



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:

ÍNDICE DE DOCUMENTOS

- DOCUMENTO MEMORIA
- DOCUMENTO PRESUPUESTO
- DOCUMENTO ANEXO PLANOS

Agradecimientos:

En primer lugar me gustaría dedicar este trabajo a mis padres por haberme dado una buena educación, por apoyarme siempre y darme la oportunidad de formarme, permitiendo que hoy me encuentre escribiendo esto y poder estar a punto de graduarme de aquello que siempre me ha gustado.

En segundo lugar me gustaría mencionar tanto a mi pareja como a mis amigos de la carrera, por haberme apoyado y dado fuerzas en los momentos en los que nada salía y nada iba bien.

Éste trabajo va por todos vosotros. Muchísimas gracias a todos.

Resumen

En el presente Trabajo Fin de Grado se abordarán las etapas de diseño, modelado y simulación de una plataforma elevadora móvil de personal (PEMP) de tijera, de tipología 3A, muy utilizadas actualmente para labores de mantenimiento y construcción. Para ello en un primer lugar se presentarán los conocimientos teóricos iniciales necesarios, tanto de la máquina a desarrollar como de los programas CAD. El software CAD empleado a lo largo de todo el trabajo es el Autodesk Inventor 2014. Tras una etapa de búsqueda de información se definirá el diseño a desarrollar, definiendo tanto sus aptitudes como sus dimensiones. Posteriormente se procederá al modelado de cada una de las piezas así como una explicación del ensamblaje de las mismas. Previo a la simulación dinámica se abordará una etapa de preparación en la que serán definidos todos aquellos aspectos y características necesarios como materiales, fuerzas, rozamientos, etc. Se obtendrán y analizarán aquellos parámetros y situaciones dinámicas más importantes y críticas para, partiendo de las mismas realizar un análisis tensional por medio del método de los elementos finitos (MEF) de la pieza más crítica en los picos de demanda de esfuerzos. Finalmente acorde a los resultados del análisis se realizarán modificaciones sobre la pieza y se compararán los resultados obtenidos. Por último se valorará de forma global el alcance de los objetivos de diseño y se presentará un presupuesto del trabajo realizado.

Palabras clave: PEMP de tijera, Diseño, Modelado, Análisis, MEF.

Resum

En el present Treball Fi de Grau s'abordaran les etapes de disseny, modelatge i simulació d'una plataforma elevadora mòbil de personal (*PEMP) de tiora, de tipologia 3A, molt utilitzades actualment per a labors de manteniment i construcció. Per a açò en un primer lloc es presentaran els coneixements teòrics inicials necessaris, tant de la màquina a desenvolupar com dels programes CAD. El programa CAD empleat al llarg de tot el treball és el Autodesk Inventor 2014. Després d'una etapa de cerca d'informació es definirà el disseny a desenvolupar, definint tant les seues aptituds com les seues dimensions. Posteriorment es procedirà al modelatge de cadascuna de les peces així com una explicació de l'assemblatge de les mateixes. Previ a la simulació dinàmica s'abordarà una etapa de preparació en la qual seran definits tots aquells aspectes i característiques necessaris com a materials, forces, fregaments, etc. S'obtidran i analitzaran aquells paràmetres i situacions dinàmiques més importants i crítiques para, partint de les mateixes realitzar una anàlisi tensional per mitjà del mètode dels elements finits (MEF) de la peça més crítica en els becs de demanda d'esforços. Finalment concorde als resultats de l'anàlisi es realitzaran modificacions sobre la peça i es compararan els resultats obtinguts. Finalment es valorarà de forma global l'abast dels objectius de disseny i es presentarà un pressupost del treball realitzat.

Paraules clau: PEMP de Tiora, Disseny, Modelatge, Anàlisi, MEF.

Documento I:

Memoria

ÍNDICE GENERAL

1.	Alcance y objetivos.....	1
2.	Introducción a los programas CAD. Autodesk Inventor.....	2
3.	Introducción a las Plataformas elevadoras móviles de personal (PEMP).....	3
3.1.	Tipos y características.....	3
3.2.	Riesgos y factores de riesgo.....	7
4.	Diseño y modelado.....	9
4.1.	Definición y características del diseño.....	9
4.2.	Definición y Modelado de las piezas.....	13
4.2.1.	Placa base inferior/superior.....	16
4.2.2.	Barra unión estática.....	18
4.2.3.	Barra unión móvil con bases.....	19
4.2.4.	Barra.....	19
4.2.5.	Casquillo.....	20
4.2.6.	Aleta sujeción pistón.....	20
4.2.7.	Rigidizadores.....	21
4.2.8.	Taco cuadrado.....	21
4.2.9.	Pasadores.....	22
4.2.10.	Pistón oleohidráulico.....	22
4.2.10.1.	Módulo externo pistón.....	23
4.2.10.2.	Módulo central pistón.....	24
4.2.10.3.	Vástago pistón.....	24
4.2.11.	Tapas.....	25
4.2.12.	Rueda.....	25
4.2.13.	Plataforma de trabajo.....	25
4.2.14.	Chasis.....	26
4.2.15.	Barandillas.....	27
4.2.16.	Eje transmisión.....	27

4.2.17. Tornillería.....	27
5. Ensamblaje.....	29
5.1. Entorno de trabajo y restricciones.	29
5.2. Ensamblaje del conjunto.....	30
6. Simulación dinámica.....	35
6.1. Entorno de Simulación.....	35
6.2. Preparación previa a la simulación.	36
6.2.1. Uniones de fuerza.	36
6.2.2. Asignación de material.....	37
6.2.3. Definición fuerzas y cargas.	38
6.3. Resultados de la simulación.	42
7. Análisis de tensión.	45
7.1. Método de los elementos finitos (MEF).	45
7.2. Entorno de trabajo y simulación.	45
7.3. Análisis de Resultados.....	48
8. Conclusión.	56
9. Bibliografía.....	57
10. Lista de figuras.	58

1. Alcance y objetivos.

Desde el origen de los tiempos ha existido la necesidad de poder elevar cargas y personal a alturas considerables para poder solventar infinidad de problemas. Ya con el desarrollo tecnológico tan acusado que se experimentó con la revolución industrial se empezaron a desarrollar mecanismos para lograr conseguir dicho fin de la forma más cómoda y segura posible. Gracias al desarrollo a su vez de la hidráulica y los sistemas a presión desde hace ya mucho tiempo se dispone de la fuerza necesaria para levantar pesos elevados facilitando enormemente muchas tareas que requerían lidiar con ellos.

El objetivo del trabajo de fin de grado presentado consiste en la integración de conocimientos de diferentes materias, adquiridos a lo largo de los estudios de grado por medio del diseño y análisis de una plataforma elevadora móvil de personal (PEMP), concretamente de tipología de tijera, capaz de operar en espacios reducidos y parcialmente cerrados. Para llevar a cabo los citados propósitos se va a utilizar el programa CAD Autodesk inventor el cual permite realizar el estudio completo del diseño.

Tras una breve definición e introducción de los programas CAD y los tipos y ventajas de PEMP disponibles actualmente en el mercado, será definido el diseño a desarrollar, posteriormente se realizará un modelado y ensamblado de las piezas que componen la PEMP escogida y finalmente se realizará un análisis de la misma.

El análisis será tanto dinámico, con el objetivo de estudiar las fuerzas que aparecen durante la utilización de este tipo de máquinas, como de tensiones, estudiando aquellas piezas que se consideren más importantes o críticas. Para el estudio de estrés al que se encuentran sometidas las piezas más críticas de la citada máquina se va a recurrir a un estudio basado en elementos finitos, método que será descrito posteriormente.

2. Introducción a los programas CAD. Autodesk Inventor.

Actualmente, gracias al desarrollo exponencial que ha sufrido la tecnología electrónica e informática en estas últimas 3 décadas, se ha conseguido disponer de los medios materiales necesarios para poder desarrollar toda clase de programas informáticos ejecutables en prácticamente cualquier ordenador con una potencia de procesado estándar.

Entre la infinidad de programas que han salido a la luz durante este acusado desarrollo tecnológico, en el trabajo se utilizan los programas CAD (Diseño asistido por ordenador). Los programas CAD pueden dividirse de forma general en aquellos que trabajan usando sólo dos dimensiones del espacio (2D) en el cual se trabaja con entidades geométricas vectoriales sobre una interfaz gráfica y por otro lado, aquellos que añaden a este concepto del 2D una tercera dimensión, los llamados programas 3D, pudiendo así representar sólidos y volúmenes. Debido al hecho ya mencionado de poder ejecutar esta serie de programas en ordenadores no necesariamente de altísima gama, y dado que disponen de interfaces cada vez más intuitivas y simples de utilizar, ha provocado que a día de hoy casi la totalidad de empresas o industrias que trabajan desarrollando productos físicos que han de cumplir con ciertas solicitudes mecánicas, los desarrollen y ensayen utilizándolos.

Cabe mencionar que aunque las licencias de uso de este tipo de programas 3D en su mayoría no son libres, es decir, se ha de pagar a la empresa desarrolladora del mismo para poder usarlo, no tratándose de una cifra despreciable de dinero, supone un ahorro enorme para las empresas que se benefician de los mismos. El ahorro se hace visible cuando se piensa en cómo trabajaban dichas empresas antes de disponer de estas maravillosas herramientas CAD. Éstas tenían la necesidad de hacer modelos a escala de su producto final para posteriormente ensayarlos frente a las solicitudes mecánicas con las que lidiar durante su vida útil o incluso si esto no era posible, fiarse únicamente de cálculos realizados por alguna persona cualificada, con los peligros y problemas que pueden derivar de un fallo humano de los mismos. Dichos modelos a escala en muchas ocasiones, aunque se tratara de miniaturas con respecto a la original, debían estar realizadas con los mismos materiales y técnicas constructivas que la original para poder sacar resultados fiables de los ensayos de estrés, lo que suponía grandes cantidades de dinero y tiempo.

Debido a que hoy en día el uso de estas herramientas 3D se encuentra tan extendido y como alumno de una carrera técnica, a lo largo de la misma he podido trabajar y experimentar la comodidad y ventajas que éstas aportan. El software utilizado en el trabajo que se presenta recibe el nombre de Inventor Profesional 2014 de la marca Autodesk Inc, el cual es un programa del que se dispone de una licencia temporal por el hecho de ser estudiante de la UPV. Cabe mencionar que una importante ventaja que presenta esta licencia temporal con respecto a muchas otras reside en no tener limitado el acceso a determinadas herramientas como podría ser el análisis del diseño por medio de simulación dinámica o análisis de estrés, lo que nos permitirá comprobar si nuestro diseño es válido o no y, en ese hipotético caso, corregir el problema realizando los cambios pertinentes.

3. Introducción a las Plataformas elevadoras móviles de personal (PEMP).

3.1. Tipos y características.

Dentro del mundo de las plataformas elevadoras móviles de personal (PEMP), existen muchos tipos distintos, tanto en morfología como en capacidad y desempeño a la hora de ser utilizadas en labores o situaciones concretas.

Según la norma *UNE-EN 280*, los elevadores destinados a uso de personal (PEMP) se clasifican en función de la proyección vertical del centro de gravedad (c.d.g) de la carga en:

- Grupo A: aquellas cuya proyección vertical del centro de gravedad de la carga con la que se esté trabajando se encuentra siempre dentro de las líneas de vuelco, teniendo en cuenta todas las posibles configuraciones de la máquina y a la máxima inclinación del chasis especificada por el fabricante.
- Grupo B: aquellas PEMP que no son grupo A.

Se definen líneas de vuelco como aquellas que delimitan la región en la que se encuentra la base o apoyo del sistema elevador.

Existe una segunda clasificación complementaria a la primera en función del tipo de traslación que permiten las PEMP:

- Tipo 1: La traslación solo se puede realizar si la PEMP se encuentra en posición de transporte.
- Tipo 2: La traslación de la PEMP cuando la plataforma se encuentra en posición elevada solo es posible realizarla desde un dispositivo situado en el chasis.
- Tipo 3: La traslación de la PEMP cuando la plataforma se encuentra en posición elevada es posible realizarla desde un dispositivo situado en la plataforma.

Cabe mencionar que los tipos 2 y 3 pueden aparecer presentes en una misma máquina.



Figura 1. Tipos de PEMP. (Fuente “Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)”).

A continuación se presentan de forma general aquellas que son más utilizadas y conocidas a día de hoy en el sector del mantenimiento y construcción:

PEMP articulada o telescópica sobre camión (1b).

La principal característica técnica de este tipo de PEMP es su capacidad para alcanzar alturas de trabajo muy elevadas (incluso más de 100 metros), pudiendo a su vez rotar 360 grados respecto del eje que le ancla al chasis del camión, evitando así la necesidad de orientar el camión de una determinada forma concreta. Debido a estas capacidades citadas su uso se extiende a labores de construcción, reparación y mantenimiento de tendidos eléctricos, parques eólicos, etc.



Figura 2. PEMP telescópica sobre camión. (Fuente “www.ruthmann.de”).

PEMP de tijera autopropulsada (3a).

Se trata de la PEMP de estudio en éste trabajo, se caracteriza por una elevación vertical respecto al chasis pudiendo alcanzar alturas máximas de 25 metros. Al disponer de una plataforma de trabajo normalmente amplia, puede ser utilizado por varios operarios a la vez así como elevar grandes cantidades de material en caso de que éste fuera necesario para realizar la tarea para la que se está utilizando. Suele utilizarse para mantenimiento, construcción, instalaciones, etc. El sistema de autopropulsión puede estar constituido por motor de combustión interna alternativo o eléctrico por medio de baterías. La transmisión puede ser de tracción media o integral.



Figura 3. PEMP de tijera autopropulsada. (Fuente “www.maqlift.com”).

PEMP unipersonal (3a).



Figura 4. PEMP unipersonal. (Fuente “www.maqlift.com”).

Se trata de la PEMP más pequeña en cuanto a volumen de espacio que necesita para trabajar así como la más ligera y manejable, por ello su principal uso se designa para trabajos de interior en alturas no muy elevadas. Se caracteriza por un sistema de elevación vertical y como su propio nombre indica su uso queda restringido a un único operario por motivos de espacio sobre su plataforma de trabajo.

PEMP autopropulsadas articuladas o telescópicas (3b).

Se trata de una PEMP utilizada principalmente para labores de difícil acceso en las que se necesita alcanzar alturas elevadas (del orden de 60 metros). Del mismo modo que el tipo anterior, el sistema de autopropulsión puede estar constituido por motor de combustión interna alternativo o eléctrico por medio de baterías. La transmisión puede ser de tracción media o integral.



Figura 5. PEMP autopropulsada telescópica. (Fuente “www.industic.es”).

3.2. Riesgos y factores de riesgo.

En este apartado se considera importante comentar de forma general los riesgos más frecuentes cuando se utilizan PEMP y las principales causas de los mismos. Es importante tenerlos en cuenta a la hora de plantear el diseño final de la máquina a desarrollar, ya que si éstos se conocen de antemano se pueden tratar de evitar con el diseño adecuado.

Caídas de la plataforma de trabajo debidas a:

- Basculamiento de la máquina como consecuencia de estar situada sobre un terreno de mala calidad o inclinado así como por la falta del uso de estabilizadores hidráulicos.
- Plataformas de trabajo carentes de barandillas de seguridad en alguna parte del perímetro de la misma.
- Tratar de ganar más altura de la que el elevador es capaz de dar, utilizando para ello elementos auxiliares como escaleras, cajones, etc.
- Rotura de la base de la plataforma por deterioro o mal uso de la misma al someterla a sobrecarga.
- No utilizar los sistemas de seguridad necesarios como los arneses.
- Utilizar la estructura de tijera extendida para subir o bajar de la plataforma a modo de escalera.
- Trabajar apoyado sobre la barandilla con parte del cuerpo fuera de ésta.

Vuelco del elevador debido a:

- Trabajar sobre un terreno inadecuado o inclinado.
- Fallo del terreno sobre el que se apoya la máquina.
- Utilizar de forma incorrecta los estabilizadores o simplemente no utilizarlos.
- Tratar de elevar más carga de la admisible provocando una sobrecarga de la estructura, pudiendo producirse un fallo de algunas de las barras haciendo que el c.d.g de la carga se situara fuera de la base del elevador, provocando así el vuelco del mismo.
- No tener en cuenta las posibles irregularidades del terreno como hoyos o zanjas.
- Hacer un uso inadecuado de la PEMP como por ejemplo usarla de grúa para elevar cargas suspendidas.
- Utilizar mangueras muy potentes que puedan generar una fuerza superior a la lateral admisible de la maquina generando un momento de vuelco.
- No considerar efectos tales como viento fuerte a la hora de trabajar con la PEMP.

Caída de material debidas a:

- Dejar material tal como herramientas sobre la plataforma.
- Vuelco de la PEMP
- No asegurar la zona de trabajo formando un perímetro de seguridad con vallas sobre la vertical del elevador.
- Rotura y desprendimiento de alguna parte de la máquina dotada de cierta energía potencial gravitatoria.

Atrapamientos de partes del cuerpo con el mecanismo móvil debidas a:

- Manipulación de alguna parte del mecanismo durante la bajada o subida de la plataforma de trabajo.
- Apoyarse o situarse junto al mecanismo durante la subida o bajada del mismo.

Accidentes eléctricos debidos a:

- Trabajar en zonas próximas a tendidos eléctricos de AT.
- Utilizar la PEMP durante una tormenta eléctrica.

Quemaduras o intoxicaciones debidas a:

- Manipulación incorrecta o inadecuada de las baterías.
- Mantener el motor encendido durante el repostaje de combustible.
- Contacto con líquido hidráulico por rotura de alguna manguera del circuito hidráulico.
- Utilización de PEMP en zonas o locales cerrados con escasa ventilación siendo el sistema de propulsión de la misma un motor de explosión lo que conlleva a la inhalación continuada de los gases de combustión.

4. Diseño y modelado.

4.1. Definición y características del diseño.

Dentro de la enorme cantidad de posibles PEMP, se ha escogido aquella que aprovecha la tipología de la tijera, permitiendo que cuando se encuentra en reposo sea una máquina de reducidas dimensiones y fácil de transportar pero no por ello que no permita elevarse a las alturas de trabajo requeridas. Se trata de una máquina muy versátil que es utilizada hoy en día para labores tanto de construcción, mantenimiento, limpieza, etc.

Su uso está tan extendido por la capacidad que éste posee para alcanzar alturas deseadas de trabajo pudiendo elevar grandes cantidades de peso que antaño debían solucionarse a base de andamios y poleas, lo que ha supuesto una gran reducción en tiempo y esfuerzo en dichas tareas.

Las principales ventajas que encontramos con el uso de este tipo de elevadores son:

- Al tratarse de máquinas autopropulsadas se simplifica de forma considerable su desplazamiento a la zona de trabajo en cuestión, así como el cambio de posición de la misma dentro de la zona de trabajo para poder realizar todas las tareas necesarias.
- Evitamos la necesidad de tener personal empleando tiempo en montar el andamio.
- Al disponer de una plataforma elevadora, permite alcanzar distintas alturas de trabajo sin necesidad por tanto de tener que ir añadiendo más pisos al andamio con el esfuerzo y tiempo que esto conllevaría.
- El trabajador cuenta con una superficie útil de trabajo mucho más extensa y segura que en el caso de utilizar andamios convencionales lo que permite realizar más tareas a la vez si todo el material necesario ya se dispone en la misma y no toca bajar a por él cada vez.

Antes de empezar con el modelado propiamente dicho de las piezas que componen la PEMP resulta esencial conocer las partes principales de este tipo de máquinas, así como una visión ya más concreta de la máquina que se va a desarrollar a lo largo del escrito. La máquina que a continuación se presenta se trata de un modelo comercial llamado 6RS de la empresa JLG, el cual ha servido de inspiración para el diseño. Sobre ella se indican de forma general las piezas de las que se compone así como una explicación general de las mismas.



Figura 6. Partes generales PEMP de tijera, modelo 6RS JLG. (Fuente “www.maqlift.com”).

Placa base inferior.

Se trata de la parte de la máquina que soporta toda la carga de la misma y la cual suele estar integrada formando parte del chasis de un dispositivo motriz accionado por un motor eléctrico.

Mecanismo de tijera.

Constituido principalmente por barras metálicas de perfil rectangular unidas entre sí por pasadores y rigidizadores, constituyendo la forma típica de tijera que les caracteriza y orientadas de forma que el eje fuerte (el de mayor momento de inercia) es el que recibe el esfuerzo de la carga a la hora de elevarla, presentando mayor resistencia frente a los momentos flectores que se introducen en las mismas. En función de la cantidad de barras que se encuentren constituyendo el mecanismo se podrán alcanzar diferentes alturas, siempre teniendo en cuenta las limitaciones estructurales presentes que limitan las alturas máximas de operación en este tipo de elevadores.

Sistema de accionamiento del mecanismo elevador.

Se trata del elemento encargado de producir la fuerza necesaria para hacer que el mecanismo levante la carga de trabajo. Encontramos diferentes posibilidades a la hora de desempeñar esta función como son:

- sistema hidráulico
- sistema neumático
- sistema mecánico

En este caso el sistema seleccionado es el hidráulico. Dicho sistema está constituido por una bomba volumétrica trabajando con un fluido incompresible y el pistón telescópico.

Plataforma de trabajo.

Se trata de la plataforma sobre la que los operarios de la máquina realizan su trabajo. Dicha superficie suele estar ligeramente inclinada para evitar la posible acumulación de agua sobre la misma así como para permitir que el agua sea evacuada de la máquina de forma premeditada evitando que llegue a entrar en contacto con los elementos delicados del mecanismo. Existen plataformas que poseen la capacidad de poder deslizarse una cierta longitud hacia los lados para evitar así tener que mover toda la máquina en cuestión si no se alcanza la zona deseada sobre la horizontal del plano de trabajo de la superficie.

Barandillas.

Se trata de un elemento de seguridad para garantizar la integridad del operario de la máquina. Suelen contar con una entrada y salida por medio de una puerta integrada en el propio perímetro de la barandilla.

Chasis.

Parte inferior de la máquina en la que se encuentra integrada la placa base inferior y por tanto la que soporta la carga de la misma. Podemos encontrar dentro de las PEMP chasis autopropulsados, aquellos que son empujados, y los remolcados por otra máquina. Puede estar situado sobre diferentes sistemas como ruedas, orugas, sobre el suelo directamente, cadenas, etc.

Es posible también encontrar sistemas integrados en el propio chasis cuyo objetivo es aumentar la estabilidad de la máquina cuando ésta se encuentra en posición de trabajo como por ejemplo estabilizadores hidráulicos laterales.

Órganos de servicio.

Se trata de los paneles de control que sirven para llevar a cabo la traslación de la plataforma así como la del chasis en muchos casos. Dentro de los órganos de servicio también hemos de considerar aquellos que se encargan de la seguridad en caso de emergencia.

El principal problema reside en el hecho de que los fabricantes de este tipo de maquinaria no facilitan los planos de construcción de las mismas, lo que es completamente entendible y lícito, para evitar plagios de empresas competidoras en el mercado. Debido a ello y con el objetivo de disponer de una base sobre la que empezar a dimensionar las piezas, se ha utilizado la escasa información dimensional que se facilita en los catálogos comerciales junto con un escalado de imagen mediante el programa CAD Draftsight, el cual es completamente gratuito.

La idea consiste en sacar las dimensiones aproximadas de las piezas a partir de conocer la distancia física que existe por ejemplo entre los ejes motrices. Una vez introducida la imagen de la PEMP el primer paso es modificar la escala de la imagen de forma que la distancia real entre los ejes sea aproximadamente de 1400 mm. Tras ello ya se está en disposición de sacar todas las medidas que se requieran.

