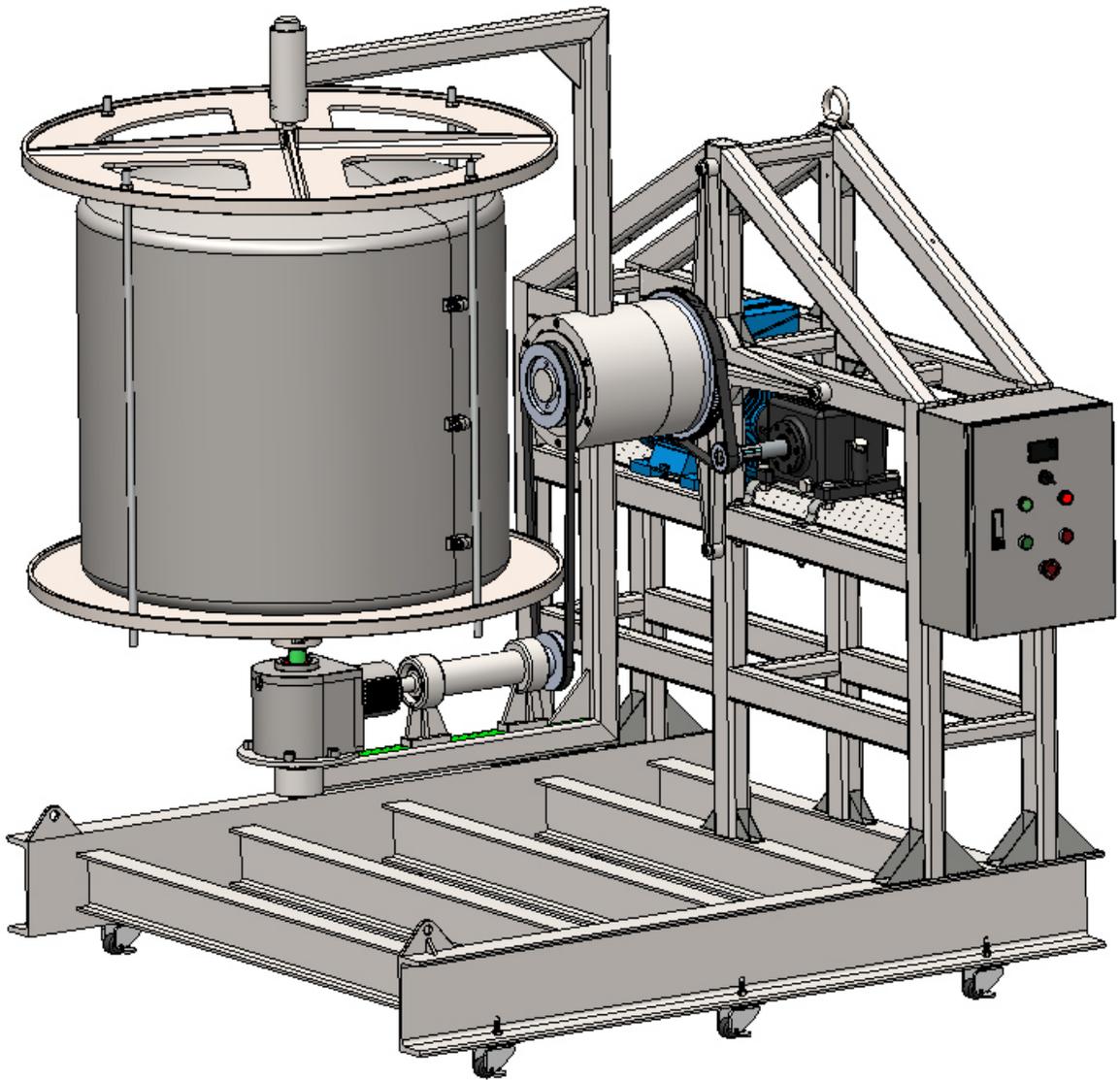




## 4. Diseño y cálculo



#### 4. DISEÑO Y CÁLCULOS:



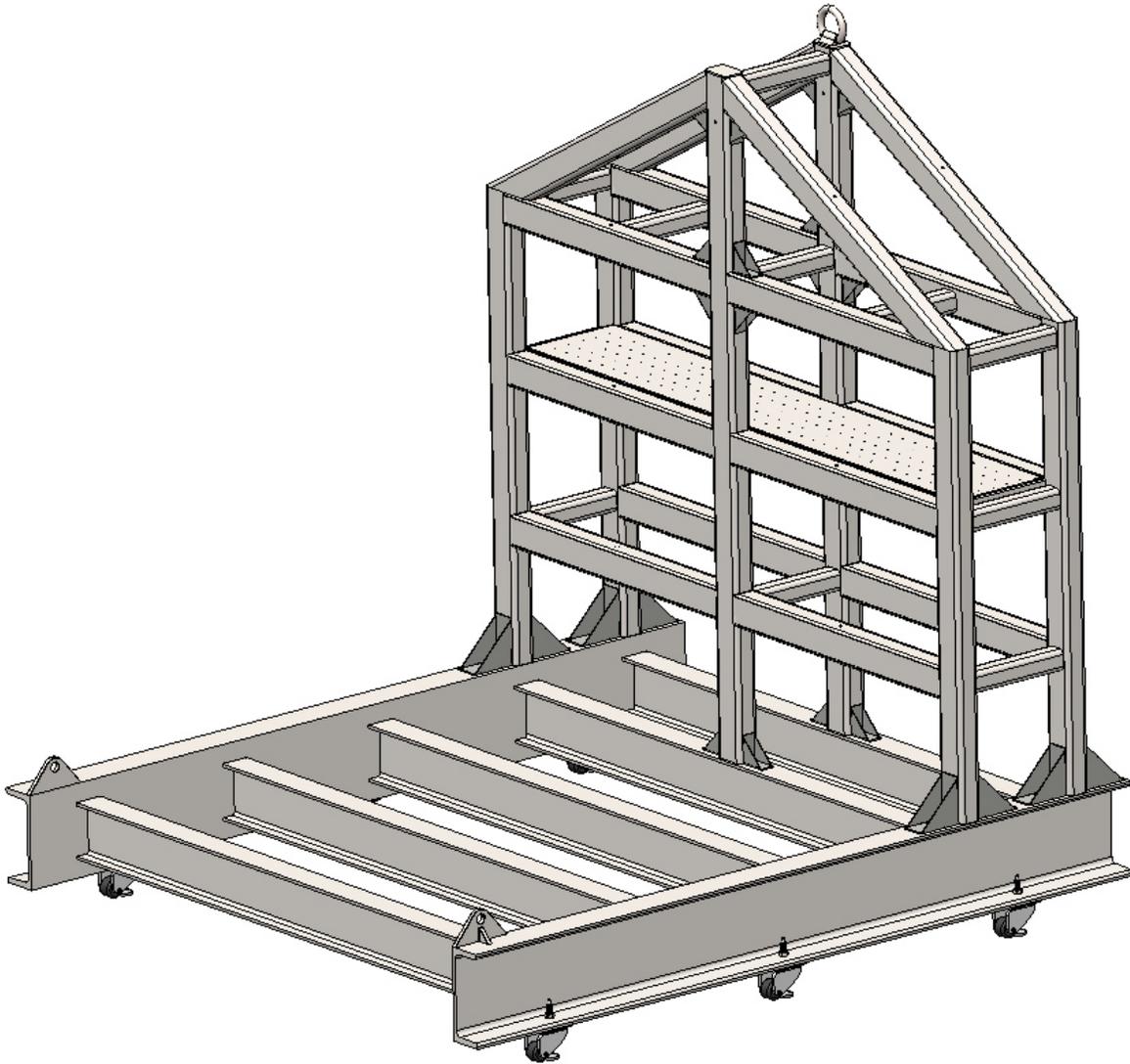
**Figura 23:** Máquina creada a partir de la máquina seleccionada. Fuente: Original.

##### 4.1.PROPUESTA:

Fijando la atención en la figura 23, se pueden observar las diferentes partes de la máquina de rotomoldeo propuesta. En ella, las partes básicas son una bancada, un eje principal y, por último, un molde en el que procesar nuestro material. Estas partes se van a desarrollar con profundidad a continuación.

#### 4.1.1. BANCADA:

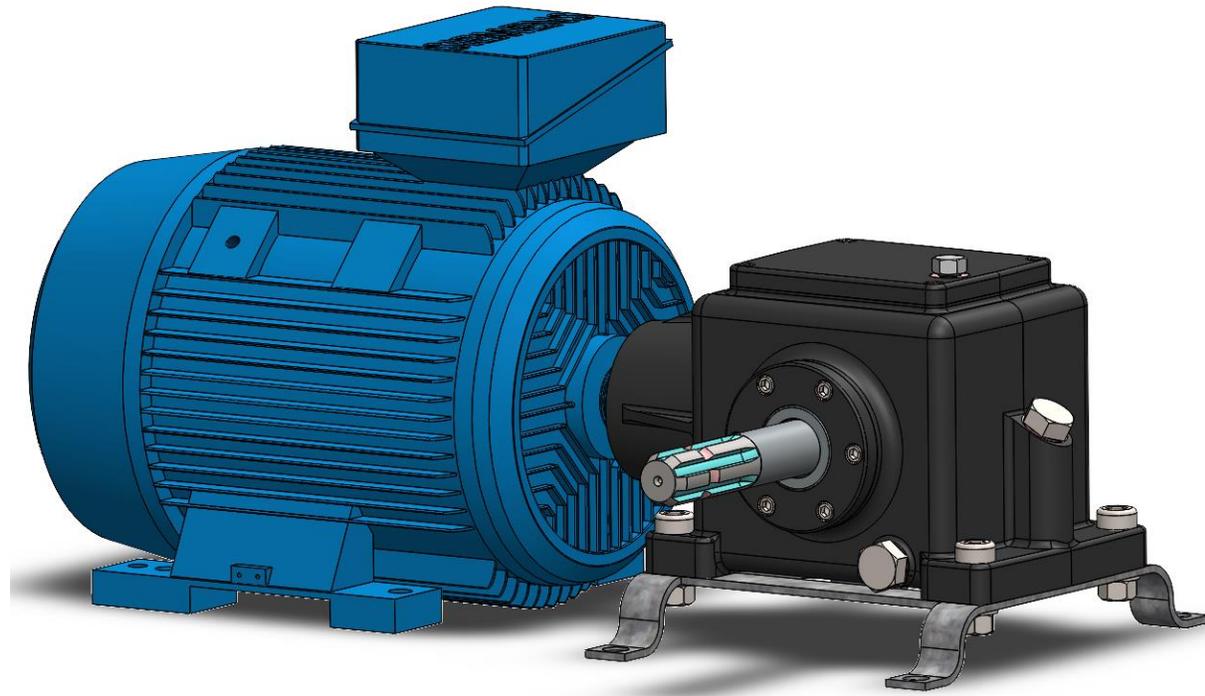
La bancada está formada por diferentes perfiles de acero estructural laminado en caliente (S355JR), reforzada por escuadras de acero. También una bandeja central formada por diferentes perfiles de acero estructural no aleado laminado en caliente (S235JR), como soporte del sistema dinámico, y a su vez, aporte de rigidez a la estructura principal de la bancada. Los diferentes componentes de la bancada se pueden observar en el Plano 01.



**Figura 24:** Bancada. Fuente: Original

#### 4.1.2. SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN:

El sistema de automatización de la máquina está implantado en la bandeja central, sujeto con tornillo, arandela y tuerca.



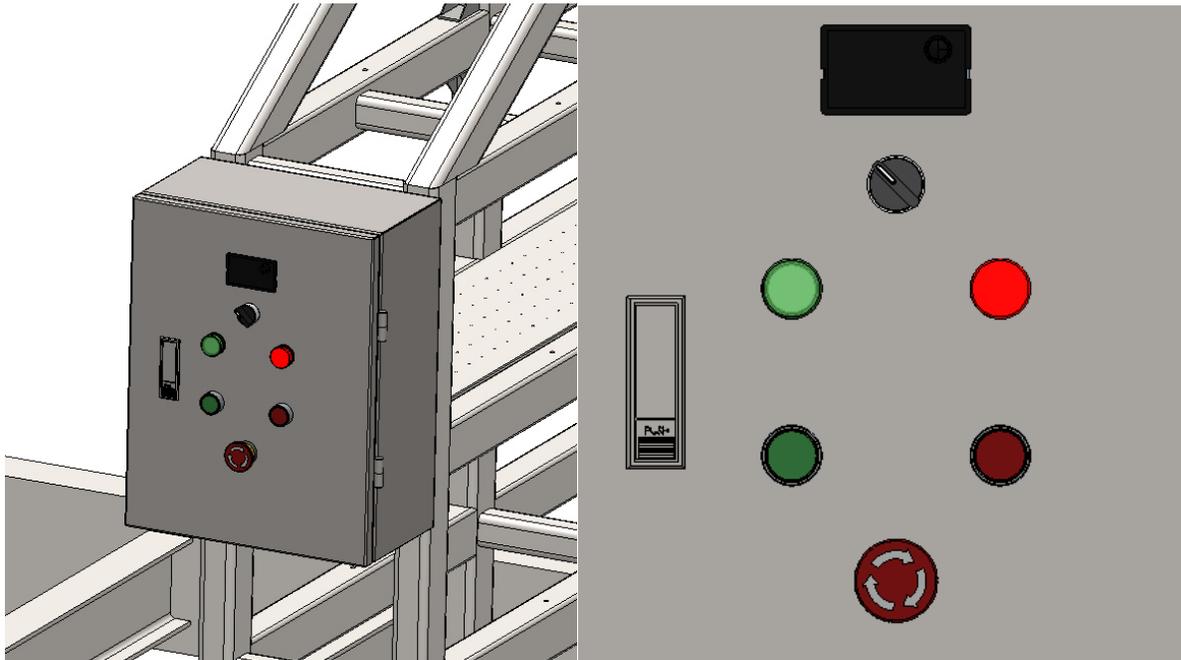
**Figura 25:** Sistema dinámico. Fuente: Original

La base de la bancada está realizada en 2 tipos de perfiles S355JR, el perfil UPN 200 y el perfil IPE 120. Estos perfiles serán soldados entre sí para dotarlos de rigidez. Para dotar de movilidad a esta estructura se realizará 6 perforación de métrica 10, para poder introducir unas ruedas niveladoras, de poliamida seleccionadas teniendo en cuenta el dimensionado del conjunto.

La parte superior está realizada con perfiles rectangulares huecos de acero S355JR, de 70x50 mm, con diferentes espesores. Los perfiles verticales tienen un espesor de 4 mm y los trasversales de 3 mm. Los perfiles cuadrados de espesor 4mm que unen las dos partes de la parte superior de la bancada, es decir, la parte del esqueleto de la misma está formada por perfiles cuadrados de 45x45 de espesor 4mm.

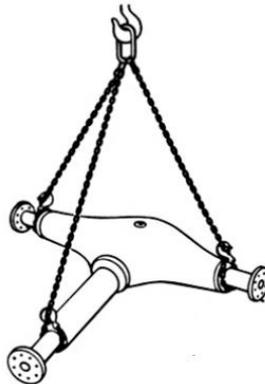
### 4.1.3. ELECTRIFICACIÓN:

El cableado del sistema dinámico será llevado hasta una caja eléctrica conducidos mediante tubos o bandejas sujetos a la estructura. En la caja eléctrica se encuentran todos los sistemas de seguridad, incluyendo el botón de emergencia.



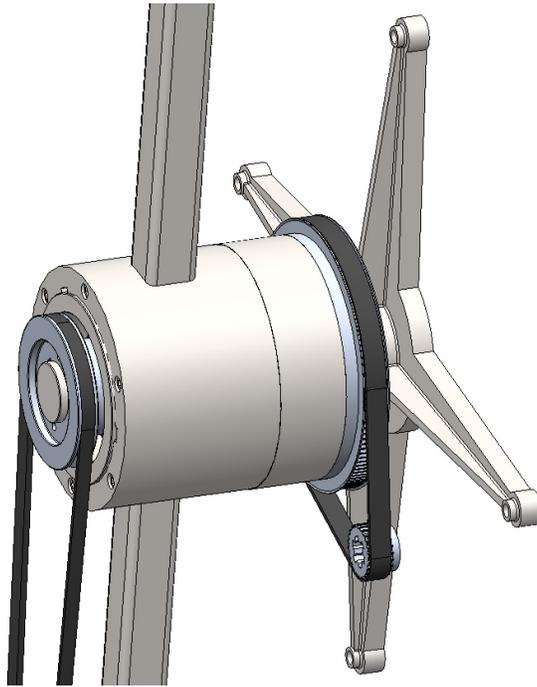
**Figura 26:** Vistas caja de luz. Fuente: Original

Sin tener en cuenta el cableado, la caja eléctrica, y las ruedas niveladoras, esta estructura sería construida por un empresa de fabricación de carderías, el cual soldará la máquina y la suministrará. Para trasladarla serán necesario unos puntos de izado, en el caso que atañe este trabajo se han diseñado 3 puntos de izado a diferentes alturas, estos puntos de izado podemos observarlos en el plano 01.



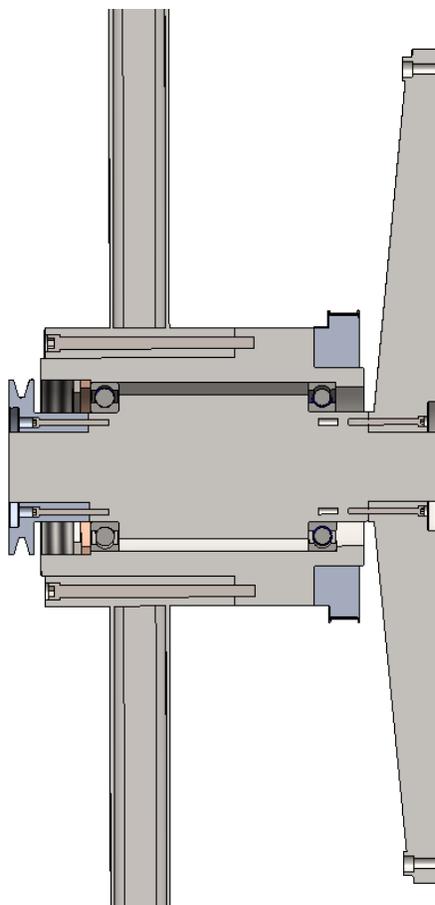
**Figura 27:** Ejemplo de izado de 3 puntos. Fuente: <https://www.peerlesschain.com/wp-content/uploads/Sling-User-Manual-SPANISH-v4c.pdf>

#### 4.1.4. EJE PRINCIPAL:



**Figura 28:** Eje principal. Fuente: Original

El árbol principal está formado por tres árboles independientes, unidos entre ellos a partir de diferentes elementos de unión.



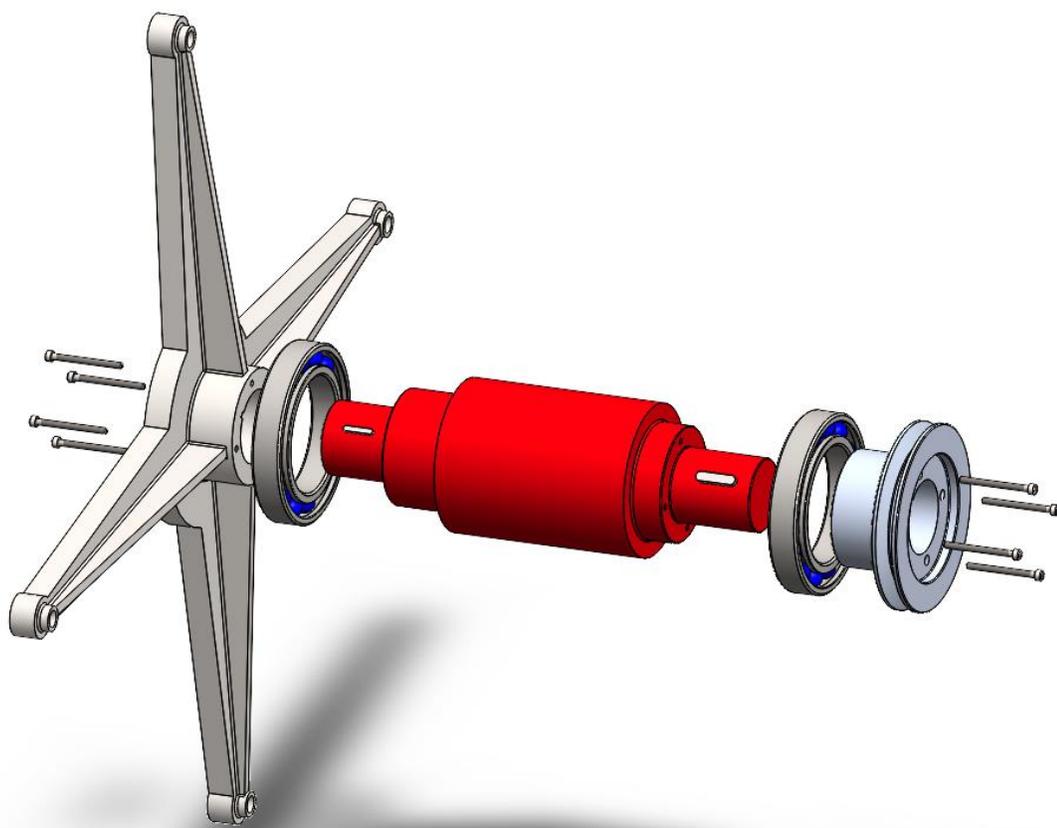
**Figura 29:** Corte sección del árbol principal. Fuente: Original

El eje principal, como ya se ha comentado anteriormente, está ensamblado por tres árboles. El árbol más próximo al eje de rotación principal, es un eje que, junto con la cruz fija, está fijado a la bancada mediante uniones tuerca tornillo. Gracias al giro de los brazos principales de este árbol, dotará de giro a la segunda reductora, para así poder rotar con la velocidad adecuada al molde.

Para facilitar dicho montaje, primero se unen los árboles mediante chavetas, y posteriormente anclaremos esta unión mediante tornillos Allen (DIN 912). Para soportar la rotación de los brazos principales, se ha montado 2 rodamientos SKF de bolas de una hilera (6022) del catálogo de dicha marca. Los rodamientos SKF estarán montados de forma simétrica.

Por un lado, el rodamiento derecho, está sujeto mediante el hombro del propio árbol fijo y con el eje móvil, que es el paso intermedio entre el árbol fijo y los brazos principales. Por otro lado, el rodamiento izquierdo está sujeto mediante el hombro del árbol fijo, y por una tuerca inversa y un casquillo, introducidos para facilitar el montaje del eje principal.

La polea que transmite el movimiento al árbol auxiliar, que se expondrá posteriormente, está unida al árbol, mediante chaveteros y tornillos Allen.

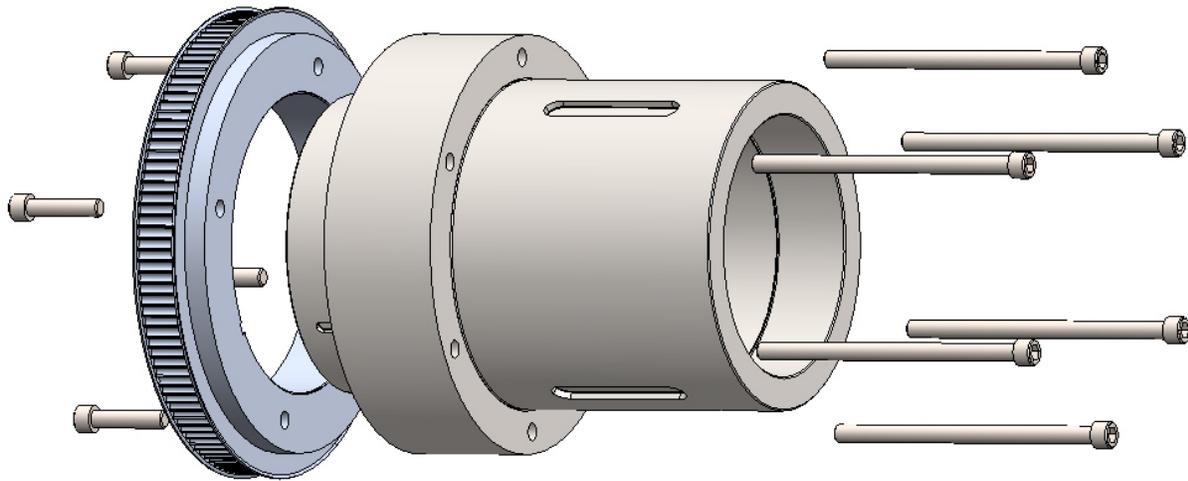


**Figura 30:** Vista explosionada de conjunto fijo. Fuente: Original

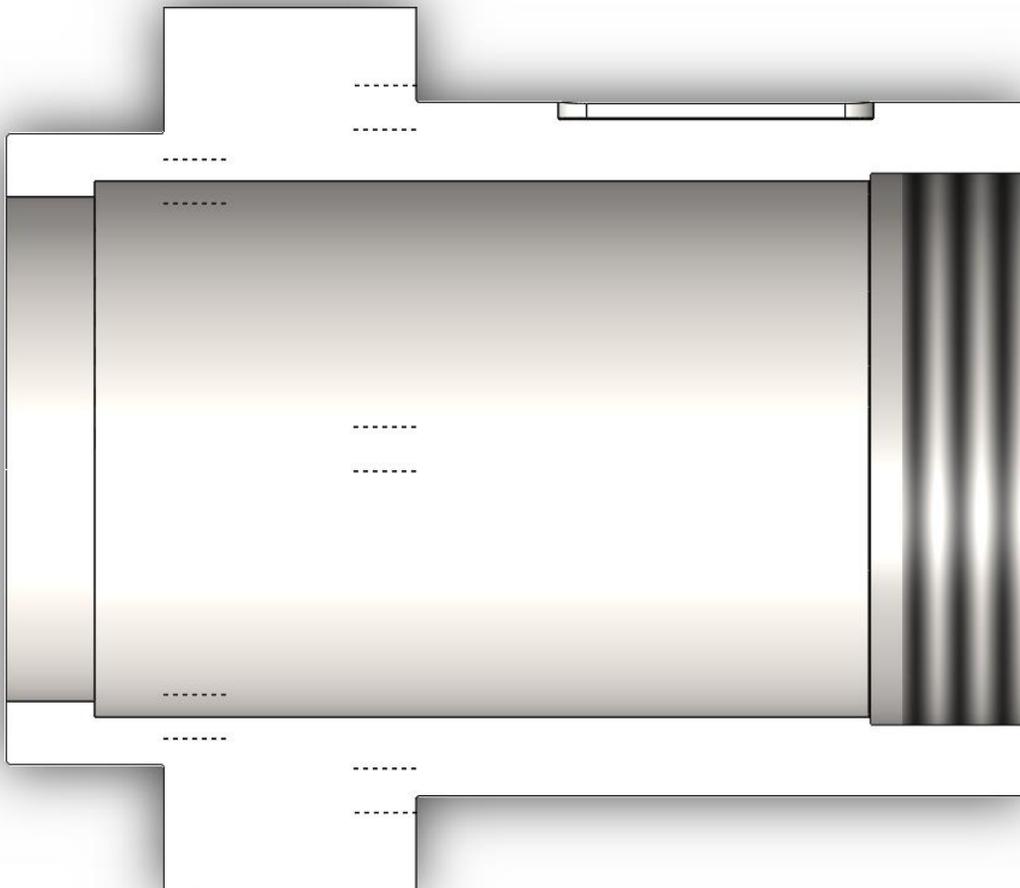
En la figura 30 se puede observar el explosionado del árbol fijo a la bancada, que transmitirá el movimiento al eje auxiliar, que se presentará más adelante.

Es importante recalcar que el árbol fijo no será anclado con la cruz fija, hasta que se introduzca éste al eje móvil. De este último se va a hablar a continuación, ya que es el paso intermedio entre el árbol fijo y los brazos móviles. En este eje móvil se le anclará una polea dentada y el árbol móvil, mediante tornillería.

El brazo móvil está anclado al eje móvil, que ha comentado anteriormente, este es el paso intermedio entre el brazo fijo y el brazo móvil. Es el eje hueco que apoya en los rodamientos 6022 para poder transmitir el movimiento que aportará la correa dentada, como se aprecia en la figura 29. También se puede observar el explosionado del eje móvil en la figura 31.



**Figura 31:** Explosionado del eje móvil. Fuente: Original

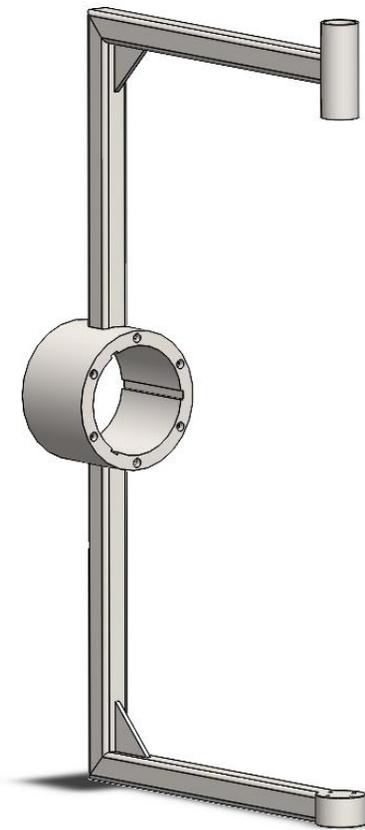


**Figura 32:** Corte sección eje móvil. Fuente: Propia

En el corte de sección se pueden ver los diferentes apoyos que se han tenido que mecanizar para apoyar los rodamientos: en el hombro izquierdo apoyará la pista exterior del rodamiento izquierdo, en el hombro derecho apoyará el casquillo retenedor que se deberá introducir para presionar el rodamiento con una tuerca inversa, como muestra la figura 32.

#### 4.1.5. BRAZOS MÓVILES:

Los seis tornillos Allen que se observan en el explosionado, en el lado opuesto de la polea dentada, son para anclar el eje móvil al árbol móvil, que transmitirá el giro principal al tambor.



**Figura 33:** Árbol móvil. Fuente: Original

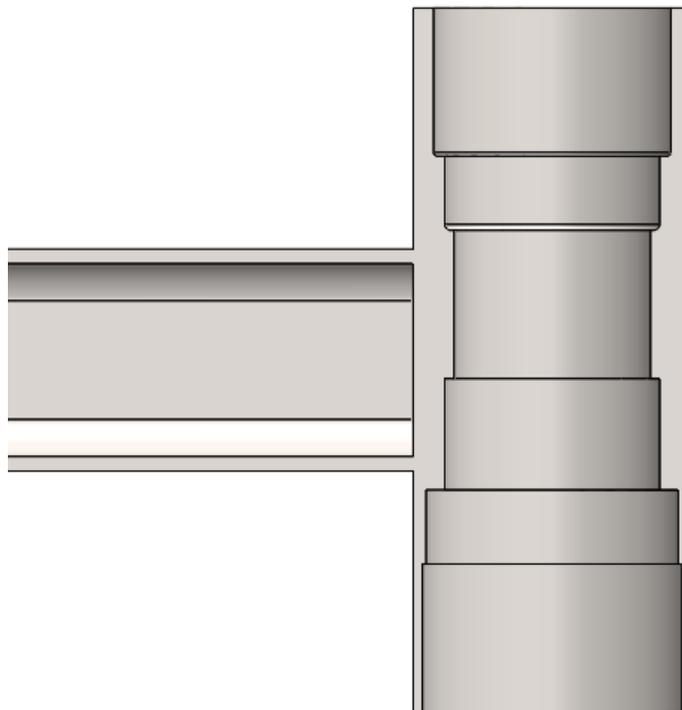
Este brazo móvil será el encargado de transmitir el giro principal al tambor del molde. Y mediante su giro, transmitirá un par entre las poleas en V del eje fijo y el árbol auxiliar, como se puede observar en la figura 23

En la parte inferior del árbol móvil, se implantará el árbol auxiliar, y en el brazo superior se instaurará el árbol vertical, que simplemente soportará el giro auxiliar del tambor del molde que se le proporcionará con el árbol auxiliar y con la reductora inferior.

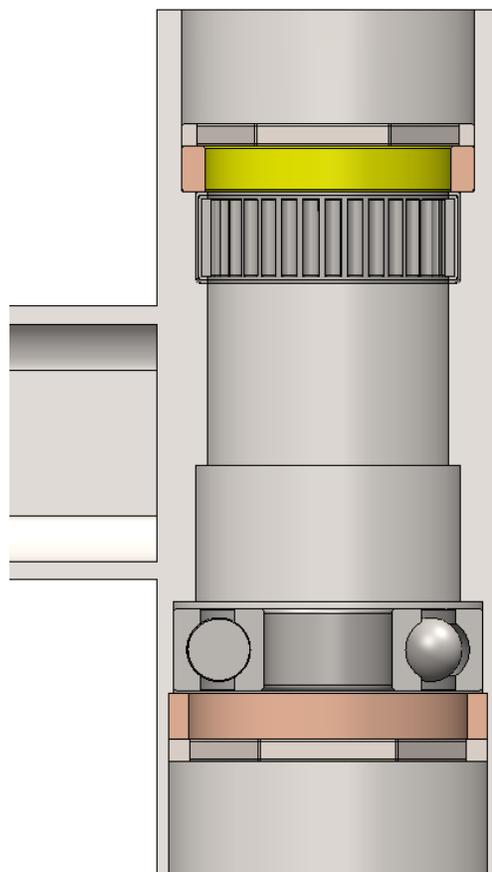
El brazo móvil está formado por tres perfiles rectangulares huecos de acero no aleado laminado en caliente, con refuerzos del mismo acero S355JR.

#### 4.1.6. EJE VERTICAL:

El eje vertical será implantado en la parte superior, como muestra la siguiente figura 33 o en el plano 07:



**Figura 34:** Sección del alojamiento del árbol vertical. Fuente: Original



**Figura 35:** Corte sección del alojamiento del árbol vertical con los complementos. Fuente: Original

El árbol vertical está anclado mediante los rodamientos, tanto con el de agujas como el de bolas. Estos rodamientos están sujetos mediante los hombros del árbol vertical, y las tuercas inversas que presionan los casquillos, para fijar los rodamientos.

Es importante enfatizar, que este árbol, simplemente acompañará el movimiento del tambor, no será fuente de transmisión de potencia, o par.

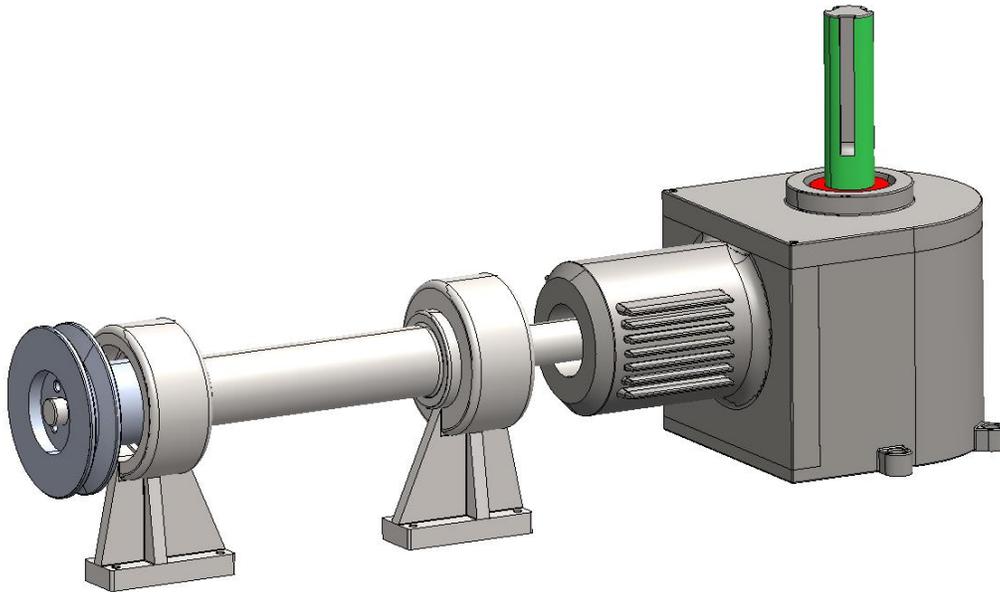


**Figura 36:** Explosionado de árbol vertical con elementos de fijación. Fuente: Original

El árbol vertical está formado por dos tipos de rodamientos: un rodamiento de agujas (HK 5020), que acompañará el movimiento radial, y el rodamiento de bolas (6328), que soportará tanto el movimiento axial como el radial del árbol vertical. La configuración del árbol será alternante, debido al giro principal de la máquina.

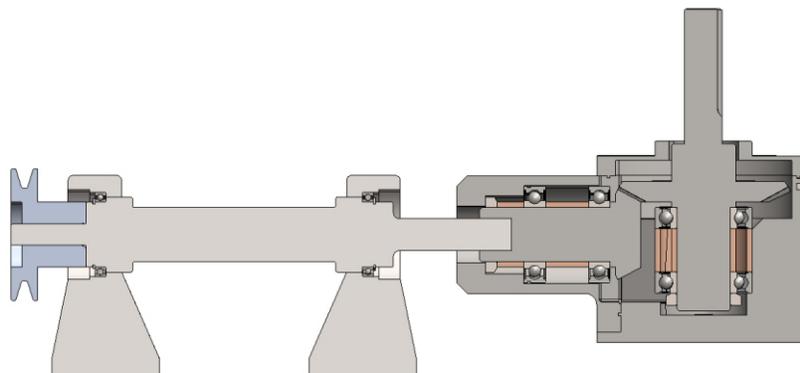
#### 4.1.7. ÁRBOL AUXILIAR:

Como se ha explicado anteriormente, el giro auxiliar del tambor será transmitido mediante el árbol auxiliar y la reductora. Como se observa en la figura 37.



**Figura 37:** Árbol auxiliar con reductora. Fuente: Original.

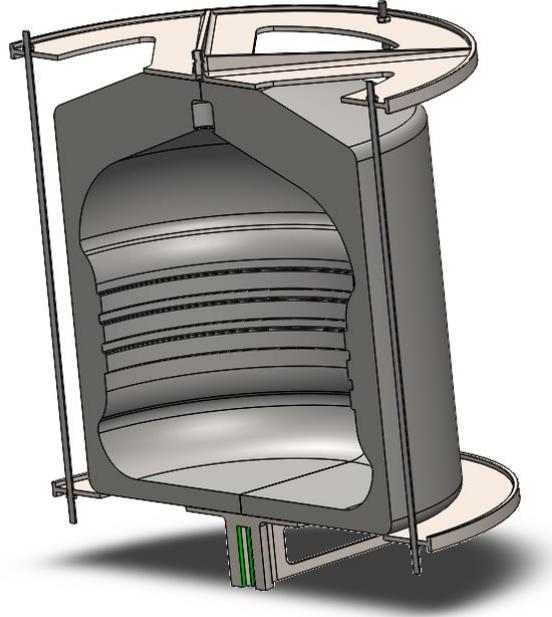
El árbol auxiliar está apoyado en dos soportes de acero S355JR, mediante dos rodamientos de bolas (61812) puestos en V para soportar la transmisión de cargas. Se introducirá la potencia mediante el giro principal de los brazos principales, que harán girar el tambor, reduciendo la potencia mediante una caja de engranajes o reductora. Esta potencia se transmite mediante poleas en “V”, echas de aluminio (EN-AW 5052), y engranajes cónicos de acero.



**Figura 38:** Corte en sección de árbol auxiliar y reductora. Fuente: Original

#### 4.1.8. MOLDE:

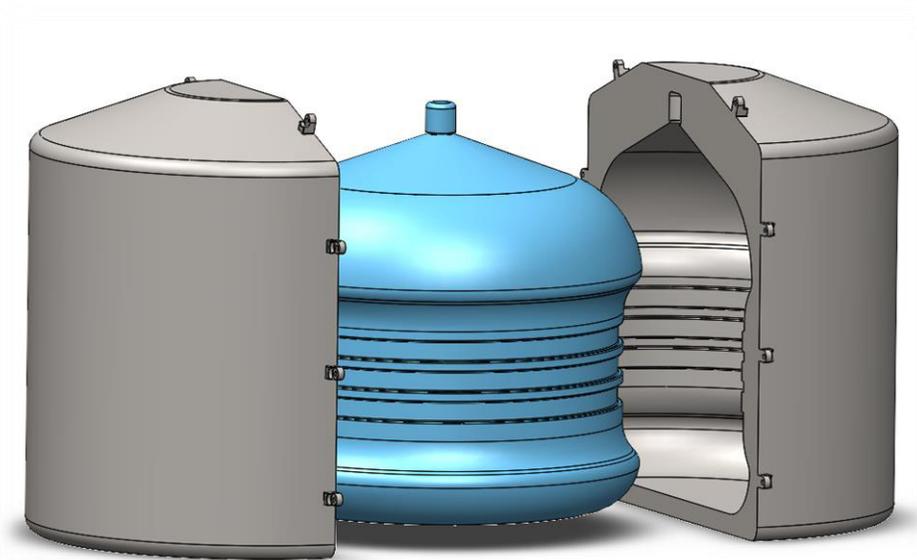
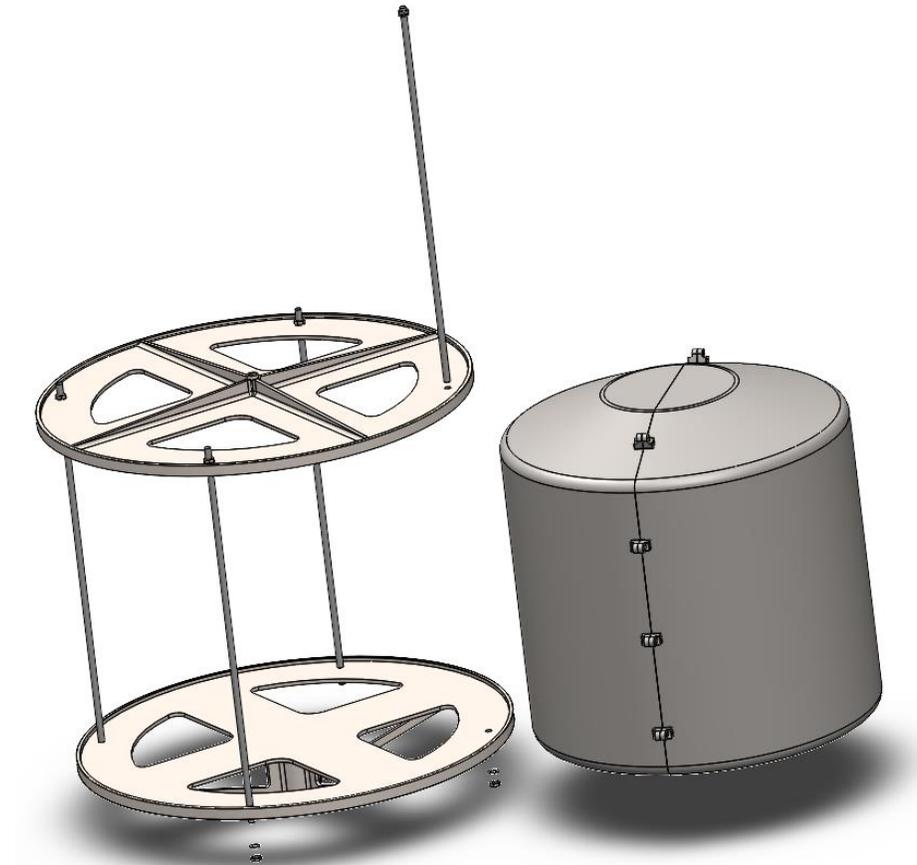
La reductora transmitirá la potencia al tambor central, mediante una tuerca KM de métrica 35, y unas chavetas que conectan la reductora con las tapaderas que presionan y centran el molde. El conjunto del molde o tambor están formados por varios elementos como muestra la figura 39.



**Figura 39:** Corte en sección del molde y sus componentes. Fuente: Original.

Este conjunto está formado principalmente por: el molde, las placas que presión, y las varillas con sus tuercas y arandelas.

Este molde girará en dos ejes que forman  $90^\circ$  entre si. El eje perpendicular a la bancada será el principal que proporcionará la inercia al eje auxiliar, para así poder rotar el molde también en el eje transversal a la bancada. De esta forma se obtendrá el objeto mostrado en la figura 40.

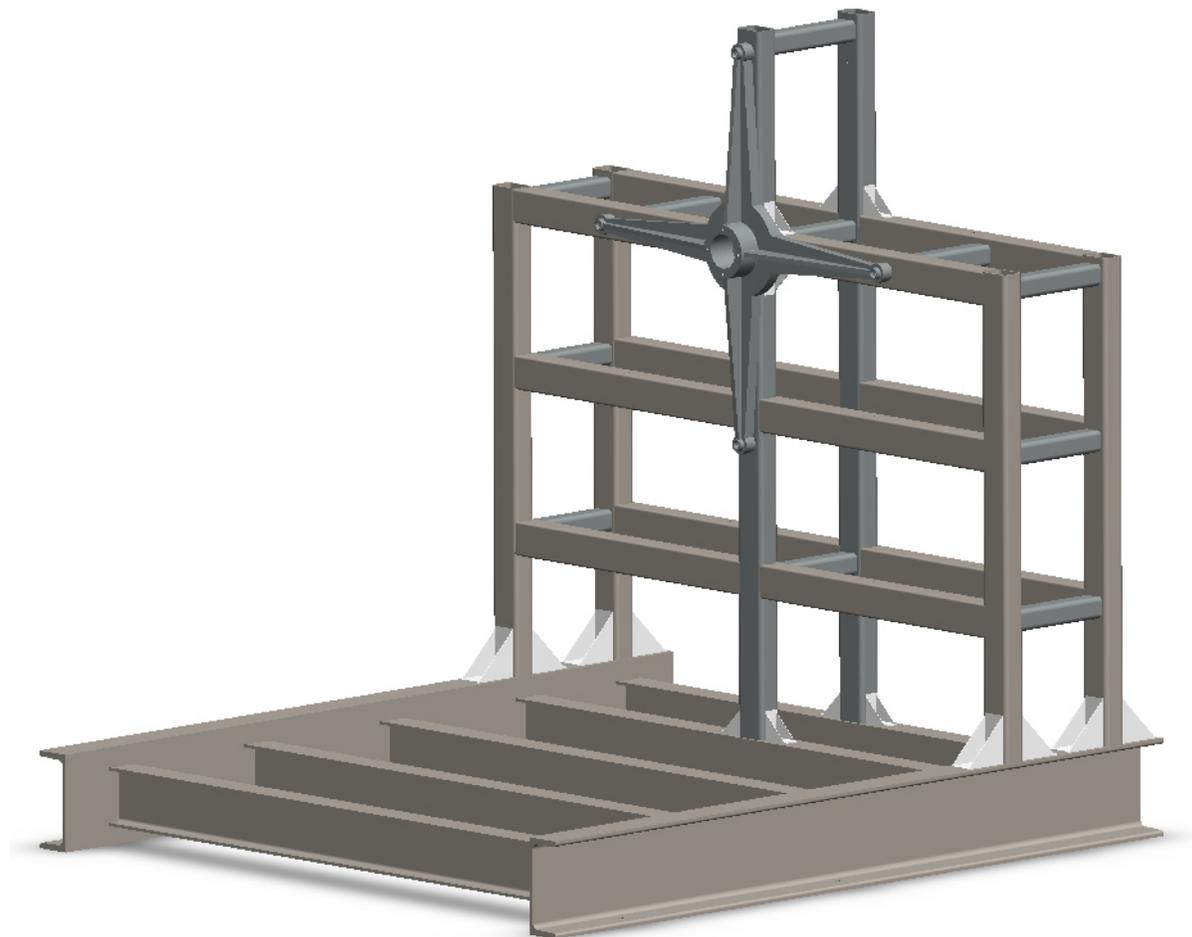


**Figura 40:** Molde abierto con el producto acabado. Fuente: Original.

## 4.2. CÁLCULO ESTÁTICO:

Con el fin de realizar los cálculos estáticos de la máquina, sin requerir un hardware y software potente, se decide realizar una simplificación a la bancada. Gracias a esta simplificación se puede disponer de los datos necesarios para observar su comportamiento bajo cargas estáticas.

### 4.2.1. CÁLCULO DE LA BANCADA:



**Figura 41:** Bancada simplificada para el cálculo. Fuente: Original

Para realizar el cálculo de la bancada, se ha simplificado de la siguiente manera:

- Retirada de los perfiles diagonales de la parte superior y los puntos de izado.
- La bandeja central que, a pesar de dotar de rigidez, se ha considerado que se podía omitir.
- Tampoco se han considerado el cálculo de uniones atornilladas en el desarrollo del diseño.

Todos estos elementos se han retirado, con el fin de estudiar solamente los elementos más solicitados. Considerar todos los elementos, harían que los resultados mejorasen ligeramente ya que dotan de mayor rigidez a la estructura, pero su estudio sería más complejo a nivel de software.

Además, se puede observar cómo a la bancada se ha añadido la cruz fija, ya que en la bancada que llega del calderero, no está implementada, sino que se deberá montar cuando se monten los diferentes arboles del eje principal. Todo este cuerpo se puede considerar una pieza fija, ya que todas sus partes están soldadas entre sí, lo que otorgará una unión rígida considerable.

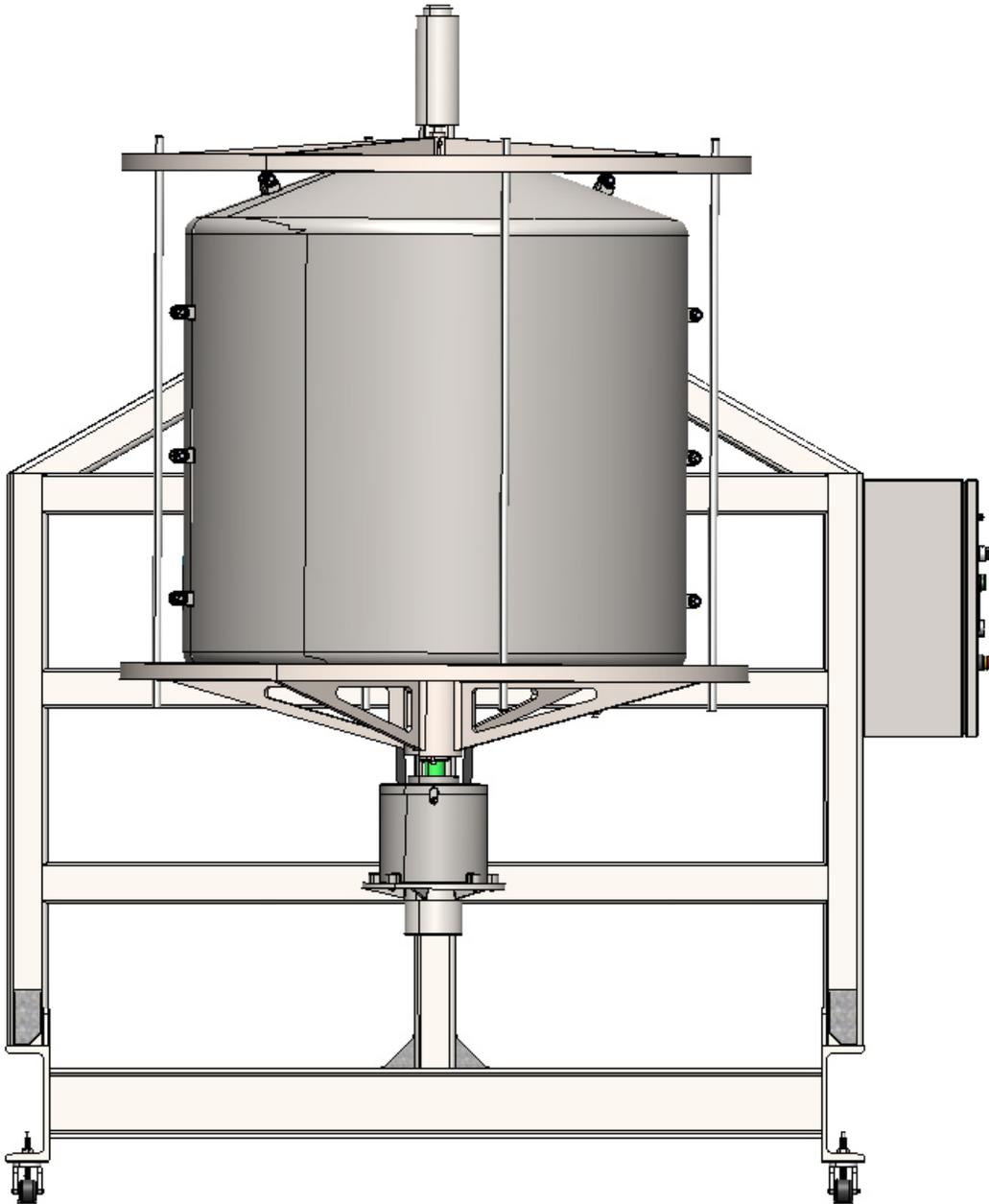
Para el cálculo de la bancada primero se ha querido hacer un caso sencillo que, calculando la masa de todo lo que cuelga de la cruz fija, alrededor de 2000 Kg más o menos, se han querido redondear pesos para tener un cálculo más sencillo.

Además, se han calculado las fuerzas teniendo en cuenta la velocidad angular del molde, la fuerza que generará la estructura por el simple hecho de girar, y se han supuesto 50N, como se puede apreciar en las siguientes figuras. Todos estos esfuerzos, se han querido poner en el punto del centro de masas de la máquina, que se encuentra prácticamente a la altura del molde, acercándose más a la reductora de la parte auxiliar.

Por otro lado, también se ha tenido en cuenta el arranque y parada de la máquina, desde cero y a cero, respectivamente. Este par torsor se ha calculado de la siguiente manera: teniendo en cuenta un kilogramo de granza cruda y el punto del centro de masa a una altura de alrededor de 400 mm con 2000 kg de peso, se ha llegado a un par de 810Nm.

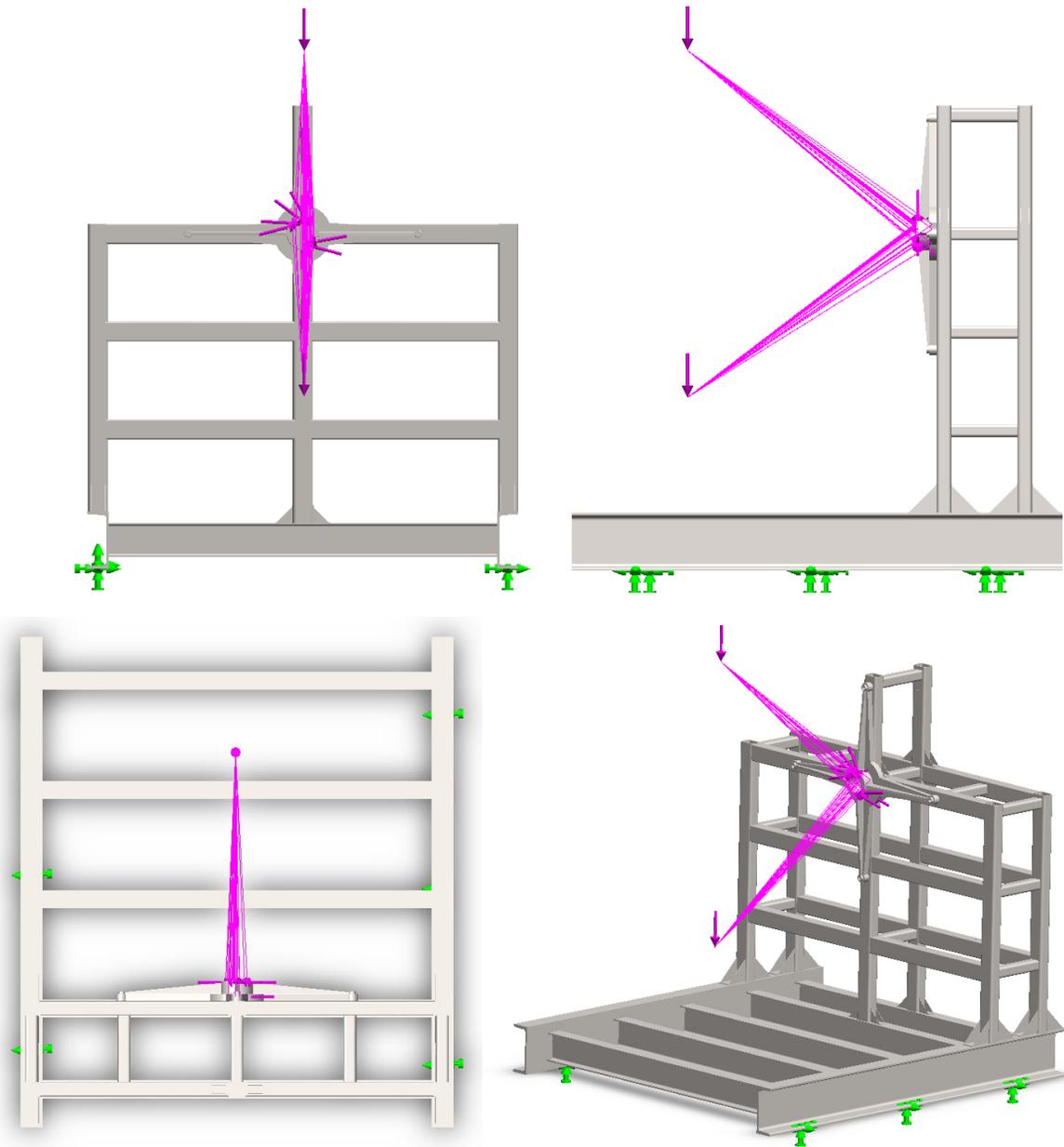
Es importante decir, que la bancada estará apoyada en el suelo en los seis puntos en los que se encuentran las patas niveladoras que se comentaron anteriormente.