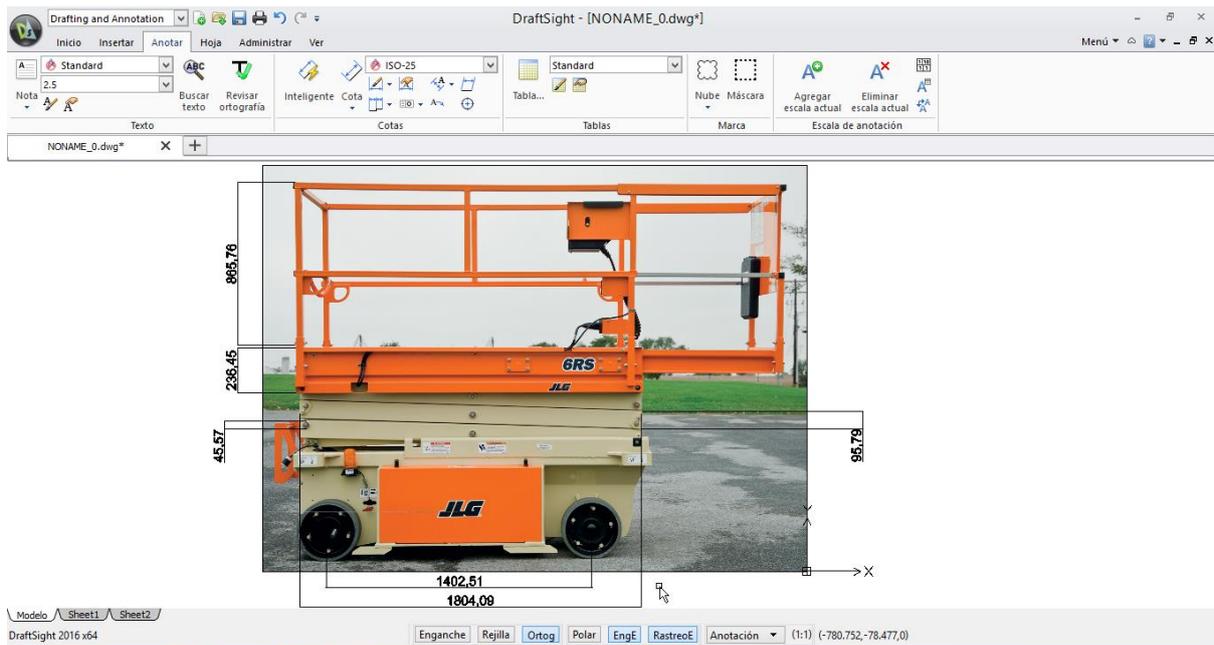


Figura 7. Escalado de imagen para obtener dimensiones aproximadas. (Fuente “www.maqlift.com”).

A. Altura de plataforma - Elevada	5,79m
B. Altura de plataforma - Recogida	1,00m
C. Altura de barandillas	1,10m
D. Altura de almacenaje (Barandillas plegadas)	1,76m
E. Tamaño de plataforma (L x A)	0,69m x 1,82m
F. Lateral extensible	0,71m
G. Anchura total	0,81m
H. Longitud total	2,07m
I. Distancia entre ejes	1,40m
J. Distancia al suelo (centro de la máquina)	8cm

Figura 8. Características dimensionales de catálogo, modelo 6RS JLG. (Fuente “www.maqlift.com”).

Cabe mencionar que las medidas extraídas mediante este procedimiento son meramente orientativas, no tomándose en ningún caso como medidas estrictas de dimensionado. Así mismo medidas orientativas de espesores, morfología y colocación de rigidizadores y aletas de sujeción han sido asignadas tras inspección visual de máquinas reales situadas tanto en la UPV como en zonas públicas y que, dado que no se dispone de autorización directa de las empresas propietarias para adjuntar a este escrito las imágenes tomadas, se evitan adjuntar por precaución. Será tras el estudio de análisis de tensión cuando se vea si estas dimensiones son suficientes para cumplir con los requerimientos mecánicos adecuadamente o si por el contrario han de ser modificadas.

Como idea general, la PEMP de tijera que va a ser desarrollada a lo largo del escrito, se trata de una versión eléctrica, de reducidas dimensiones, destinada a trabajos de interior con escasa o nula

ventilación y cuyas características técnicas han sido extraídas de catálogo, no siendo estrictamente las mismas pero sí lo más parecidas posible.

Capacidad de plataforma ¹	230kg
Capacidad sobre el desplazable	120kg
Velocidad de elevación/descenso	25 / 26 sec.
Máxima altura de traslación	5,79m
Peso total de la máquina ²	1.565 kg

Figura 9. Características de catálogo, modelo 6RS JLG. (Fuente “www.maqlift.com”).

4.2. Definición y Modelado de las piezas.

Llegados a este punto resulta interesante pasar a una visión más concreta de las piezas que se van a modelar, partiendo de la visión general expuesta anteriormente. Cabe comentar que en el esquema presentado sólo se nombran las piezas sin concretar qué función desempeñan ni dónde van colocadas, ya que ambas cosas serán comentadas dentro del modelado concreto de las mismas.



Para empezar con el modelado de las piezas es esencial como paso inicial generar un nuevo proyecto en el que se vayan guardando todas las piezas para posteriormente a la hora de cargarlas para realizar el ensamblaje del conjunto, el programa sepa dónde tiene que acceder y poder trabajar con ellas.

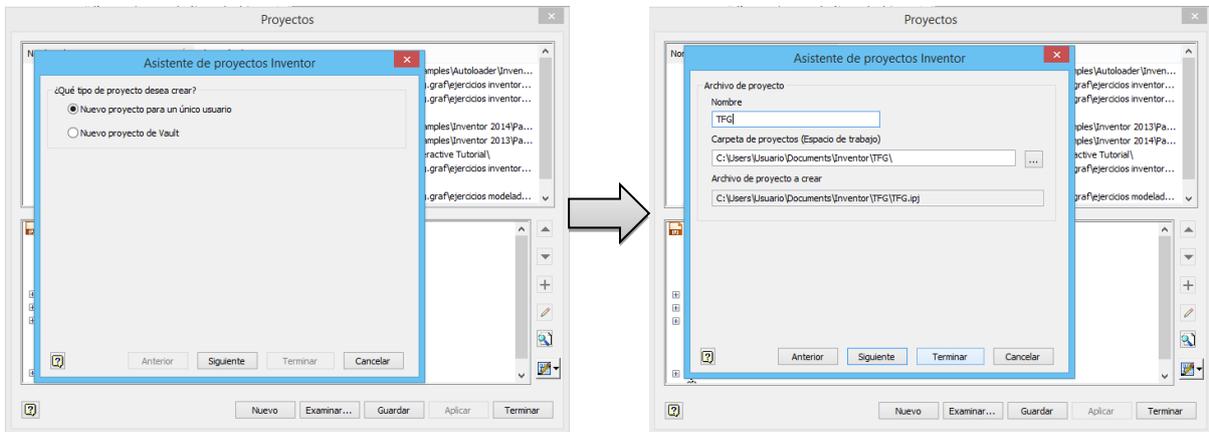


Figura 10. Generación de un nuevo proyecto.

Para comenzar con el modelado, se selecciona en la parte superior izquierda de la interfaz el icono que nos permite crear una nueva pieza. Posteriormente habrá que seleccionar *crear un boceto 2D* y seleccionar uno de los 3 planos que inventor nos presenta sobre el que empezar a trabajar.

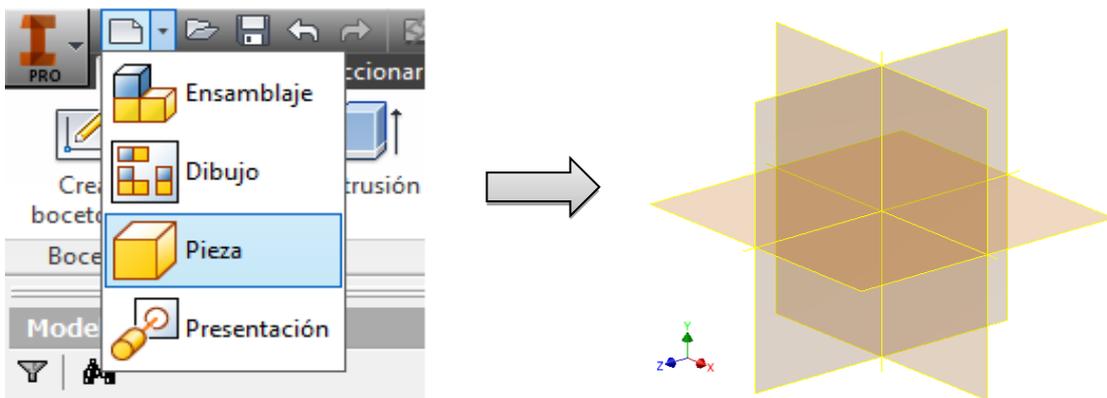


Figura 11. Acceso al entorno de trabajo de generación de piezas.

Dentro de la pestaña *Boceto* se dispone de las operaciones gráficas propias de cualquier programa CAD 2D dentro de la pestaña *Dibujar*. Del resto de pestañas que aparecen cabe resaltar en importancia la pestaña de *Restringir* ya que es de vital importancia para que el modelado de las piezas sea correcto que tras la realización de un boceto y previo a aplicar alguna de las operaciones de modelado 3D se compruebe que el boceto en cuestión se encuentra totalmente restringido, evitando cualquier tipo de incertidumbre dimensional. Para ello se dispone la posibilidad de restringir por medio de acotación y operaciones restrictivas, junto con un indicador del número de cotas

necesarias para restringir el boceto completamente en la parte inferior derecha de la interfaz, el cual indica *Restricción total* cuando éste está totalmente restringido. Una vez terminado el boceto, podemos pasar a la interfaz de modelado 3D seleccionando el botón superior derecho *Terminar boceto*.

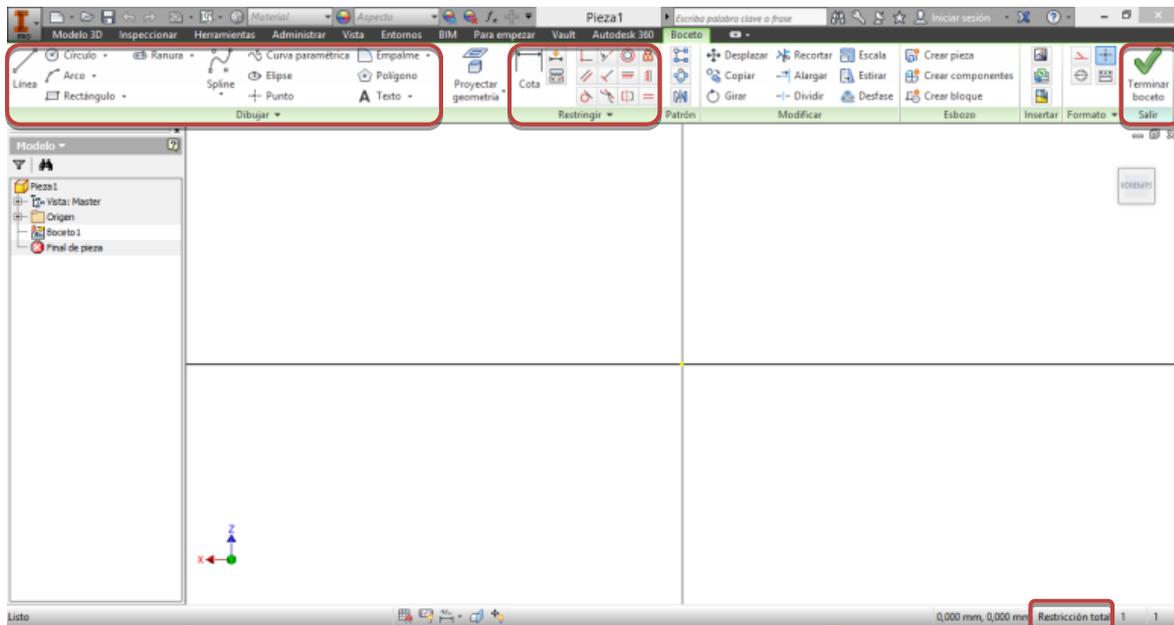


Figura 12. Entorno de trabajo de creación de boceto.

Dado que estos pasos son comunes para iniciar el modelado de cualquier pieza, en adelante ya no se hará más referencia a ellos siendo por ello pasos implícitos. Tras ello se observa como la interfaz gráfica ha cambiado. De forma meramente esquemática se observa como en la banda superior han aparecido toda clase de operaciones y herramientas que serán comentadas conforme vayan siendo utilizadas en el modelado, siempre de forma breve ya que no entra dentro del alcance del trabajo explicar detalladamente el programa en sí. Así mismo se dispone de una ventana en la parte izquierda en la cual se van a ir guardando de forma esquemática y secuencial todas aquellas operaciones que se vayan haciendo a lo largo del modelado. Resulta tremendamente interesante y útil ya que permite de forma rápida y sencilla acudir a cualquier operación concreta realizada en la pieza y poder modificarla, eliminarla o incluso desactivarla en caso de necesidad sin alterar el resto de operaciones realizadas posteriormente.

4.2.1. [Placa base inferior/superior.](#)

Dado que se trata de piezas prácticamente idénticas tanto en la función que desempeñan como físicamente, con el objetivo de sintetizar ideas y texto, se ha decidido agruparlas en un único modelado de pieza comentando posteriormente las diferencias puntuales entre ellas. Se trata de las piezas que sirven de nexo de unión entre el mecanismo de tijera y la plataforma de trabajo por la

parte superior y el chasis y sistema motriz por la inferior, permitiendo así mismo el deslizamiento del mecanismo de tijera durante la extensión y plegado de la máquina.

La primera operación que se realiza es la de dibujar un rectángulo de dimensiones 1830x760 mm. Se utilizan los ejes de origen del plano para centrar el boceto de forma simétrica por medio de la restricción *Simétrico*. A continuación se procede a extruir el boceto 10 mm mediante la operación *Extruir*, indicando para ello la dirección y la distancia. Para modelar los puntos de anclaje con las *Barras unión estática* del mecanismo de tijera se realiza un desfase de plano de 226 mm para la *Placa base inferior* y de valor 578 mm para la *Placa base superior* de forma que éste constituya el plano de simetría del anclaje. Seguidamente se realiza un nuevo boceto constituido por un rectángulo 45x50 mm en cuya parte superior se realiza un círculo de diámetro 50 mm centrado en el punto medio de la línea superior del rectángulo por medio de la restricción de tangencia con las líneas laterales del mismo. Para acabar de restringir totalmente el boceto es necesario acotar con una distancia de 20 mm el lado más próximo del rectángulo al borde de la chapa. Seguidamente se procede a la extrusión del boceto de forma simétrica respecto al plano de trabajo una distancia de 33mm. Para modelar el otro anclaje se hace uso de la operación *Simetría* seleccionando como plano de simetría el longitudinal de la placa rectangular y como operación el anclaje que se acaba de modelar. Para poder alojar el *Pasador unión base estático* encargado de retener uno de los extremos del mecanismo de tijera se procede a realizar un agujero pasante liso de diámetro 35 mm centrando un punto en el centro del círculo de la pieza mediante la operación *Agujero*.

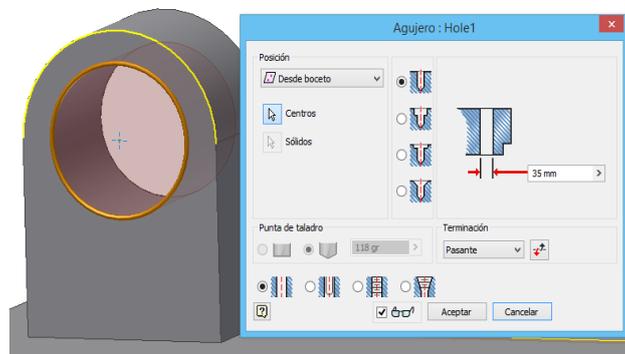


Figura 13. Aplicación de la operación *Agujero*.

Posteriormente se modelan las guías laterales por las que la pieza *Taco cuadrado* se deslizará. Para ello se crea un boceto en el plano perpendicular a la placa, dibujando una "L" de espesor 5 mm para finalmente extruirlo a ambos lados hasta el final de la placa. Mediante la operación *Simetría* se obtiene la guía simétrica. Por último se realiza un agujero rectangular centrado respecto al plano longitudinal de la placa y en el semiplano transversal derecho de la misma, creando para ello un nuevo boceto sobre la chapa, de dimensiones 700x350 mm y se redondean las esquinas con un radio de 20mm mediante la operación *Empalme*. Obteniendo finalmente la pieza deseada (Fig. 20).

4.2.2. Barra unión estática.

El objetivo de esta pieza es el de anclar el mecanismo de tijera tanto a la *Placa base inferior* como a la *Placa base superior* de forma que sólo se permita la rotación relativa entre ellas.

Para modelar esta pieza lo primero es dibujar un rectángulo de dimensiones 1710x96 mm. Tras ello, se utiliza la operación *Extrusión* consiguiendo así un rectángulo macizo de espesor 45mm. Posteriormente se realizan dos agujeros de diámetro 35mm mediante la operación *Agujero*, separados entre sí 870 mm y con respecto al borde de la pieza, una distancia del punto más próximo de 40 mm. La ventaja de realizar los citados agujeros en este punto del modelado se hace evidente cuando se utiliza la operación *Vaciar*, ya que gracias a ello se genera un vaciado que tiene en cuenta los agujeros, evitando así la necesidad de tener que generar estos cilindros por medio de extrusiones posteriores ahorrando así tiempo y operaciones. El vaciado se realiza dejando un espesor general en la pieza de 5mm de fuera hacia dentro.

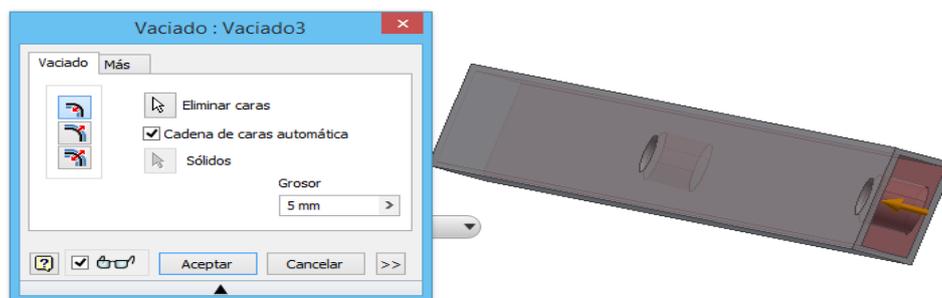


Figura 14. Aplicación de la operación *Vaciado*.

A continuación se crea un nuevo boceto sobre el lateral opuesto al mostrado en la figura, dibujando un círculo de diámetro 80mm y cuyo centro se encuentra alineado horizontalmente con el origen de coordenadas mediante la restricción *horizontal* y separado una distancia de 70 mm con respecto al extremo de la barra rectangular. Para unir el círculo con la pieza que ya tenemos modelada creamos dos líneas que unen el círculo con los extremos del rectángulo y las restringimos por medio de la restricción *Tangencia*, recortando mediante la operación *Recortar* el trozo de círculo que queda entre ellas. Tras ello se extruye el boceto una distancia de 5mm y usamos la operación *Simetría* para generar la parte que se acaba de modelar de forma simétrica respecto al plano de simetría de la primera extrusión. Se realiza un agujero pasante sobre cada aleta generada situando el punto en el centro del círculo del boceto anterior y por último se genera una extrusión de 5 mm de distancia de una corona de diámetro exterior 45mm centrada sobre cada uno de los agujeros realizados, usando para ello nuevamente la operación *Simetría* para ahorrar tiempo. Dado que cuando se obtienen los perfiles en su proceso de fabricación las aristas no son estrictamente aristas a 90 grados se procede a suavizarlas mediante el uso de la operación *Empalme*, con un radio de valor 2mm. Obteniendo finalmente la pieza deseada (Fig. 20).

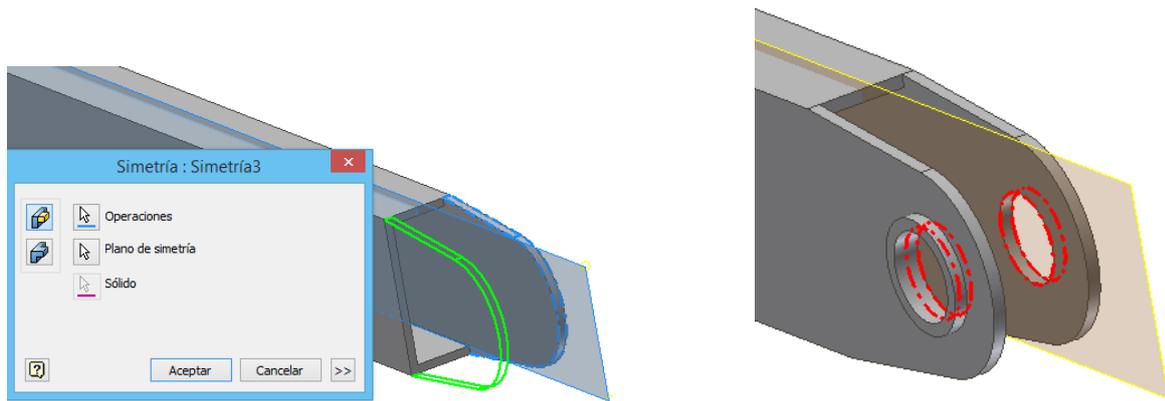


Figura 15. Proceso de generación y acabado de las aletas.

4.2.3. Barra unión móvil con bases.

Se trata de las barras que unen el mecanismo de tijera a las *Placas base superior e inferior* por medio de las piezas *Pasador unión taco superior/inferior* y *Taco cuadrado*, permitiendo así el desplazamiento vertical del mismo gracias al deslizamiento horizontal de los tacos sobre las guías ya modeladas.

Esta barra se modela de forma análoga a la que se acaba modelar añadiendo como último paso una extrusión en forma de corona de 45mm de diámetro exterior y centrada sobre el agujero de las aletas. Obteniendo finalmente la pieza deseada (Fig. 20).

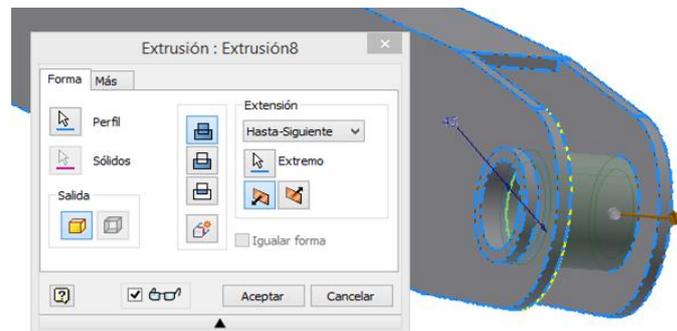


Figura 16. Aplicación de la extensión Hasta-Siguiente en la operación Extrusión.

4.2.4. Barra.

Se trata de las cuatro barras centrales que se encuentran constituyendo el mecanismo de tijera, es decir, aquellas que no tienen terminaciones sobre las *Placas base inferior/superior*.

El modelado de la misma es prácticamente idéntico al modelado de las barras que se utilizan como nexo de unión con las bases. La diferencia reside en el hecho de que en este caso la extrusión del perfil parte de un boceto rectangular de dimensiones 1820x96 mm, situando los agujeros en la

misma posición espacial y realizando el vaciado del perfil tras los mismos, todos con idénticas medidas que entonces. Obteniendo finalmente la pieza deseada (Fig. 20).

4.2.5. Casquillo.

Se trata de una pieza fabricada a partir de alguna aleación metálica más blanda que el acero con el que se fabrican las barras del mecanismo de tijera y los pernos. Su principal función es la de permitir el giro coaxial relativo de forma que no exista contacto directo entre ellas, evitando así el desgaste de las mismas a costa de ser ésta la que se desgaste. Al ser piezas de reducido tamaño y coste es mucho más aconsejable desde el punto de vista económico que sea ésta la pieza que se desgaste en lugar de las barras, pudiendo cambiarse de forma periódica con el uso. En el diseño de máquina que se está modelando, se requiere de tres tipos de casquillos cuya única diferencia entre ellos reside en la longitud de extrusión de los mismos. Por ello se han englobado dentro del mismo modelado. Para modelar dichas piezas se debe generar un boceto formado por dos círculos concéntricos de diámetros 32 y 35 mm respectivamente para luego realizar una extrusión simétrica de la corona circular formada de la distancia deseada.

En este caso la distancia de extrusión es de 55 mm para el *Casquillo barras*, 90 mm para el *Casquillo vástago pistón* y por último de 125 mm para el *Casquillo módulo externo pistón*, cuyos nombres ya indican dónde irán situados. Obteniendo finalmente la pieza deseada (Fig. 20).

4.2.6. Aleta sujeción pistón.

Esta pieza es la más importante de la máquina debido al papel crítico y fundamental que juega en la misma. Su función es la de servir de nexo de unión entre el elemento que aporta la fuerza necesaria para que la máquina pueda extenderse y contraerse, es decir, el pistón oleohidráulico y la mecanismo de tijera. Por ello se trata de la pieza que va a estar sometida a mayores esfuerzos y la que es esencial que pueda resistirlos y transmitirlos adecuadamente. Cabe resaltar que su correcta colocación es extremadamente vital ya que en función del ángulo que exista con respecto a la horizontal, el pistón hará más o menos esfuerzo para levantar las cargas. Dado que las barras del mecanismo de tijera cambian su posición relativa durante la extensión y plegado de la máquina, es de suma importancia encontrar una posición y forma que permita que en todo momento la componente vertical de la fuerza entregada por el pistón sea suficiente para permitir la elevación sin sobrecargar la estructura con la componente horizontal. Por ello se opta por el diseño más empleado entre los fabricantes de este tipo de máquinas que consiste en unos enganches en forma de aletas que van soldadas en una posición característica, la cual será detallada durante el ensamblaje.

Para modelar esta pieza se empieza creando un boceto constituido por un rectángulo de dimensiones 455x96 mm al que se le añade a una distancia de 200 mm respecto del punto medio de su base inferior una circunferencia de diámetro 70 mm. El rectángulo es restringido mediante la restricción de *Simétrico* con respecto a los ejes de simetría del plano de trabajo. Para terminar de obtener el boceto deseado se requiere unir el rectángulo con el círculo superior a través de líneas que unen los vértices superiores del rectángulo con el círculo por medio de la restricción de *Tangencia*. Para continuar se realiza una extrusión de 10 mm de forma simétrica y se genera sobre el centro del círculo anterior. Se

realiza un agujero pasante de diámetro 32 mm y seguidamente se redondean las esquinas con un radio de 20 mm.

Para finalizar se genera un nuevo boceto en el que se dibuja un círculo de diámetro 55 mm cuyo centro se sitúa sobre el centro del primer círculo y se extruye la corona que queda definida una distancia de 5 mm. Mediante la operación *Simetría* se genera la corona simétrica en la otra cara de la pieza.

Estas últimas operaciones de extrusión que se han generado tienen como objetivo reforzar la zona del agujero de la aleta, para tratar de dotarle de mayores cualidades mecánicas, permitiéndole así poder resistir los esfuerzos transmitidos por el pistón adecuadamente. Obteniendo finalmente la pieza deseada (Fig. 20).

4.2.7. Rigidizadores.

Como su propio nombre indica se trata de los perfiles rectangulares huecos que se utilizan con la finalidad de dotar de rigidez al mecanismo de tijera ya que éste, conforme más elevada y descentrada se encuentra la carga o el personal sobre la plataforma, mayores esfuerzos laterales aparecerán y más rígidamente unida deberá estar la estructura para lidiar con ellas y evitar deformaciones excesivas que puedan provocar el vuelco de la máquina. Se trata de piezas muy sencillas de modelar aunque la longitud de las mismas depende de la zona en la que vayan a estar soldadas. En el modelo planteado se dispone de tres distintos, de longitudes 407mm, 519mm y 1520mm, los cuales corresponden a las piezas *Rigidizador transversal corto*, *Rigidizador transversal largo* y *Rigidizador longitudinal* respectivamente. Para realizar el modelado se propone una forma distinta a la utilizada en el modelado de las barras, pero igualmente válida y sencilla, para mostrar al lector la posibilidad de modelar piezas muy parecidas incluso idénticas, de formas distintas.

Se dibujan dos rectángulos de dimensiones 35x70 mm y 45x80 mm y se centran simétricamente respecto al origen. Para terminar se procede a extruir el perfil de forma simétrica la distancia acordada en función del rigidizador deseado y se redondean las esquinas con un radio de 2mm. Obteniendo finalmente la pieza deseada (Fig. 20).

4.2.8. Taco cuadrado.

La finalidad de esta pieza es la de permitir que el mecanismo de tijera, cuando está sometido a la fuerza generada por el pistón oleohidráulico, tenga la capacidad de elevarse verticalmente. Para ello se necesita que la pieza *Barra unión móvil*, anteriormente presentada, se deslicen horizontalmente sobre las guías laterales de las piezas *Placa base superior e inferior*. Para cumplir con este objetivo mecánico indispensable para el correcto funcionamiento del mecanismo, se procede a modelar la pieza *Taco cuadrado*.

Se trata de una pieza extremadamente sencilla de modelar. Se parte de un boceto en el que se dibuja un cuadrado de dimensiones 90x90 mm para posteriormente realizar una extrusión simétrica de distancia 45mm. Para terminar se genera en el centro de una de sus caras un agujero pasante liso de dimensiones 32mm para el cual previamente se ha creado un boceto con un punto que le sirve de

guía a la operación. Tras ello se obtiene la pieza deseada. Dado que estas piezas suelen ser de madera, se le ha otorgado ese aspecto de forma meramente estética. Obteniendo finalmente la pieza deseada (Fig. 20).

4.2.9. Pasadores.

Se trata de las piezas que sirven para realizar las uniones del mecanismo de tijera, las cuales permiten la rotación o giro relativo entre las piezas a unir. Suelen ser piezas de reducido tamaño pero extremadamente resistentes mediante el uso de aceros de alta resistencia ya que se encuentran sometidas principalmente a esfuerzos cortantes de valores, en determinadas ocasiones, muy elevados. Dentro de este apartado se van a incluir tanto los pasadores usados para unir las barras del mecanismo de tijera, los cuales van a recibir el nombre de *Pasador barras*, aquellos que sirven para realizar la unión de los extremos de barra con los puntos de anclaje fijos de las *Placas base*, llamados *Pasador unión base estático*, aquellos que permiten la unión de los *Tacos cuadrados* con los extremos de las barras del mecanismo, llamados *Pasador unión taco superior e inferior* y aquellos que permiten unir el pistón oleohidráulico con las *Aletas de sujeción*, llamados *Pasador vástago pistón* y *Pasador módulo externo pistón*.

Para realizar el modelado de los primeros, se crea un círculo de diámetro 32 mm, posteriormente se extruye una distancia de 111 mm obteniendo así el cuerpo principal del mismo. Para constituir la cabeza se genera un círculo centrado de diámetro 40 mm y se extruye en dirección saliente con una distancia de 5 mm. Para darle forma de cabeza se realiza un redondeo de la arista más externa del disco generado en esta última extrusión, con un valor de 3mm. Tras esto se pasa a modelar la otra cara plana del cilindro primitivo. En este caso el pasador requerirá de una hendidura en su superficie que permita alojar la arandela de retención que restringirá el movimiento horizontal del mismo. Para ello se crea un boceto circular de 30 mm, extruyéndose una distancia de 1,5 mm y sobre éste se genera de nuevo un boceto circular de 32 mm para posteriormente extruirlo una distancia de 2 mm. La única diferencia existente entre el *Pasador barras* y el resto comentados anteriormente reside en la longitud de la extrusión del cilindro primitivo, las cuales son de 55 mm para el *Pasador unión base estático*, 115 mm para *Pasador unión tacos inferior*, 169,5 mm para el *Pasador unión tacos superior*, 207 mm para el *Pasador módulo externo pistón* y finalmente 186 mm para el *Pasador vástago pistón*. Obteniendo finalmente la pieza deseada (Fig. 20).

4.2.10. Pistón oleohidráulico.

Se trata del elemento encargado de aportar la fuerza necesaria para permitir la extensión y plegado de la máquina. Debido a las necesidades físicas y mecánicas presentes en el elevador, se ha optado por la utilización de un pistón telescópico que permita que el mecanismo de tijera se pliegue completamente cuando la máquina esté sin usarse y alcanzar la altura de diseño cuando se requiera durante su uso, manteniendo unas dimensiones reducidas de máquina, aspecto importante si se recuerda que se trata de una PEMP diseñada para operar en espacios cerrados y muy a menudo no todo lo grandes que se desearía. Es importante comentar que el pistón, aunque se englobe dentro de un único apartado, se trata de un conjunto de piezas ensambladas entre sí.

Aunque el pistón juega un papel crucial en el correcto funcionamiento del mecanismo de tijera, profundizar en él queda fuera del alcance del trabajo y por ello se procede a un modelado simplificado del mismo. Con el objetivo de salvar adecuadamente el gradiente de longitud que se presenta en nuestra máquina se ha optado por un pistón de tres módulos.

Dado que el pistón que se va a diseñar está constituido por la unión de seis piezas diferentes, y con el objetivo de facilitar una visión global del mismo, se presenta una imagen del conjunto montado, aunque las operaciones necesarias para ello se describirán durante el apartado de ensamblaje. De nuevo los colores y texturas se añaden de forma meramente estética.

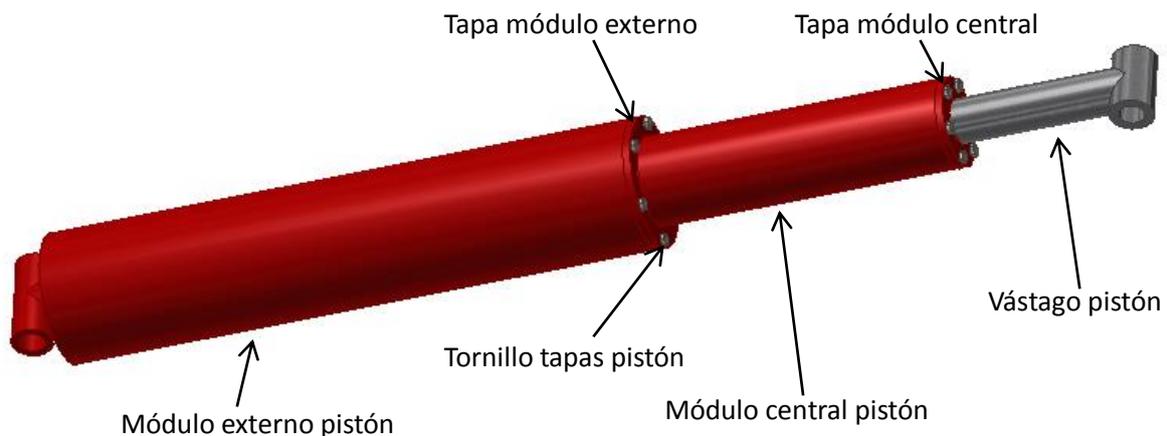


Figura 17. Ensamblaje de conjunto del pistón oleohidráulico.

4.2.10.1. Módulo externo pistón.

Se trata de la pieza del pistón encargada de alojar al resto de módulos cuando éste se encuentra plegado, así mismo posee un anclaje que permite ser unido al mecanismo de tijera por medio de la pieza *Aleta de sujeción*. Para conseguir obtener la pieza deseada se parte de un círculo de diámetro 174 mm al que se le aplica una extrusión de 800 mm. Posteriormente se procede a realizar un agujero liso centrado de diámetro 134 mm, no pasante, con extremo plano, de 705 mm de profundidad. Para finalizar con la cara plana sobre la que se ha realizado el agujero, se realizan un total de seis agujeros roscados, con perfil métrica ISO, tamaño 12 y 40 mm de profundidad, mediante la operación *Patrón circular*, la cual nos permite reproducir el agujero roscado en cuestión el número deseado de veces, indicando para ello el eje respecto al que se desea generar el patrón.

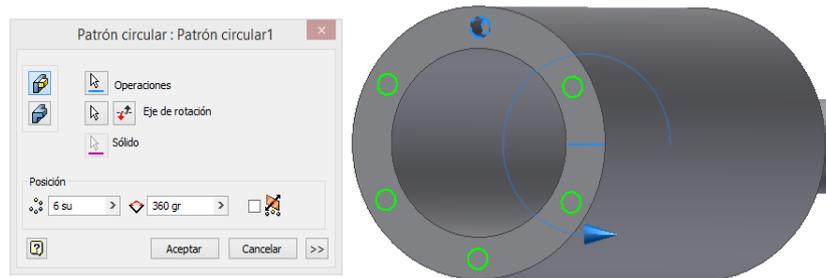


Figura 18. Aplicación de la operación Patrón circular para la generación de los agujeros roscados.

La finalidad de estos agujeros roscados reside en permitir la colocación de la *Tapa módulo externo* mediante la pieza *Tornillo tapas pistón*, la cual conectará los módulos entre sí y retendrá dentro de cada módulo el fluido oleohidráulico. Tras esto se procede a modelar la otra cara plana del módulo. Para ello, una vez seleccionado el plano longitudinal de simetría del cilindro modelado anteriormente, se genera un nuevo boceto sobre el plano indicado en el que se realiza un círculo de diámetro 55 mm y se coloca a una distancia de 40 mm respecto de la arista de corte más cercana. Tras ello se realiza una extrusión de distancia 125 mm, se selecciona una de las dos caras planas del cilindro generado, se crea un nuevo boceto sobre ella en la que se coloca un punto centrado y se realiza un agujero pasante liso mediante la operación *Agujero*. Finalmente solo queda conectar ambos cilindros mediante la extrusión de un tercero generado a partir de la cara plana del cilindro primogénito, de diámetro 55 mm. Obteniendo finalmente la pieza deseada (Fig. 20).

4.2.10.2. Módulo central pistón.

Se trata de la pieza que permite la unión de la piezas *Módulo externo pistón* con *Vástago pistón*.

El proceso de modelado es análogo a la secuencia de operaciones realizadas para la pieza *Módulo externo pistón* teniendo en cuenta un tratamiento diferente para una de sus caras planas. Las nuevas dimensiones son 120 mm de diámetro para el cilindro central, con una distancia de extrusión de 850 mm. El agujero central del cilindro en este caso se trata de un agujero de final plano, 795 mm de profundidad y 80 mm de diámetro. Los agujeros roscados son idénticos a los anteriores. Para finalizar, sobre la otra cara plana del cilindro se centra un círculo de diámetro 134 mm, extruyéndose seguidamente hacia fuera una distancia de 20 mm. Obteniendo finalmente la pieza deseada (Fig. 20).

4.2.10.3. Vástago pistón.

Para su modelado se sigue un procedimiento parecido al seguido en los módulos anteriores pero con el orden cambiado. Para ello se dibuja un círculo de diámetro 80 mm que posteriormente es extruido una distancia de 20 mm. Utilizando el plano de simetría longitudinal del cilindro creado, se dispone de un punto de referencia sobre el que generar un nuevo boceto de un círculo de 60 mm de diámetro, separado una distancia de 833 mm de éste, el cual se extruye y se le practica un agujero pasante liso

centrado de diámetro 35 mm. Para finalizar se procede a unir las piezas ya modeladas mediante una extrusión de diámetro 60 mm situada sobre la cara plana del cilindro modelado en primer lugar. Obteniendo finalmente la pieza deseada (Fig. 20).

4.2.11. Tapas.

Pese a que existen dos tapas de dimensiones distintas, *Tapa módulo central* y *Tapa módulo externo* el proceso de modelado es idéntico para ambas. Se trata de dos discos generados mediante operaciones de *Extrusión* y *Agujero* en las que el diámetro exterior coincide con el diámetro del módulo sobre el que va atornillado y el diámetro interior coincide con el diámetro del cilindro central del módulo inmediatamente inferior. Los agujeros roscados pasantes se han modelado de forma idéntica al de los módulos y el espesor de los discos es de 10 mm. Obteniendo finalmente la pieza deseada (Fig. 20).

4.2.12. Rueda.

Se trata de la pieza que permite el desplazamiento de la PEMP para poder situarla en la zona de trabajo deseada. Dado que la PEMP que se diseña se trata de una máquina eléctrica para uso de interiores, los cuales no presentan demasiadas irregularidades superficiales, las ruedas propuestas son de reducido tamaño, con el objetivo de mantener el centro de gravedad de la máquina lo más bajo posible para otorgarle la mayor estabilidad posible.

Para su modelado, se ha preferido proceder por medio de una nueva operación no usada hasta ahora llamada *Revolución*. Para poder utilizar esta nueva operación se requiere el dibujo de un corte transversal de la pieza deseada y un eje respecto al que realizar la revolución. El boceto que corresponde al corte transversal de la pieza se trata de un rectángulo al que se le ha realizado dos hendiduras de nuevo rectangulares con fines tanto estéticos como de ahorro de material. Por último, para modelar los agujeros sobre los que se alojarán los pernos que permiten la unión de las ruedas con la pieza *Eje transmisión*, se hace uso de la operación *Patrón circular*, generando seis agujeros lisos pasantes de diámetro 20 mm. Obteniendo finalmente la pieza deseada (Fig. 20).

4.2.13. Plataforma de trabajo.

Se trata de la pieza que sirve de unión entre la *Placa base superior* y las *barandillas* y sobre la que los operarios de la PEMP trabajan.

Para modelarla se dibuja un rectángulo de dimensiones 1900x760 mm y posteriormente se extruye una distancia de 5 mm. Se genera un nuevo boceto sobre una de las caras en el que se dibuja un rectángulo centrado de 1890x750 mm para posteriormente extruir el espacio que queda entre ellos una distancia de 80 mm hacia fuera. Para finalizar la cara superior de la pieza se genera sobre un nuevo boceto un cuadrado de lado 30 mm situado en la esquina izquierda superior, extruyéndose 100 mm hacia arriba. Tras ello mediante una extrusión negativa de un boceto cuadrado de lado 24 mm situado sobre la cara superior del cuadrado extruido inicialmente se consigue modelar uno de los 4 puntos de anclaje de las barandillas. Para generar los otros tres restantes se utiliza la operación

Simetría dos veces respecto a los planos de simetría del rectángulo base. Con el objetivo de dotar de rigidez a la plataforma, mediante la extrusión de barras rectangulares colocadas sobre la cara inferior, de dimensiones 45x96mm se genera una estructura en forma de reja, en la cual las barras longitudinales se separan una distancia de 300 mm.

Cabe resaltar que la distancia entre las barras longitudinales de la base ha de ser la suficiente como para poder alojar en esa cavidad que queda entre ellas la parte superior del pistón y las *Aletas de sujeción* cuando la máquina se encuentra plegada. Obteniendo finalmente la pieza deseada (Fig. 20).

4.2.14. Chasis.

Se trata de la parte de la máquina destinada a albergar el sistema motriz y transmisión, el sistema de presión constituido por la bomba y el sistema de baterías que alimenta a toda la máquina. Se trata de una pieza que ha sido modelada más como elemento estético que como uno realmente funcional, en el sentido de que se ha simplificado significativamente ya que no juega un papel importante en cuanto al mecanismo de tijera.

Para su modelado se ha partido de una plancha de dimensiones 1900x760x10 mm generada por medio de una operación de *Extrusión*. Seguidamente se modela un cuadrado central que ocupa el ancho total de la plancha junto con dos rectángulos laterales y se extruyen una distancia de 500 mm. Se procede tras ello al redondeo de todas las esquinas verticales. Con la finalidad de albergar los ejes motrices del sistema de transmisión se modelan unos salientes circulares sobre los laterales rectangulares anteriores y se redondean de nuevo.

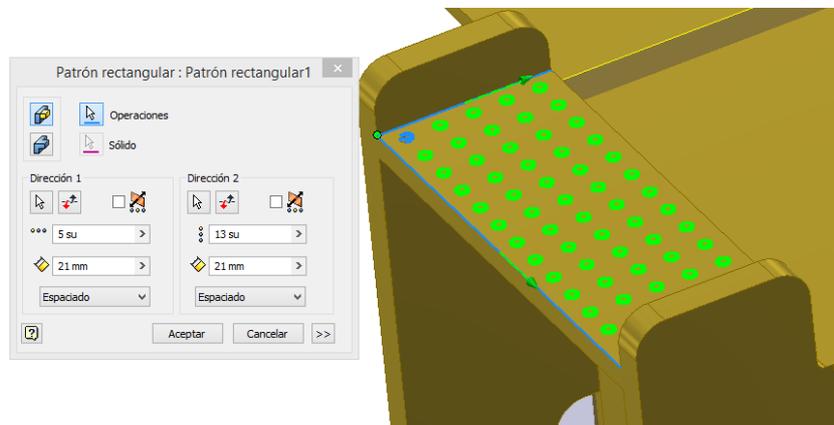


Figura 19. Aplicación de la operación *Patrón rectangular* para la generación de resaltes antideslizantes.

La parte quizás más funcional de este modelado básico, reside en las escaleras antideslizantes laterales que permiten a los operarios acceder a la plataforma de trabajo con gran facilidad. Se trata de un modelado de nuevo muy básico. Quizás la parte que conviene comentar es el modelado de los pequeños resaltes circulares antideslizantes, los cuales se han modelado con la ayuda de una nueva operación llamada *Patrón rectangular*. Para dar uso de la misma se genera el modelado completo de

uno de los resaltes para posteriormente generar el patrón deseado indicando la cantidad de filas y columnas de los mismos, así como la separación entre ellos.

Para finalizar ha de realizarse un agujero rectangular sobre la plancha modelada en primer lugar, de forma y dimensiones idénticas al realizado en la *Placa base inferior* para permitir el alojamiento de la parte inferior del pistón y *las Aletas de sujeción* inferiores cuando el mecanismo se encuentra plegado. Obteniendo finalmente la pieza deseada (Fig. 20).

4.2.15. Barandillas.

Se trata de un elemento de seguridad para los operarios de la máquina. El modelado de las mismas no conlleva dificultad alguna y se considera válida cualquier tipo de estructura, por ello lo único que se procede a comentar es el uso de una nueva operación denominada *Vaciado* que permite de forma rápida y sencilla el vaciado de sólidos macizos pudiendo también eliminar las caras del mismo deseadas. En este caso se han eliminado las cuatro caras de las patas, dejando un grosor interno tras el vaciado de 3 mm. Por último cabe comentar el hecho de que el lateral que coincide con el de la escalera del chasis se deja sin cerrar mediante barras fijas soldadas para permitir así el acceso de los operarios a la máquina. Este lado sin barras fijas suele cerrarse con una barra atornillada a la barandilla mediante una bisagra para asegurar así la seguridad de los operarios y permitir su acceso. Obteniendo finalmente la pieza deseada (Fig. 20).

4.2.16. Eje transmisión.

Se trata de nuevo de un elemento que juega un papel puramente estético y que permite la conexión de las *Ruedas* de la máquina con la pieza *Chasis*.

Se parte de un cilindro generado mediante una operación de *Extrusión*, de distancia 560 mm, a partir de un boceto circular de 35 mm de diámetro sobre el que posteriormente se generan dos discos con agujeros pasantes. Obteniendo finalmente la pieza deseada (Fig. 20).

4.2.17. Tornillería

En este apartado se incluye toda la tornillería utilizada para ensamblar físicamente las piezas tanto de la transmisión como del pistón telescópico. Son piezas que pese a que en la realidad sí que soportan grandes esfuerzos mecánicos, en este trabajo quedan fuera del objetivo de estudio del mismo.

En la siguiente figura (Fig.20) se muestran todas las piezas modeladas en este TFG.

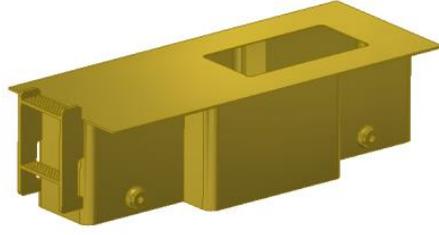
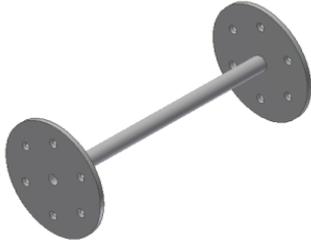
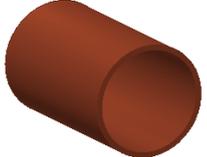
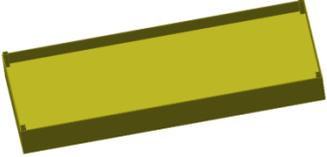
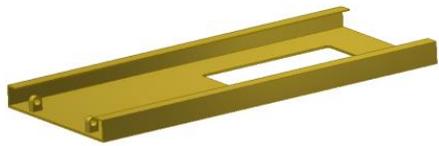
		
Aleta de sujeción	Barra unión estática	Barra
		
Barandilla	Chasis	Eje transmisión
		
Módulo central pistón	Pasador	Casquillo
		
Plataforma de trabajo	Placa base	Rigidizador
		
Rueda	Taco cuadrado	Tapa pistón
		
Vástago pistón	Módulo externo pistón	Barra unión móvil

Figura 20. Resultado del modelado de las piezas.