## A. CASO 1. Posición inicial



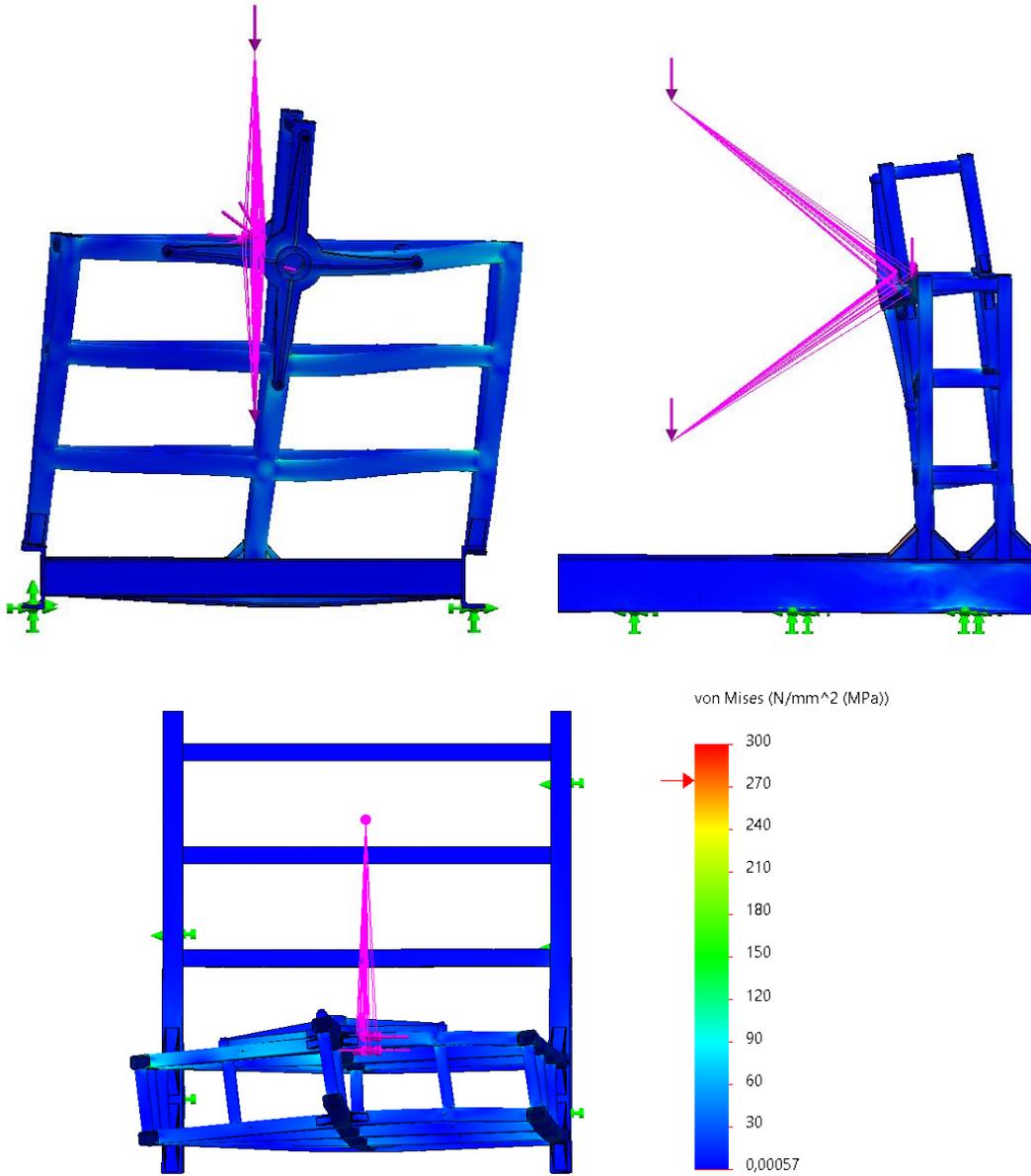
**Figura 42:** Vista frontal. Posición inicial

El caso número 1, se ha llevado a cabo en la posición que podemos observar en la figura 42. Las cargas aplicadas, se pueden ver en la figura 43 las cuales son el peso propio, la fuerza torsional de arranque y la fuerza inercial del cuerpo central. Todo este estudio, para un instante de tiempo igual a cero.



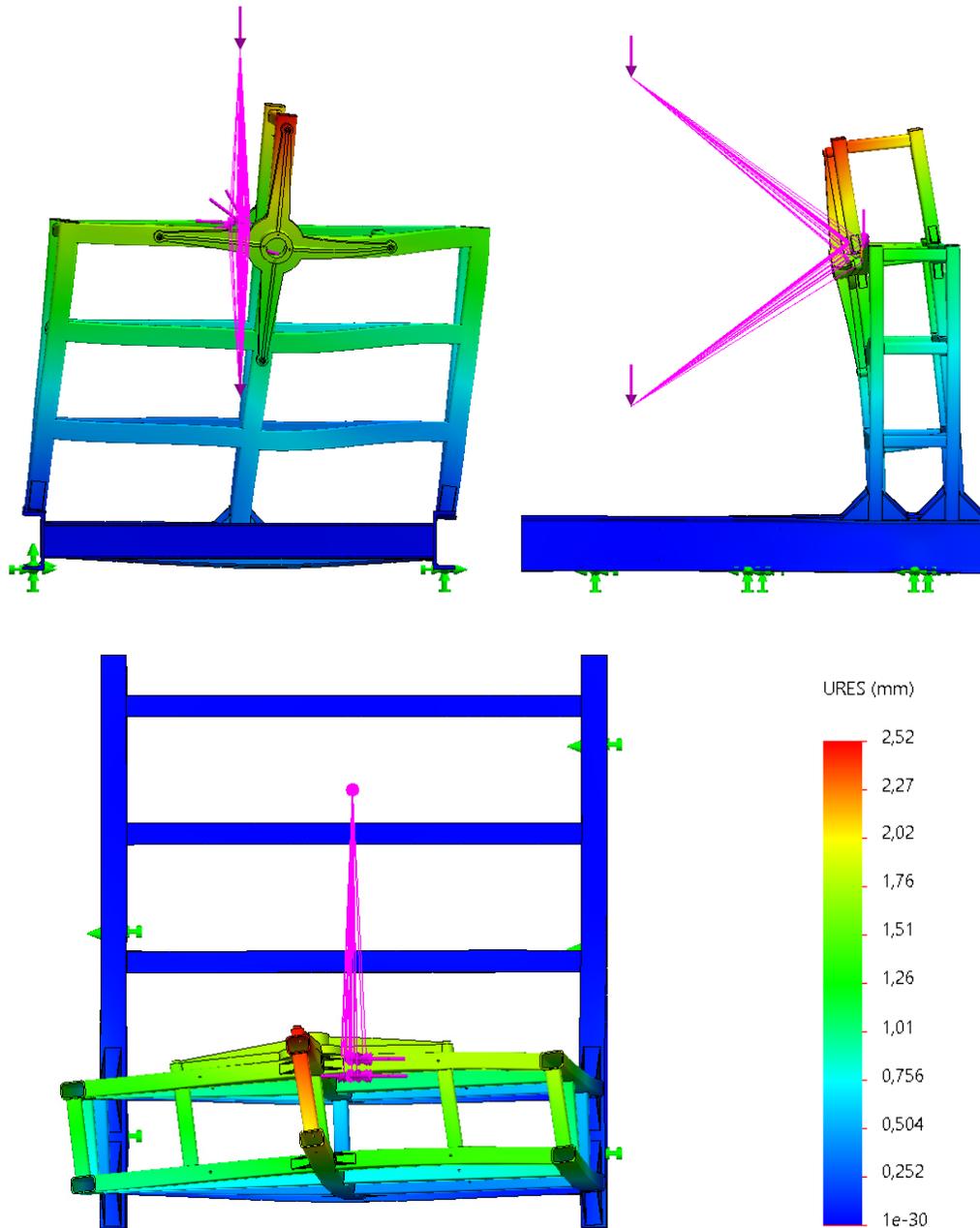
**Figura 43:** Posición cargas. Caso1. Fuente: Original

Como comentábamos anteriormente, contamos con tres tipos de fuerzas. Aunque las veamos separadas, están dispuestas así en el cálculo para poder diferenciarlas en la imagen. Ahora bien, en este estudio, el peso propio y la fuerza centrífuga generada por el giro, coincidirían en el estudio las dos flechas que simbolizan las fuerzas. Por lo que se han dispuesto así para poder diferenciar las tres fuerzas. A continuación, podemos observar los resultados de esta disposición de cargas.



**Figura 44:** Resultados tensional de Von Mises. Caso 1 Fuente: Original

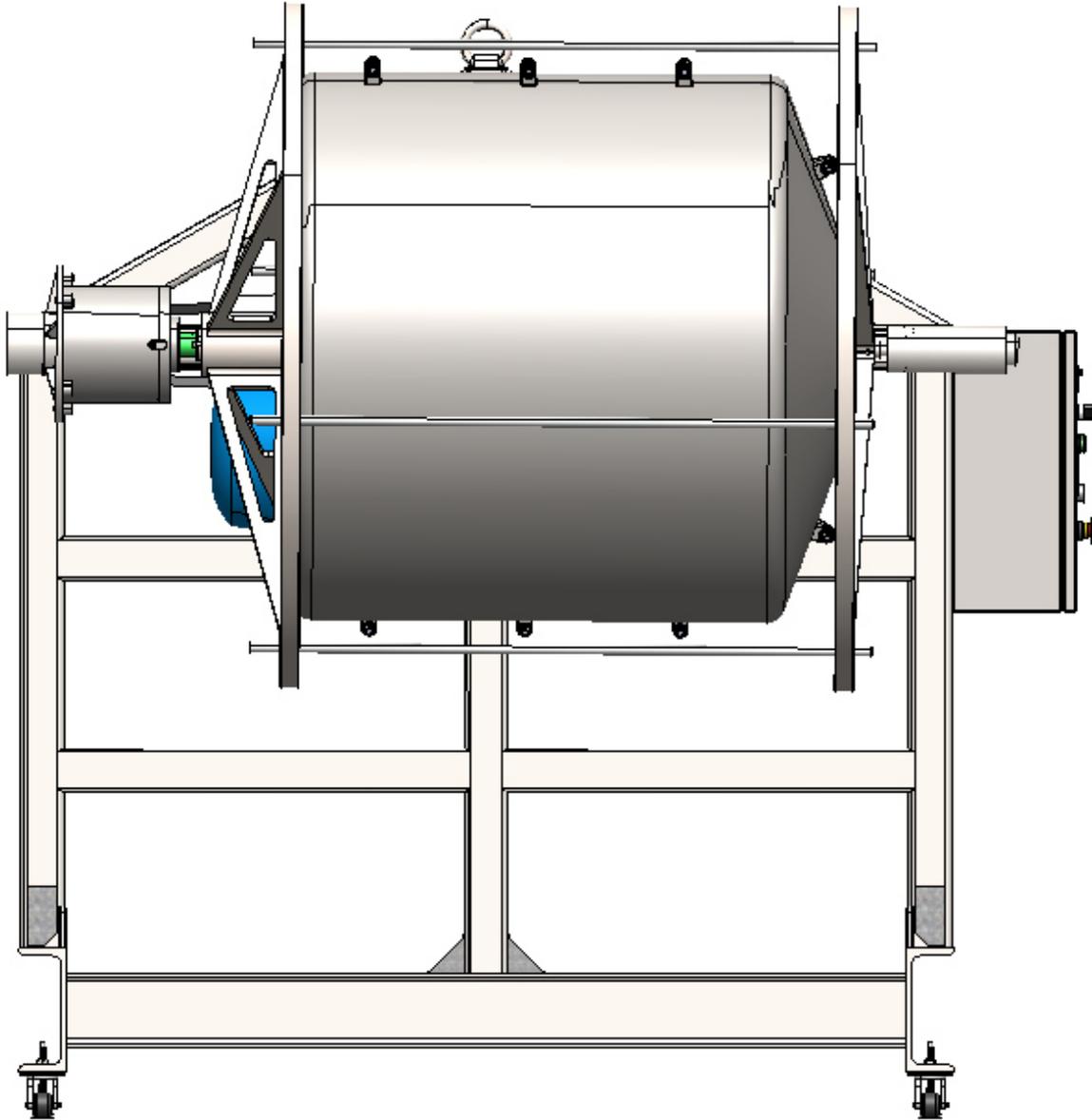
Se puede observar que, resueltas las tensiones equivalentes de Von Mises, estas no superan el límite elástico de nuestro material.



**Figura 45:** Desplazamiento producido. Caso 1. Fuente: Original

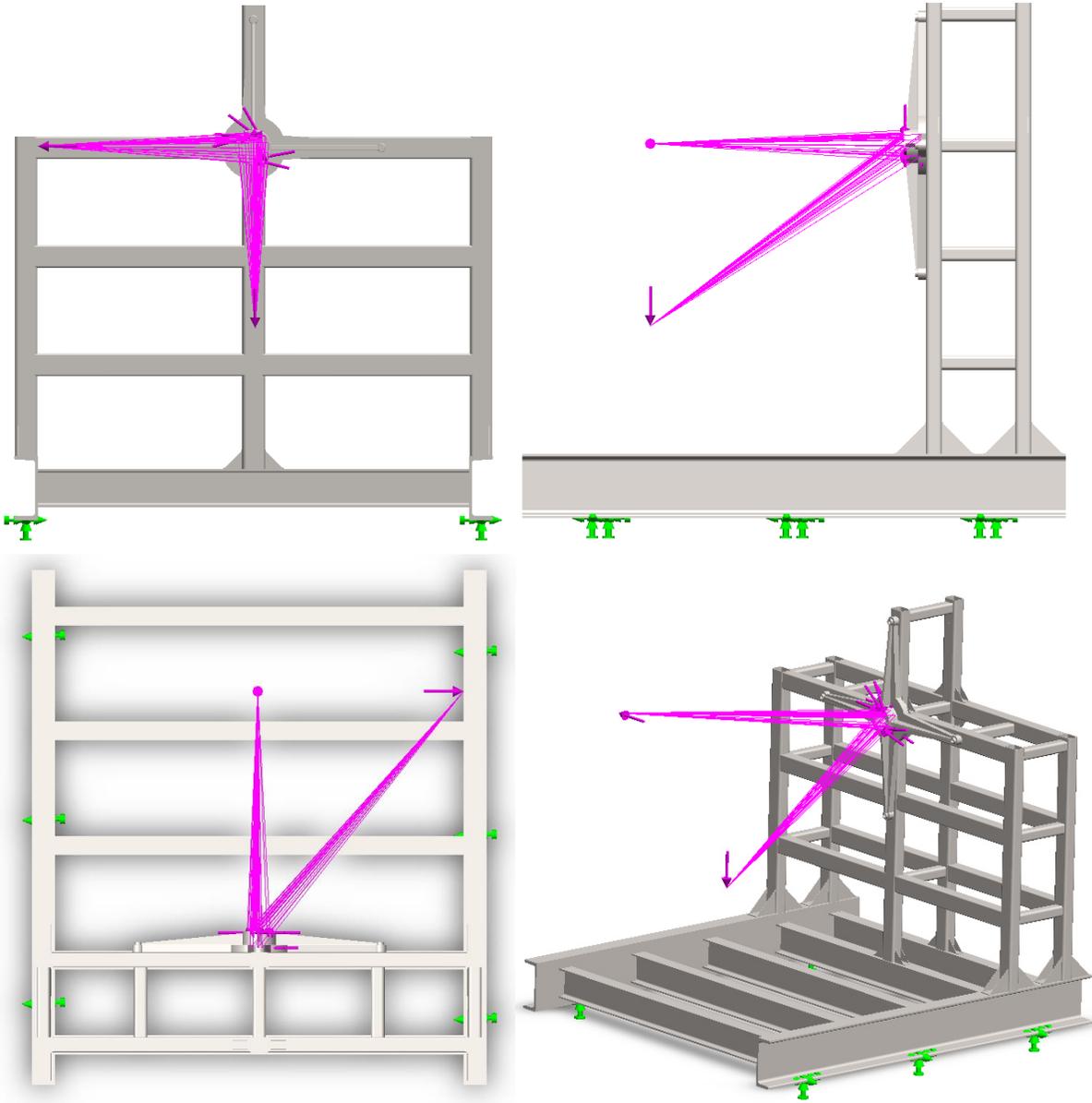
Como se aprecia en la Figura 44, las deformaciones derivadas de las cargas aplicadas a nuestro modelo, nos ofrece unos valores muy bajos, los cuales podemos prácticamente despreciar dada la envergadura y robustez de la bancada.

B. CASO 2. Posición más desfavorable.



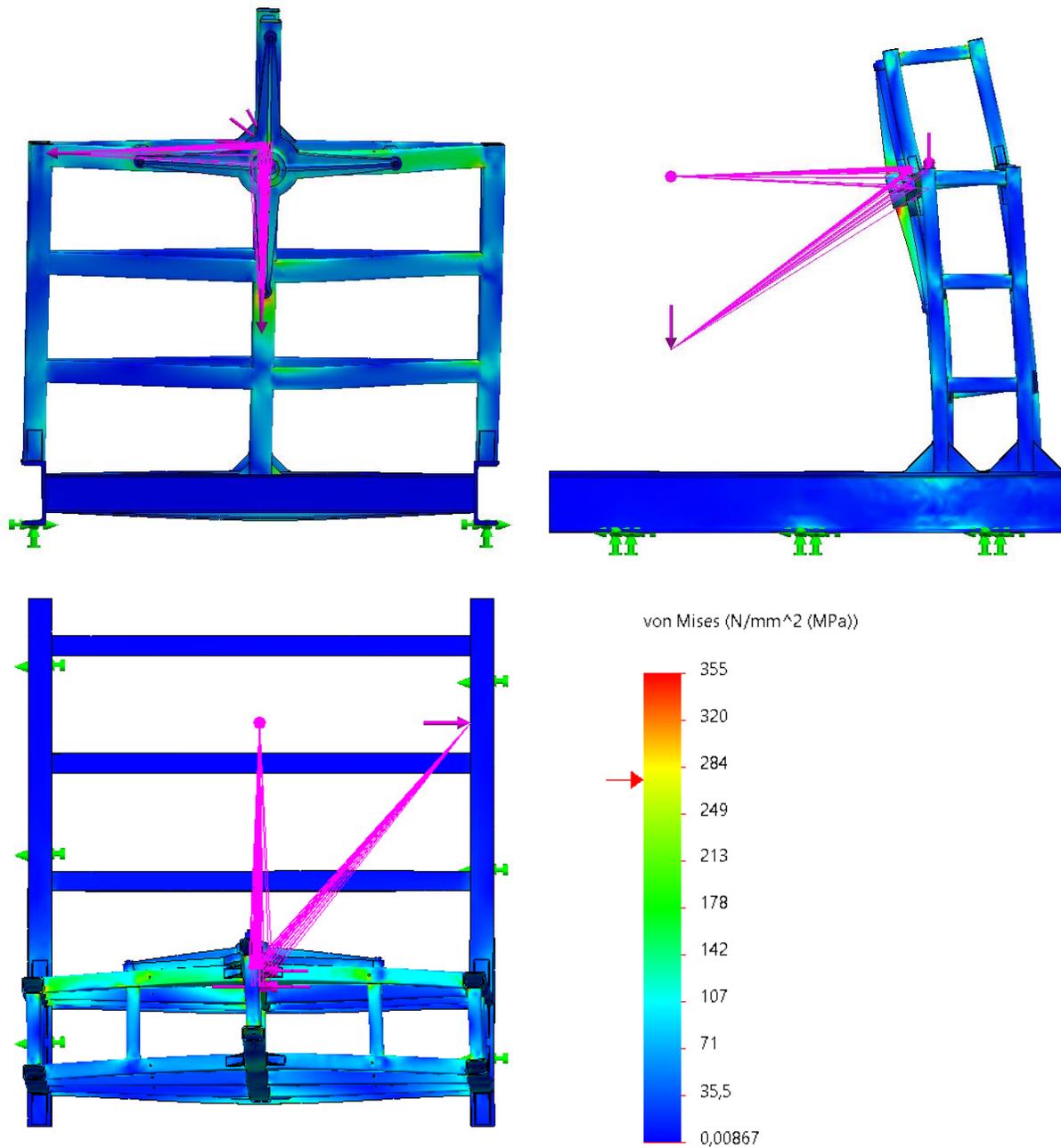
**Figura 46:** Vista frontal. Posición más desfavorable

Como se puede apreciar en la figura 46, este es el caso más desfavorable, debido a la posición de la máquina, ya que aumentara las solicitaciones de la maquina al máximo percibido. A continuación, presentamos la situación de las cargas, al igual que en el caso anterior.



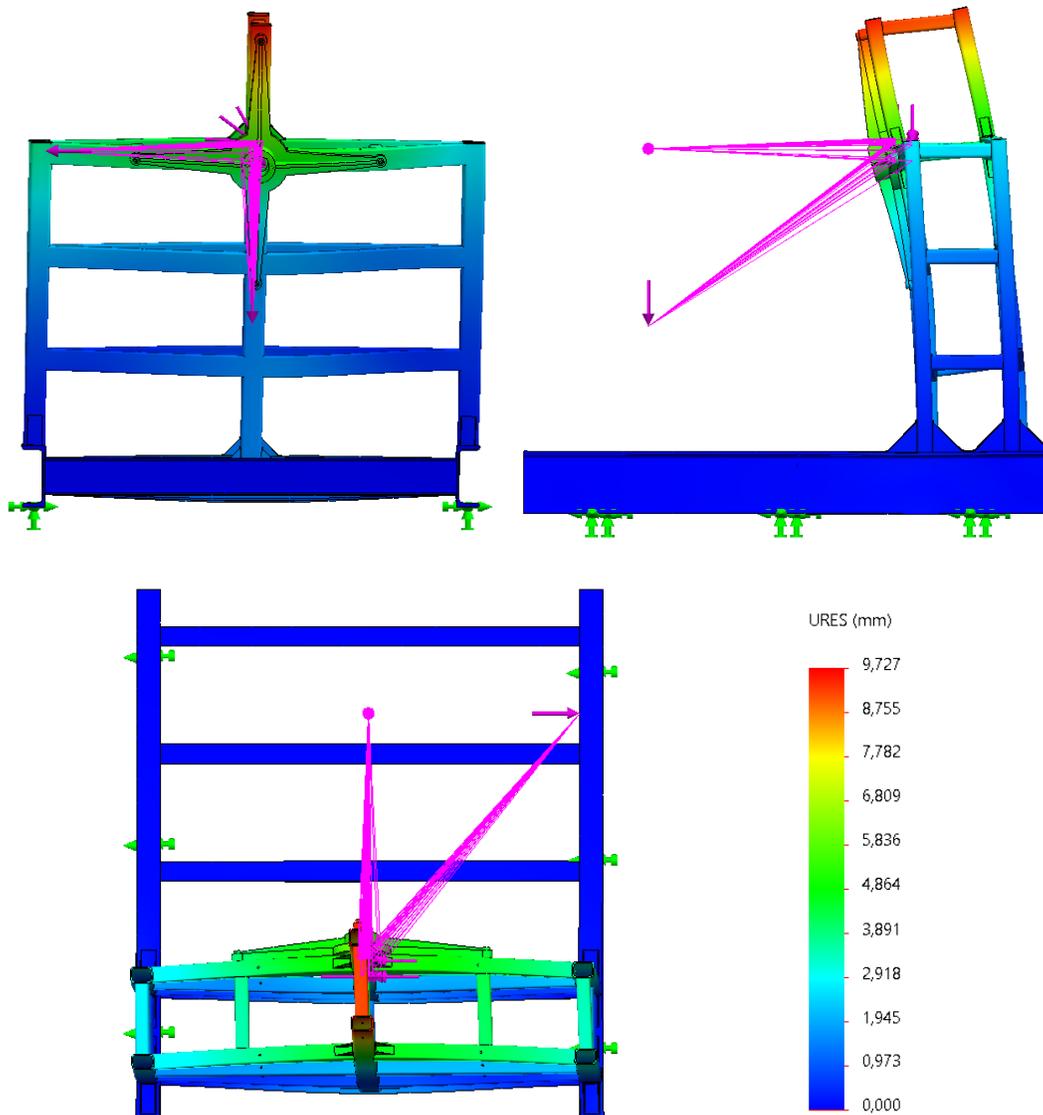
**Figura 47:** Vistas de cálculo más desfavorable. Caso 2. Fuente: Original

Los resultados de los cálculos son los siguientes:



**Figura 48:** Resultados de las tensiones de Von Mises. Caso 2. Fuente: Original

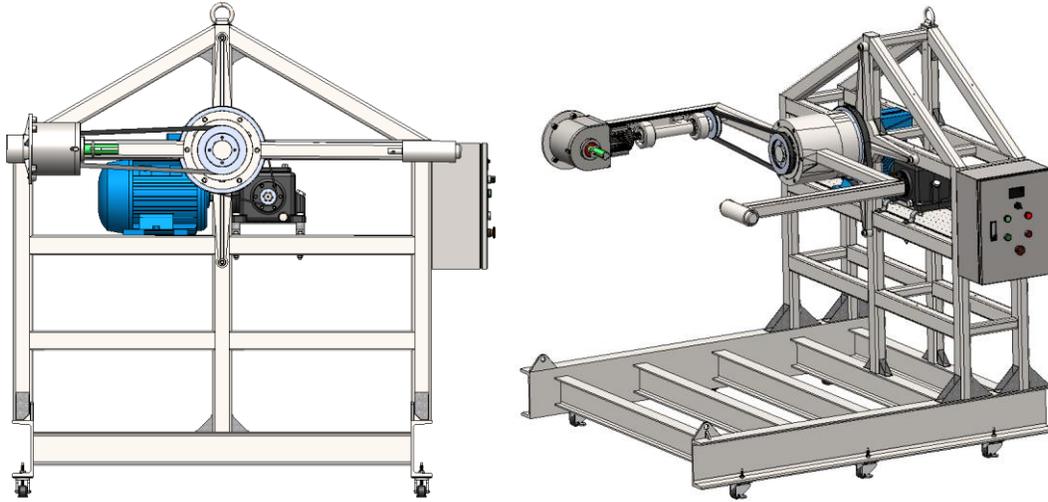
Podemos apreciar a simple vista, en la figura 48, que las tensiones de Von Mises, para la situación mas desfavorable, tampoco superan su límite elástico.



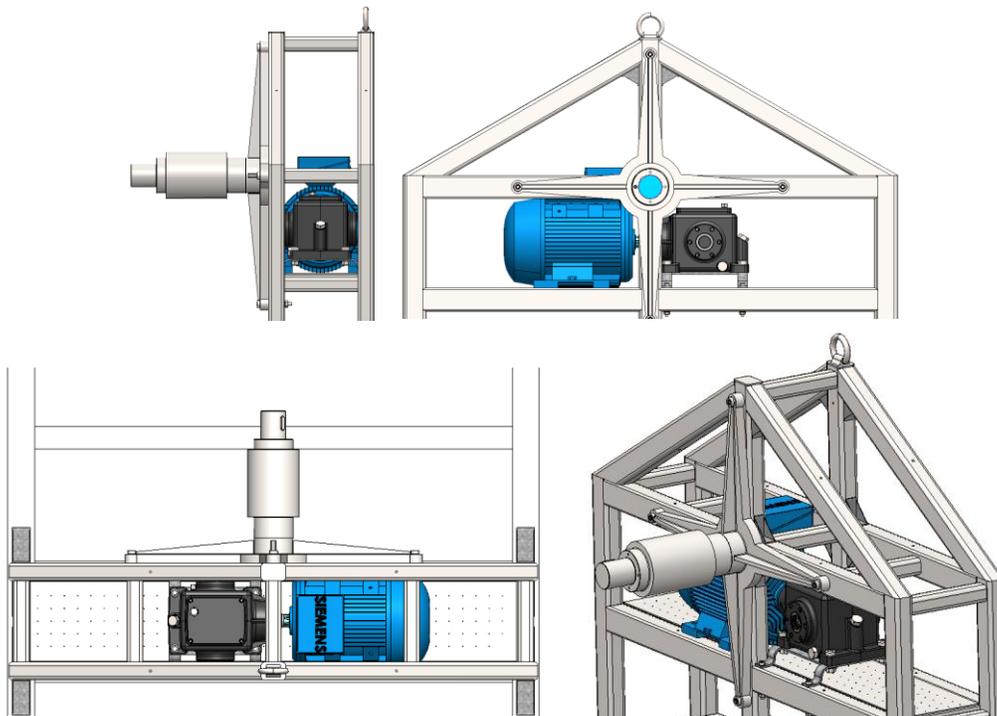
**Figura 49:** Desplazamiento producido. Caso 2. Fuente: Original.

Estos cálculos, nos indican que la bancada diseñada, para nuestro prototipo, no llegara al límite de rotura, ni tampoco a deformaciones permanentes, ya que no supera su límite elástico. Por ello, pasamos al siguiente cálculo que será calcular el árbol principal en voladizo, es decir, calcular el árbol que soportará toda la carga de los brazos y del tambor.

#### 4.2.2. CÁLCULO DEL ÁRBOL PRINCIPAL:

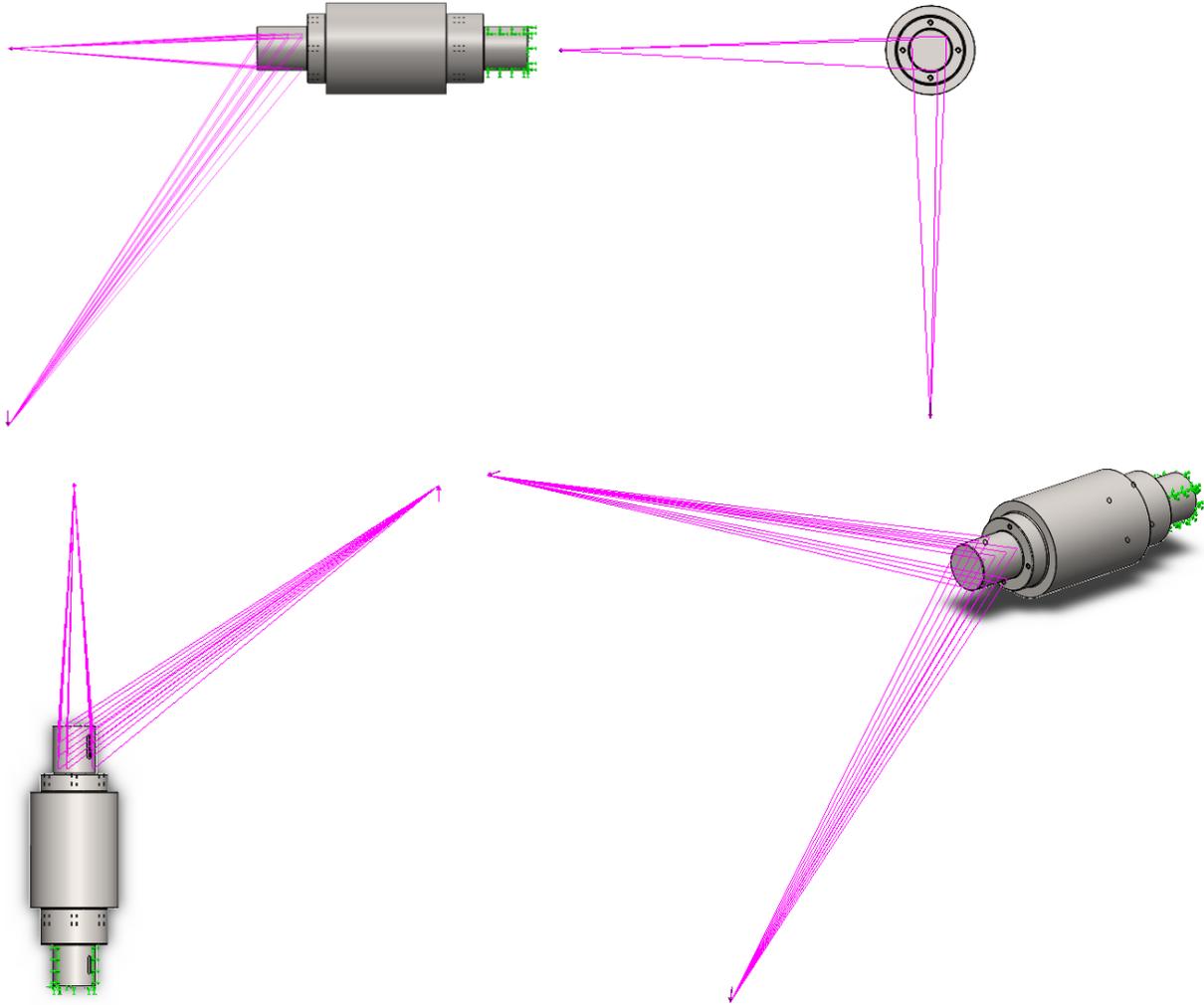


**Figura 50:** Vista general Voladizo. Fuente: Original

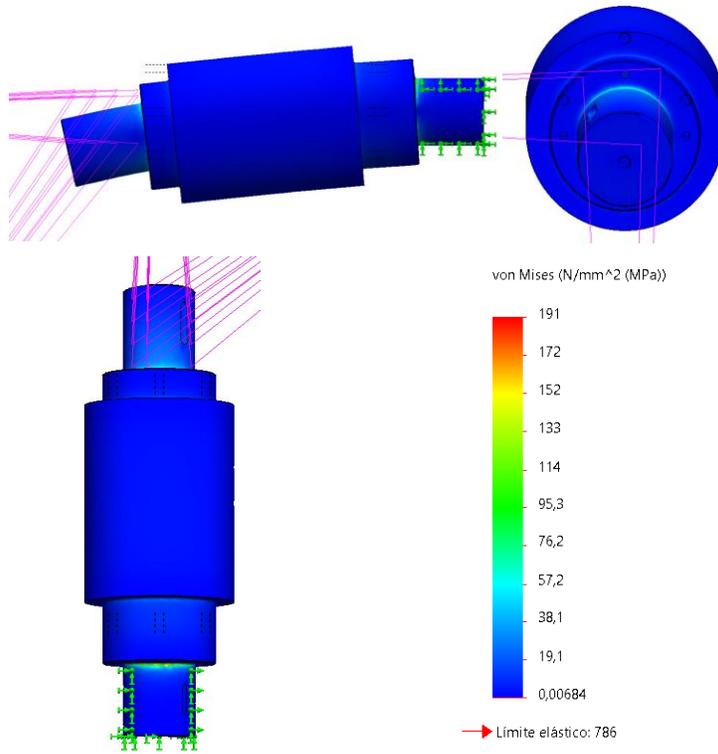


**Figura 51:** Vistas del árbol principal. Fuente: Original

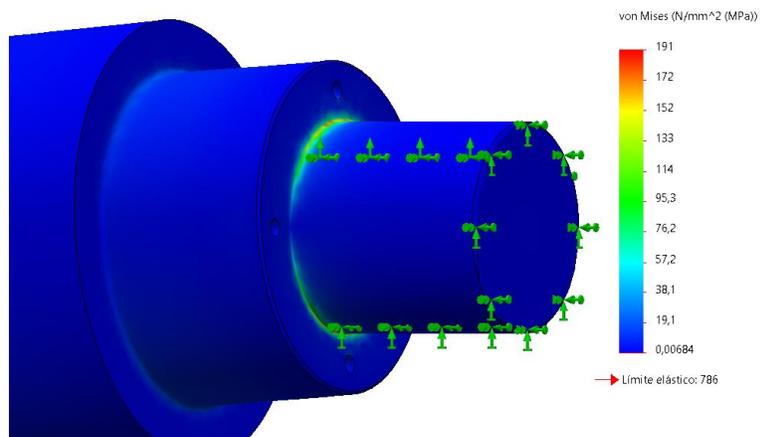
El estudio que vamos a llevar a cabo, como vemos en la figura 50 y 51, es del árbol principal, que se encuentra fijado a la estructura de la bancada. Las cargas aplicadas son: cargas de peso propio y cargas inerciales, para tiempo igual a cero. Podemos ver estas cargas en la figura 52.



**Figura 52:** Vistas de aplicación de cargas al árbol en voladizo. Fuente: Original



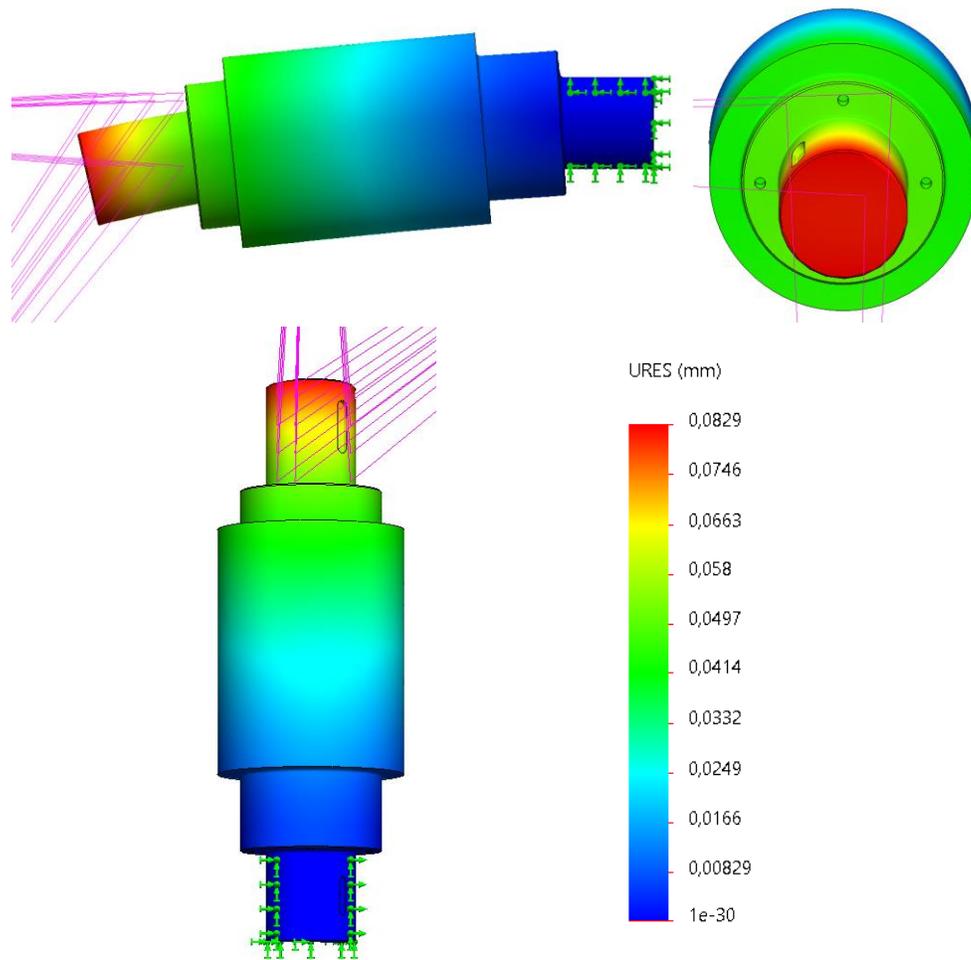
**Figura 53:** Tensiones de Von Mises. Fuente: Original



**Figura 54:** Solicitación de máxima tensión del apoyo empotrado. Fuente: original

En base a las cargas aplicadas en la situación más desfavorable, podemos observar que las tensiones de Von Mises no superarán el límite elástico del material. Entonces las deformaciones que puedan surgir, serán de tipo elásticas, sin llegar a deformaciones que interfieran al correcto funcionamiento de la máquina.

El punto de más sollicitación del árbol principal de la máquina es el empotramiento, ya que se ejerce una palanca de 2000 kg a una distancia de 0.6m, que es la fuerza que más va a solicitar esfuerzo. Por ello, principalmente, se ha querido ver el estudio estático de este árbol en particular.



**Figura 55:** Vistas del estudio del desplazamiento. Fuente: Original

El estudio estático muestra que con el esfuerzo al que se somete al árbol, se va a ver desplazado menos de un milímetro.

### 4.3. CÁLCULO A FATIGA:

El cálculo a fatiga se va a realizar en la parte más solicitada de la máquina, que es el árbol que se empotrará a la bancada. Sabiendo que la máquina seleccionada es un prototipo, se debe tener en cuenta que tras realizar el cálculo a fatiga es posible que tengamos que hacer alguna modificación en la misma para que cumpla nuestros requerimientos.

Las solicitaciones de la bancada teniendo en cuenta que nuestro giro principal de la máquina es de 60 revoluciones por minuto, se pueden ver en las siguientes transformaciones:

$$\begin{aligned} \text{Revoluciones por minuto} &= 6 \text{ rpm} \\ \text{Revoluciones por hora} &= 360 \text{ rph} \\ \text{Tiempo de fabricación} &= 15 \text{ min} \\ \text{Piezas al día} &= 8 \text{ piezas} \\ \text{Número de giros por pieza} &= \frac{360}{4} = 90 \frac{\text{rev}}{\text{pieza}} \\ \text{Número de giros por día} &= 90 \times 8 = 720 \frac{\text{rev}}{\text{día}} \\ \text{Días de trabajo al año} &= 300 \text{ días} \\ \text{Revoluciones al año} &= 300 * 720 = 216.000 \frac{\text{rev}}{\text{año}} \\ \text{Vida mínima requerida a la máquina} &= 20 \text{ años} \\ \text{Revoluciones en 20 años} &= 4.320.000 \frac{\text{rev}}{20\text{años}} \\ \text{Con el 15\% de seguridad} &= 4.968.000 \frac{\text{rev}}{20\text{años}} \approx \mathbf{5.000.000 \frac{\text{rev}}{20\text{años}}} \end{aligned}$$

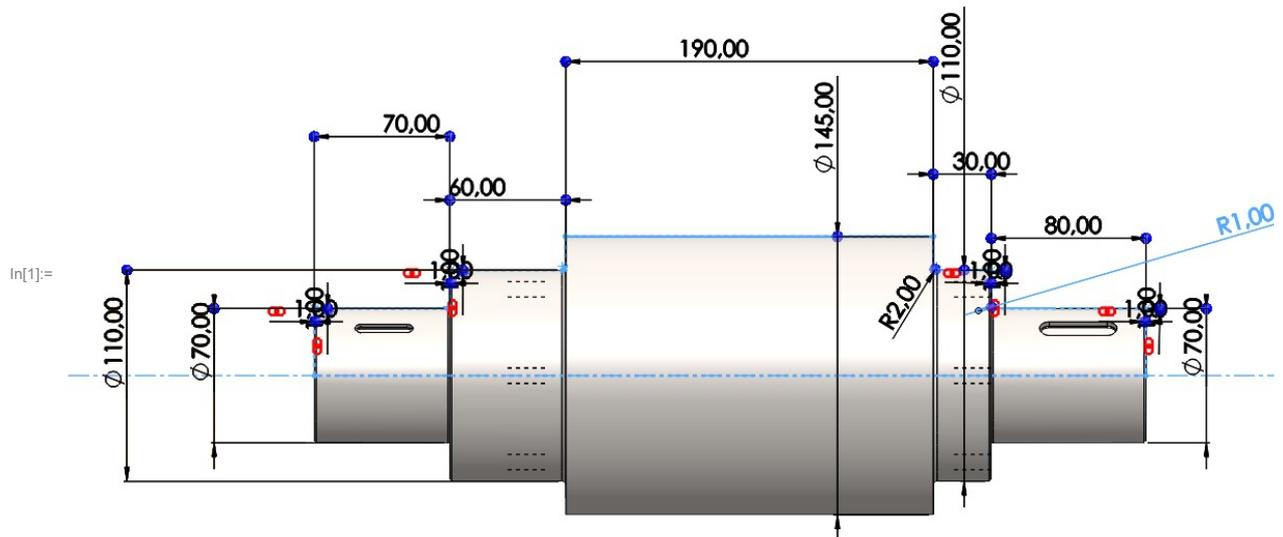
Teniendo estos cálculos en cuenta para el cálculo a fatiga, debemos tener una vida del árbol que se va a calcular infinita. Por lo que, a la hora de calcular mediante el método de Goodman, se buscará un valor de Goodman igual o superior a 1, de esta forma, dará una vida infinita en nuestro árbol.

Para este cálculo es importante observar la zona más crítica del árbol, esta zona será la más cercana al empotramiento, con un diámetro de 70 mm, un radio de 1 mm, y con un diámetro mayor de 110 mm. Es necesario el límite elástico y el límite de tracción los cuales son: 785.6 MPa y 1100.8 MPa, respectivamente. Se pueden observar los diferentes cálculos realizados mediante Wolfram Mathematica:

Analizando los cálculos realizados con el Wolfram Mathematica, podemos observar que el árbol principal no nos aportara las solicitaciones que hemos planteado anteriormente. Por ello deberemos aplicar algunas modificaciones a nuestra máquina, así mismo habrá cambiar la estructura de

nuestro árbol principal, lo que conllevará las modificaciones de diferentes piezas de la máquina, como decíamos anteriormente, comenzando por el árbol principal, que vamos a calcular mediante el mismo programa. Lo veremos posteriormente en el apartado de balance de la optimización.

# CÁLCULO ÁRBOL PRINCIPAL MÁQUINA ROTOMOLDEO



---

## FUNCIONES

In[2]:= `Clear["Global`*"]`  
borra

In[3]:= `<< Concentradores``

In[4]:= `<< FalloEstatico``

In[5]:= `<< FalloFatiga``

---

## DATOS

### CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL MATERIAL

In[6]:= `(*Acero 18CrNiMo7-6*)`

In[7]:= `Sy = 785.6 (*MPa*); (*Límite elástico del material*)`

In[8]:= `Sut = 1100.8 (*MPa*); (*Límite a la rotura del material*)`

## GEOMETRÍA DEL ARBOL

In[9]:= **dmenor = 70 (\*mm\*) ;**

In[10]:= **dmayor = 110 (\*mm\*) ;**

In[11]:= **r = 1 (\*mm\*) ;**

## RUGOSIDAD (ACABADO SUPERFICIAL)

In[12]:= **Rg = 6; (\*N6\*)**

## TEMPERATURA

In[13]:= **T = 25 (\*°C\*) ;**

## CONFIABILIDAD

In[14]:= **f = 99.9 (\*%\*) ;**

## CARGAS Y ESFUERZOS

### FUERZAS

In[15]:= **F1 = 2000 \* 9.81; (\*N, genera un MOMENTO FLECTOR\*)**  
valor numérico

### MOMENTO FLECTOR ALTERNANTE

In[16]:= **Mxymax = F1 \* 600 (\*Nmm\*) ;**

In[17]:= **Mxymin = -Mxymax (\*Nmm\*) ;**

### PAR TORSOR CONSTANTE

In[18]:= **Txz = 2001 \* 9.81 \* 600 (\*Nmm\*) ;**

# ANÁLISIS ESTÁTICO O A FLUENCIA

## TENSIONES NORMALES

In[19]:= **σx = SigmaEjeFlexion[Mxymax, dmenor] // N (\*MPa\*)**  
valor numérico

Out[19]= 349.588

## TENSIONES CORTANTES

In[20]:=  $\tau_{xz} = \text{TauEjeTorsion}[\tau_{xz}, d_{\text{menor}}] // \text{N}(*\text{MPa}*)$   
valor numéri

Out[20]= 174.881

## TENSIÓN EQUIVALENTE DE VON MISES

In[21]:=  $\sigma_{eq\text{VonMises}} = \text{Mises}[\sigma_x, \theta, \theta, \theta, \tau_{xz}, \theta] // \text{N}(*\text{MPa}*)$   
valor numéri

Out[21]= 462.56

## COEFICIENTE DE SEGURIDAD A LA FLUENCIA

In[22]:=  $n_y = \frac{S_y}{\sigma_{eq\text{VonMises}}} // \text{N}$   
valor numéri

Out[22]= 1.69837

# ANÁLISIS A FATIGA

## TENSIONES NORMALES

In[23]:=  $\sigma_{\text{max}} = \text{SigmaEjeFlexion}[M_{x\text{max}}, d_{\text{menor}}] // \text{N}(*\text{MPa}*)$   
valor numéri

Out[23]= 349.588

In[24]:=  $\sigma_{\text{min}} = \text{SigmaEjeFlexion}[M_{x\text{min}}, d_{\text{menor}}] // \text{N}(*\text{MPa}*)$   
valor numéri

Out[24]= -349.588

## TENSIONES CORTANTES

In[25]:=  $\tau_{xz\text{max}} = \tau_{xz} (*\text{MPa}*)$

Out[25]= 174.881

In[26]:=  $\tau_{xz\text{min}} = \tau_{xz} (*\text{MPa}*)$

Out[26]= 174.881

## TENSIONES MEDIAS Y ALTERNANTES

### DEBIDO A TENSIONES NORMALES

In[27]:=  $\sigma_m = \frac{\sigma_{x\max} + \sigma_{x\min}}{2}$  (\*MPa\*)

Out[27]= 0.

In[28]:=  $\sigma_a = \frac{\sigma_{x\max} - \sigma_{x\min}}{2}$  (\*MPa\*)

Out[28]= 349.588

### DEBIDO A TENSIONES CORTANTES

In[29]:=  $\tau_m = \frac{\tau_{xz\max} + \tau_{xz\min}}{2}$  (\*MPa\*)

Out[29]= 174.881

In[30]:=  $\tau_a = \frac{\tau_{xz\max} - \tau_{xz\min}}{2}$  (\*MPa\*)

Out[30]= 0.

## TENSIONES EQUIVALENTES MEDIAS Y ALTERNANTES

In[31]:=  $\sigma_{eqm} = \text{Mises}[\sigma_m, 0, 0, 0, \tau_m, 0]$  // N (\*MPa\*)

valor numérico

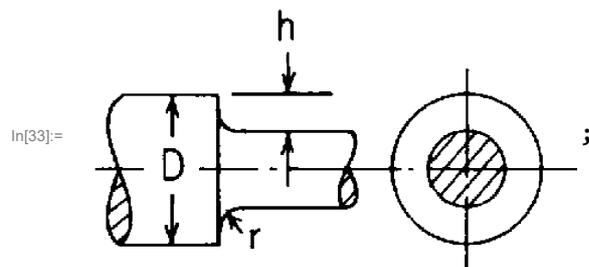
Out[31]= 302.903

In[32]:=  $\sigma_{eqa} = \text{Mises}[\sigma_a, 0, 0, 0, \tau_a, 0]$  // N (\*MPa\*)

valor numérico

Out[32]= 349.588

## CONCENTRADOR DE TENSIONES GEOMÉTRICO (Kt)



In[34]:=  $K_t = \text{KtEjeFlexionCambio}[d_{\text{mayor}}, r, \frac{d_{\text{mayor}} - d_{\text{menor}}}{2}]$  // N

valor numérico

Out[34]= 3.37778

## CONCENTRADOR DE TENSIONES GEOMÉTRICO CORREGIDO A FATIGA (Kf)

In[35]:=  $Kf = FKf["acero", Kt, Sut, r] // N$

Out[35]= 3.06044

## LÍMITE DE RESISTENCIA A FATIGA CORREGIDO (SeK)

In[36]:=  $SeK = FSeK[Rg, Sut, "flexion", dmayor, T, f, Kf]$

Out[36]= 89.6248

## COEFICIENTE DE SEGURIDAD A LA FATIGA SEGÚN LA TEORÍA DE GOODMAN (nGM)

In[37]:=  $nGM = nGoodman[\sigma_{eqm}, \sigma_{eqa}, Sut, SeK]$

Out[37]= 0.239479

## DURACIÓN

In[38]:=  $\sigma_{a0} = \text{Sigmaa0}[\sigma_{eqm}, \sigma_{eqa}, Sut] // N(*MPa*)$