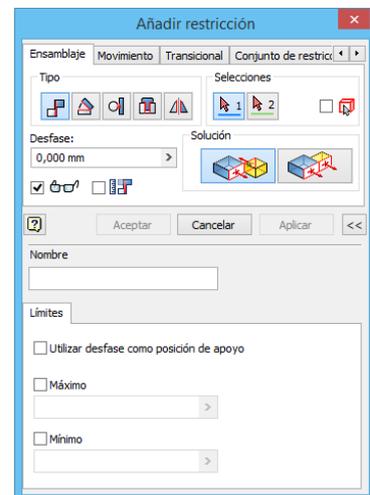
5. Ensamblaje.

5.1. Entorno de trabajo y restricciones.

Una vez ya se han modelado todas las piezas que componen la plataforma elevadora móvil de personal, se ha de pasar al montaje o ensamblaje de la misma. Autodesk Inventor nos permite realizarlo eliminando grados de libertad de las piezas de forma que guarden algún tipo de relación entre sí. Para ello se ha de ir a la parte superior izquierda de la interfaz gráfica del programa, desplegar la pestaña de *Nuevo* y seleccionar *Ensamblaje*. Una vez ya dentro de la nueva ventana de trabajo, se agregan las piezas anteriormente modeladas mediante el botón superior izquierdo *Insertar*, el cual nos permite cargar las piezas guardadas en el proyecto inicial o incluso si se desea, insertar piezas generales que vienen modeladas y cargadas en el programa por medio de la pestaña *Insertar desde el centro de contenido*. Llegados a este punto, se considera importante explicar las operaciones de ensamblaje que se van a utilizar y cómo actúan.

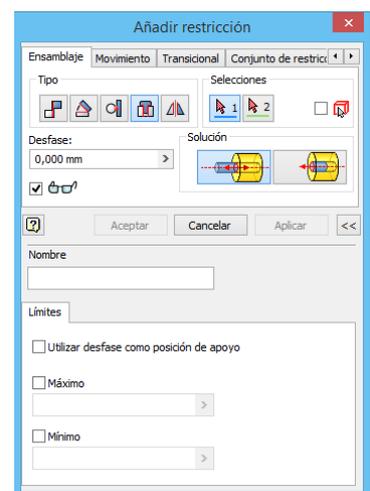
-Restricción de coincidencia.

Permite colocar las piezas seleccionadas en contacto mediante las caras o ejes de las mismas que deseemos, o bien realizar una nivelación. Para ello suprime dos grados de rotación y uno de traslación entre las caras seleccionadas de las piezas deseadas. Mediante los botones que aparecen en el cuadro *Solución* se puede cambiar de una a otra opción. Incorpora además la opción de dejar un espacio concreto entre las caras seleccionadas mediante la casilla *Desfase*, así como la de fijar límites tanto máximos como mínimos.



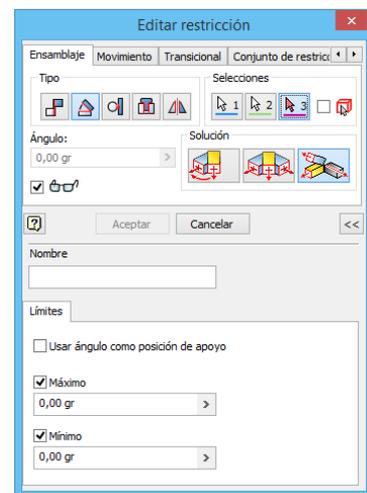
-Restricción de insertar.

Se trata de una restricción extremadamente útil, combinación de dos restricciones de coincidencia, la primera entre los ejes longitudinales de las piezas seleccionadas y la segunda entre las caras o superficies seleccionadas de las mismas. Restringe todos los grados de libertad de la pieza insertada excepto la rotación de la misma. Es posible que a la hora de utilizar esta restricción, el resultado gráfico de la misma no sea el esperado, para ello existen los botones denominados *Opuesta* y *Alineada*, mediante los cuales se puede modificar la dirección de coincidencia de las piezas, en el primer caso se modificará la de la primera pieza seleccionada y en el segundo caso la de la segunda. De igual forma que en la restricción ya descrita *Coincidencia* se dispone de las opciones *Desfase* y *Límites*.



-Restricción de ángulo.

Se trata de una restricción que permite definir un ángulo concreto entre caras planas o planos de pieza, eliminando de este modo la posibilidad de rotación relativa en el caso de piezas coaxiales de revolución. Dado que el uso de esta restricción durante el ensamblaje se va a limitar a restringir el giro relativo entre piezas coaxiales de revolución, se omite la explicación detallada de todas las casillas que aparecen en la ventana que no van a ser utilizadas. Una vez seleccionados los planos o caras que queremos restringir, se ha de seleccionar un vector de referencia para permitir que todo se oriente de forma correcta respecto a él. Finalmente mediante el uso de la casilla *Ángulo* podemos definir el ángulo que queremos que quede entre las selecciones realizadas.



5.2. Ensamblaje del conjunto.

Para comenzar con el ensamblaje, se fija la pieza *Placa base inferior* en el origen de coordenadas al insertarla por primera vez, de forma que el resto de piezas que se vayan insertando y montando durante el ensamblaje la tengan como referencia espacial. Por ello se inserta la pieza *Placa base inferior* y se fija en el origen de coordenadas. Con el fin de utilizar las restricciones de coincidencia de la forma más cómoda y rápida posible se han generado aquellos planos sobre las piezas que serán posteriormente utilizados.

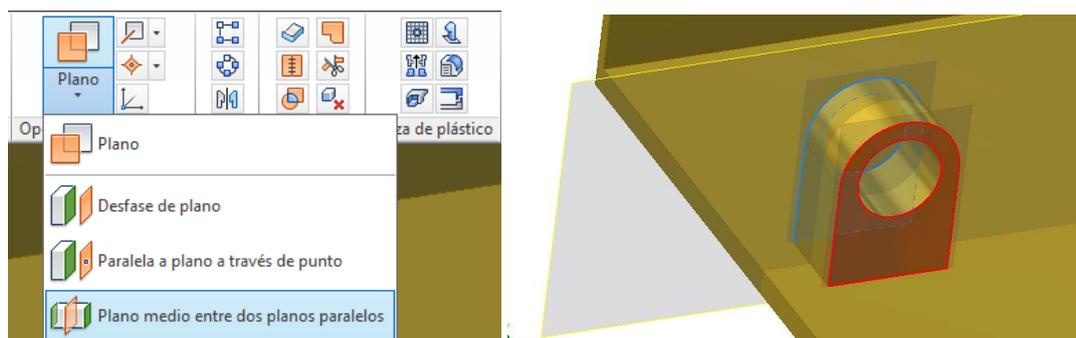


Figura 21. Generación de planos medios para facilitar el ensamblaje del conjunto.

Para ensamblar el *chasis* junto con la *Placa base inferior* se han utilizado dos operaciones de coincidencia lo los planos de simetría de ambas piezas y una de coincidencia de las superficies superior del chasis e inferior de la pieza de referencia. Todo el tema de la transmisión y las ruedas se ha ensamblado mediante operaciones de insertar junto con algunas de coincidencia de planos de simetría para que las ruedas queden colocadas de forma equidistante respecto al chasis.

Para realizar el ensamblaje de las barras, dado que existe una gran cantidad de las mismas, y con el objetivo de hacerlo de la forma más sencilla y visual posible, se ha decidido realizar cinco sub-ensamblajes rígidos que posteriormente se ensamblarán entre sí. Dado que dichas estructuras presentan grandes similitudes tanto en la forma como en el ensamblaje, se procede a comentar el ensamblaje de aquella que se considera más completo y complejo. Se trata de las estructuras que llevan incorporadas las aletas de sujeción del pistón oleohidráulico. Toda ella se ensambla mediante operaciones de coincidencia entre caras planas y coincidencia de planos, así como operaciones de nivelación simple o desfasada. Para colocar los rigidizadores transversales en la posición deseada, los situados más próximos al final plano de las barras, se han nivelado con un desfase de 100mm respecto de dicho final, mientras que los situados próximos al extremo opuesto se han nivelado con el final plano de las mismas, nivelando todos ellos en altura mediante una operación de nivelación de los planos de simetría de las barras con los de los rigidizadores. Los rigidizadores longitudinales se han restringido mediante operaciones de coincidencia respecto a los transversales, separados una distancia entre sí de 197 mm mediante una operación de coincidencia desfasada. Por último se ensamblan las aletas de sujeción mediante dos operaciones de nivelación, en la primera nivelando la cara plana inferior de la aleta con la cara plana superior del rigidizador longitudinal y la segunda haciendo coincidir la cara plana lateral derecha de la aleta con la cara plana lateral del rigidizador transversal largo, aplicando un desfase de 20 mm. De forma casi idéntica se obtiene el resto de estructuras compuestas por barras.

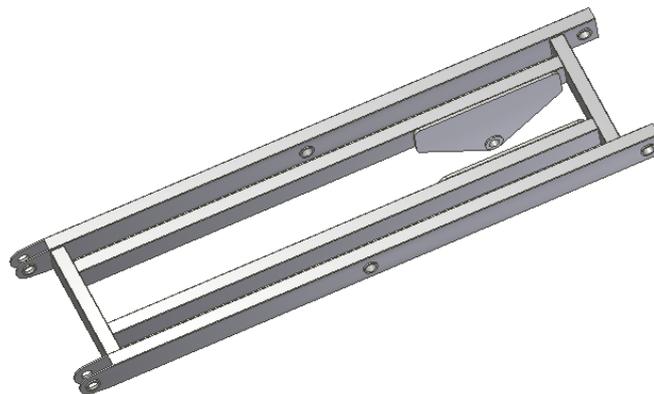


Figura 22. Muestra de una de las estructuras rígidas de barras que componen el ensamblaje.

En este punto resulta interesante conocer el porqué de la colocación de los perfiles rectangulares de esta forma y no de otra. Es importante conocer la existencia de dos ejes que presentan características resistentes distintas respecto a determinados esfuerzos y son comúnmente llamados “eje fuerte” y “eje débil”. En este caso los perfiles se encuentran colocados de forma que el eje que trabaja frente a los esfuerzos de flexión generados al levantar la carga, es el eje fuerte, el cual presenta mucha más resistencia y capacidad estructural que el eje débil ante los esfuerzos presentados.

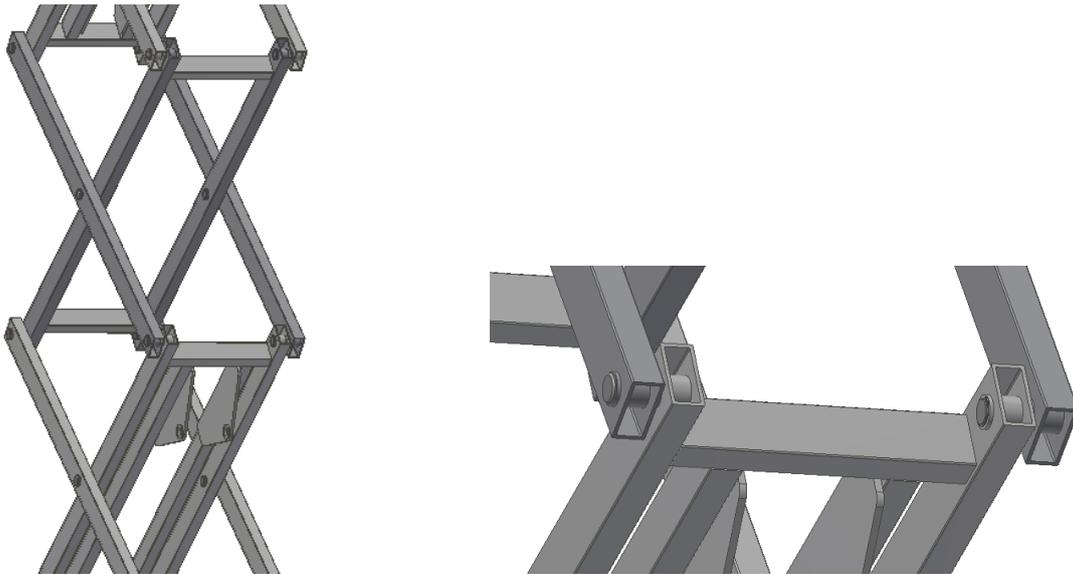


Figura 23. Estructura del mecanismo de tijera ensamblado.

Para realizar el ensamblaje de las estructuras de barras junto con las placas base superior e inferior se utiliza la operación de coincidencia de aquellos ejes que han de ser coaxiales para permitir el movimiento de giro relativo entre ellos, junto con operaciones de coincidencia de planos para restringir el movimiento lateral de las mismas. Los extremos móviles se restringen respecto de las guías laterales mediante los tacos cuadrados usando las mismas operaciones. En cuanto al pistón oleohidráulico telescópico se restringen sus extremos a las aletas de sujeción mediante coaxialidad de ejes para permitir así la rotación relativa entre ellos junto con coincidencia de planos medios con el mismo fin que anteriormente.

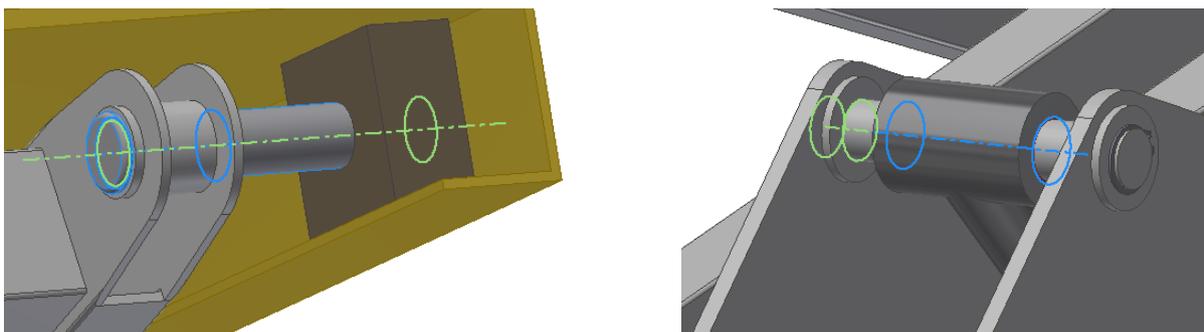


Figura 24. Ejemplo de aplicación de operaciones de coaxialidad y nivelación utilizadas durante el ensamblaje.

Para conectar los módulos del pistón entre sí se utilizan operaciones de coaxialidad de sus ejes longitudinales junto con operaciones de coincidencia de las caras que físicamente entran en contacto entre si cuando se produce el plegado o extensión del mismo, dentro de la cual se marca la pestaña de *Mínimo* con valor de 0 para las operaciones de coincidencia inferiores y la pestaña de *Máximo* con

valor nuevamente 0 para las superiores. Con ello se permite que cuando uno de los módulos llegue a su posición mínima o máxima, deje de avanzar y empiece a avanzar el módulo siguiente, consiguiendo así una interacción física real entre ellos.

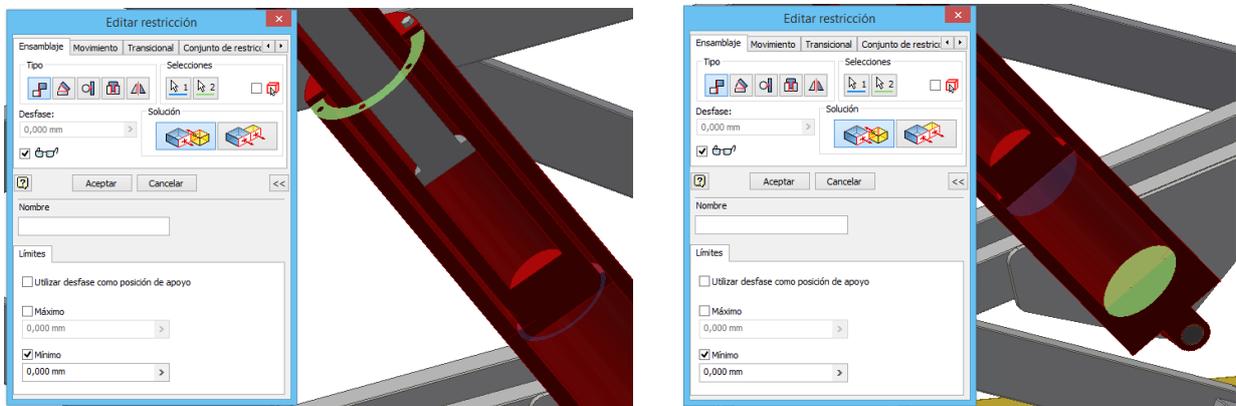


Figura 25. Operaciones aplicadas para permitir la interacción física entre los módulos del pistón oleohidráulico.

Cabe comentar que este paso podría haber sido omitido debido a que no es un aspecto importante o esencial en cuanto al ensamblaje del conjunto, pero sí permite poder ver más fielmente el movimiento de toda la estructura cuando es el propio usuario el que por así decirlo “aplica una fuerza” seleccionando la plataforma superior de la máquina y desplazándola hacia arriba.

Finalmente se concluye el ensamblaje restringiendo la parte superior de la máquina de forma idéntica a la inferior, con la única precaución de hacer coincidir el hueco libre de barras de las barandillas con el de la escalera del chasis para permitir así el acceso de los operarios a la máquina. Todos los agujeros son acabados con sus correspondientes casquillos y pasadores mediante restricción de insertar y se restringe el giro relativo entre los módulos del pistón mediante la restricción de *Ángulo*. Para bloquear los pasadores se han utilizado arandelas de retención extraídas directamente del centro de contenido.

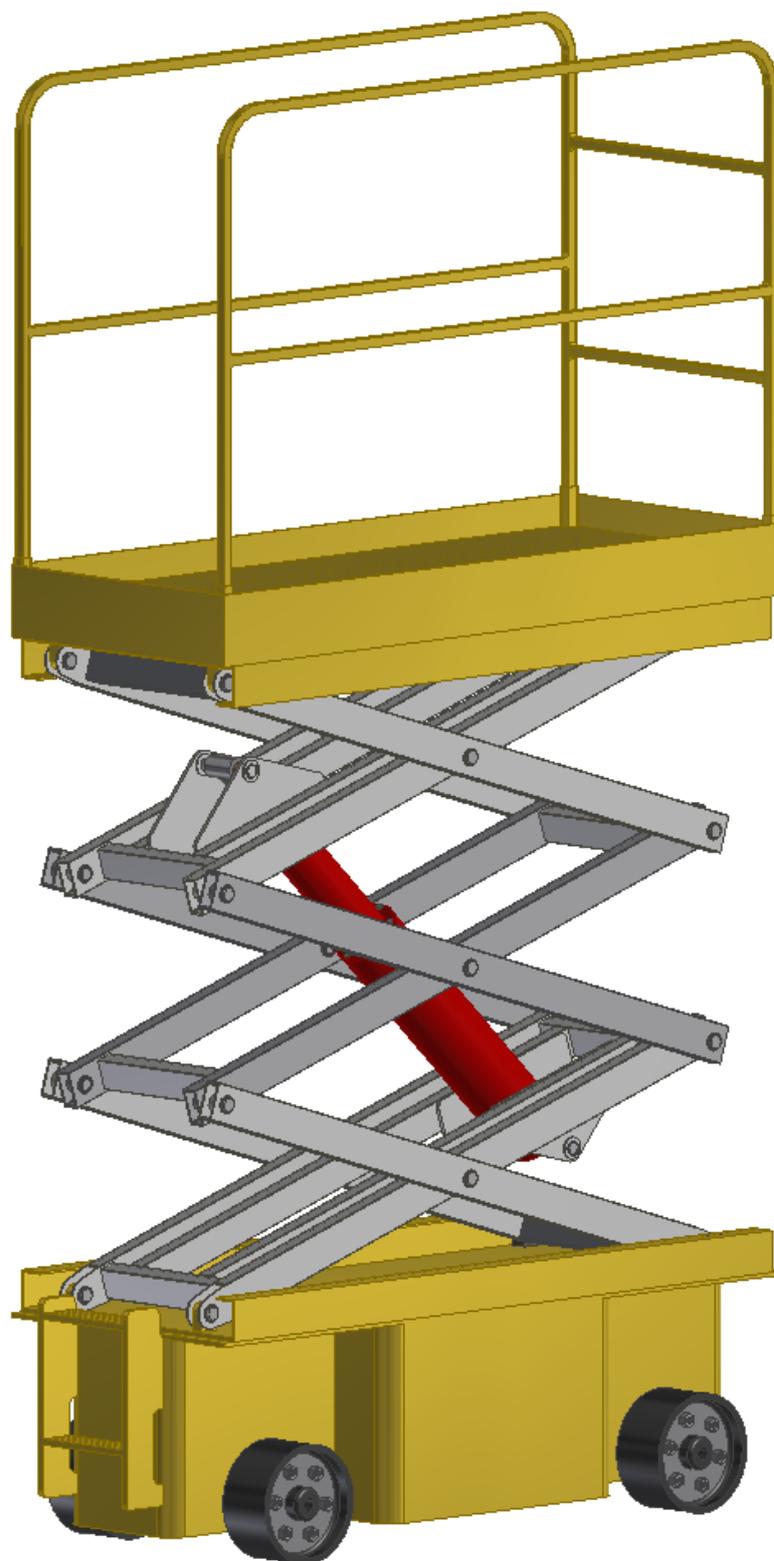


Figura 26. Ensamblaje completo de la PEMP de tijera.

6. Simulación dinámica.

6.1. Entorno de Simulación.

Mediante la simulación dinámica se permite analizar el comportamiento y evolución del ensamblaje de la PEMP frente la acción de distintas cargas y fuerzas a lo largo del tiempo de elevación y descenso de la misma.

Para acceder al entorno de simulación dinámica desde el entorno del ensamblaje, se selecciona la pestaña superior *Entornos* y seguidamente la pestaña superior izquierda Simulación dinámica.

La ventana izquierda es quizás la zona que merece ser comentada con un poco más de detalle por su gran importancia y utilidad. Dentro de la misma aparecen en un primer momento cuatro pestañas:

- Fijo: Se incluyen automáticamente dentro de ella todos aquellos elementos que se encuentren fijos en el espacio, en este caso, dado que durante el ensamblaje fue fijado en el origen la pieza *Placa base inferior*, ésta aparece incluida. Dado que el movimiento a analizar es el de extensión y plegado de la máquina se recomienda, en caso de que no se haya fijado automáticamente, fijarlo de forma manual.
- Grupos móviles: Se incluyen todas aquellas piezas o conjunto de piezas soldadas entre sí, denominados grupos soldados, que disponen de capacidad de movimiento en el espacio. En este caso se encuentra incluido todas las piezas y grupos soldados que componen el mecanismo de tijera.
- Cargas externas: Se incluyen todas aquellas fuerzas que actúen sobre el modelo a simular y que serán insertadas posteriormente.
- Uniones estándar: El programa, una vez cargado el entorno de simulación, transforma automáticamente las restricciones impuestas en el ensamblaje a uniones estándar de diferentes tipos, restringiendo todos aquellos grados de libertad necesarios. La finalidad física de éstas es la de simular la interacción que existe entre las diferentes uniones del ensamblaje y sobre las cuales pueden introducirse tanto las fuerzas externas de rozamiento como obtener las fuerzas que actúan sobre ellas. Cabe comentar que esta transformación automática, en ocasiones no es realizada correctamente y es necesario modificarlas manualmente restringiendo aquellos grados de libertad que deberían estarlo.