Out[38]= 482.301

In[39]:=  $S1 = 0.9 * Sut (*MPa*); (*Flexión*)$

In[40]:=  $S2 = SeK (*MPa*);$

In[41]:=  $N1 = 10^3 (*ciclos*);$

In[42]:=  $N2 = 10^6 (*ciclos*);$

In[43]:=  $duracion = FNW[\sigma_{a0}, N1, N2, S1, S2] // N(*ciclos*)$

Out[43]= 7921.03

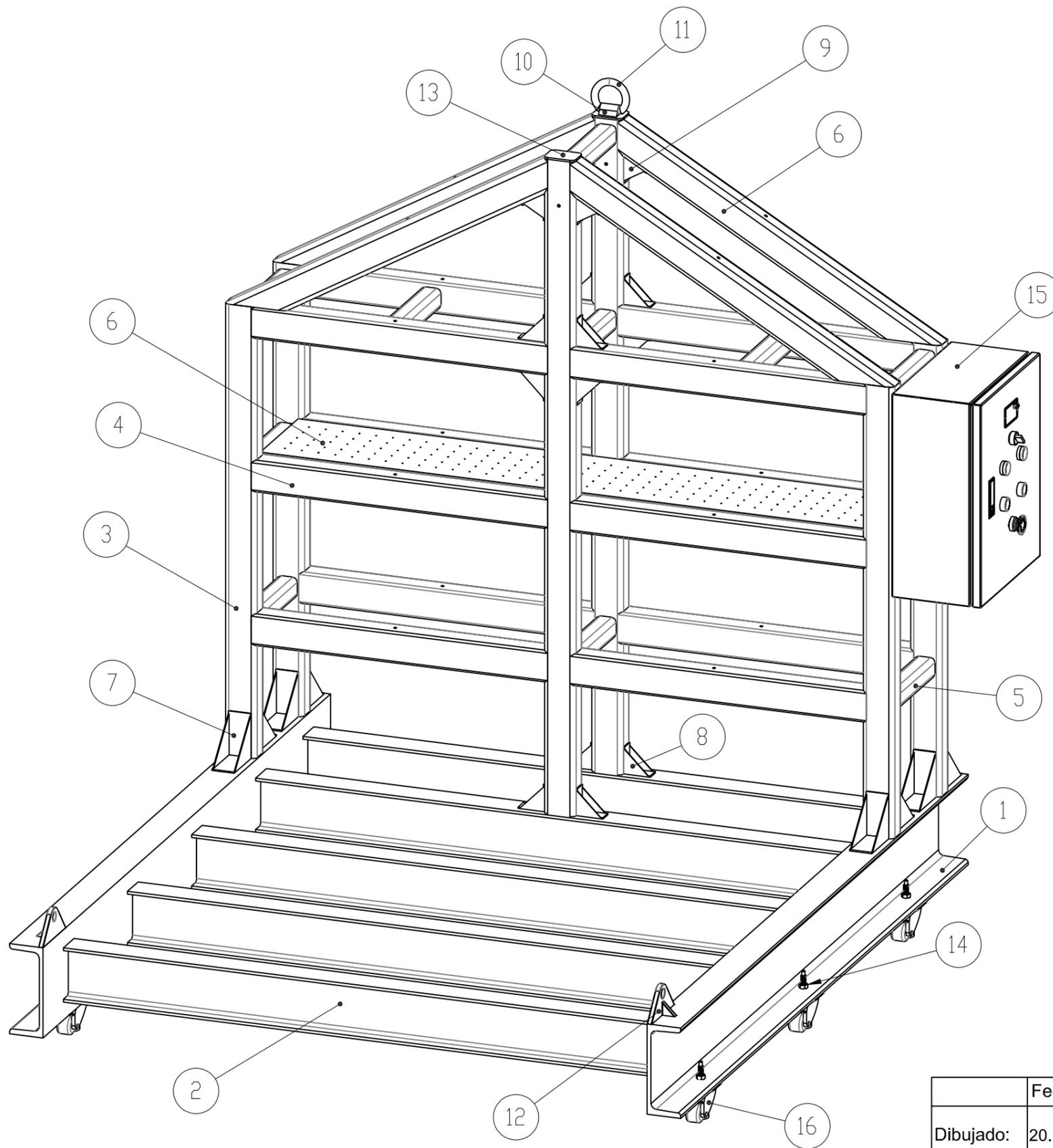




# 5. Planos

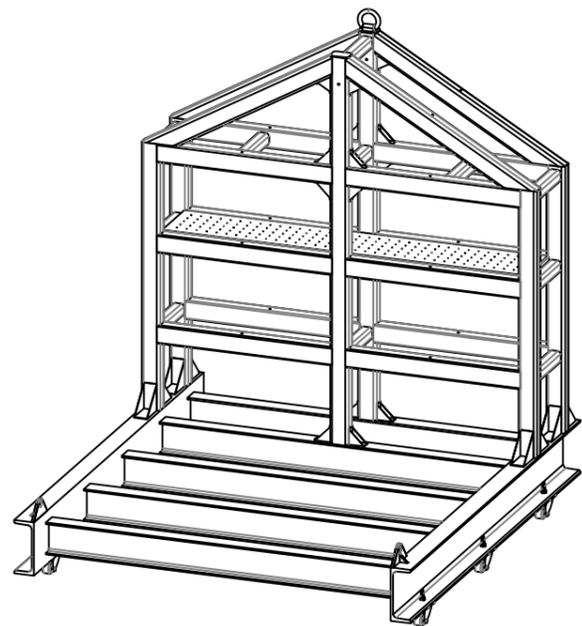
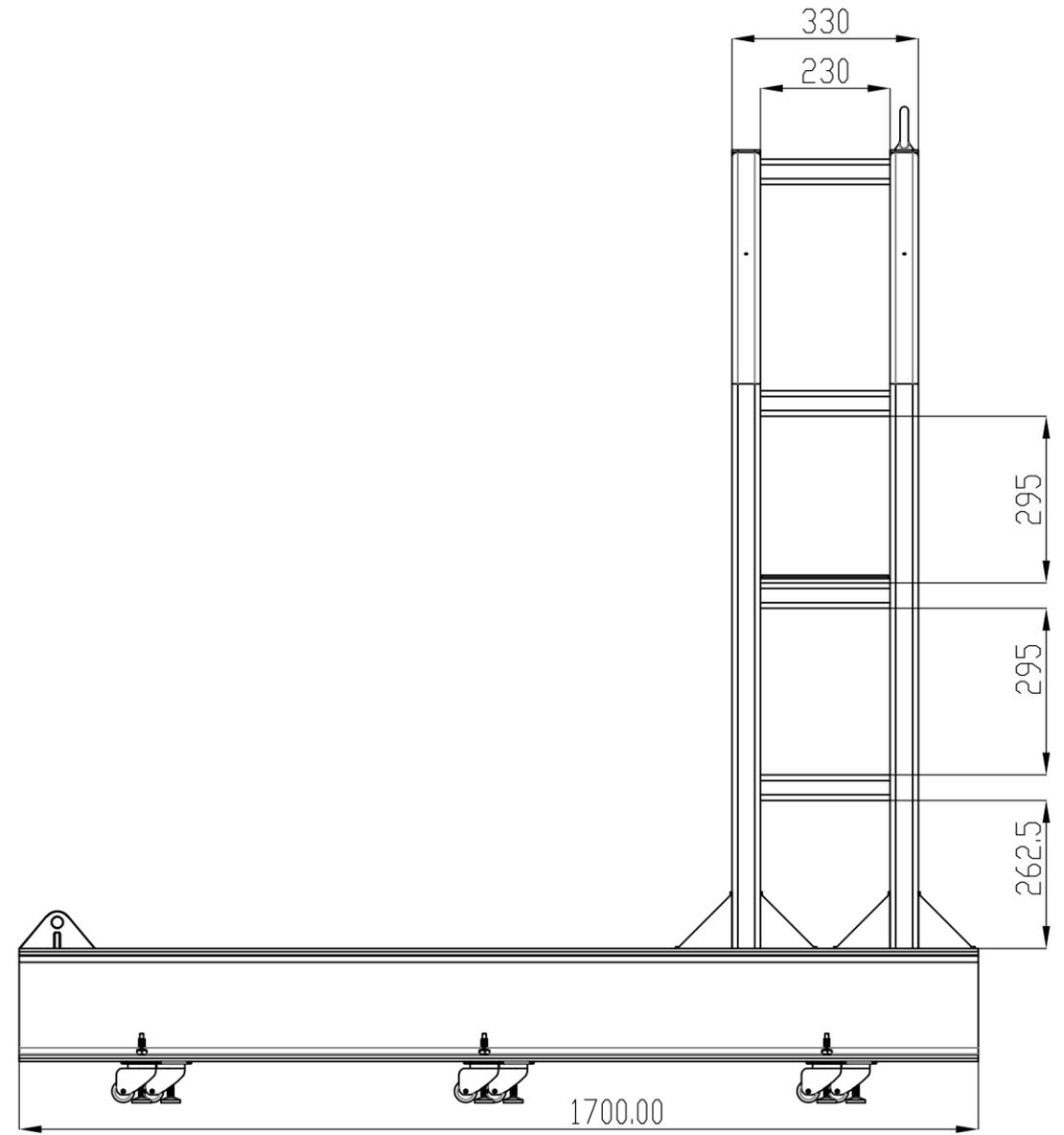
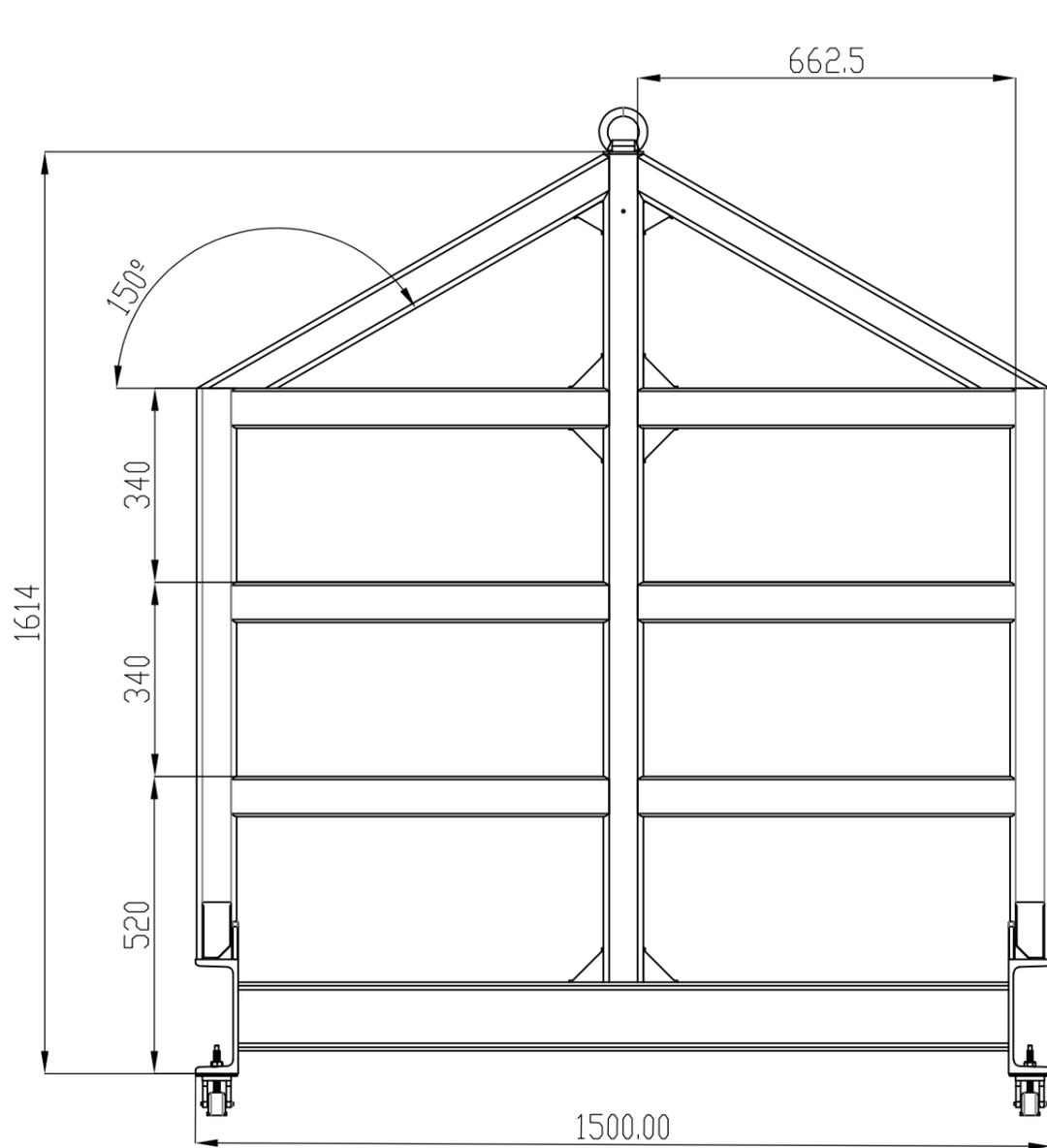


## 5. PLANOS

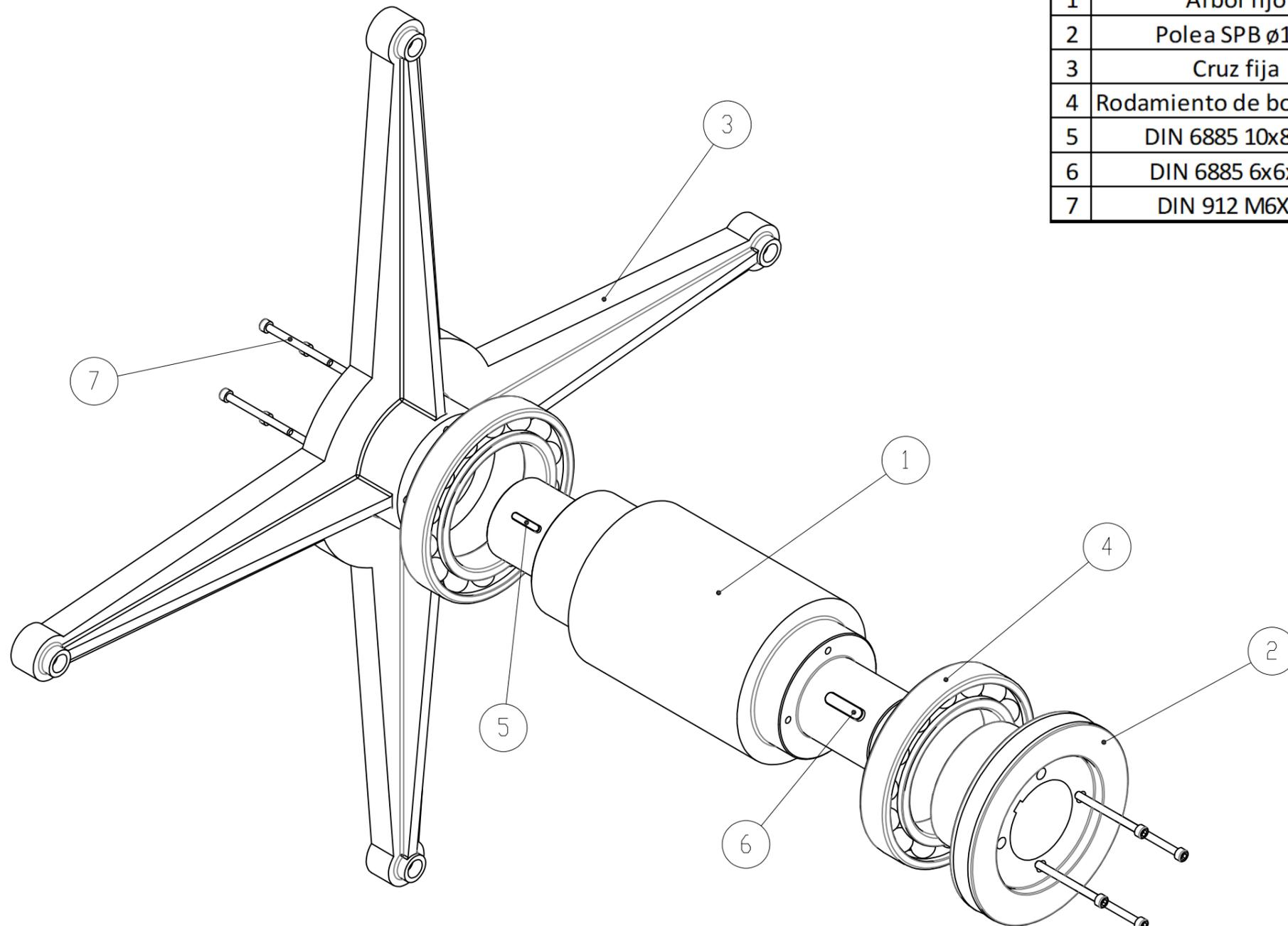


BANCADA		
NUMERACIÓN	OBJETO	MATERIAL
1	UPN 200	S355JR
2	IPE 120	S355JR
3	Rectangular hueco 70x50x4	S355JR
4	Rectangular hueco 70x50x2	S355JR
5	Perfil rectangular hueco 45x45x4	S355JR
6	Bandeja central	S235JR
7	Escuadra 50x100x3	Acero galvanizado
8	Escuadra 30x60x3	Acero galvanizado
9	Escuadra 30x60x3x60°	Acero galvanizado
10	Punto de hizado superior	S355JR
11	orquilla hizado	AISI 316L Acero Inoxidable
12	Punto de hizado inferior	S355JR
13	tapadera superior	S355JR
14	DIN 934 M10	AISI 316L Acero Inoxidable
15	Caja de control electrico	Acero galvanizado
16	Ruedas niveladoras	Acero inoxidable + Poliamida

	Fecha:	Nombre:	Firma:	 <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>
Dibujado:	20.11.2020	Llobregat Fernández, Javier		
Escala:	Título del plano:			Nº plano:
1:10	<b>COMPONENTES DE LA BANCADA</b>			01

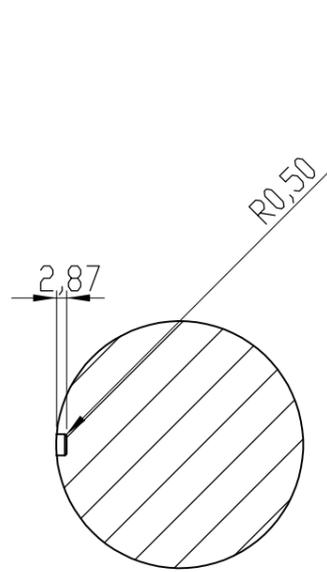
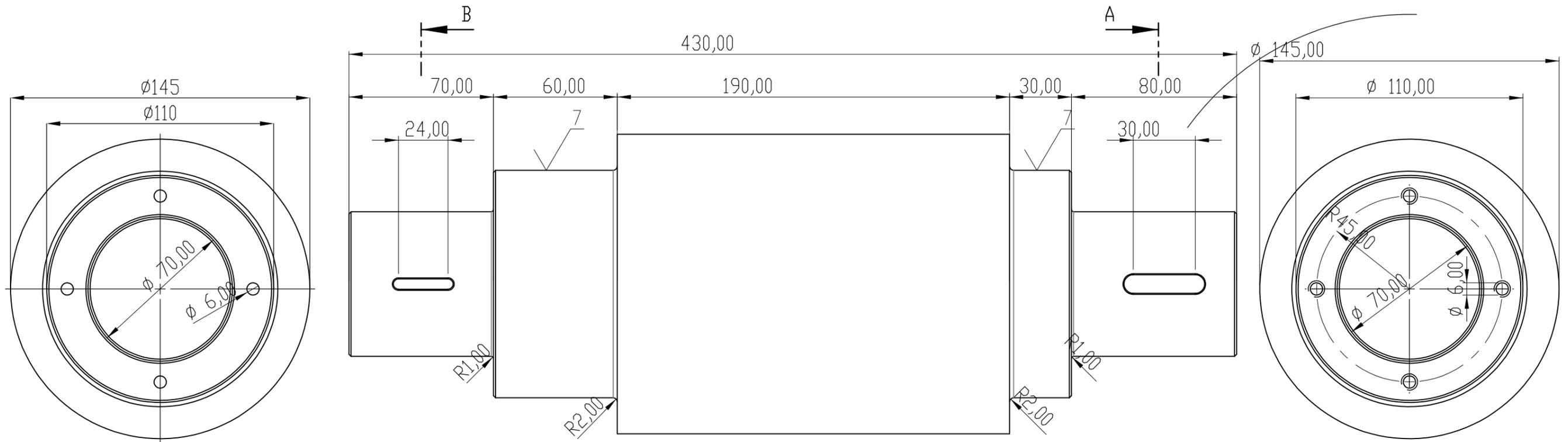


	Fecha:	Nombre:	Firma:	 <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>
Dibujado:	20.11.2020	Llobregat Fernández, Javier		
Escala:	Título del plano:			Nº plano:
1:10	<b>BANCADA</b>			02

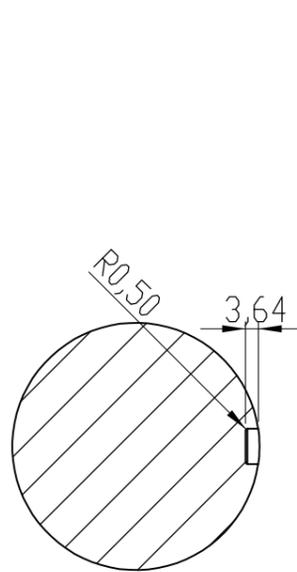


ARBOL FIJO			
Nº	OBJETO	MATERIAL	UNIDADES
1	Arbol fijo	18CrNiMo7-6	1
2	Polea SPB $\phi$ 180	EN-AW 5052	1
3	Cruz fija	S355JR	1
4	Rodamiento de bolas 6022	40CrMnMo7	2
5	DIN 6885 10x8x40	C45	1
6	DIN 6885 6x6x30	C45	1
7	DIN 912 M6X70	AISI 316L Acero inoxidable	8

	Fecha:	Nombre:	Firma:	 <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>
Dibujado:	20.11.2020	Llobregat Fernández, Javier		
Escala:	Título del plano:			Nº plano:
1:10	<b>ÁRBOL FIJO EXPLOSIONADO</b>			03

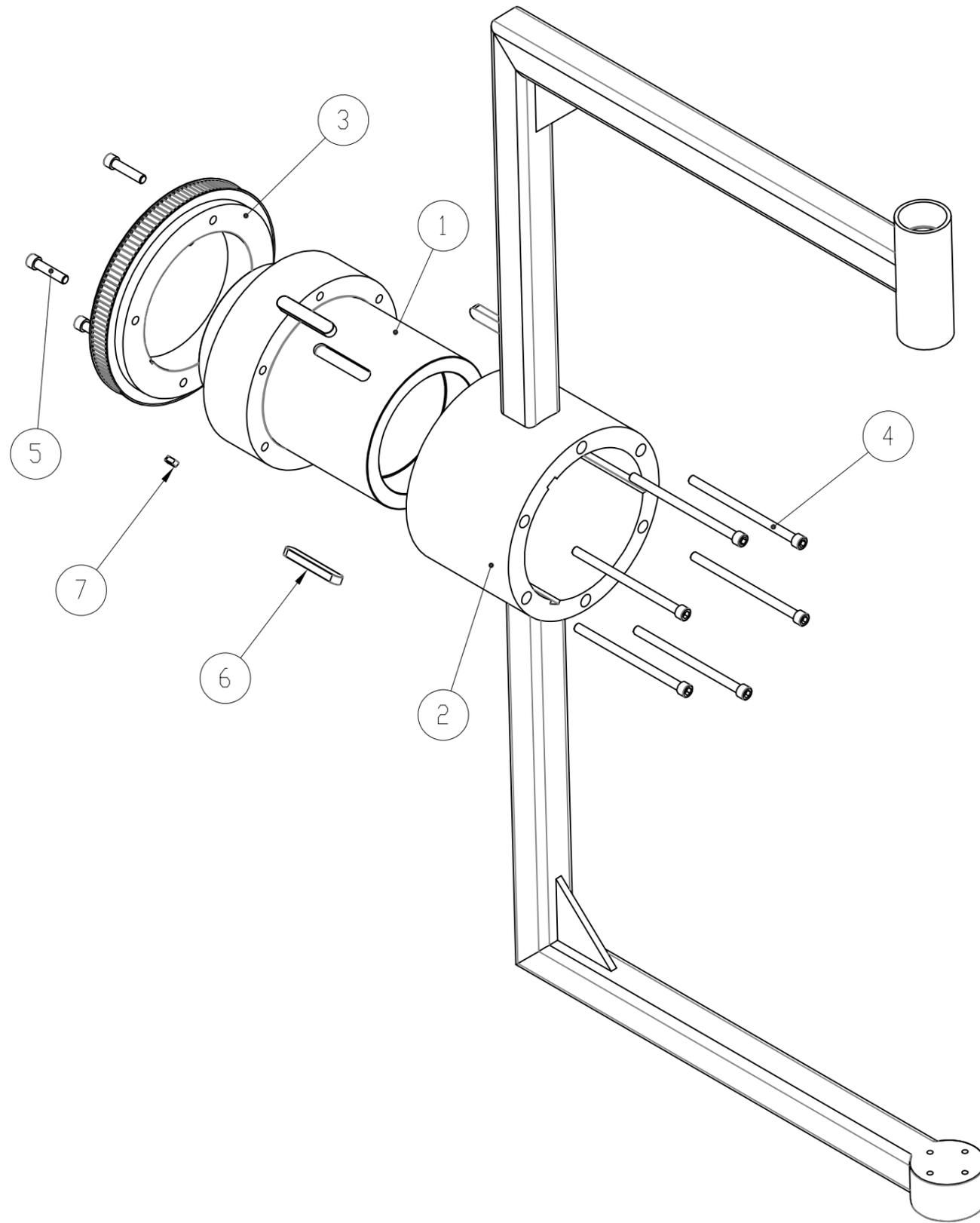


SECCIÓN B-B  
ESCALA 1 : 2



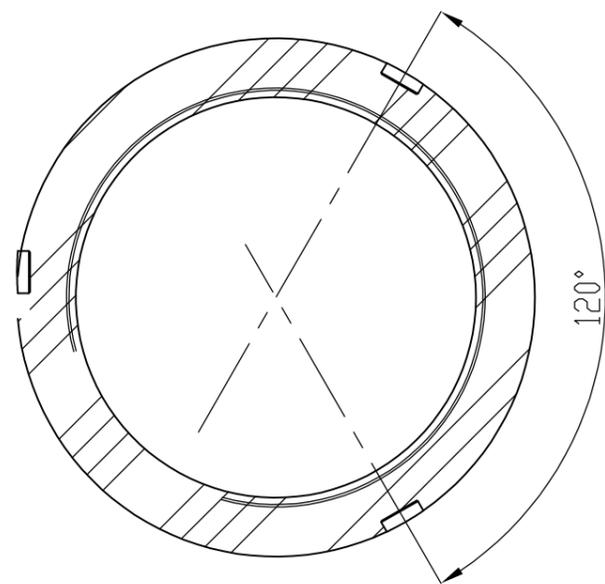
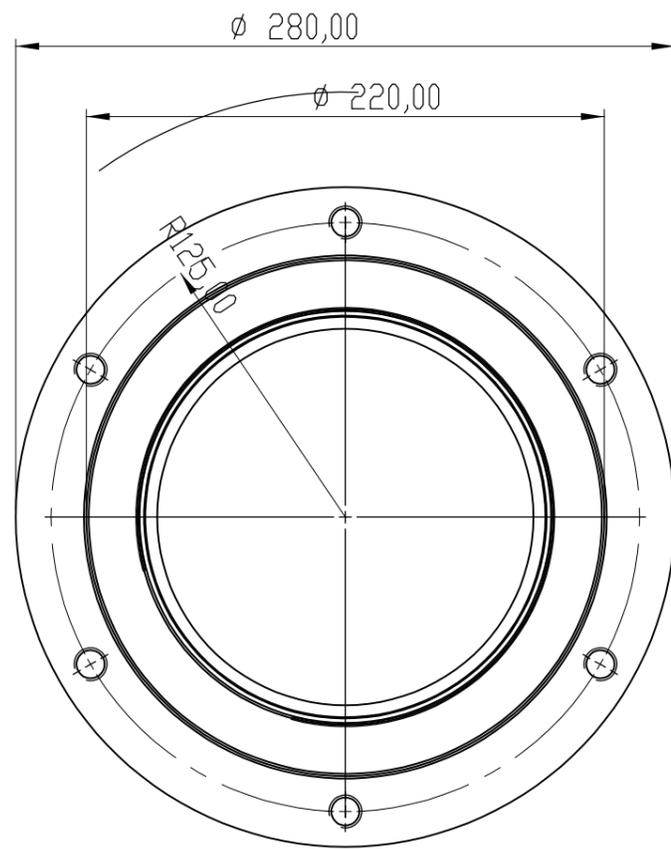
SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 2

	Fecha:	Nombre:	Firma:	 <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>
Dibujado:	20.11.2020	Llobregat Fernández, Javier		
Escala:	Título del plano:			Nº plano:
1:10	<b>ÁRBOL FIJO</b>			04

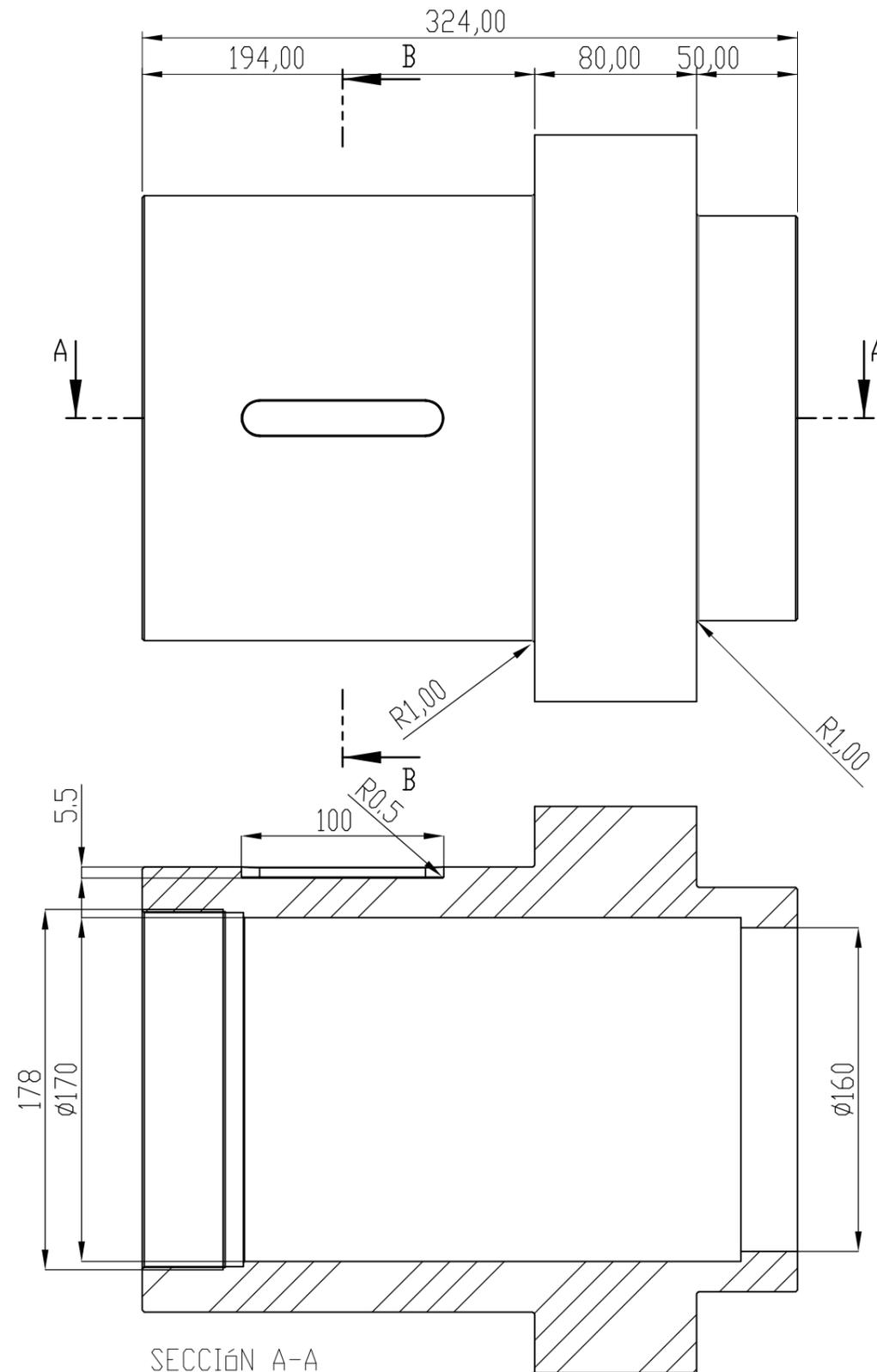


ARBOL MOVIL			
Nº	OBJETO	MATERIAL	UNIDADES
1	eje movil	C45	1
2	arbol movil	S355JR	1
3	polea dentada	EN-AW 5052	1
4	DIN 912 M12x195	AISI 316L Acero inoxidable	6
5	DIN 912 M12X53	AISI 316L Acero inoxidable	4
6	DIN 6885 18X11X100	AISI 316L Acero inoxidable	3
7	DIN 6885 8X7X20	AISI 316L Acero inoxidable	1

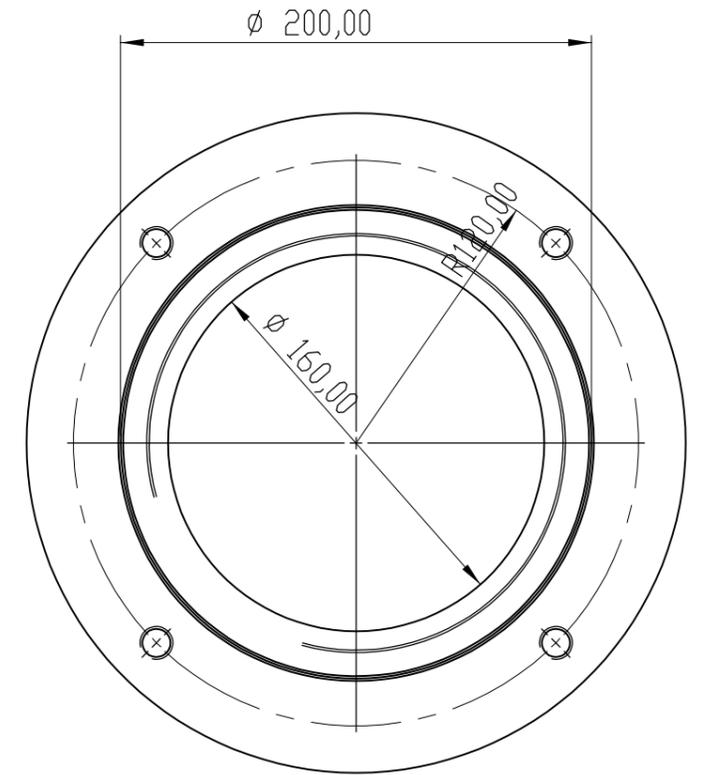
	Fecha:	Nombre:	Firma:	 <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>
Dibujado:	20.11.2020	Llobregat Fernández, Javier		
Escala:	Título del plano:			Nº plano:
1:10	<b>ÁRBOL MÓVIL EXPLOSIONADO</b>			05



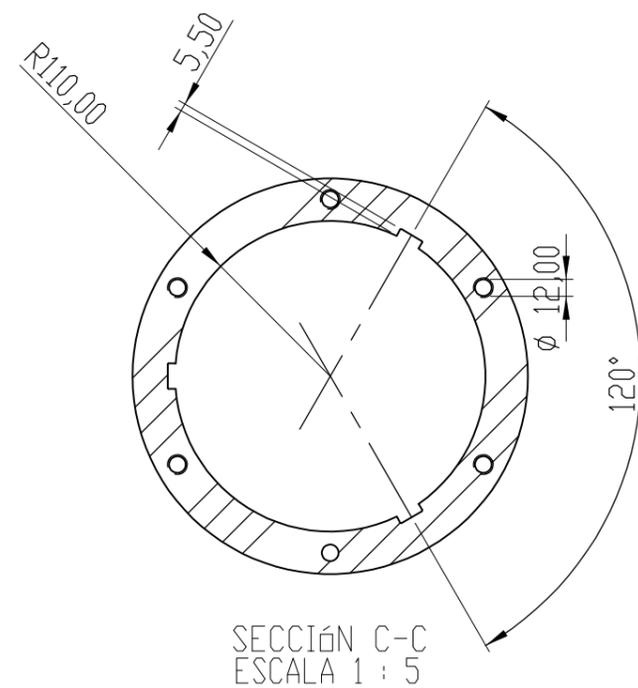
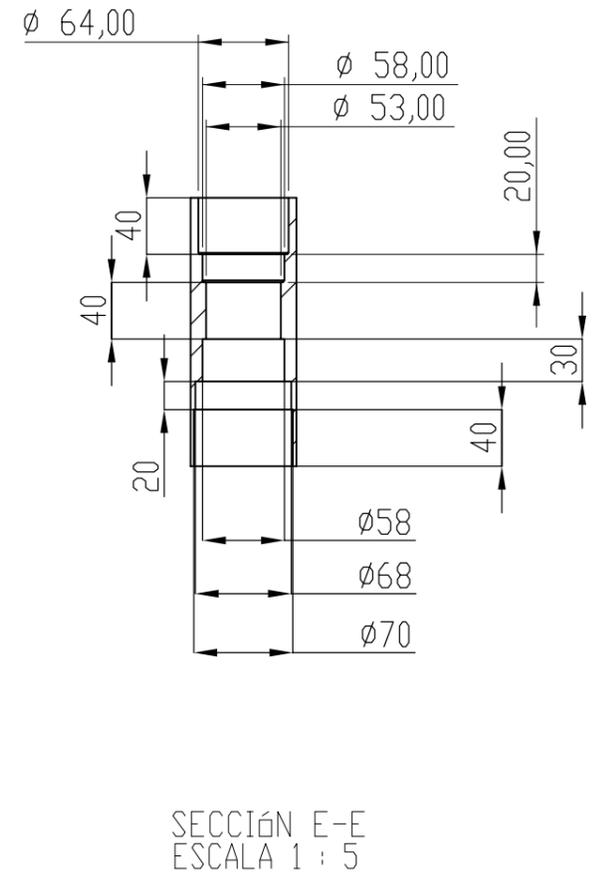
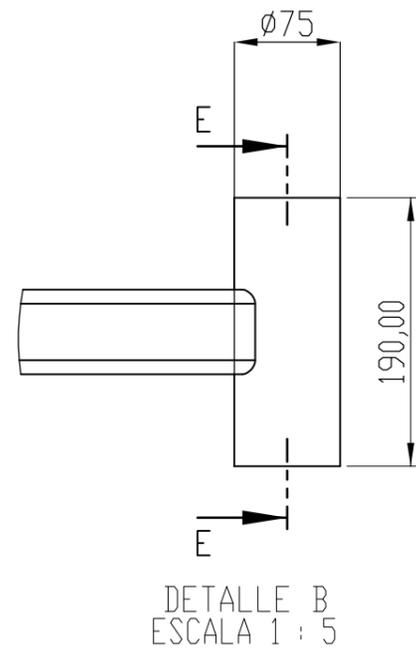
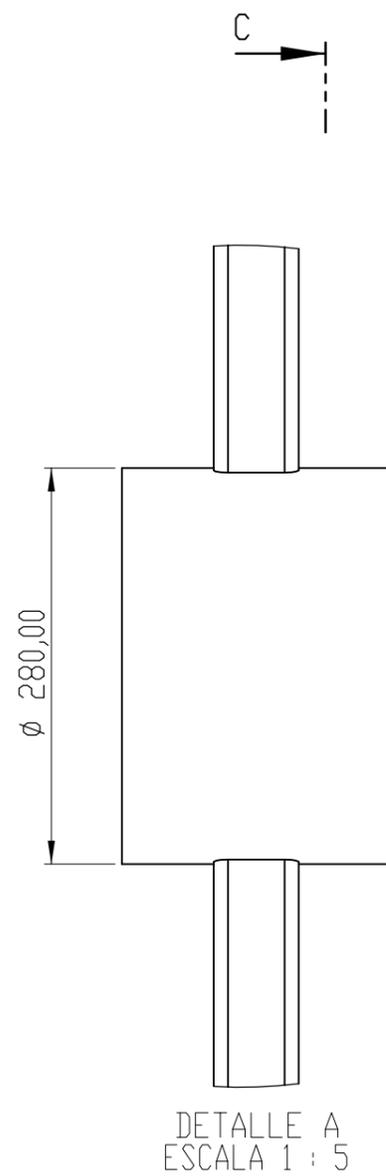
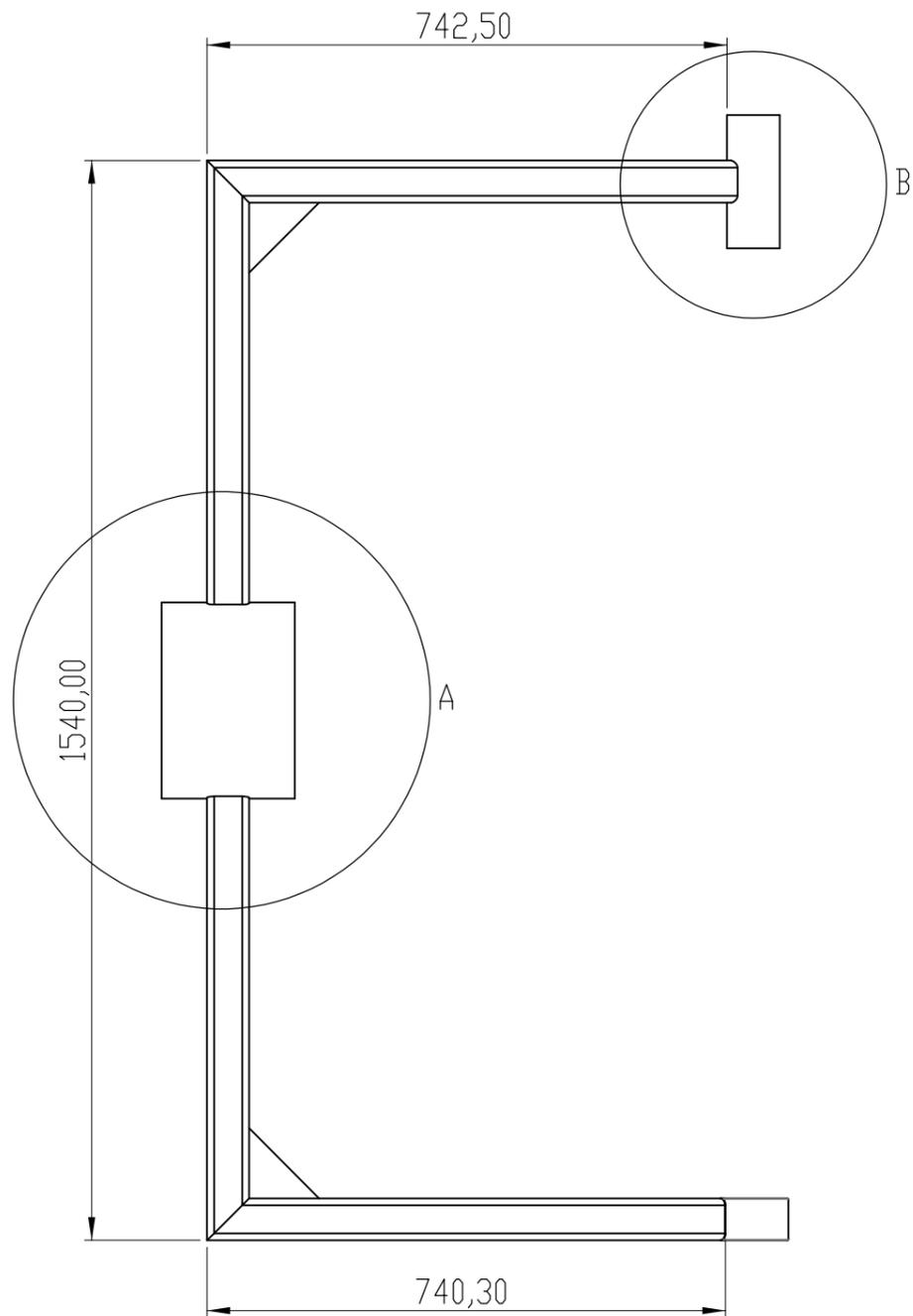
SECCIÓN B-B  
ESCALA 1 : 3



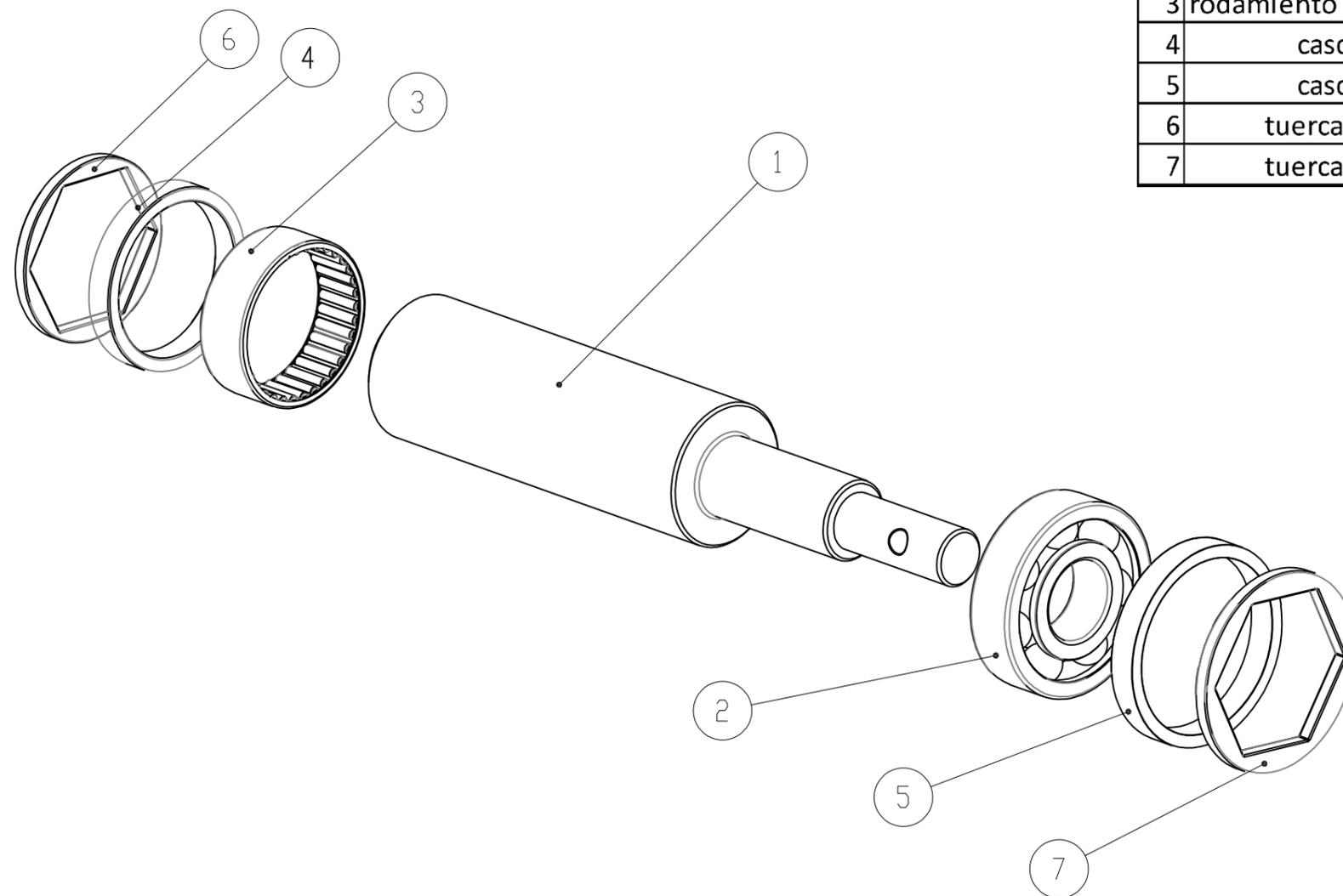
SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 3



	Fecha:	Nombre:	Firma:	 <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>
Dibujado:	20.11.2020	Llobregat Fernández, Javier		
Escala:	Título del plano:			Nº plano:
1:10	<b>EJE MÓVIL</b>			06

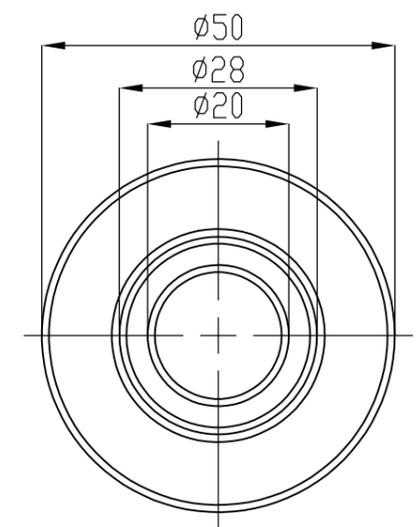
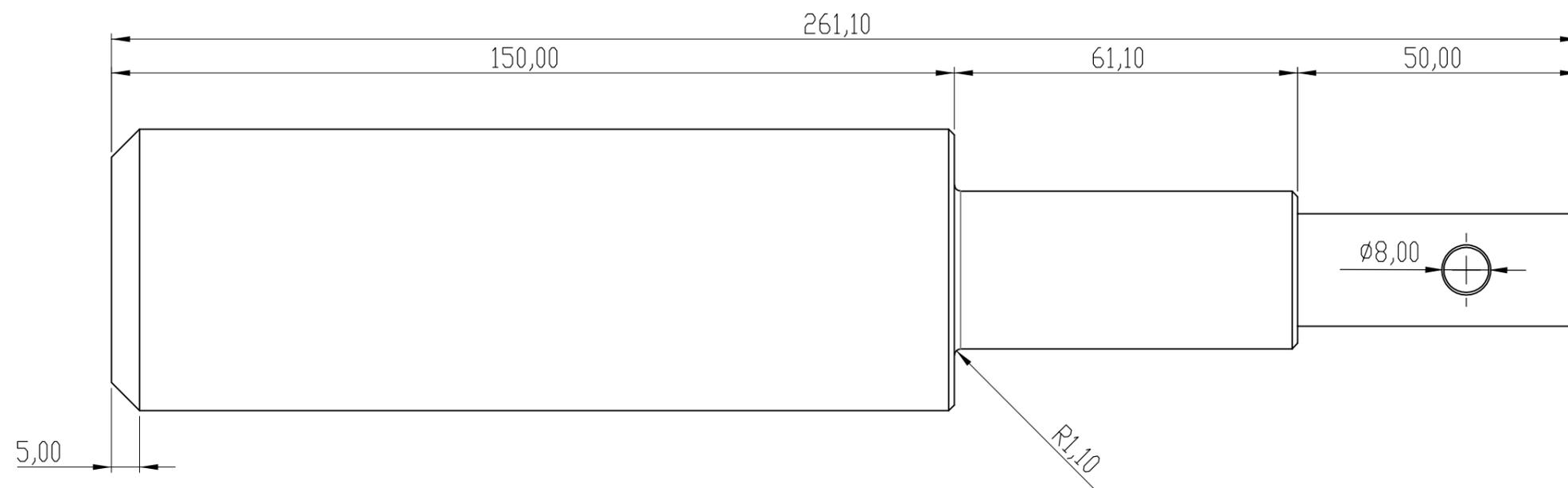


	Fecha:	Nombre:	Firma:	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
Dibujado:	20.11.2020	Llobregat Fernández, Javier		
Escala:	Título del plano:			Nº plano:
1:10	<b>MEDIDAS BRAZO PRINCIPAL</b>			07

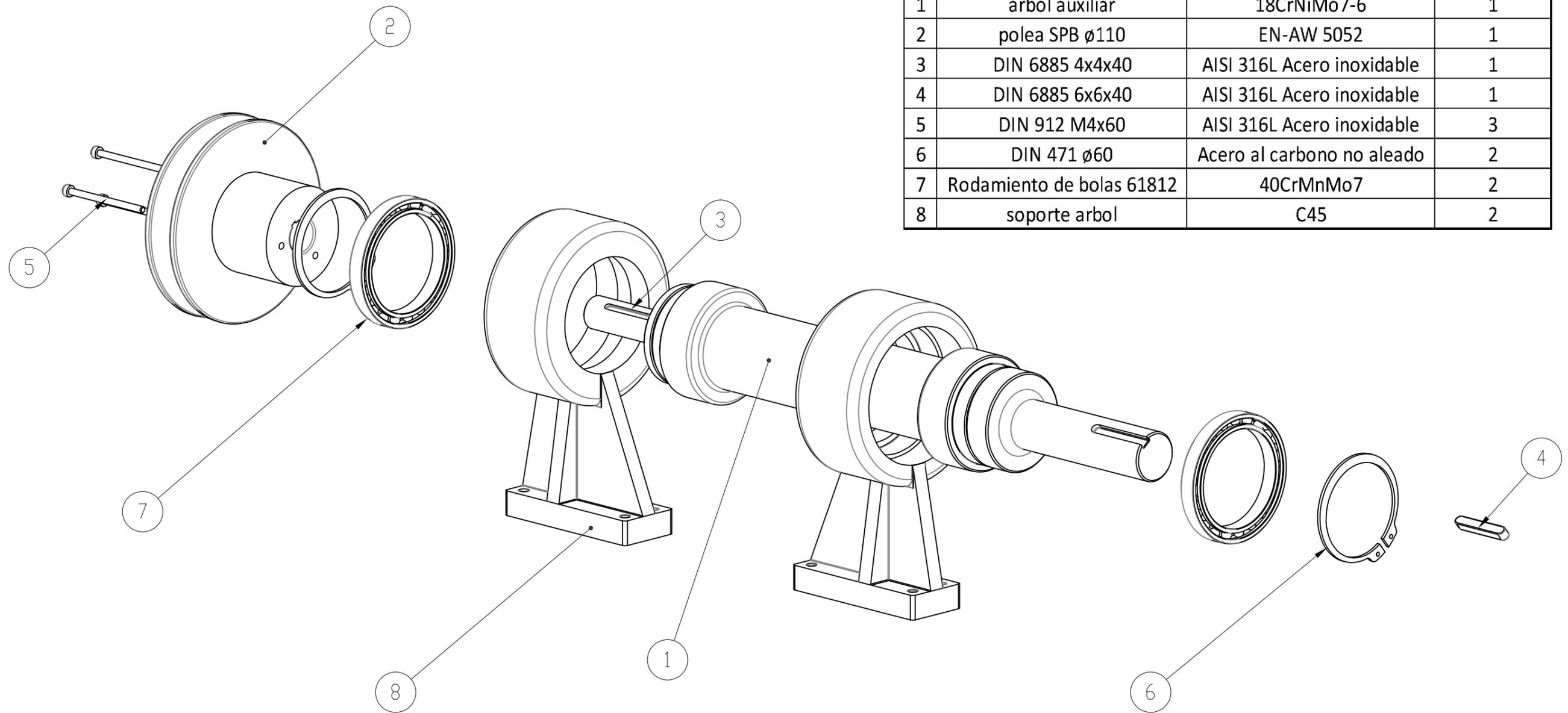


ARBOL VERTICAL		
Nº	OBJETO	MATERIAL
1	Arbol vertical	C45
2	rodamiento de bolas 6328	40CrMnMo7
3	rodamiento de agujas HK 5020	40CrMnMo8
4	casquillo $\varnothing 70$	UNS C22000
5	casquillo $\varnothing 64$	UNS C22001
6	tuerca inversa $\varnothing 70$	AISI 316L Acero inoxidable
7	tuerca inversa $\varnothing 64$	AISI 316L Acero inoxidable

	Fecha:	Nombre:	Firma:	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
Dibujado:	20.11.2020	Llobregat Fernández, Javier		
Escala:	Título del plano:			Nº plano:
1:10	<b>ÁRBOL VERTICAL EXPLOSIONADO</b>			08