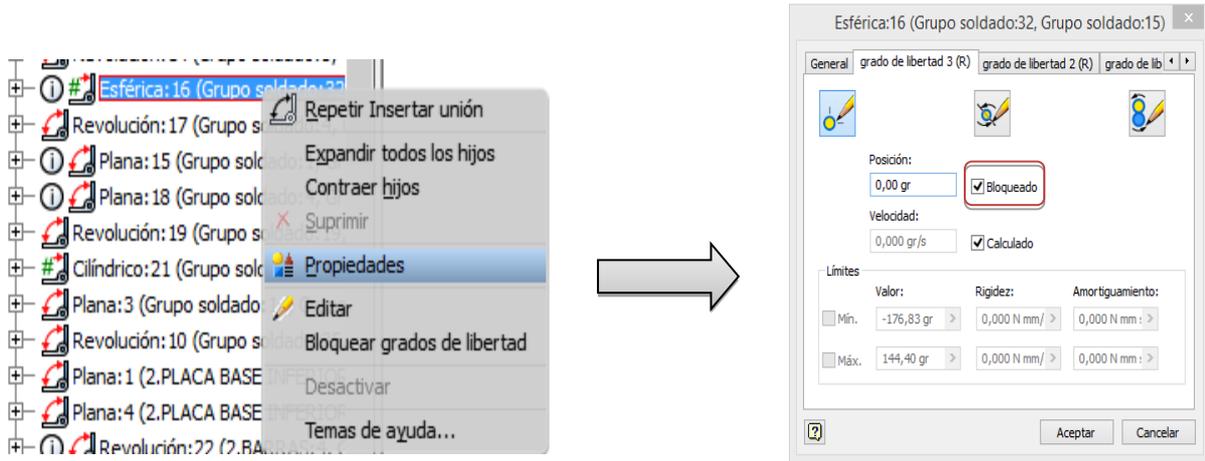


Figura 27. Bloqueo de grados de libertad deseados de las Uniones estándar.

6.2. Preparación previa a la simulación.

6.2.1. Uniones de fuerza.

La finalidad de este tipo de uniones reside en permitir la interacción física entre los distintos módulos del pistón telescópico, así como para evitar que las barras penetren unas dentro de otras en su fase última de plegado. Para ello se utiliza la operación *Contacto 3D*. Posteriormente se seleccionan las caras por pares tanto de la barras como de las caras del pistón que entren en contacto.

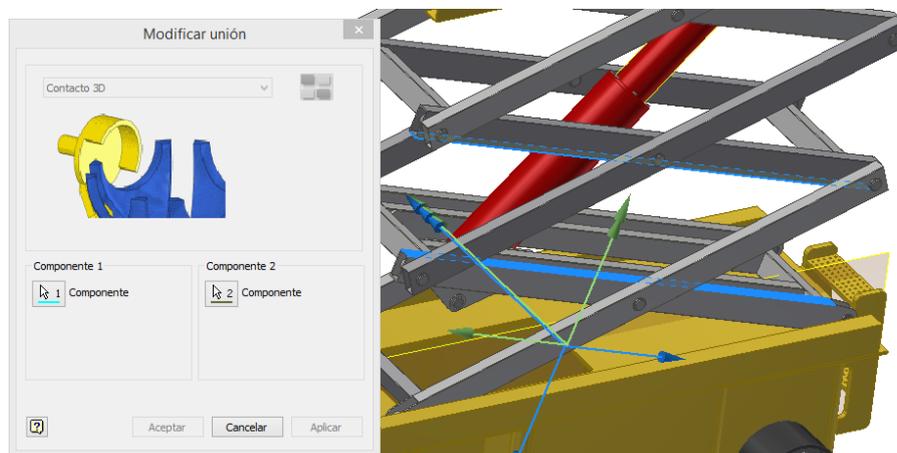


Figura 28. Aplicación de Uniones de fuerza para evitar el solapamiento físico de las barras del mecanismo de tijera.

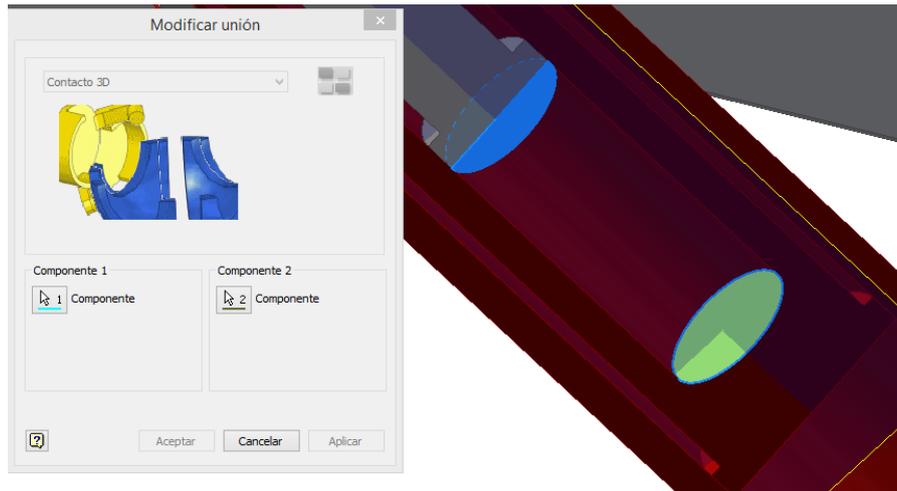


Figura 29. Operaciones de Uniones de fuerza para permitir la interacción física entre módulos.

6.2.2. Asignación de material.

Resulta esencial asignar los materiales reales de las piezas para que los resultados de la simulación sean los más fieles a la realidad posible. Cabe mencionar que no es necesario asignar el material a aquellas piezas que se van a mantener estáticas durante la simulación, como es el caso del chasis y el sistema de transmisión.

Para las barras y pistón se va a utilizar un acero genérico tratado térmicamente mediante temple y revenido, para los casquillos una aleación de cobre y para los pasadores un acero de baja aleación y alta resistencia.

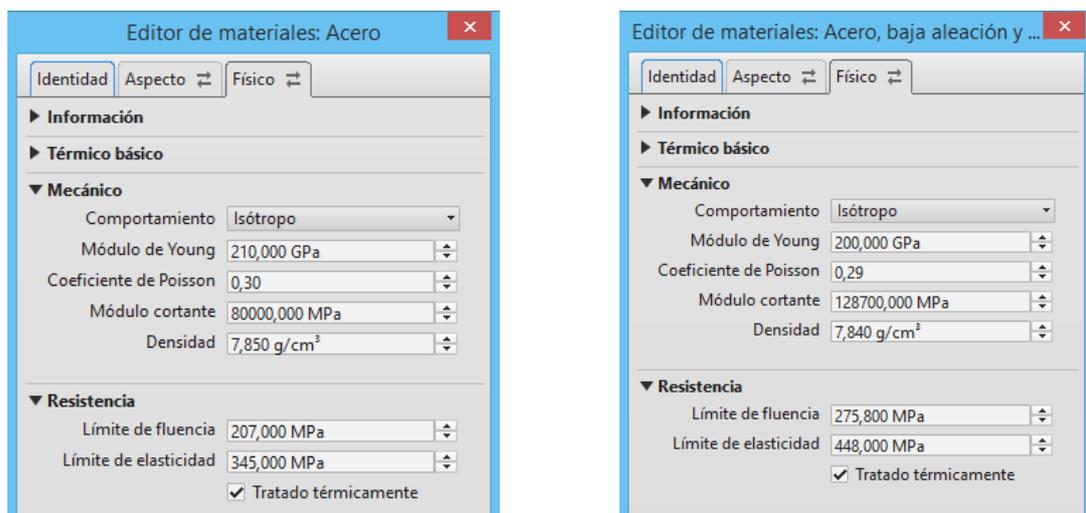


Figura 30. Propiedades mecánicas de los materiales empleados.

6.2.3. Definición fuerzas y cargas.

En este apartado se van a definir todas aquellas fuerzas y cargas que actúan sobre la PEMP durante su funcionamiento.

Con el objetivo de simular la carga tanto de material como de personal, se parte de datos del catálogo de la máquina sobre la que se inspira este trabajo. En él encontramos que la capacidad máxima de carga de la máquina asciende a 230 kg y se remarca que el valor citado tiene en cuenta la presencia de dos operarios sobre la misma. Por ello, estipulando un peso medio de una persona adulta en 75 kg, la capacidad de carga queda entorno a los 380 kg. Para visualizar con mayor comodidad la citada carga durante la simulación dinámica, se opta por modelar un cubo al que se le asigna una masa concreta de valor 380 kg, la cual ha sido situada centrada sobre la plataforma. Se considera de forma simplificada que en ningún momento la carga junto con los 2 operarios van a coexistir en un mismo punto descentrado de la plataforma de trabajo.

Otra de las fuerzas que es necesaria considerar se trata del rozamiento entre las piezas que poseen un movimiento relativo, ya sea éste de rotación o deslizamiento. Para ello, es necesario acudir a cada una de las restricciones de unión estándar en la pestaña *Editar par de unión*. Tras ello se activa el par de la unión, se introduce un coeficiente de fricción seca de valor 0,20 y se indica el radio en aquellas cuyo movimiento es de rotación de una superficie cilíndrica sobre otra, no siendo necesario en aquellas cuyo deslizamiento es de una superficie plana sobre otra. Cabe mencionar que el valor del coeficiente de fricción seca ha sido extraído de un manual de simulación dinámica (*Mechanical Engineers' Handbook. Myer Kutz.*), en el cual se tomaba este valor para las simulaciones, ya que éste suele tomar valores entorno 0,15-0,25 N.

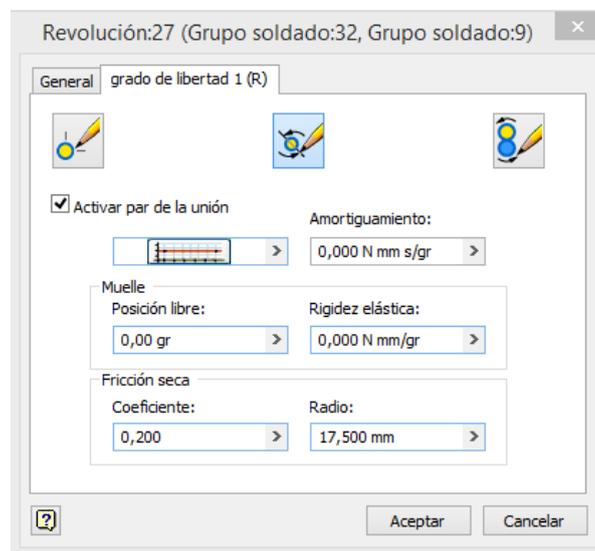


Figura 31. Introducción de rozamientos entre uniones.

Por último queda definir la fuerza que ha de realizar el pistón para permitir la elevación y descenso de la carga. Dado que ambas acciones provocan un movimiento vertical de la plataforma de trabajo

sobre la que se encuentra el peso, ambas se encuentran sometidas a las mismas cargas al no haber cambio de dirección en las mismas y es por ello que la fuerza que el pistón debe aportar es prácticamente igual en ambas. Durante el ascenso de la carga, el pistón es llenado de fluido hidráulico gracias al giro de la bomba, mientras que para descender, el pistón libera fluido hidráulico sin necesidad del giro de la bomba, pero ha de seguir aportando una cierta presión para evitar la caída brusca de la plataforma.

Como se trata de una fuerza compleja variable con el tiempo, su cálculo sin la ayuda del programa Inventor Professional 2014 sería muy complicado. Mediante la opción *Fuerza desconocida* el programa es capaz de calcular la fuerza necesaria, aplicada sobre la superficie y dirección deseadas, para llevar el mecanismo desde una posición origen hasta una final. Al indicar la dirección se selecciona la opción *Dirección de carga asociada*, lo que permite que la fuerza en todo momento se encuentre coaxial con el eje de revolución del pistón. Para indicar las posiciones extremas del movimiento de ascenso se ha tomado como control el ángulo de una unión estándar de revolución cualquiera de forma que se asigna como valor de inicio el valor del ángulo que posee dicha unión cuando la plataforma se encuentra en su posición más baja y como valor final el valor que posee cuando la plataforma alcanza el valor de altura máxima. Los valores son respectivamente 3,17 y 67 grados. Como paso previo al cálculo se requiere activar la gravedad para que ésta sea tenida en cuenta como una fuerza presente más.

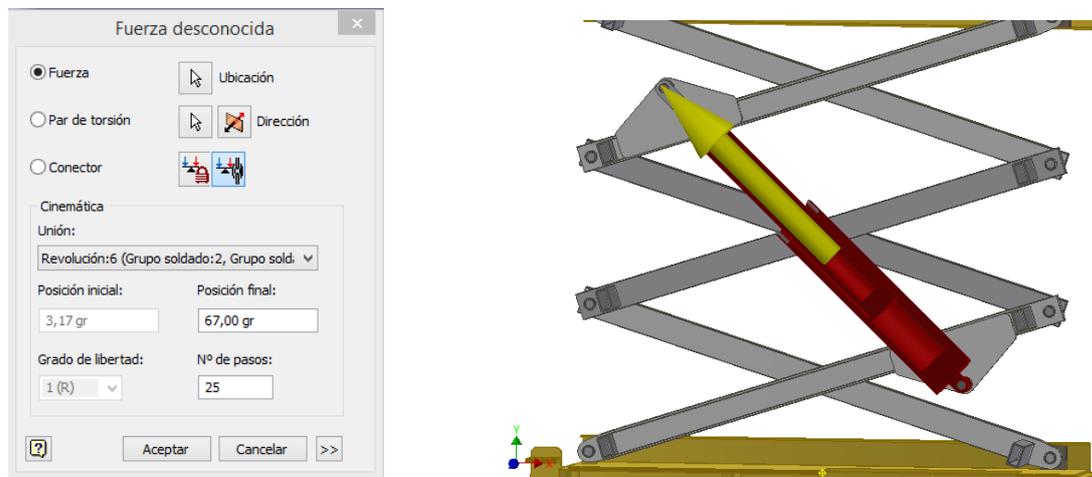


Figura 32. Utilización de la herramienta Fuerza desconocida.

Tras ello obtenemos la evolución de la fuerza que se busca.

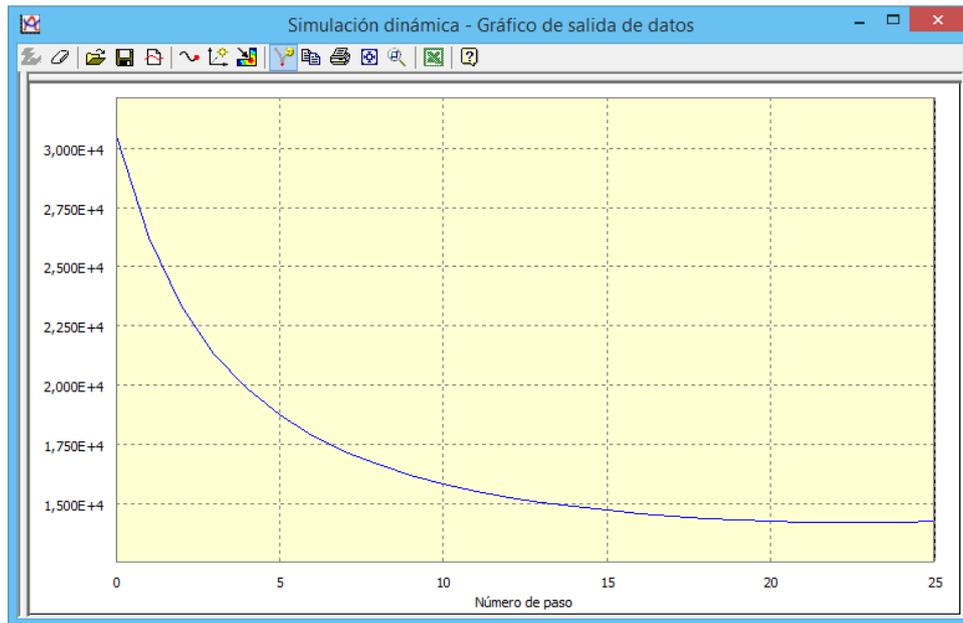


Figura 33. Evolución temporal de la fuerza generada por el pistón oleohidráulico.

Llegados a este punto es necesario introducir dicha $F(t)$ como fuerza externa sobre el pistón oleohidráulico. El principal problema reside en que no hay una forma directa de introducirla tal cual como fuerza externa, para ello se exporta a un programa de cálculo, en éste caso se ha utilizado el programa Microsoft Excel.

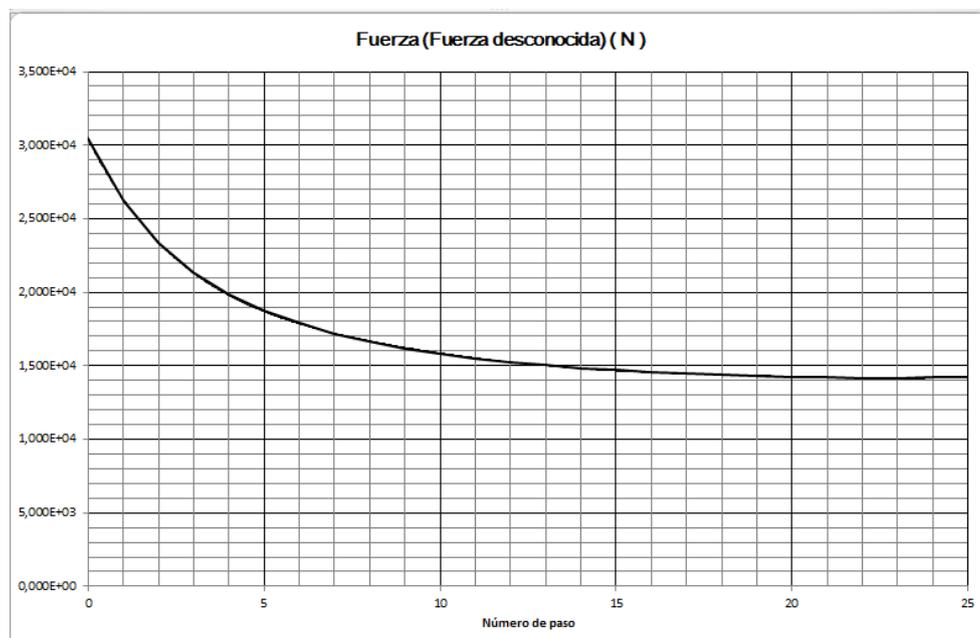
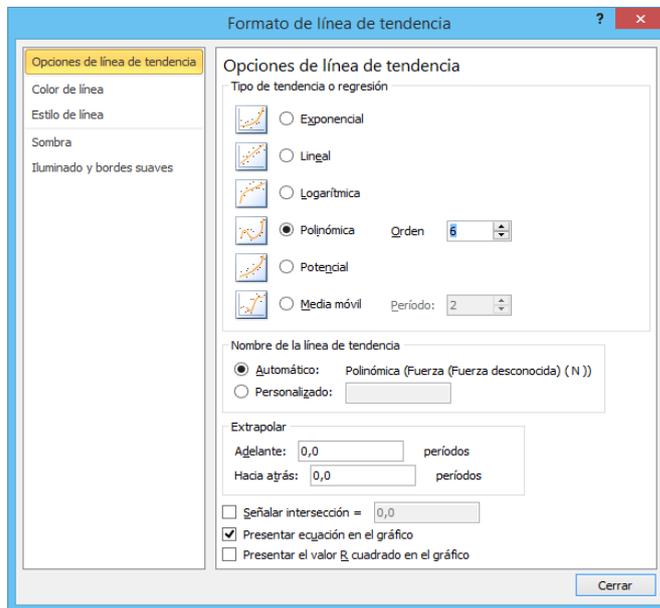


Figura 34. Exportación a Excel de la variación temporal de la fuerza calculada.

Una vez exportados los datos se agrega una línea de tendencia polinómica de grado 6, la cual se ajusta completamente a la forma de la curva. Finalmente se selecciona la opción *Presentar ecuación en el gráfico* para así disponer de la ecuación polinómica que será introducida posteriormente como fuerza externa.



$$y = 0,0012x^6 - 0,1093x^5 + 3,9051x^4 - 72,504x^3 + 764,26x^2 - 4783,6x + 30433$$

Figura 35. Obtención de la ecuación polinómica de la fuerza empleada.

Para finalizar se introduce la ecuación de la fuerza como fuerza externa sobre la cara plana inferior de la pieza *Vástago piston*, de la misma forma que se realizó en *Fuerza desconocida*.

Como se ha resaltado anteriormente la introducción de la fuerza para la simulación dinámica del descenso o plegado del mecanismo de tijera se realiza de forma análoga a los pasos seguidos para el ascenso o extensión, obteniendo una gráfica idéntica a la anterior pero de evolución opuesta.

Como aspecto constructivo interesante cabe resaltar que para controlar la extensión máxima del mecanismo de tijera se suele hacer uso de unos mecanismos denominados finales de carrera. Éstos son instalados a lo largo de la guía sobre la que desliza la pieza *Taco cuadrado*, permitiendo que cuando éste presiona la palanca del final de carrera se envía automáticamente una señal de paro a la bomba.

6.3. Resultados de la simulación.

El finalidad de este apartado reside en la visualización de aquellas magnitudes que se consideran más importantes para comprobar si realmente se cumple, siempre de forma aproximada, con los ordenes de magnitud estipulados en la definición de la PEMP a diseñar al inicio del escrito. Del mismo modo se pretende averiguar para qué instante de tiempo se obtienen los valores de fuerza más elevados.

Como aspectos importantes a controlar se ha considerado tanto la velocidad de ascenso de la plataforma elevadora como la fuerza que aparece en la restricción de unión entre la pieza *Vástago pistón* y *Aleta de sujeción* ya que será esta última la que será analizada con detalle posteriormente dado que como se ha reiterado varias veces a lo largo del escrito, se trata de la pieza más crítica del mecanismo.

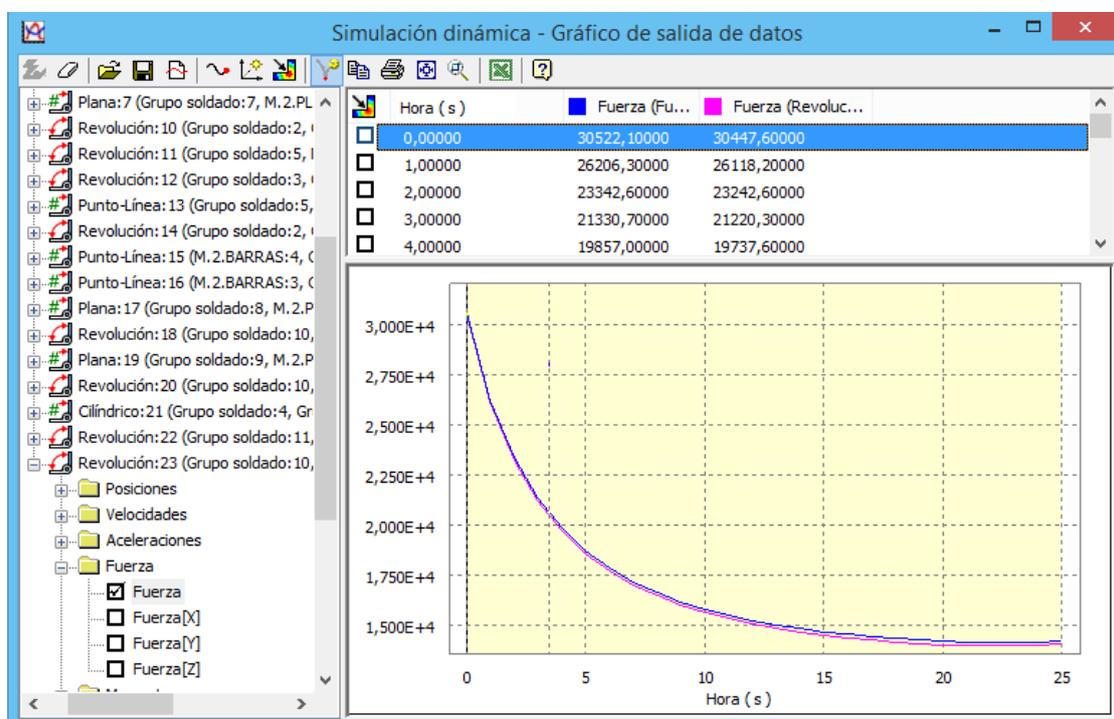


Figura 36. Fuerza introducida y evolución de la misma en la unión de estudio.

Se observa como el pico de fuerza en la restricción citada posee un valor máximo de 30477,6 N y se da al inicio del ascenso. Este resultado es completamente previsible si se mira la evolución de la fuerza externa aportada por el pistón.

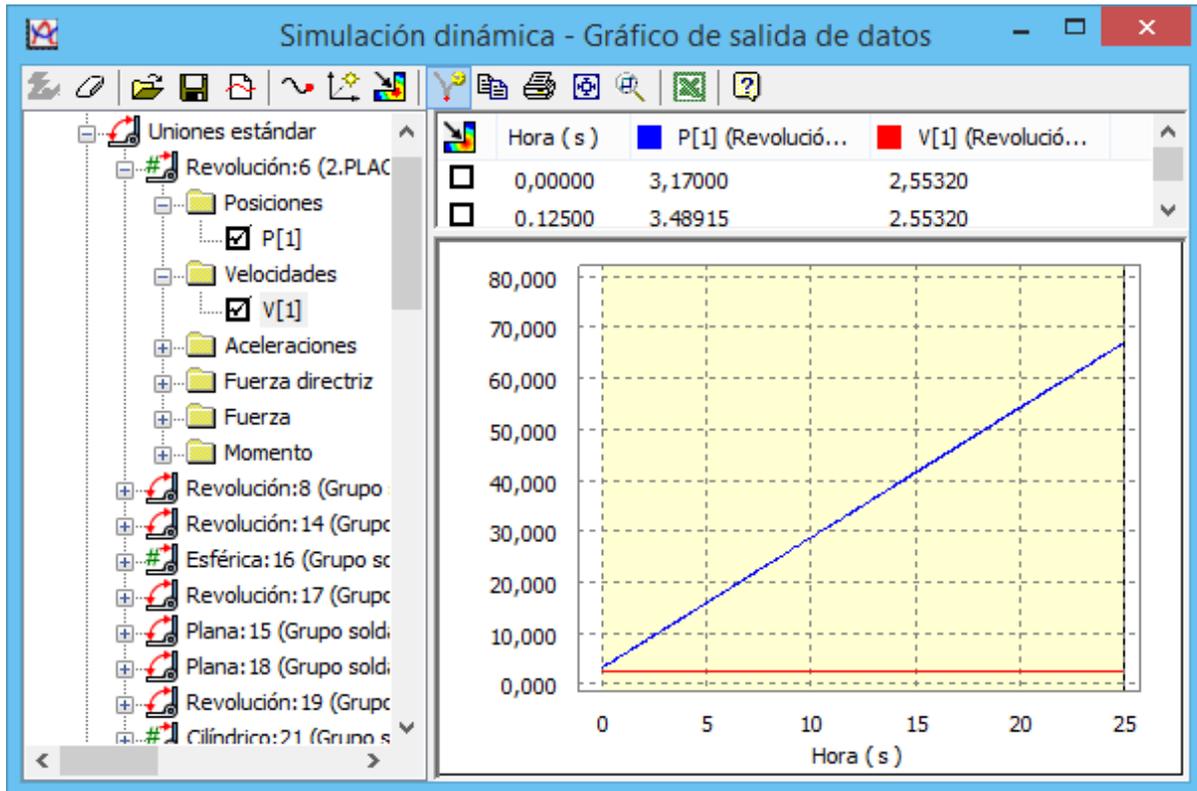


Figura 37. Gráficos de salida de la evolución de la posición y velocidad durante el elevado.

Se observa que la plataforma se eleva con una velocidad aproximadamente constante y lo hace en un tiempo de 25 segundos, cumpliendo satisfactoriamente con los objetivos de diseño impuestos.

Por último resulta interesante visualizar la trayectoria que siguen los puntos de anclaje del pistón durante el movimiento de la plataforma (Fig. 38).

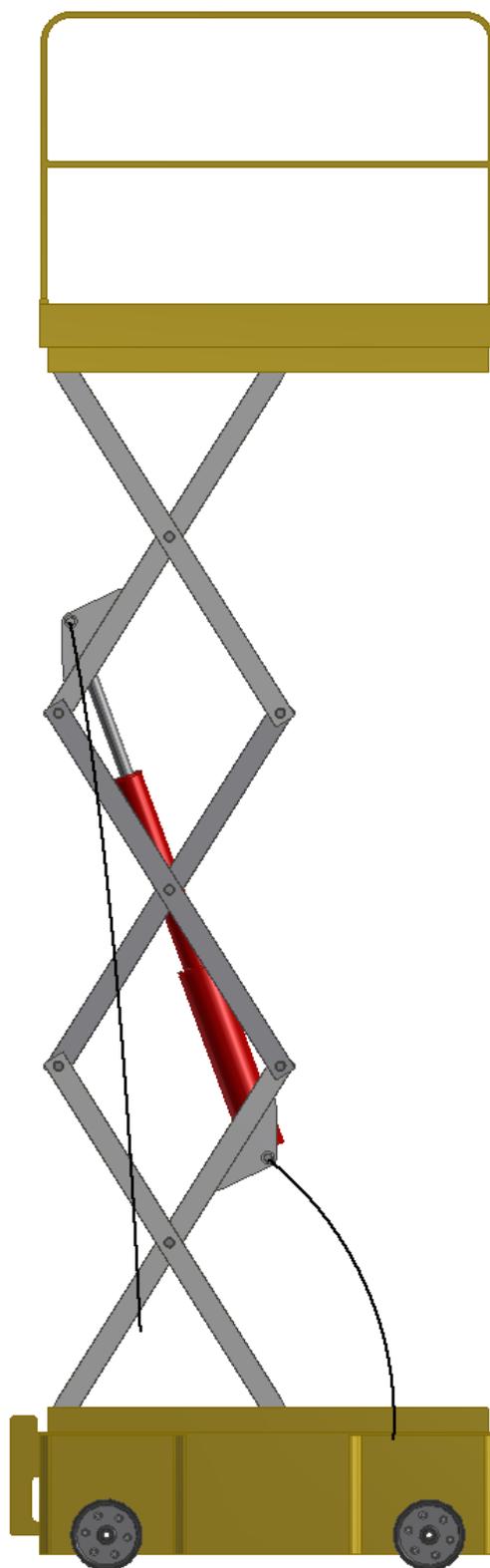


Figura 38. Trayectoria descrita por los puntos de anclaje del pistón.

7. Análisis de tensión.

7.1. Método de los elementos finitos (MEF).

Dentro de los tipos de métodos empleados para análisis de tensión, el programa Inventor Profesional 2014 utiliza el llamado *Método de los elementos finitos (MEF)*. Por ello se considera como buena práctica tratar de explicar de forma general y superficial los aspectos clave de funcionamiento del mismo.

Se trata de un método relativamente nuevo que surgió como consecuencia de la aparición de los primeros equipos de cómputo alrededor de los años 50. La idea general del método reside en dividir el espacio de trabajo continuo en pequeños elementos discretos a modo de malla, interconectados entre sí por medio de unos nodos. Mediante este simple hecho se consigue pasar de un sistema complejo de ecuaciones diferenciales en el que existen infinitos grados de libertad a otro en el que dichos grados de libertad pasan a adquirir un valor finito, lo que supone desde el punto de vista matemático, poder gobernar su comportamiento mediante ecuaciones mucho más simples, trabajando con ellas de forma matricial. Inventor profesional 2014 trabaja con elementos de tres nodos a modo de triángulos. Dentro del conjunto de variables que quedan por resolver dentro de los elementos triangulares discretos encontramos aquellas que han de ser introducidas de antemano, las cuales son variables conocidas y condicionan el cambio del sistema, *llamadas condiciones de contorno* y aquellas que son verdaderamente las *incógnitas* que se desean conocer. En este caso las incógnitas son valores de tensiones.

Dado que se trata de un método que obtiene los resultados gracias a la simplificación de ecuaciones muy complejas en otras más simples acompañadas de condiciones de contorno es evidente que se va a cometer un error en los valores obtenidos en el análisis de tensión. Dicho error es muy pequeño y más cuanto mayor sea la subdivisión del dominio de estudio en elementos discretos. Esto se debe a que la solución real solo se obtiene en los nodos del elemento, realizándose una interpolación a partir de estos valores para el resto de puntos incluidos en el elemento discreto. Cabe mencionar que cuanto más se refine la malla, es decir, conforme más subdivisiones existan y más pequeños sean los elementos discretos, mayor será el tiempo de cómputo para obtener los resultados pero más fiables serán.

7.2. Entorno de trabajo y simulación.

Para acceder al entorno de trabajo de *Análisis de tensión* se parte del gráfico de salida del entorno de *Simulación dinámica* en el cual tras realizar la simulación pertinente, se seleccionan aquellos instantes de tiempo en los que se obtuvieron los mayores esfuerzos para la pieza crítica *Aleta de sujeción*. En este caso se selecciona el instante de tiempo 0 y se exporta al entorno de Análisis de tensión mediante el botón *Exportar a CEF*. Inmediatamente después el programa pide que se seleccione la pieza que se desea exportar y pide que se le indique en qué lugares se encuentran las restricciones que situarán y regirán el comportamiento de la pieza aislada. Cabe resaltar que una de las restricciones demandadas es la de indicar cuál de las caras de la *Aleta de sujeción* se encuentra rígidamente unida a la pieza que la soporta *Rigidizador longitudinal*.

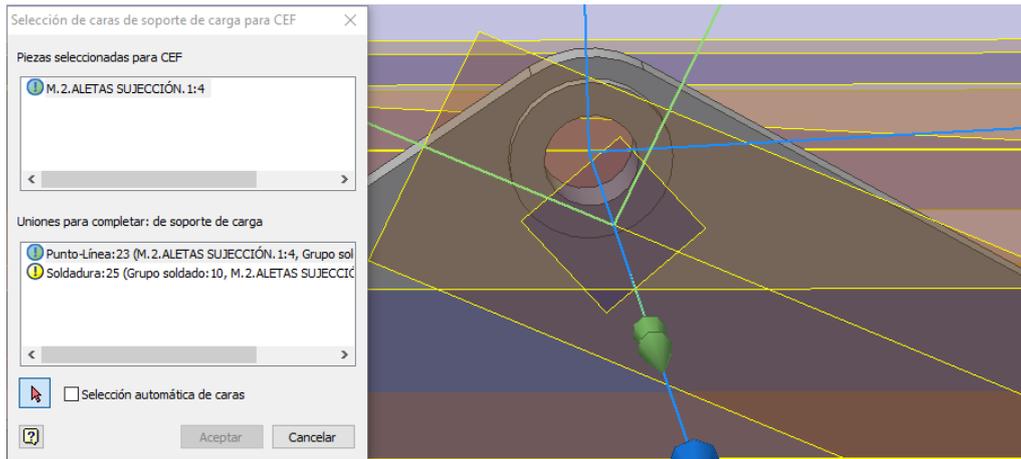


Figura 39. Definición de las restricciones demandadas para aislar la pieza de estudio en el espacio.

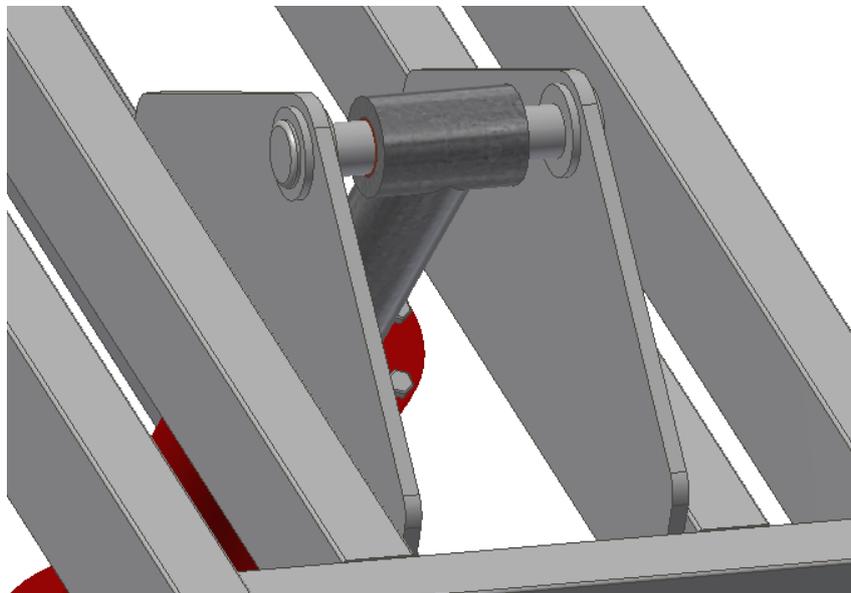


Figura 40. Visualización de la posición soldada de las aletas a los rigidizadores.

Con ello se consigue que posteriormente, cuando se genere una nueva simulación para el estudio de las tensiones, aparezca directamente cargada en ella la pieza y el instante de tiempo con sus respectivos esfuerzos exportados.

Finalmente se accede al entorno de *Análisis de tensión*. Dado que la pieza a analizar no es demasiado grande, se aplica un refinado elevado de malla para obtener valores de tensiones más reales sin por ello aumentar extremadamente el tiempo de cálculo. La malla utilizada es una adaptativa de forma que pueda ajustarse con mayor precisión geométrica a la forma de la pieza. Se opta por un máximo de refinados de 5 y un criterio de parada del 4%.

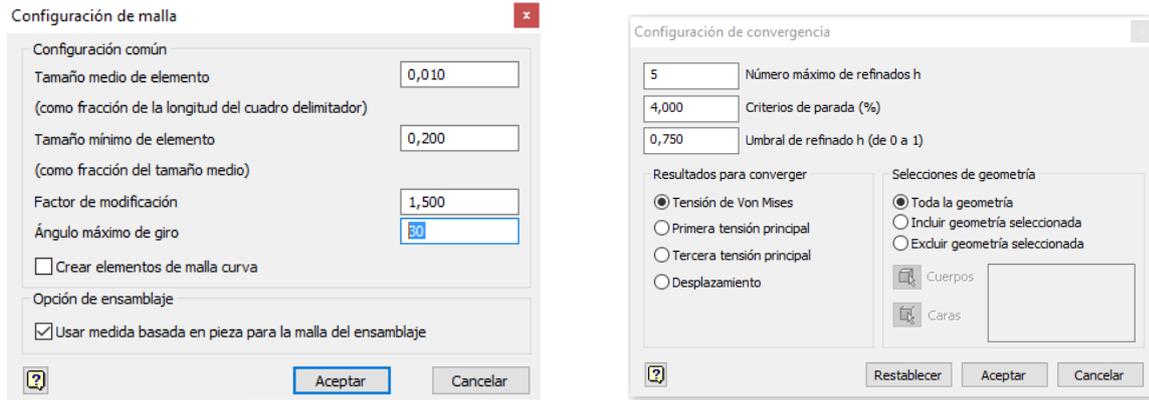


Figura 41. Configuración de los parámetros de refinado de la malla y convergencia de cálculo.

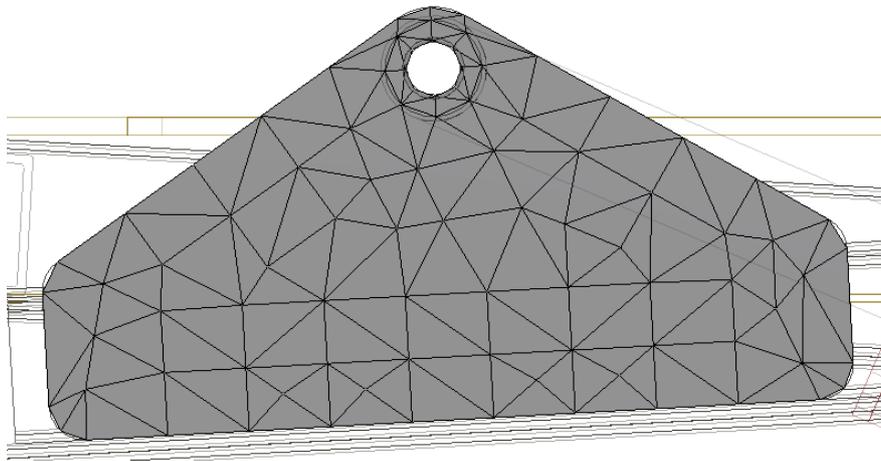


Figura 42. Malla sin refinar con los parámetros de partida de Autodesk Inventor 2014.

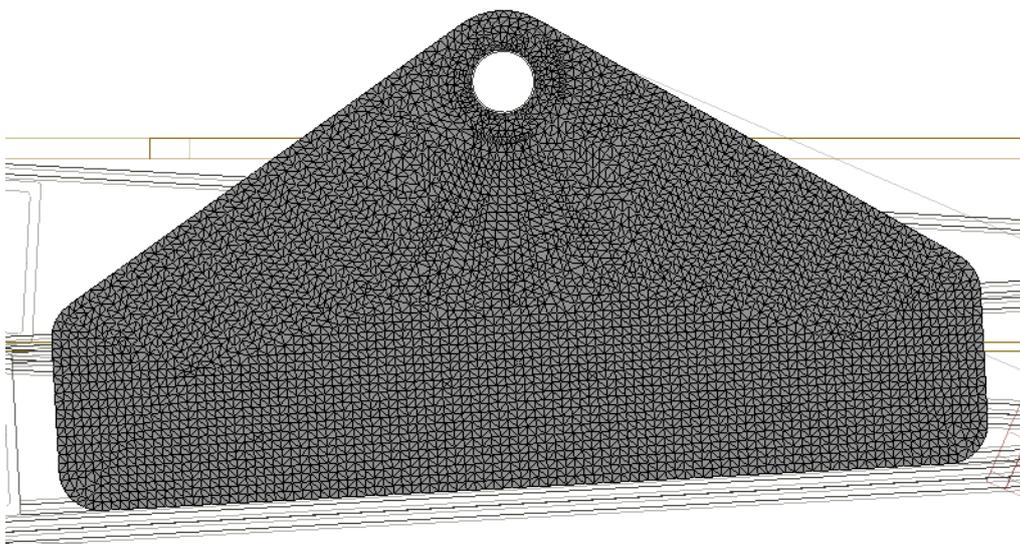


Figura 43. Malla tras proceso de refinado.

7.3. Análisis de Resultados.

Tras simular se obtienen los resultados deseados.

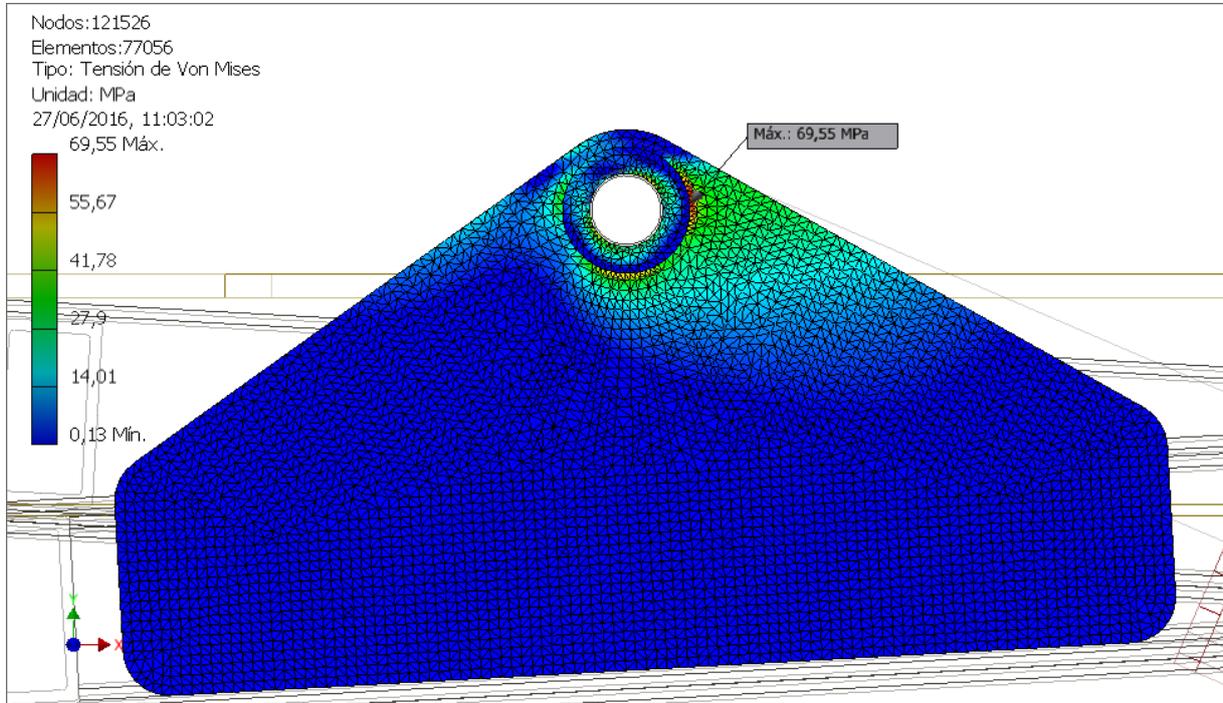


Figura 44. Resultado del análisis de tensión con visualización de malla refinada.

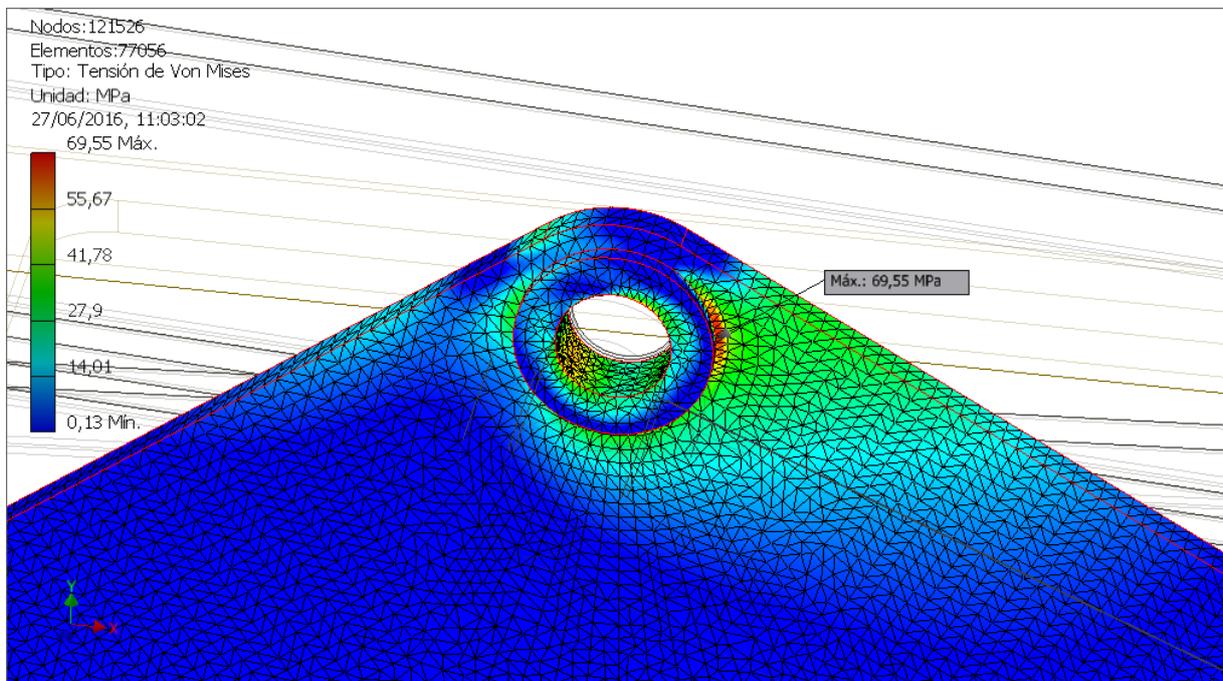


Figura 45. Zoom de la zona de acumulación de las tensiones.