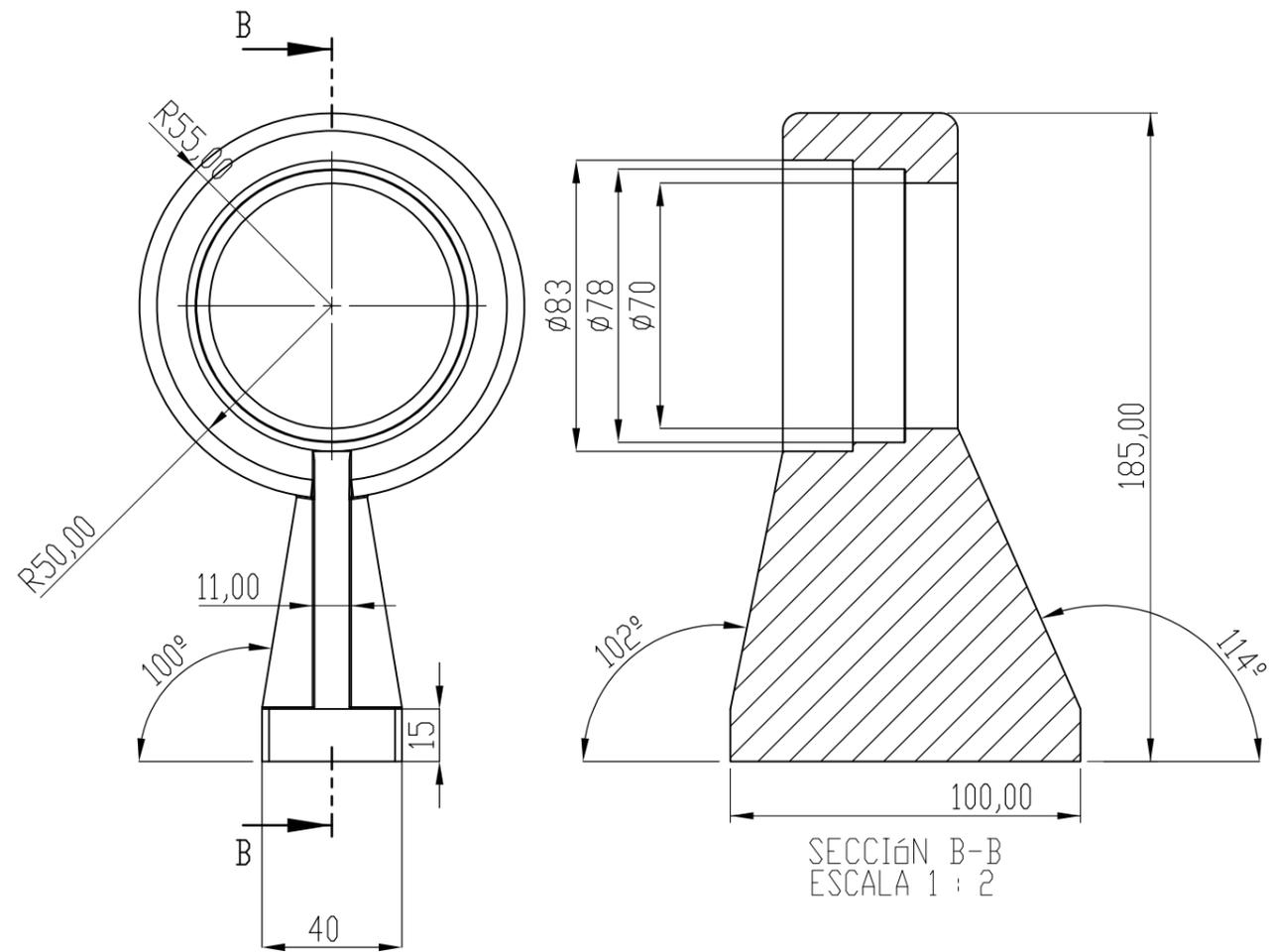
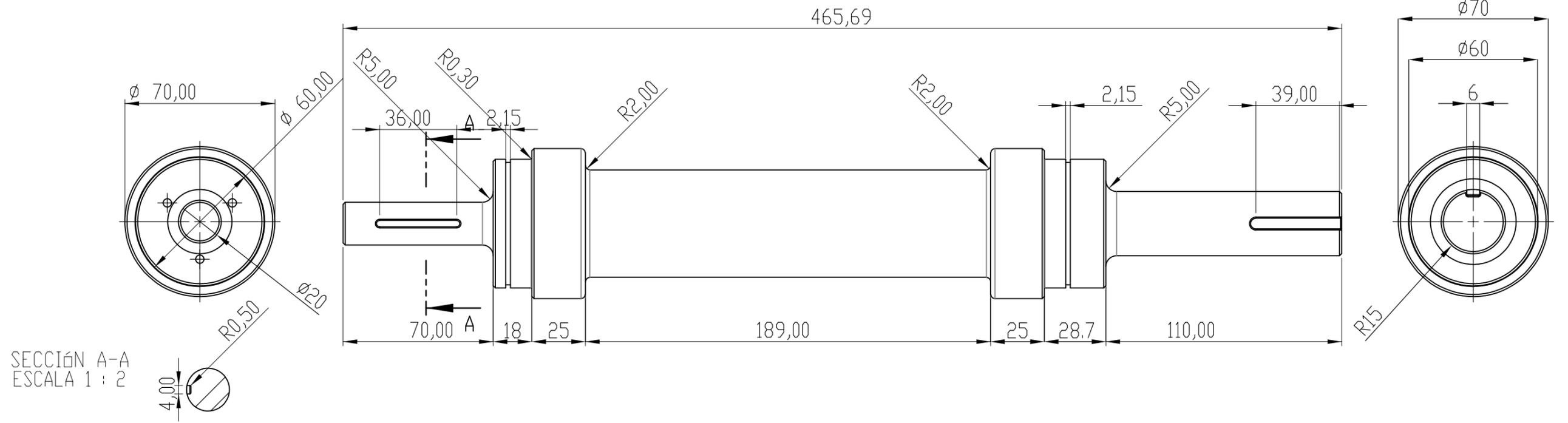


	Fecha:	Nombre:	Firma:	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
Dibujado:	20.11.2020	Llobregat Fernández, Javier		
Escala:	Título del plano:			Nº plano:
1:10	<b>ÁRBOL VERTICAL</b>			09

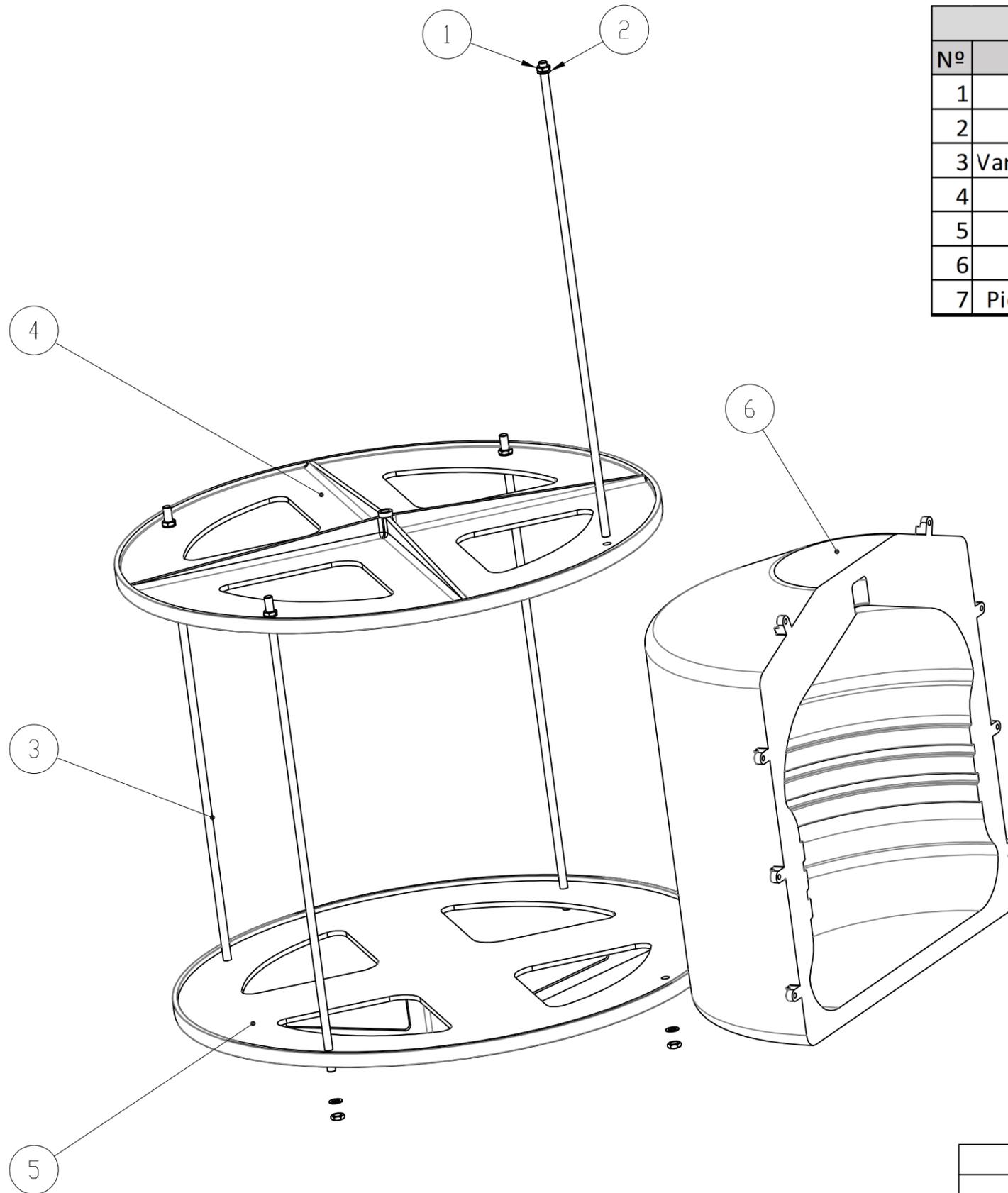


ARBOL AUXILIAR			
Nº	OBJETO	MATERIAL	UNIDADES
1	arbol auxiliar	18CrNiMo7-6	1
2	polea SPB ø110	EN-AW 5052	1
3	DIN 6885 4x4x40	AISI 316L Acero inoxidable	1
4	DIN 6885 6x6x40	AISI 316L Acero inoxidable	1
5	DIN 912 M4x60	AISI 316L Acero inoxidable	3
6	DIN 471 ø60	Acero al carbono no aleado	2
7	Rodamiento de bolas 61812	40CrMnMo7	2
8	soporte arbol	C45	2

	Fecha:	Nombre:	Firma:	 <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>
Dibujado:	20.11.2020	Llobregat Fernández, Javier		
Escala:	Título del plano:			Nº plano:
1:10	<b>COMPONENTES DEL ÁRBOL AUXILIAR</b>			10

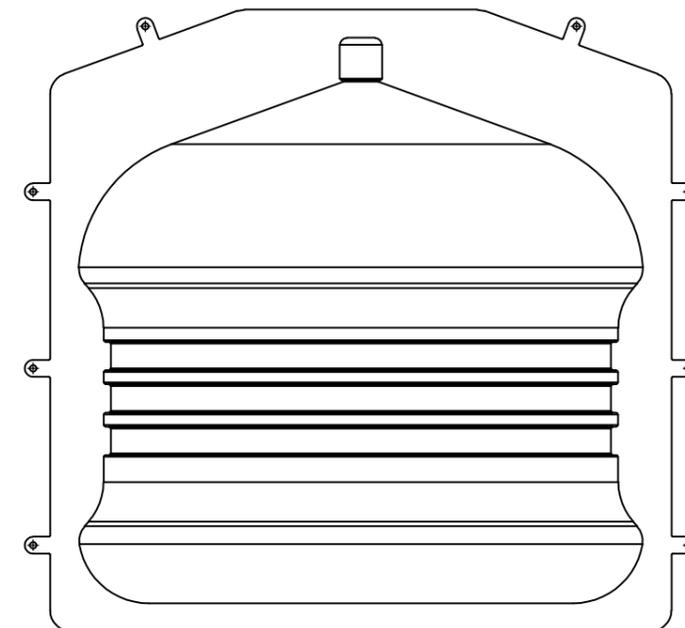
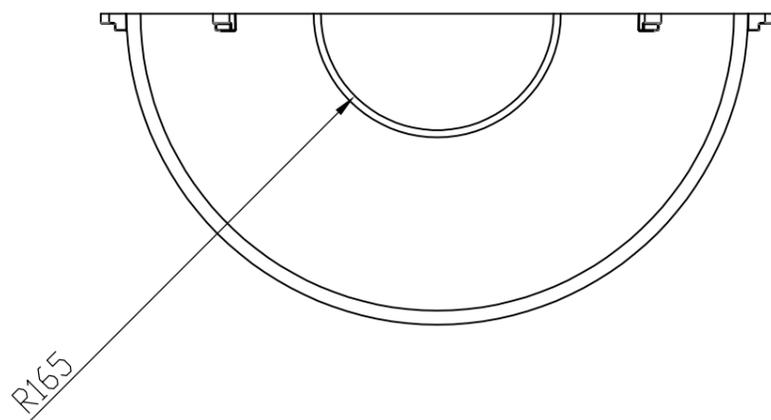
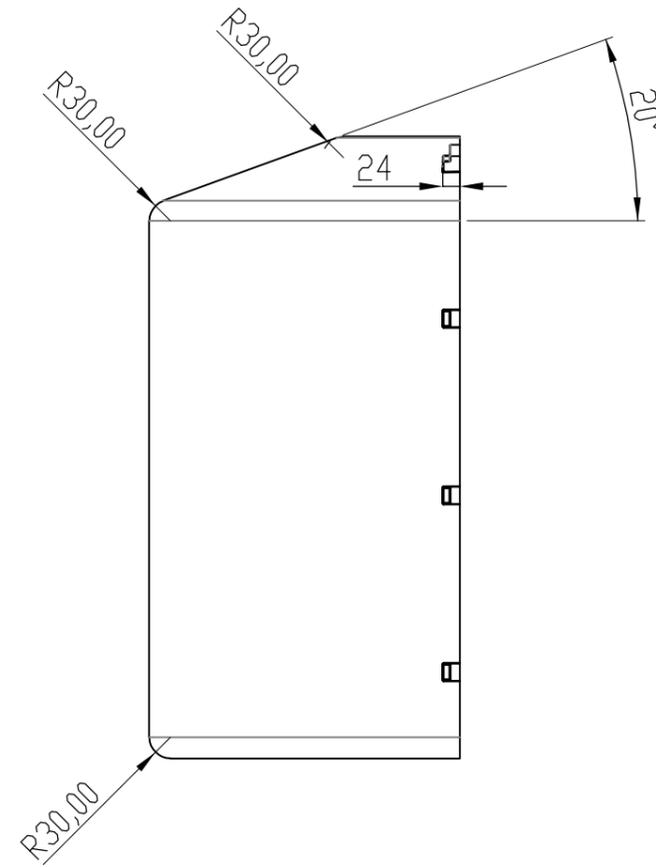
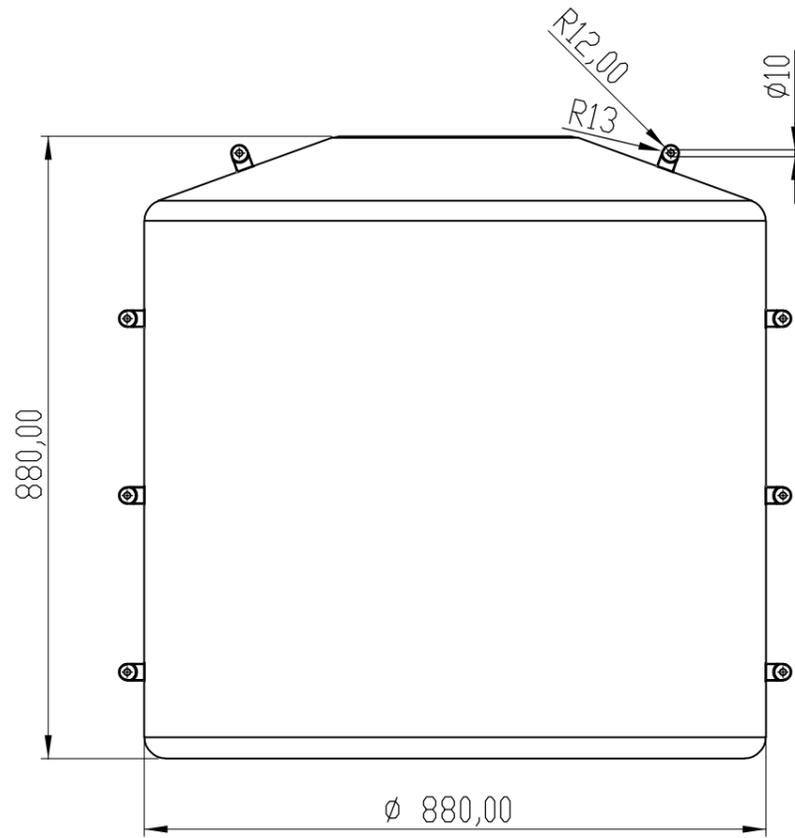


	Fecha:	Nombre:	Firma:	 <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>
Dibujado:	20.11.2020	Llobregat Fernández, Javier		
Escala:	Título del plano:			Nº plano:
1:10	<b>ÁRBOL AUXILIAR Y SOPORTES</b>			11

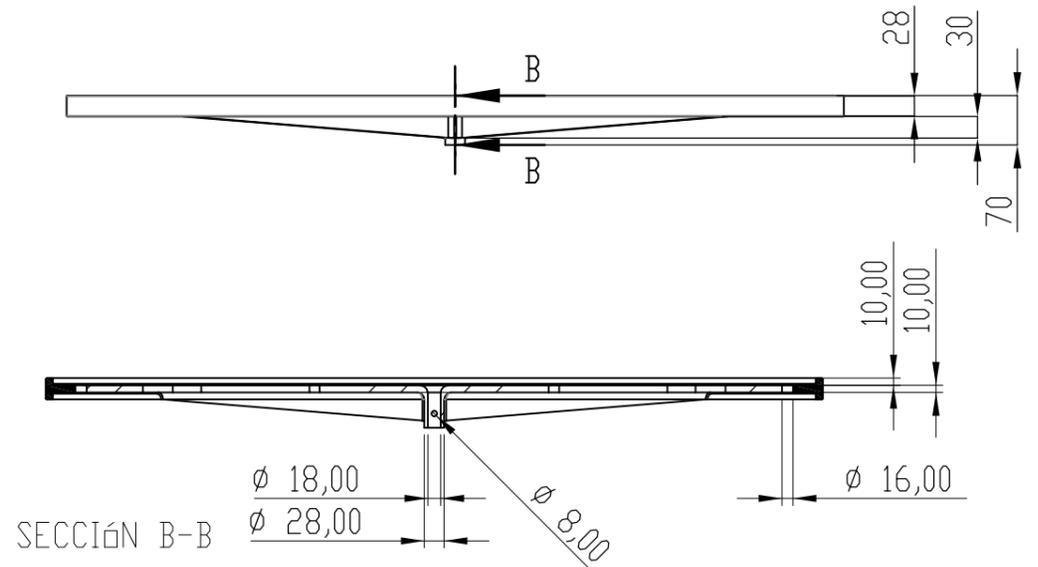
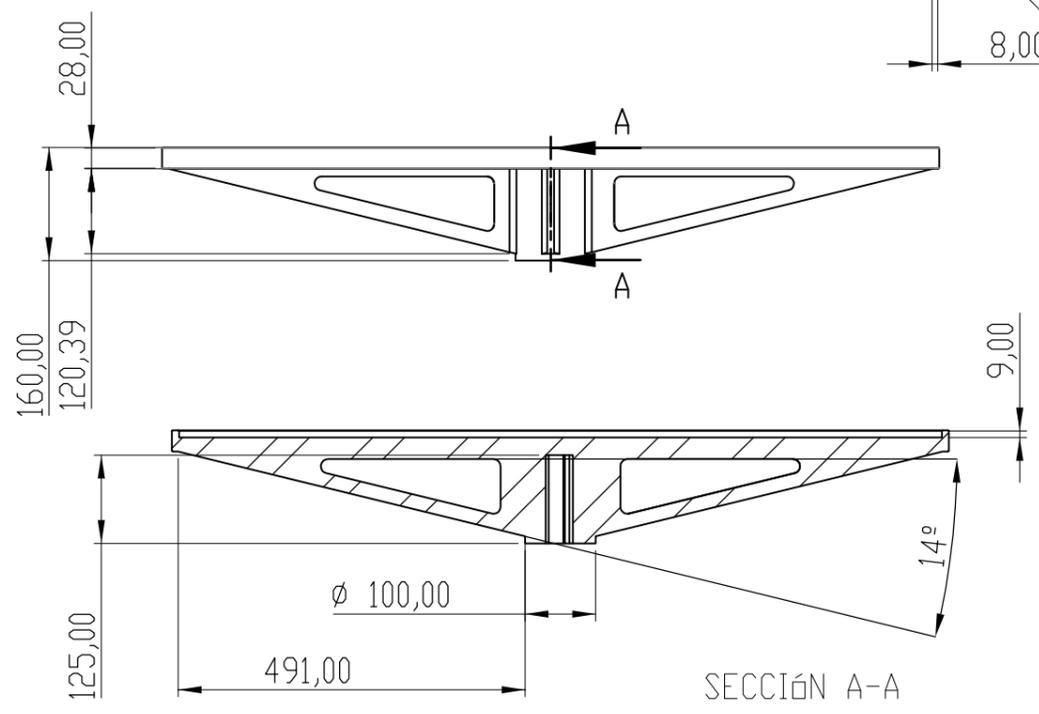
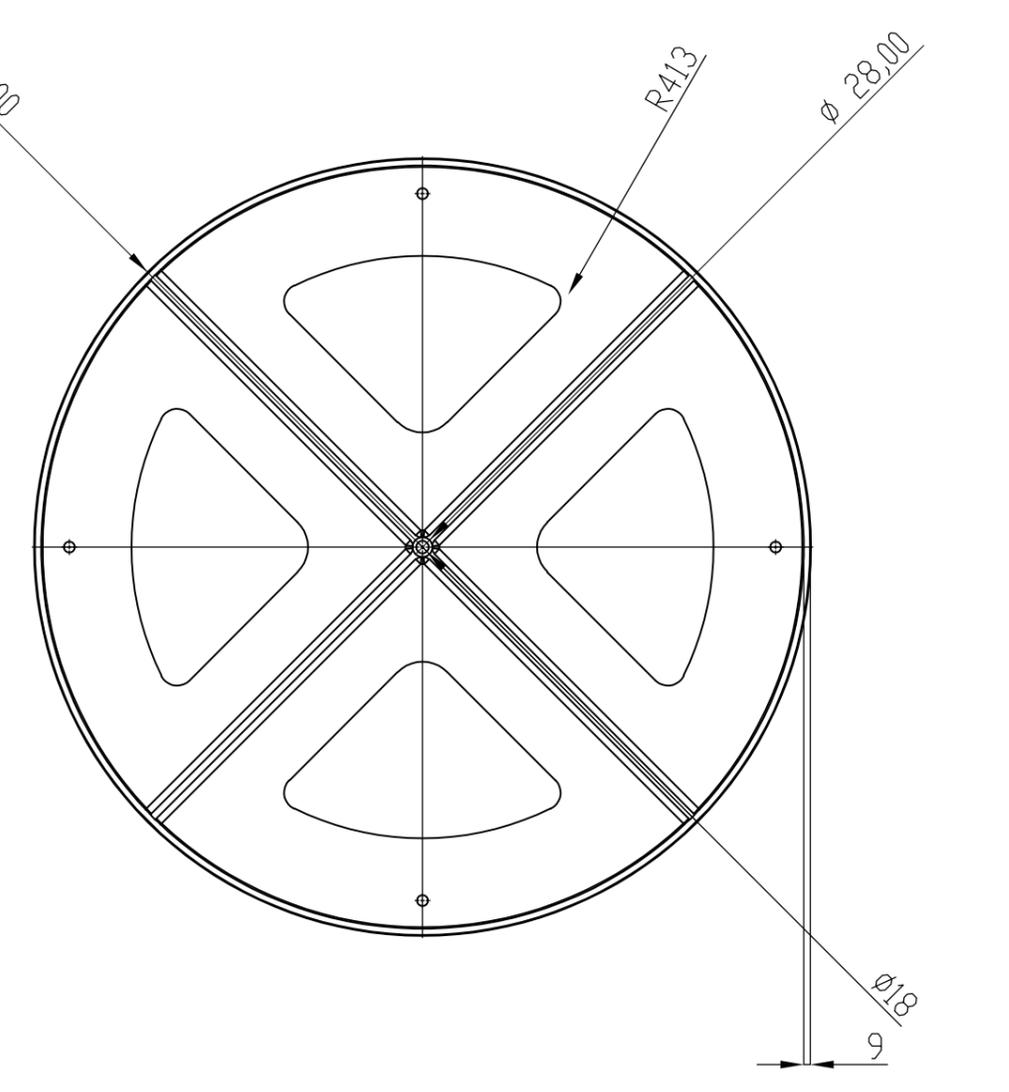
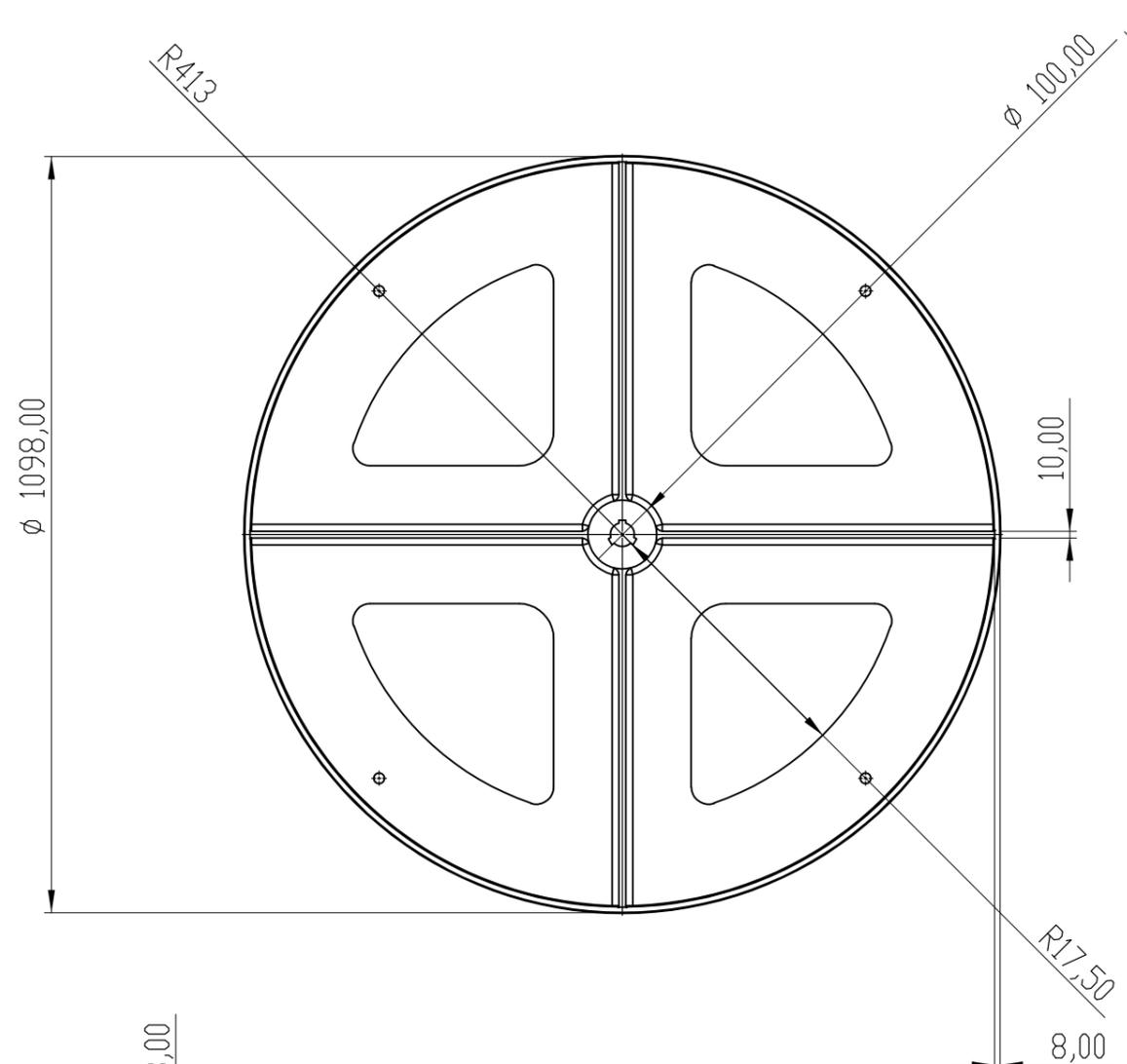


MOLDE			
Nº	OBJETO	MATERIAL	UNIDADES
1	DIN 934 M16	AISI 316L Acero Inoxidable	8
2	DIN 125 M16	AISI 316L Acero Inoxidable	8
3	Varilla roscada DIN 975 1metro	Aleacion de Zinc AC41A Fundida	4
4	Plataforma superior	AISI 316L Acero Inoxidable	1
5	Plataforma inferior	AISI 316L Acero Inoxidable	1
6	Molde	acero inoxidable fundido	2
7	Pieza resultante del proceso	Polietileno de alta densidad	1

	Fecha:	Nombre:	Firma:	 <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>
Dibujado:	20.11.2020	Llobregat Fernández, Javier		
Escala:	Título del plano:			Nº plano:
1:10	<b>COMPONENTES DEL MOLDE</b>			12



	Fecha:	Nombre:	Firma:	 <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>
Dibujado:	20.11.2020	Llobregat Fernández, Javier		
Escala:	Título del plano:			Nº plano:
1:10	<b>MOLDE</b>			13



	Fecha:	Nombre:	Firma:	 <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>
Dibujado:	20.11.2020	Llobregat Fernández, Javier		
Escala:	Título del plano:			Nº plano:
1:10	<b>PLATAFORMAS</b>			14



# 6. Estudio económico



## 6. ESTUDIO ECONÓMICO:

En este apartado se ha procedido a calcular el presupuesto completo de la máquina, así como cada una de sus partes. Para ello se han utilizado varias fuentes de información, como conocimientos propios sobre el diseño de máquinas.