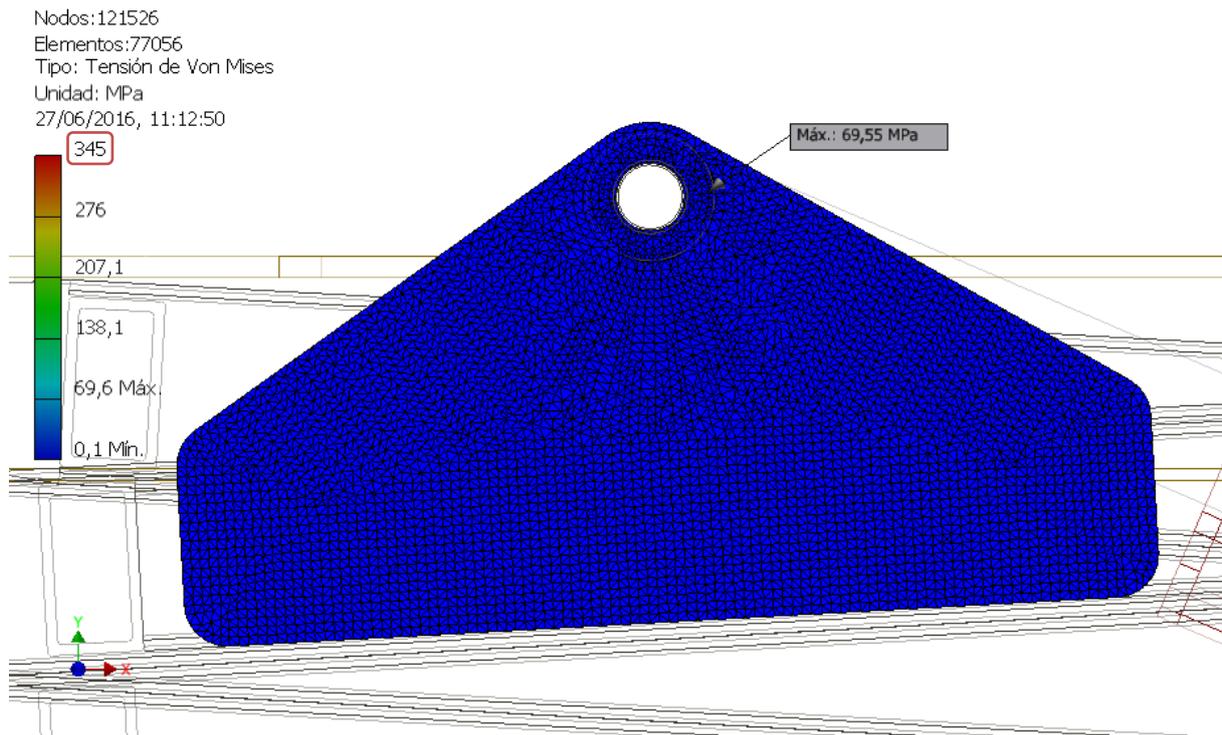


Figura 46. Resultado del análisis de tensión en base al límite elástico del acero empleado.

Se puede observar una concentración local de las tensiones en torno al agujero sobre el que va unido por medio del pasador, el anclaje del pistón. Es por ello que las tensiones aparecen orientadas en la dirección de la aplicación de la fuerza, provocando que aparezcan tensiones de tracción que tienden a desplegar el mecanismo de tijera. Las tensiones máximas de Von Mises presentes alcanzan valores máximos de 70 Mpa, muy inferiores al límite elástico del acero empleado como puede apreciarse en la (Fig. 46).

Al tratarse de una PEMP pequeña que trabaja con poca carga se obtienen coeficientes de seguridad muy elevados, en torno a 4,9. Esto se debe a que desde un primer momento se ha modelado la pieza *Aleta de sujeción* con un grosor conservador y además se modeló añadiendo los ojales de refuerzo en torno al agujero para otorgarle mayor resistencia. Pese a que las imprudencias humanas derivadas de despistes o mal uso de la máquina están desgraciadamente muy presentes, pudiendo sobrecargarla significativamente, un coeficiente de seguridad de casi 5 es excesivamente conservador. Por ello a continuación se realizan dos modificaciones distintas de la pieza estudiada con el objetivo de llegar a una solución más eficiente y así poder ahorrar material y reducir el peso de la máquina.

Modificación 1: Eliminación de los ojales de refuerzo del agujero.

Resulta interesante para el estudio de la pieza *Aleta de sujeción* eliminar los ojales de refuerzo y estudiar su comportamiento frente a los esfuerzos presentados para observar hasta qué punto se mejora la resistencia local de la pieza en su punto más débil.

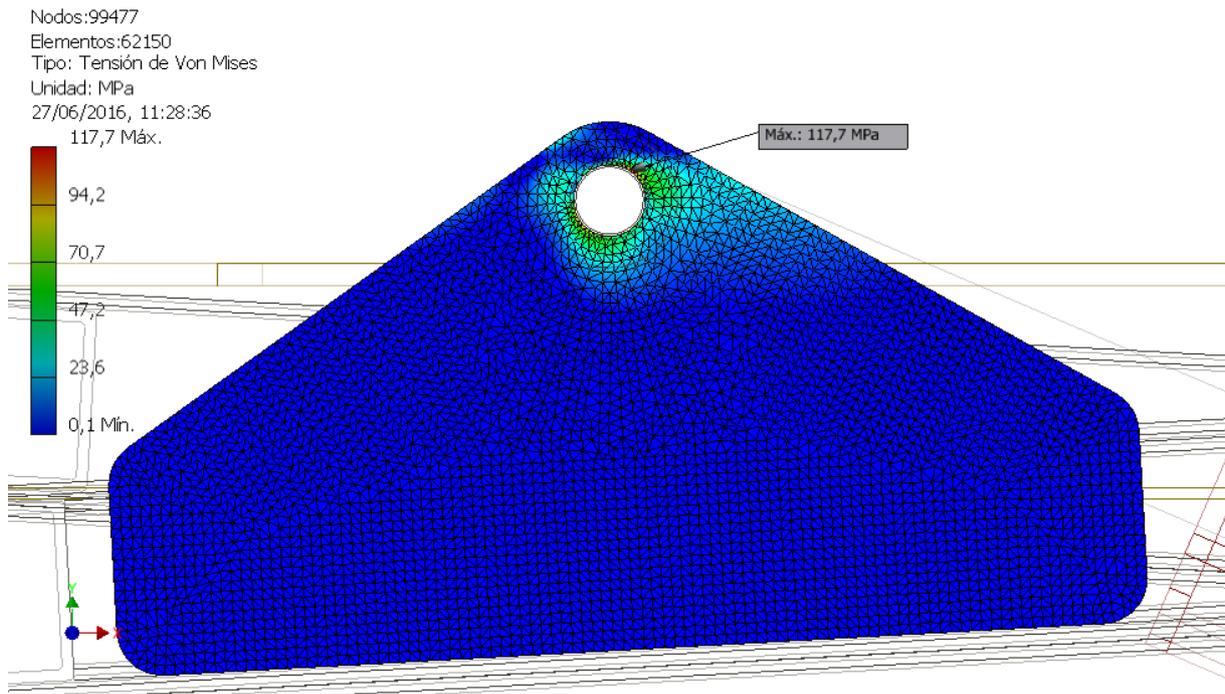


Figura 47. Resultado del análisis de tensión sin ojales de refuerzo.

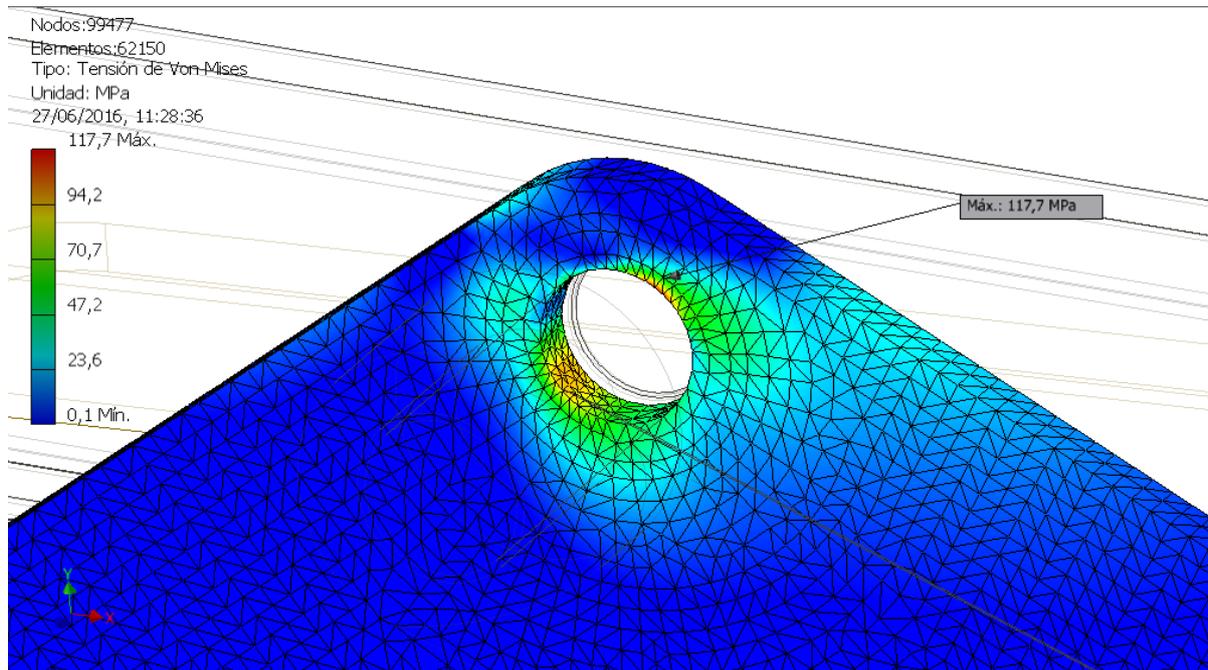


Figura 48. Zoom de la zona más solicitada en el análisis de tensión sin ojales de refuerzo.

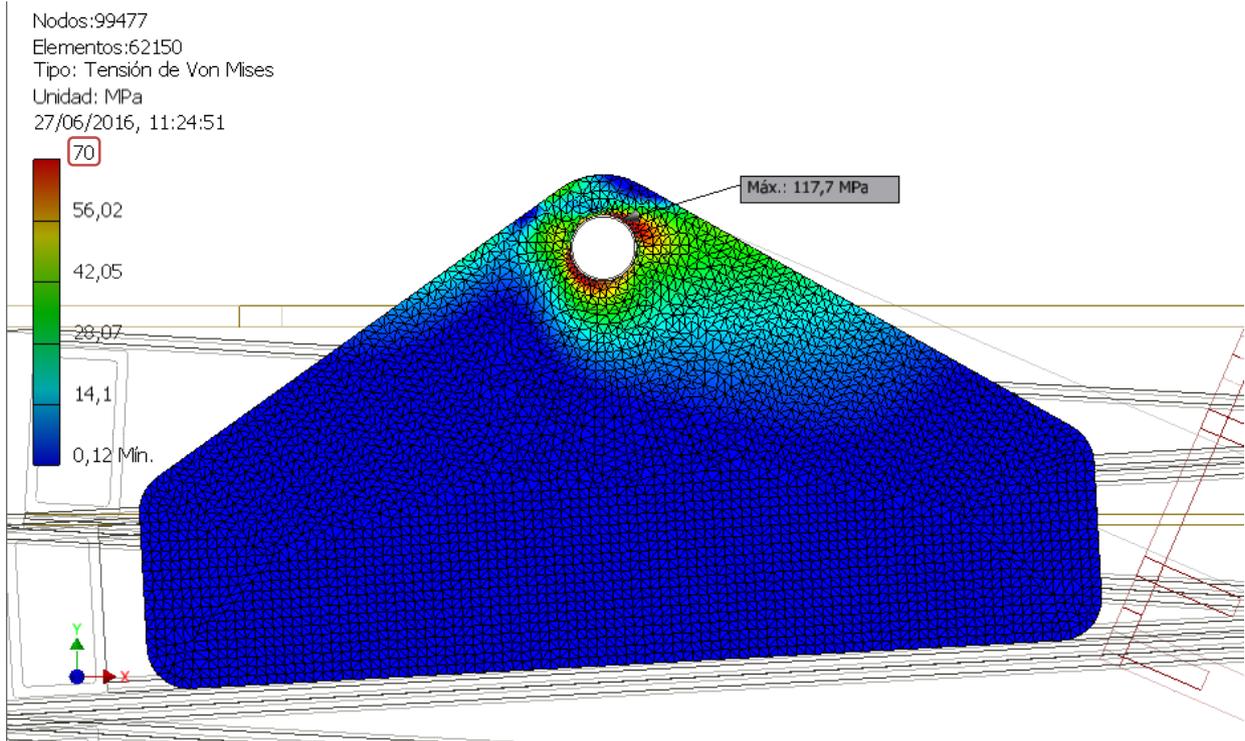


Figura 49. Resultado del análisis de tensión sin ojales de refuerzo en base a la tensión máxima de 70 Mpa alcanzada en el primer análisis.

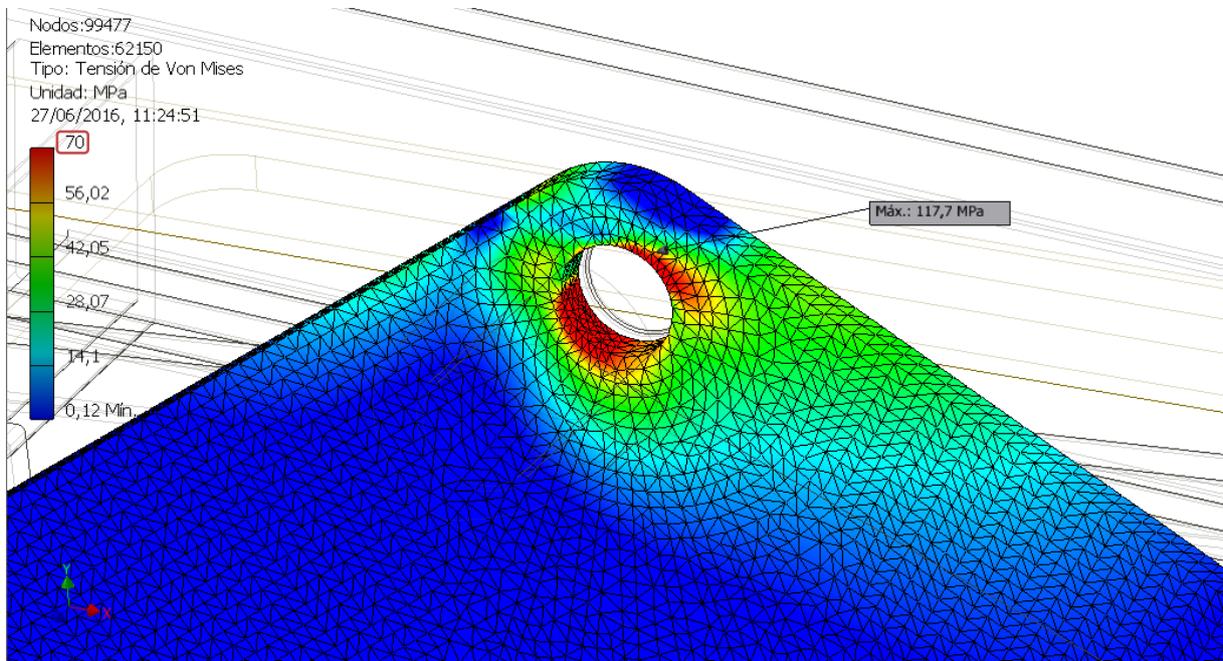


Figura 50. Zoom de la zona más solicitada en el análisis de tensión sin ojales de refuerzo en base a la tensión máxima de 70 Mpa alcanzada en el primer análisis.

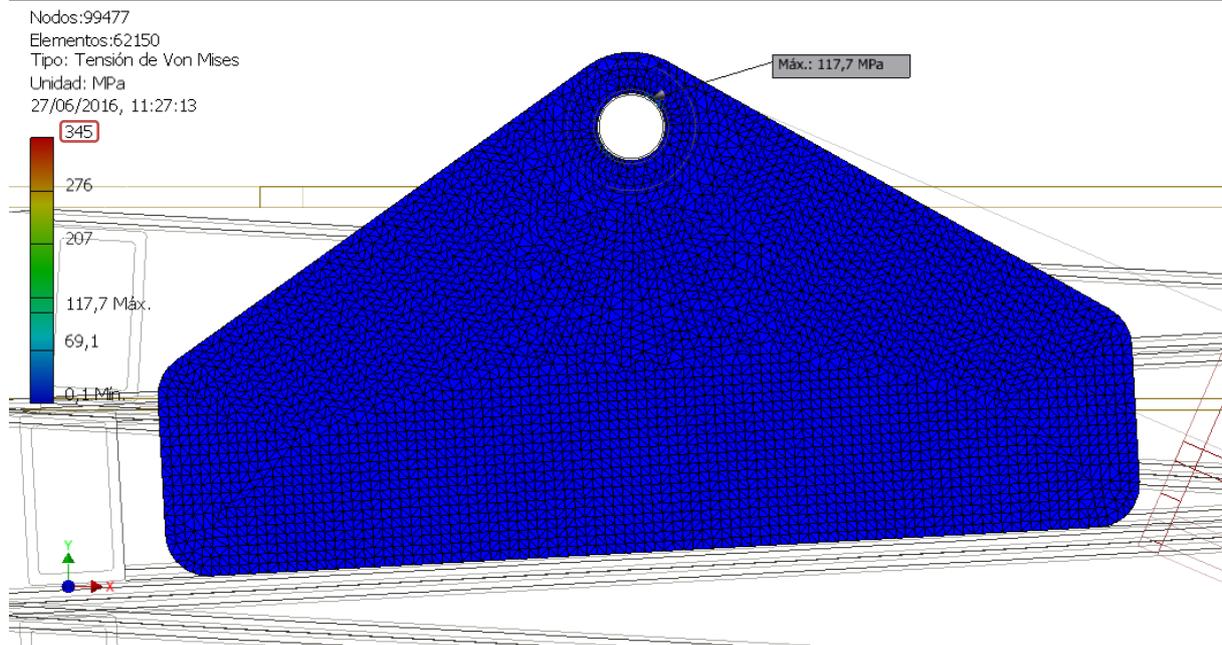


Figura 51. Resultado del análisis de tensión sin ojales de refuerzo en base al límite elástico del acero de la pieza.

Se observa que aproximadamente se alcanzan valores de tensión un 68% mayor (Fig.47), pero de nuevo se dispone de un coeficiente de seguridad elevado, en torno a 2,9, que permite un correcto desempeño de la máquina. Sin embargo la eliminación de los ojales de refuerzo puede acarrear problemas de plastificación local en torno al agujero y por ello la aparición de fenómenos de fatiga. A su vez dicha modificación no presenta ventaja alguna en cuanto a reducción de peso y económica ya que es una cantidad de material muy reducida.

Debido a las limitaciones del software empleado no se dispone de la posibilidad de realizar un ensayo de fatiga de la pieza estudiada, el cual resulta extremadamente importante. Siempre se ha de realizar un ensayo de fatiga en aquellas piezas que se encuentran sometidas a cargas variables ya que aunque la pieza cuente con un coeficiente de seguridad elevado, una grieta de fatiga originada desde un poro interno de la pieza o una plastificación local externa, puede originar con el tiempo el fallo de ésta.

Modificación 2: Reducción del espesor de la pieza.

Dado que como se ha comentado en la *modificación 1*, la presencia de los ojales de refuerzo mejora mucho el desempeño de la pieza de estudio, en este caso se plantea mantenerlos y reducir directamente la sección de la aleta. En el análisis presentado el espesor de la pieza *Aleta de sujeción* ha sido reducido a la mitad, 5 mm.

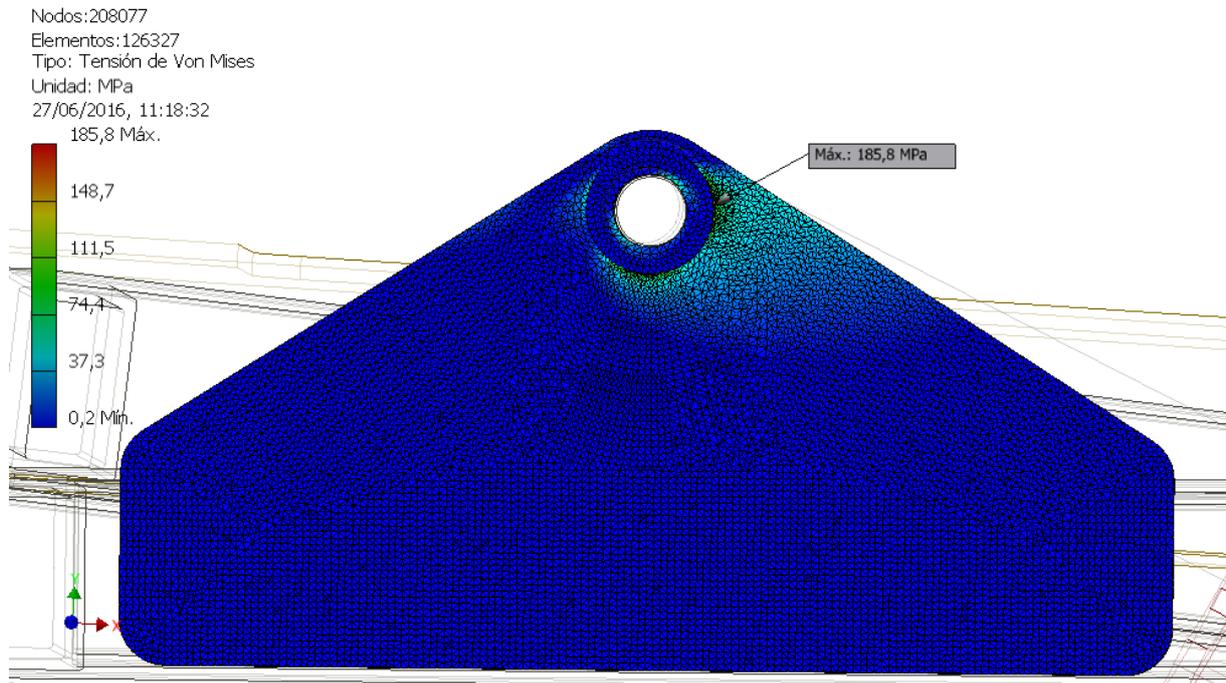


Figura 52. Resultado del análisis de tensión con espesor reducido.

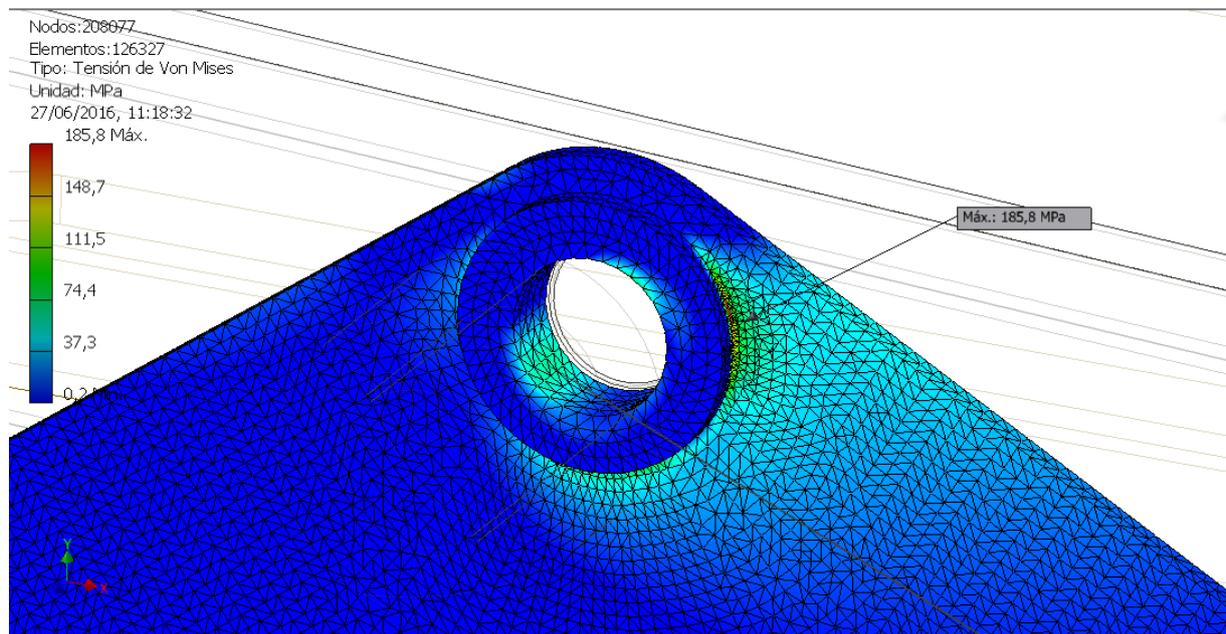


Figura 53. Zoom de la zona más solicitada en el análisis de tensión con espesor reducido.