PERFILERIA			
PERFIL	LONGITUD	€/m	PRECIO
UPN 200	3,40	30,31 €	103,05 €
IPE 120	6,75	12,46 €	84,11 €
Rectangular hueco 70x50x4	6,90	43,91 €	302,98 €
Rectangular hueco 70x50x2	11,24	43,91 €	493,47 €
L40	3,22	3,73 €	12,01 €
Pletina rectangular	0,90	12,13 €	10,87 €
Perfil rectangular hueco 45x45x4	2,53	30,00 €	75,90 €
Perfil rectangular hueco 60x60x4	2,74	96,49 €	264,79 €
<b>Total:</b>			<b>1.347,18 €</b>

CONSUMIBLES			
OBJETO	€/Ud	UNIDADES	PRECIO
Arandela Acero inoxidable DIN 125 M8	0,03 €	4	0,12 €
Arandela Acero inoxidable DIN 125 M10	0,04 €	20	0,80 €
Arandela Acero inoxidable DIN 125 M14	0,09 €	4	0,36 €
Arandela Acero inoxidable DIN 125 M16	0,11 €	8	0,88 €
Tuerca KM DIN 981 M10	2,60 €	2	5,20 €
Tuerca KM DIN 981 M35	1,04 €	1	1,04 €
Tuercas Acero inoxidable M8	0,07 €	4	0,28 €
Tuercas Acero inoxidable M10	0,17 €	24	4,08 €
Tuercas Acero inoxidable M12	0,25 €	4	1,00 €
Tuercas Acero inoxidable M14	0,39 €	4	1,56 €
Tuercas Acero inoxidable M16	0,48 €	8	3,84 €
Tornillo allen de cabeza hexagonal DIN 912 M4x60	0,18 €	3	0,54 €
Tornillo allen de cabeza hexagonal DIN 912 M6x70	0,33 €	8	2,64 €
Tornillo allen de cabeza hexagonal DIN 912 M8x20	0,23 €	4	0,92 €
Tornillo allen de cabeza hexagonal DIN 912 M8x40	0,34 €	4	1,36 €
Tornillo allen de cabeza hexagonal DIN 912 M10x45	0,62 €	8	4,96 €
Tornillo allen de cabeza hexagonal DIN 912 M10x85	1,67 €	6	10,02 €
Tornillo allen de cabeza hexagonal DIN 912 M10x90	1,13 €	4	4,52 €
Tornillo allen de cabeza hexagonal DIN 912 M10x95	0,62 €	2	1,24 €
Tornillo allen de cabeza hexagonal DIN 912 M12x60	1,48 €	4	5,92 €
Tornillo allen de cabeza hexagonal DIN 912 M12x195	5,47 €	6	32,82 €
Tornillo allen de cabeza hexagonal DIN 912 M14x40	1,82 €	4	7,28 €
Chaveta DIN 6885 4x4x40	0,69 €	1	0,69 €
Chaveta DIN 6885 6x6x40	0,47 €	1	0,47 €
Chaveta DIN 6885 8x7x20	0,56 €	1	0,56 €
Chaveta DIN 6885 10x8x24	0,77 €	3	2,31 €
Chaveta DIN 6885 18x11x100	4,11 €	3	12,33 €
Anillos Seeger DIN 471 ø20	0,22 €	1	0,22 €
Anillos Seeger DIN 471 ø60	1,82 €	1	1,82 €
Varilla roscada 1m DIN 975 M16	11,78 €	4	47,12 €
Rodamiento de bolas SKF 6022	261,46 €	2	522,92 €
Rodamiento de bolas SKF 6328	97,66 €	1	97,66 €
Rodamiento de agujas SKF HK 5020	16,03 €	1	16,03 €
Rodamiento de bolas SKF 61812	90,63 €	2	181,26 €
Rodamiento de bolas SKF 6210	35,70 €	2	71,40 €
Polea de aluminio SPB ø110	22,11 €	1	22,11 €
Polea de aluminio SPB ø180	36,75 €	1	36,75 €
Polea dentada aluminio ø200	134,58 €	1	134,58 €
Polea dentada aluminio ø50	28,53 €	1	28,53 €
Motoreductor trifasico 0,55KW 0,75CV 230/400VAC	123,76 €	1	123,76 €
Reductora de una etapa	142,47 €	1	142,47 €
<b>Total:</b>			<b>1.534,37 €</b>

MANUFACTURA			
OPERARIO	HORAS	€/h	PRECIO
Operario para cortar tubos	8	60,00 €	480,00 €
Calderero	80	80,00 €	6.400,00 €
Tornero fresador	80	60,00 €	4.800,00 €
Operario de montaje	80	60,00 €	4.800,00 €
<b>Total:</b>			<b>16.480,00 €</b>

**PRESUPUESTO TOTAL: 19.361,55 €**





# 7. Conclusiones



## 7. CONCLUSIONES:

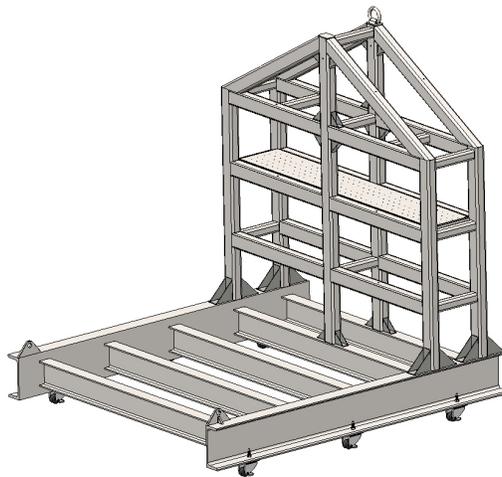
Se ha conseguido el diseño y el cálculo del prototipo de una máquina de rotomoldeo mediante herramientas CAD y FEM. Se han aplicado conocimientos de las diferentes asignaturas del grado de ingeniería mecánica, en concreto teoría y diseño de máquinas.

También se han afianzado conocimientos sobre la selección de piezas para maquinaria según unos requerimientos. Además, se han estudiado y analizado diferentes materiales y su aplicación.

Se han conseguido conocimientos sobre el análisis de piezas en FEM además de nuevas técnicas de diseño en 3D mediante 3D-CAD.

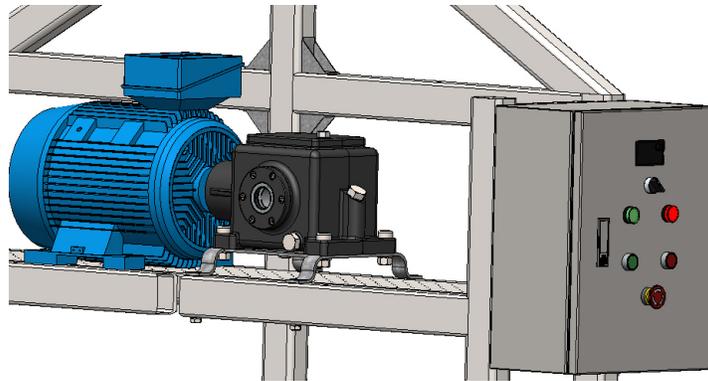
### 7.1.MEJORAS APORTADAS:

Entre los diferentes cambios que se han aplicado a la máquina procedente del libro “*Manufactura, ingeniería y tecnología*”, cabe destacar la realización de una bancada que soporte todas las fuerzas generadas por los giros, cambios de inercia y el peso de la máquina.



**Figura 56:**Bancada. Fuente: Original

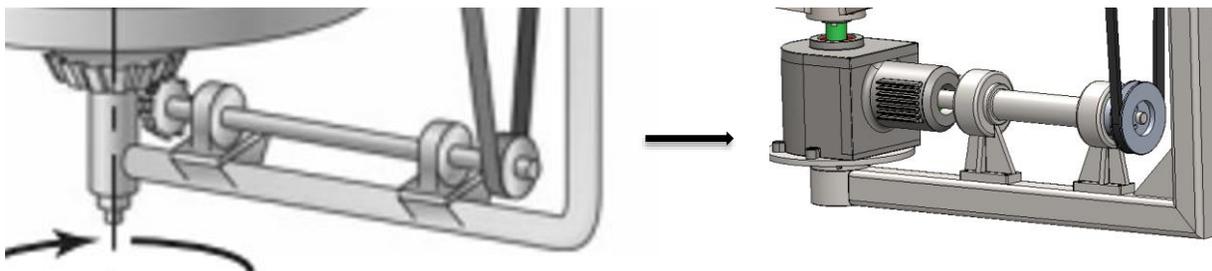
Por otro lado, se ha introducido un sistema de automatización, compuesto por un motorreductor y un sistema de control. Las instalaciones serán ruteadas a la caja de control mediante tubos flexibles y bandejas. En esta caja también contará con los sistemas de seguridad y corte de corriente pertinentes, basándonos en la normativa procedente de la directiva de máquinas, la cual protegerá al operario de los posibles peligros ocasionados por nuestra máquina.



**Figura 57:** Sistema de automatización. Fuente: Original

La motorización que genera el giro principal, es transmitida por una correa dentada, ya que nos proporcionara un nivel de seguridad adecuado a los engranajes que hemos instalado en nuestra máquina, además evitara que la correa patine. En cambio, la correa que conecta el árbol principal con el árbol auxiliar que genera el giro sobre el propio eje del tambor, será una correa en V, ya que no es el giro principal, y puede tolerar las pérdidas por fricción de dicha correa.

Además, se ha dimensionado el árbol auxiliar para transmitir el giro secundario mediante un martinete, para evitar los engranajes anteriores, que se encontraban expuestos al aire, lo que produciría mantenimientos posteriores, por la sedimentación de polvos y otros residuos, lo que producirían un desgaste excesivo y posibles roturas del sistema de engranajes.



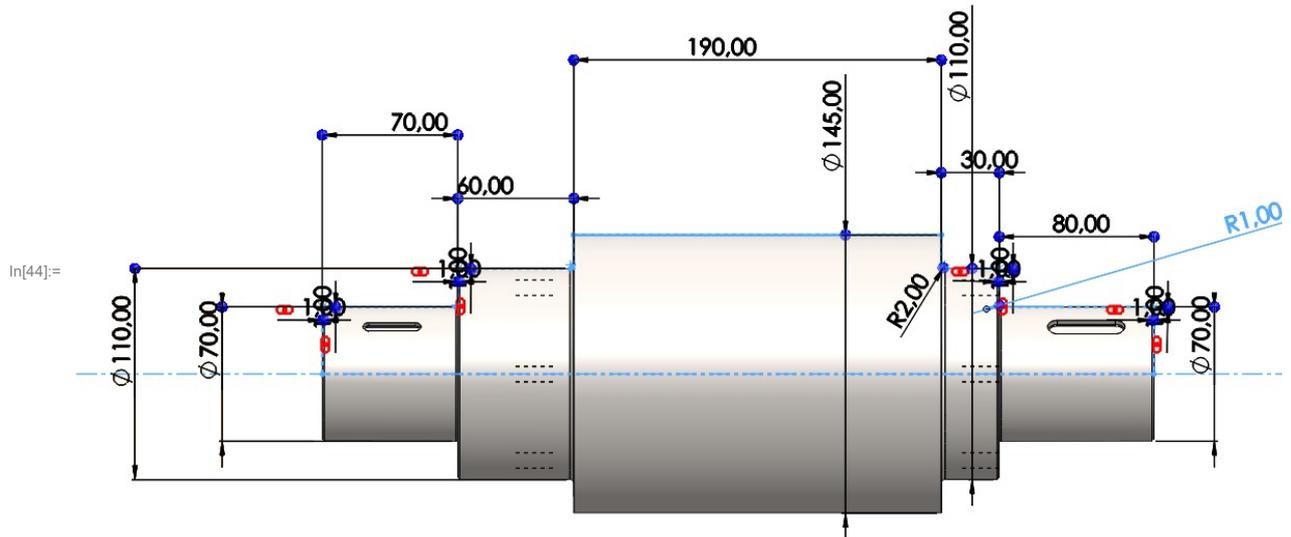
**Figura 58:** Transformación de árbol auxiliar y engranajes. Fuente: Original y Manufactura, ingeniería y tecnología. S.Kalpakjian - S.R.Schmid.

En la maquina preliminar podíamos observar un sistema de alimentación de polímero ya en su punto de fusión y presurizado, lo que posteriormente, nos produciría un mantenimiento elevado, debido a los posibles emboces. En cambio, para aportar el material, requerimos de un operario, que aporte el material en forma de polvo o granza pequeña. Esto nos aportara más versatilidad a la hora de elegir el material que vamos a procesar. A su vez, para llevar el material a su punto de fusión, se ha pensado en introducir la máquina en un horno en forma de Clam Shell. Para ello, se le han instalado ruedas niveladoras, para poder mover la maquina hasta el horno, a su vez, a nuestra maquina se le han aplicado materiales que soporte las altas temperaturas.

## 7.2.BALANCE DE LA OPTIMIZACIÓN:

Podemos concluir diciendo que el cálculo de nuestra máquina para las peores situaciones posibles, para tiempo igual a 0, y las cargas a las que sometería en ese instante, es satisfactorio en el ámbito estático, ahora bien, en el ámbito de fatiga, en el que hemos considerado las máximas cargas. Y hemos apreciado, que, a fatiga, no cumplimos los requerimientos que necesitamos para mantener la máquina 20 años. Sabiendo que no cumplimos el requerimiento, hemos hecho el cálculo inverso, teniendo una vida infinita, hemos buscado el diámetro que nos haría falta para tener dicha vida infinita. Este cálculo lo podemos ver posteriormente.

# REDIMENSIONADO



## FUNCIONES

```
In[45]:= Clear ["Global`*"]  
borra
```

```
In[46]:= << Concentradores`
```

```
In[47]:= << FalloEstatico`
```

```
In[48]:= << FalloFatiga`
```

## DATOS

### CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL MATERIAL

```
In[49]:= (*Acero 18CrNiMo7-6*)
```

```
In[50]:= Sy = 785.6 (*MPa*); (*Límite elástico del material*)
```

```
In[51]:= Sut = 1100.8 (*MPa*); (*Límite a la rotura del material*)
```

### GEOMETRÍA DEL ARBOL

```
In[52]:= dmenor = 105 (*mm*);
```

```
In[53]:= dmayor = 110 (*mm*);
```

```
In[54]:= r = 2 (*mm*);
```

## RUGOSIDAD (ACABADO SUPERFICIAL)

In[55]:=  $R_g = 6; (*N6*)$

## TEMPERATURA

In[56]:=  $T = 25 (*^{\circ}C*) ;$

## CONFIABILIDAD

In[57]:=  $f = 99.9 (*\%*) ;$

## CARGAS Y ESFUERZOS

### FUERZAS

In[58]:=  $F1 = 2000 * 9.81; (*N, genera un MOMENTO FLECTOR*)$   
|valor numérico

### MOMENTO FLECTOR ALTERNANTE

In[59]:=  $M_{xy\max} = F1 * 600 (*Nmm*) ;$

In[60]:=  $M_{xy\min} = -M_{xy\max} (*Nmm*) ;$

### PAR TORSOR CONSTANTE

In[61]:=  $T_{xz} = 2001 * 9.81 * 600 (*Nmm*) ;$

## ANÁLISIS ESTÁTICO O A FLUENCIA

### TENSIONES NORMALES

In[62]:=  $\sigma_x = \text{SigmaEjeFlexion}[M_{xy\max}, d_{menor}] // N(*MPa*)$   
|valor numéri

Out[62]= 103.582

### TENSIONES CORTANTES

In[63]:=  $\tau_{xz} = \text{TauEjeTorsion}[T_{xz}, d_{menor}] // N(*MPa*)$   
|valor numéri

Out[63]= 51.8167

## TENSIÓN EQUIVALENTE DE VON MISES

In[64]:=  $\sigma_{eqVonMises} = \text{Mises}[\sigma_x, 0, 0, 0, \tau_{xz}, 0] // \text{N} (*\text{MPa}*)$   
[valor numéri

Out[64]= 137.055

## COEFICIENTE DE SEGURIDAD A LA FLUENCIA

In[65]:=  $n_y = \frac{S_y}{\sigma_{eqVonMises}} // \text{N}$   
[v:

Out[65]= 5.73201

# ANÁLISIS A FATIGA

## TENSIONES NORMALES

In[66]:=  $\sigma_{x\max} = \text{SigmaEjeFlexion}[M_{xy\max}, d_{menor}] // \text{N} (*\text{MPa}*)$   
[valor numéri

Out[66]= 103.582

In[67]:=  $\sigma_{x\min} = \text{SigmaEjeFlexion}[M_{xy\min}, d_{menor}] // \text{N} (*\text{MPa}*)$   
[valor numéri

Out[67]= -103.582

## TENSIONES CORTANTES

In[68]:=  $\tau_{xz\max} = \tau_{xz} (*\text{MPa}*)$

Out[68]= 51.8167

In[69]:=  $\tau_{xz\min} = \tau_{xz} (*\text{MPa}*)$

Out[69]= 51.8167

## TENSIONES MEDIAS Y ALTERNANTES

### DEBIDO A TENSIONES NORMALES

In[70]:=  $\sigma_m = \frac{\sigma_{x\max} + \sigma_{x\min}}{2} (*\text{MPa}*)$

Out[70]= 0.

In[71]:=  $\sigma_a = \frac{\sigma_{x\max} - \sigma_{x\min}}{2} (*\text{MPa}*)$

Out[71]= 103.582

## DEBIDO A TENSIONES CORTANTES

$$\text{In[72]:= } \tau_m = \frac{\tau_{xz\max} + \tau_{xz\min}}{2} \text{ (*MPa*)}$$

Out[72]= 51.8167

$$\text{In[73]:= } \tau_a = \frac{\tau_{xz\max} - \tau_{xz\min}}{2} \text{ (*MPa*)}$$

Out[73]= 0.

## TENSIONES EQUIVALENTES MEDIAS Y ALTERNANTES

$$\text{In[74]:= } \sigma_{eqm} = \text{Mises}[\sigma_m, \theta, \theta, \theta, \tau_m, \theta] // \text{N (*MPa*)}$$

└valor numéric

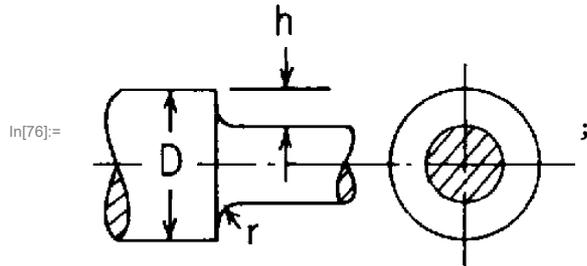
Out[74]= 89.7491

$$\text{In[75]:= } \sigma_{eqa} = \text{Mises}[\sigma_a, \theta, \theta, \theta, \tau_a, \theta] // \text{N (*MPa*)}$$

└valor numéric

Out[75]= 103.582

## CONCENTRADOR DE TENSIONES GEOMÉTRICO (Kt)



$$\text{In[77]:= } K_t = \text{KtEjeFlexionCambio}[d_{\text{mayor}}, r, \frac{d_{\text{mayor}} - d_{\text{menor}}}{2}] // \text{N}$$

└vε

Out[77]= 1.98997

## CONCENTRADOR DE TENSIONES GEOMÉTRICO CORREGIDO A FATIGA (Kf)

$$\text{In[78]:= } K_f = \text{FKf}["\text{acero}", K_t, S_{ut}, r] // \text{N}$$

└vε

Out[78]= 1.89274

## LÍMITE DE RESISTENCIA A FATIGA CORREGIDO (SeK)

$$\text{In[79]:= } S_{eK} = \text{FSeK}[R_g, S_{ut}, "\text{flexion}", d_{\text{mayor}}, T, f, K_f]$$

Out[79]= 144.917

## COEFICIENTE DE SEGURIDAD A LA FATIGA SEGÚN LA TEORÍA DE GOODMAN

## (nGM)

In[80]:= **nGM = nGoodman** [ $\sigma_{eqm}$ ,  $\sigma_{eqa}$ , **Sut**, **SeK**]

Out[80]= 1.25582

## DURACIÓN

In[81]:=  **$\sigma a\theta = \text{Sigmaa}\theta$**  [ $\sigma_{eqm}$ ,  $\sigma_{eqa}$ , **Sut**] // **N** (\*MPa\*)  
[valor numéri

Out[81]= 112.776

In[82]:= **S1 = 0.9 \* Sut** (\*MPa\*); (\*Flexión\*)

In[83]:= **S2 = SeK** (\*MPa\*);

In[84]:= **N1 = 10<sup>3</sup>** (\*ciclos\*);

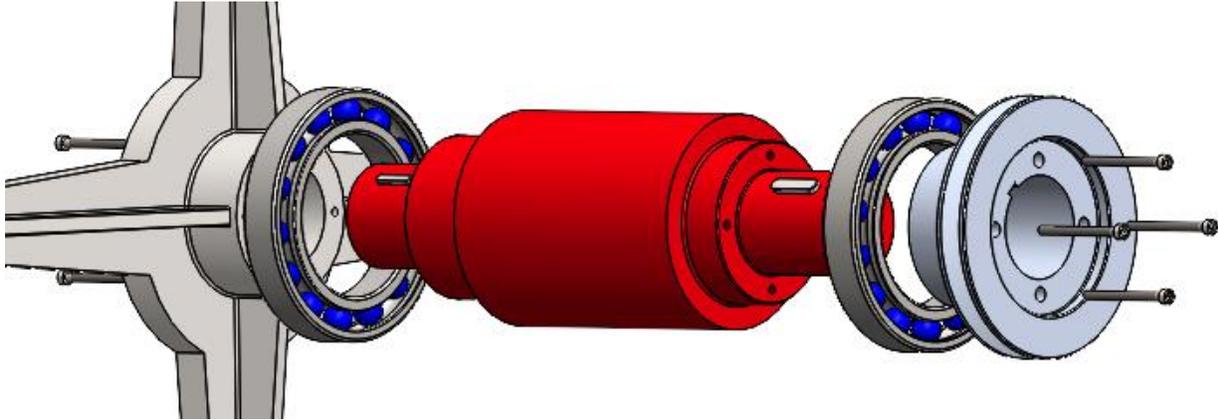
In[85]:= **N2 = 10<sup>6</sup>** (\*ciclos\*);

In[86]:= **duracion = FNW** [ $\sigma a\theta$ , **N1**, **N2**, **S1**, **S2**] // **N** (\*ciclos\*)  
[valor numérico

Out[86]= 2.46233  $\times 10^6$

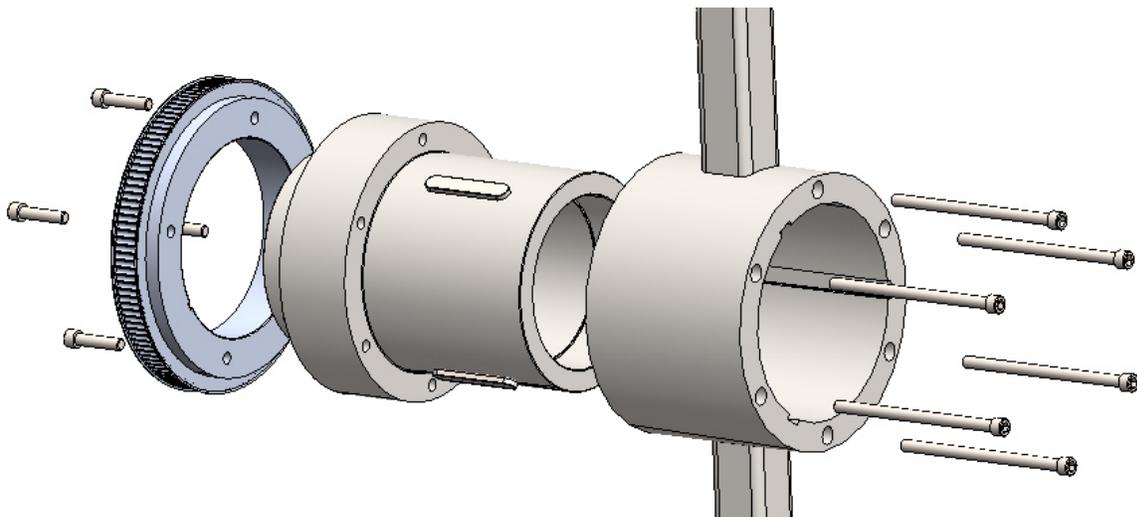


Viendo el cálculo realizado mediante Wolfram Mathematica, tenemos que aumentar el diámetro del árbol fijo, y a su vez redimensionar los rodamientos que lo acompañan, como podemos ver en la figura 59. La cruz fija, habrá que aumentar el diámetro en el que se instala el árbol fijo. Al final del árbol tenemos la polea, que también hay que aumentar de diámetro interior para que todo el ensamblaje concuerde con el aumento del diámetro inicial de 70 a 105 mm, por lo tanto, los radios de acuerdo también habrá que modificarlos.



**Figura 59:** Explosionado árbol fijo. Fuente: Original

Debido al redimensionado del árbol fijo y sus componentes, habrá que dimensionar de nuevo el árbol móvil y sus partes. En primera estancia, habrá que aumentar el diámetro del eje móvil, y los acoplamientos de los rodamientos nuevos. El árbol móvil, a su vez habrá que aumentar el diámetro para que todo el ensamblaje concuerde entre sí.



**Ilustración 60:** Árbol móvil explosionado. Fuente: Original

Debido al redimensionado de todo el componente y al cambio de diámetro para cumplir el cálculo a fatiga, habrá que volver a realizar los cálculos pertinentes, como se han realizado en el trabajo. En nuestro caso no se han realizado los cambios y el cálculo debido al tiempo que habría que invertir en él.





## 8. Bibliografía



## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Procesado de materiales poliméricos. *M.Beltran A.Marcilla*
- Manufactura, ingeniería y tecnología. *S.Kalpakjian-S.R.Schmid*
- <https://ingemecanica.com/tutoriales/prontuariodeperfiles.html#huecocuadrado>
- <https://www.youtube.com/watch?v=H0EaNQU28iM>
- <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/rotomoldeo.html>
- <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/rotomoldeo-ii.html>
- <http://www.textoscientificos.com/polimeros/moldeado>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Rotational\\_molding](https://en.wikipedia.org/wiki/Rotational_molding)
- [www.incafe2000.com](http://www.incafe2000.com)
- [DF046/?cr=EUR&ct=ES&gclid=Cj0KCQjwxNT8BRD9ARIsAJ8S5xY0XHqjOc33NzWNspTbZwMmAUFGnssHyHVMcV2wv0Hb\\_spqm6oQjXAaAiZkEALw\\_wcB](https://www.google.com/search?q=DF046/?cr=EUR&ct=ES&gclid=Cj0KCQjwxNT8BRD9ARIsAJ8S5xY0XHqjOc33NzWNspTbZwMmAUFGnssHyHVMcV2wv0Hb_spqm6oQjXAaAiZkEALw_wcB)
- <https://www.norelem.com/ec/es/Productos/Vista-general-de-producto/Tecnolog%C3%ADa-de-transporte-y-movimiento/95000-Tecnolog%C3%ADa-de-transporte-y-movimiento/Ruedas-y-rodillos/95092-Rodillos-de-elevaci%C3%B3n-con-pie-de-m%C3%A1quina-integrado.html>
- Catalogo lista de precios SKF 2016
- [Entaban.es](http://Entaban.es)
- [www.suministrostorras.com](http://www.suministrostorras.com)
- TFG: Desarrollo y fabricación de una maquina de rotomoldeo. *Rodrigo Lasso de la Verga Romero*
- Apuntes de Hugo Carlos Sanchís Gomis
- Apuntes Teodoro Boronat
- TFG: Diseño y fabricación de una máquina de rotomoldeo sin calentamiento. *Pablo Aragón Sesma*
- [adajusa.es](http://adajusa.es)
- [https://adajusa.es/motorreductor-trifasico-055kw-075cv-230400vac/motorreductor-trifasico-055kw-075cv-230400vac-rel-15-t40-186rpm.html?gclid=CjwKCAiA4o79BRBvEiwAjteoYADaB3nqafUevgEwp\\_RxGfysHau6shUO5lGhoqobg5NQb2d8dVB\\_BoCZiUQAvD\\_BwE](https://adajusa.es/motorreductor-trifasico-055kw-075cv-230400vac/motorreductor-trifasico-055kw-075cv-230400vac-rel-15-t40-186rpm.html?gclid=CjwKCAiA4o79BRBvEiwAjteoYADaB3nqafUevgEwp_RxGfysHau6shUO5lGhoqobg5NQb2d8dVB_BoCZiUQAvD_BwE)
- <https://adajusa.es/reductores-sinfin-corona/reductor-sin-fin-corona-tam-63-bridapam-16014-motor-carcasa-71-b5.html>