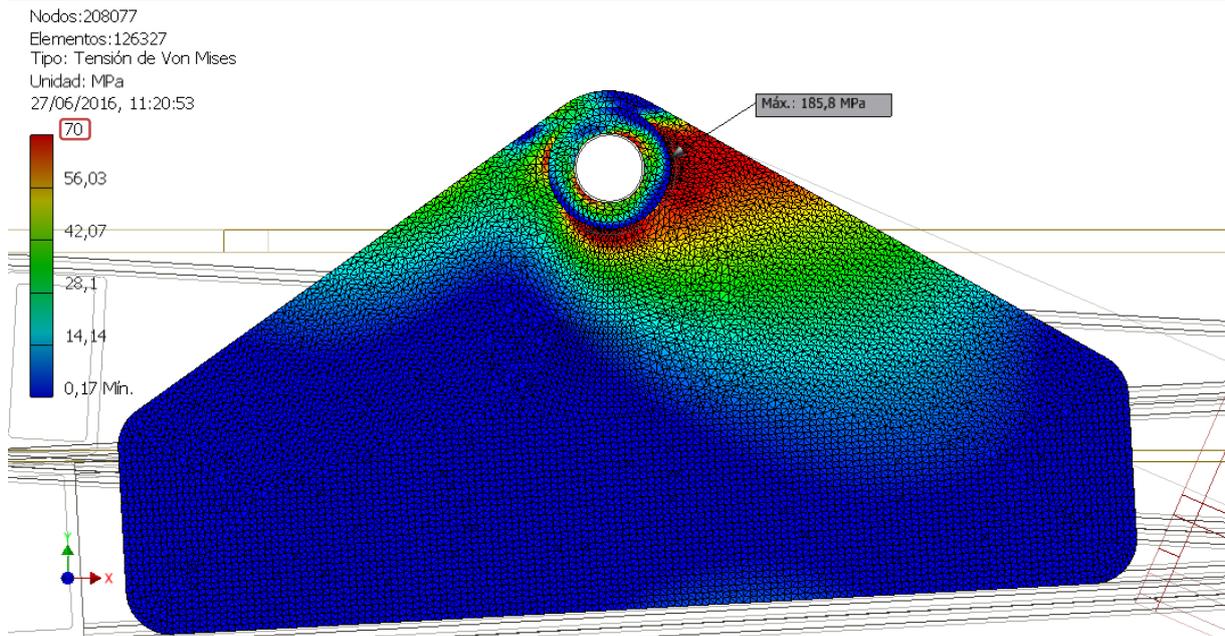


Figura 54. Resultado del análisis de tensión con espesor reducido en base a la tensión máxima de 70 Mpa alcanzada en el primer análisis.

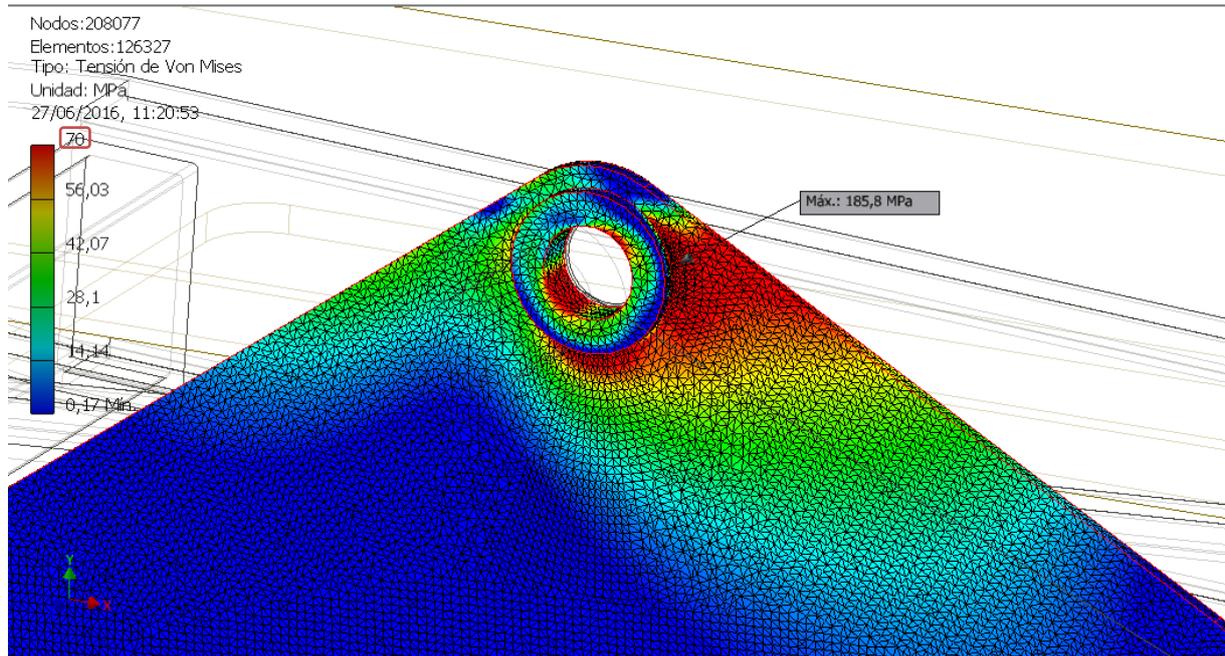


Figura 55. Zoom de la zona más solicitada en el análisis de tensión con espesor reducido en base a la tensión máxima de 70 Mpa alcanzada en el primer análisis.

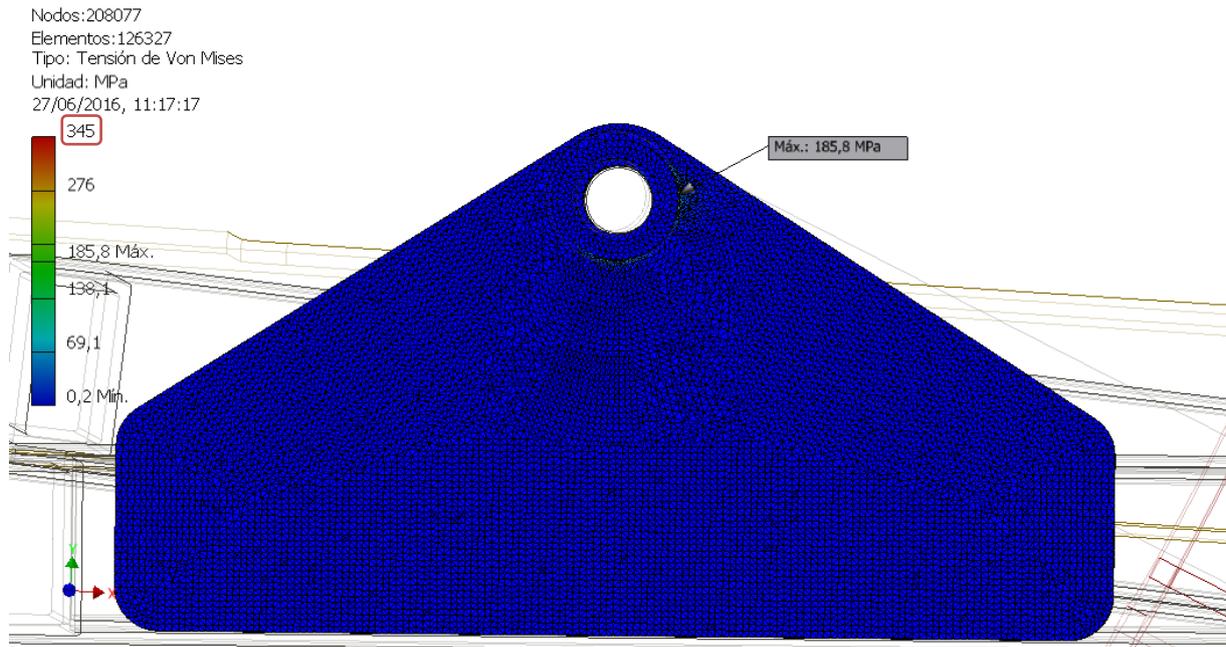


Figura 56. Resultado del análisis de tensión con espesor reducido en base al límite elástico del acero de la pieza.

En este caso los valores máximos de tensión alcanzados son 165,4% mayores (Fig.52). El coeficiente de seguridad del que se dispone es de 1,8, mucho más ajustado a un coeficiente de seguridad real para este tipo de maquinaria. En esta segunda modificación sí se ha eliminado más material que en la primera y por tanto el peso de la máquina se reducirá, aunque muy poco al tratarse de una pieza pequeña de la misma. Así mismo se producirá un ahorro económico en cuanto a la fabricación.

Por tanto se considera la *modificación 2* como la adecuada para la pieza de estudio.

8. Conclusión.

Llegados a este punto, resulta interesante comprobar si finalmente se han cumplido los objetivos principales del diseño y que modificaciones tanto actuales como futuras podrían realizarse.

En primer lugar se recuerda que se trata de un diseño en el que las dimensiones de las piezas han sido obtenidas de forma aproximada y las prestaciones han sido sacadas del catálogo de la máquina inspiradora. Dado que durante el procedimiento citado se engrosaron siempre del lado de la seguridad las dimensiones, tras la realización del análisis de tensiones se comprueba que se cumple satisfactoriamente con las solicitaciones mecánicas impuestas.

Desde el punto de vista de las aptitudes del diseño resulta satisfactorio comprobar cómo se alcanza una altura de plataforma máxima de 5400 mm, partiendo de una altura de plataforma plegada de 1000 mm con un tiempo de plegado y extendido entorno a los 25 segundos, así como un peso total de máquina de 1530 kg, todos ellos valores muy próximos a los planteados como objetivos en la definición del diseño.

Por último se ha conseguido obtener valores de coeficientes de seguridad muy ajustados a los empleados en este tipo de maquinaria por medio de una serie de modificaciones dimensionales, permitiendo así un ahorro tanto económico como de peso y cumpliendo adecuadamente con las solicitaciones técnicas.

9. Bibliografía.

[1] Myer Kutz ,Mechanical Engineers' Handbook.

[2] Mocholí A. J. y otros (2011). *Elasticidad y Resistencia de Materiales*. Valencia. Ed UPV.

[3] Apuntes asignatura de segundo de GITI. Métodos matemáticos, apartado MEF. Propio.

[4] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) (2015). Plataformas elevadoras móviles de personal (I): gestión preventiva para su uso seguro. Consulta el 25/03/2015, en <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/NTP/NTP/Ficheros/1031a1042/NTP%201039.pdf>

[5] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) (2014). Condiciones de seguridad y salud exigibles a la maquinaria de obra: plataformas elevadoras móviles de personal. Consulta el 26/03/2015, en <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FICHAS%20DE%20PUBLICACIONES/EN%20CATALOGO/SEGURIDAD/Condiciones%20exigibles%20PEMP.pdf>

[6] Modelo elevador 6RS|JLG. Consulta el 11/04/2015 en, <https://www.jlg.com/es-es/equipos/elevadores-de-tijera/el%C3%A9ctricas/serie-rs/6rs>

[7] Plataformas elevadoras eléctricas. Consulta el 12/04/2015, en [http://www.elevarteplataformas.com/fichas-tecnicas-plataformas/TIJERAS/ELECTRICAS/HAULOTTE%20OPTIMUM%206-8%20\(6-8M\).pdf](http://www.elevarteplataformas.com/fichas-tecnicas-plataformas/TIJERAS/ELECTRICAS/HAULOTTE%20OPTIMUM%206-8%20(6-8M).pdf)

10. Lista de figuras.

Figura 1. Tipos de PEMP. (Fuente “Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)”).	4
Figura 2. PEMP telescópica sobre camión. (Fuente “www.ruthmann.de”).	5
Figura 3. PEMP de tijera autopropulsada. (Fuente “www.maqlift.com”).	5
Figura 4. PEMP unipersonal. (Fuente “www.maqlift.com”).	6
Figura 5. PEMP autopropulsada telescópica. (Fuente “www.industic.es”).	6
Figura 6. Partes generales PEMP de tijera, modelo 6RS JLG. (Fuente “www.maqlift.com”).	10
Figura 7. Escalado de imagen para obtener dimensiones aproximadas. (Fuente “www.maqlift.com”).	12
Figura 8. Características dimensionales de catálogo, modelo 6RS JLG. (Fuente “www.maqlift.com”).	12
Figura 9. Características de catálogo, modelo 6RS JLG. (Fuente “www.maqlift.com”).	13
Figura 10. Generación de un nuevo proyecto.	15
Figura 11. Acceso al entorno de trabajo de generación de piezas.	15
Figura 12. Entorno de trabajo de creación de boceto.	16
Figura 13. Aplicación de la operación Agujero.	17
Figura 14. Aplicación de la operación Vaciado.	18
Figura 15. Proceso de generación y acabado de las aletas.	19
Figura 16. Aplicación de la extensión Hasta-Siguiente en la operación Extrusión.	19
Figura 17. Ensamblaje de conjunto del pistón oleohidráulico.	23
Figura 18. Aplicación de la operación Patrón circular para la generación de los agujeros roscados.	24
Figura 19. Aplicación de la operación Patrón rectangular para la generación de resaltes antideslizantes.	26
Figura 20. Resultado del modelado de las piezas.	28
Figura 21. Generación de planos medios para facilitar el ensamblaje del conjunto.	30
Figura 22. Muestra de una de las estructuras rígidas de barras que componen el ensamblaje.	31
Figura 23. Estructura del mecanismo de tijera ensamblado.	32
Figura 24. Ejemplo de aplicación de operaciones de coaxialidad y nivelación utilizadas durante el ensamblaje.	32
Figura 25. Operaciones aplicadas para permitir la interacción física entre los módulos del pistón oleohidráulico.	33
Figura 26. Ensamblaje completo de la PEMP de tijera.	34
Figura 27. Bloqueo de grados de libertad deseados de las Uniones estándar.	36

Figura 28. Aplicación de Uniones de fuerza para evitar el solapamiento físico de las barras del mecanismo de tijera.....	36
Figura 29. Operaciones de Uniones de fuerza para permitir la interacción física entre módulos.....	37
Figura 30. Propiedades mecánicas de los materiales empleados.	37
Figura 31. Introducción de rozamientos entre uniones.	38
Figura 32. Utilización de la herramienta Fuerza desconocida.	39
Figura 33. Evolución temporal de la fuerza generada por el pistón oleohidráulico.	40
Figura 34. Exportación a Excel de la variación temporal de la fuerza calculada.....	40
Figura 35. Obtención de la ecuación polinómica de la fuerza empleada.....	41
Figura 36. Fuerza introducida y evolución de la misma en la unión de estudio.	42
Figura 37. Gráficos de salida de la evolución de la posición y velocidad durante el elevado.....	43
Figura 38. Trayectoria descrita por los puntos de anclaje del pistón.	44
Figura 39. Definición de las restricciones demandadas para aislar la pieza de estudio en el espacio...	46
Figura 40. Visualización de la posición soldada de las aletas a los rigidizadores.....	46
Figura 41. Configuración de los parámetros de refinado de la malla y convergencia de cálculo.	47
Figura 42. Malla sin refinar con los parámetros de partida de Autodesk Inventor 2014.....	47
Figura 43. Malla tras proceso de refinado según Fig. (41)	47
Figura 44. Resultado del análisis de tensión con visualización de malla refinada.	48
Figura 45. Zoom de la zona de acumulación de las tensiones.....	48
Figura 46. Resultado del análisis de tensión en base al límite elástico del acero empleado.	49
Figura 47. Resultado del análisis de tensión sin ojales de refuerzo.....	50
Figura 48. Zoom de la zona más solicitada en el análisis de tensión sin ojales de refuerzo.	50
Figura 49. Resultado del análisis de tensión sin ojales de refuerzo en base a la tensión máxima de 70 Mpa alcanzada en el primer análisis.....	51
Figura 50. Zoom de la zona más solicitada en el análisis de tensión sin ojales de refuerzo en base a la tensión máxima de 70 Mpa alcanzada en el primer análisis.....	51
Figura 51. Resultado del análisis de tensión sin ojales de refuerzo en base al límite elástico del acero de la pieza.....	52
Figura 52. Resultado del análisis de tensión con espesor reducido.....	53
Figura 53. Zoom de la zona más solicitada en el análisis de tensión con espesor reducido.	53
Figura 54. Resultado del análisis de tensión con espesor reducido en base a la tensión máxima de 70 Mpa alcanzada en el primer análisis.....	54

Figura 55. Zoom de la zona más solicitada en el análisis de tensión con espesor reducido en base a la tensión máxima de 70 Mpa alcanzada en el primer análisis.....54

Figura 56. Resultado del análisis de tensión con espesor reducido en base al límite elástico del acero de la pieza.....55

Documento II:

Presupuesto

ÍNDICE GENERAL

1.	Partida de elaboración y desarrollo del trabajo.....	1
2.	Partida de materiales y recursos empleados.....	3
3.	Presupuesto Total.....	4

1. Partida de elaboración y desarrollo del trabajo.

Para realizar el trabajo de fin de grado presentado se han utilizado un total de 300 horas de trabajo. Dentro de la gran cantidad de partes que componen el trabajo, se agrupan en función de la dificultad de las mismas y del personal necesario para realizarlas en cuatro partes:

- Búsqueda y recopilación de información: Previo al planteamiento de un diseño, es necesario un estudio exhaustivo que comprenda la búsqueda de toda la información necesaria que permita al encargado del diseño comparar entre las diferentes opciones y aspectos relevantes del mismo. Para ello se han empleado 40 horas de trabajo y se ha asignado un precio de 45 euros /h ya que se trata de un proyecto puntual y se requiere de un titulado con suficiente conocimientos para valorar las ventajas técnicas de los diferentes diseños y la correcta aplicación de la información recopilada.
- Diseño, modelado y simulación: Comprende la definición concreta del diseño, así como su modelado, simulación, análisis y modificación en caso de detectar algún tipo de irregularidad. Esta parte es la más extensa de trabajo y requiere ser realizada por una persona de semejantes características al punto anterior, por ello ha sido asignado el mismo precio de 45 euros/hora y se han empleado para ello un total de 175 horas.
- Generación de planos de detalle: este trabajo se realiza partiendo de las piezas ya modeladas y por tanto no se requiere de un titulado para realizarlos, por ello prácticamente cualquier técnico es capaz de realizarlos. Se asigna un precio de 25 euros/h y se han empleado un total de 14 h.
- Redacción del documento escrito: Una vez ya realizados y generados todas las partes puramente técnicas, queda la realización del informe que incluya tanto el proceso global como los resultados obtenidos. Se han empleado un total de 71 horas asignándolo de nuevo a un técnico con precio de 25 euros/h.

Partida de elaboración y desarrollo del trabajo				
Concepto	Unidad Básica	Cantidad de Unidades Básicas	Precio de la Unidad Básica (€)	Total (€)
Búsqueda y recopilación de información.	h (horas)	40	45,00 €	1.800,00 €
Diseño, modelado y simulación.	h (horas)	175	45,00 €	7.875,00 €
Generación de planos de detalle.	h (horas)	14	25,00 €	350,00 €
Redacción del documento escrito.	h (horas)	71	25,00 €	1.775,00 €

Costes Indirectos	2%
Subtotal (1.1)	12.036,00 €

2. Partida de materiales y recursos empleados.

Es necesario incluir en el presupuesto todos aquellos recursos y material utilizados para la realización del trabajo. A modo simplificado sólo se van a tener en cuenta aquellos utilizados con mayor frecuencia, evitando así la introducción de aquellos dispositivos utilizados puntualmente, como podría ser el teléfono móvil para alguna fotografía puntual.

- Software Inventor Profesional 2014 de la marca Autodesk: En este caso concreto tanto el programa como la licencia han sido suministrados gratuitamente por pertenecer a la escuela. Cabe mencionar que si en lugar de ser un trabajo de fin de grado fuera un proyecto real, no se dispondría de este privilegio, y por ello se considera necesario incluir el precio de licencia a modo de presupuesto real. La licencia supone un coste de 8000 euros. Dicho Software ha sido utilizado tanto para la parte de *Diseño, modelado y simulación* como para la parte de *Generación de los planos de detalle* suponiendo un total de 189 h. Se fija un total de 4 años como el tiempo de amortización del mismo ya que tras este tiempo se considera que éste ha quedado anticuado.
- Portátil + Sistema operativo: Precio de compra 870 €. Se trata del elemento que ha sido utilizado a tiempo completo en la realización del trabajo, incluyendo todas las etapas del mismo, por lo que su uso asciende a 300 h. Se trata de un portátil de la marca Lenovo, el cual incorpora un procesador Intel core i7 y una tarjeta gráfica AMD Radeon graphics. Por ello, al tratarse de un portátil potente destinado a la utilización de programas gráficos, se estima un tiempo de amortización de 5 años.
- Material de reprografía: Se incluyen todos los procesos de impresión, fotocopias y encuadernación del escrito. Se destina un precio aproximado de 60 €.

Partida de materiales y recursos empleados				
Concepto	Precio Concepto (€)	Amortización (h)	Uso (h)	Total (€)
Software Inventor profesional 2014	8.000,00 €	7680	189	196,88 €
Portátil + Sistema operativo	870,00 €	9600	300	27,19 €
Material de reprografía	60,00 €	N/A	N/A	60,00 €

Costes Indirectos	2%
Subtotal (1.2)	289,75 €

3. Presupuesto Total.

Una vez definidas las partidas se requiere una agrupación de las mismas para contemplar el grueso del presupuesto, incluyendo para ello el IVA.

Partida de elaboración y desarrollo del trabajo				
Concepto	Unidad Básica	Cantidad de Unidades Básicas	Precio de la Unidad Básica (€)	Total (€)
Búsqueda y recopilación de información.	h (horas)	40	45,00 €	1.800,00 €
Diseño, modelado y simulación.	h (horas)	175	45,00 €	7.875,00 €
Generación de planos de detalle.	h (horas)	14	25,00 €	350,00 €
Redacción del documento escrito.	h (horas)	71	25,00 €	1.775,00 €

Costes Indirectos	2%
Subtotal (1.1)	12.036,00 €

Partida de materiales y recursos empleados				
Concepto	Precio Concepto (€)	Amortización (h)	Uso (h)	Total (€)
Software Inventor profesional 2014	8.000,00 €	7680	189	196,88 €
Portátil + Sistema operativo	870,00 €	9600	300	27,19 €
Material de reprografía	60,00 €	N/A	N/A	60,00 €

Costes Indirectos	2%
Subtotal (1.2)	289,75 €

Coste total sin IVA	12.325,75 €
IVA	21%
Coste total TFG	14.914,16 €

El coste total asciende a:

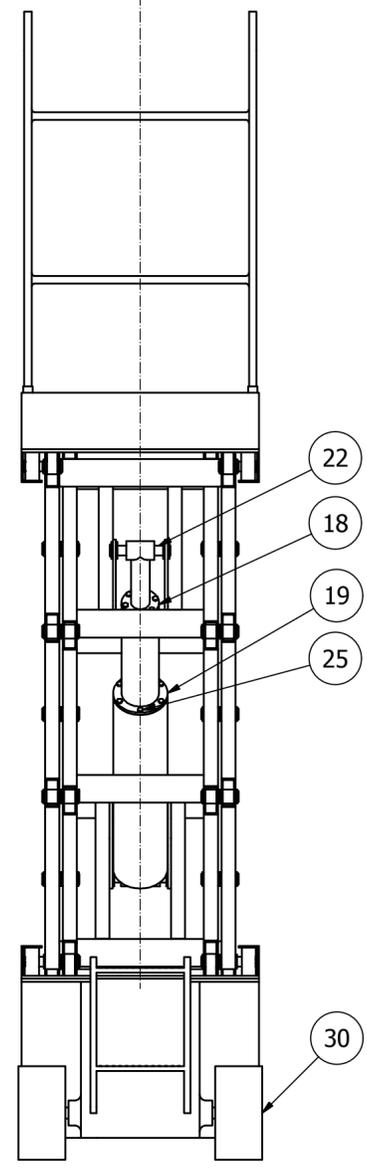
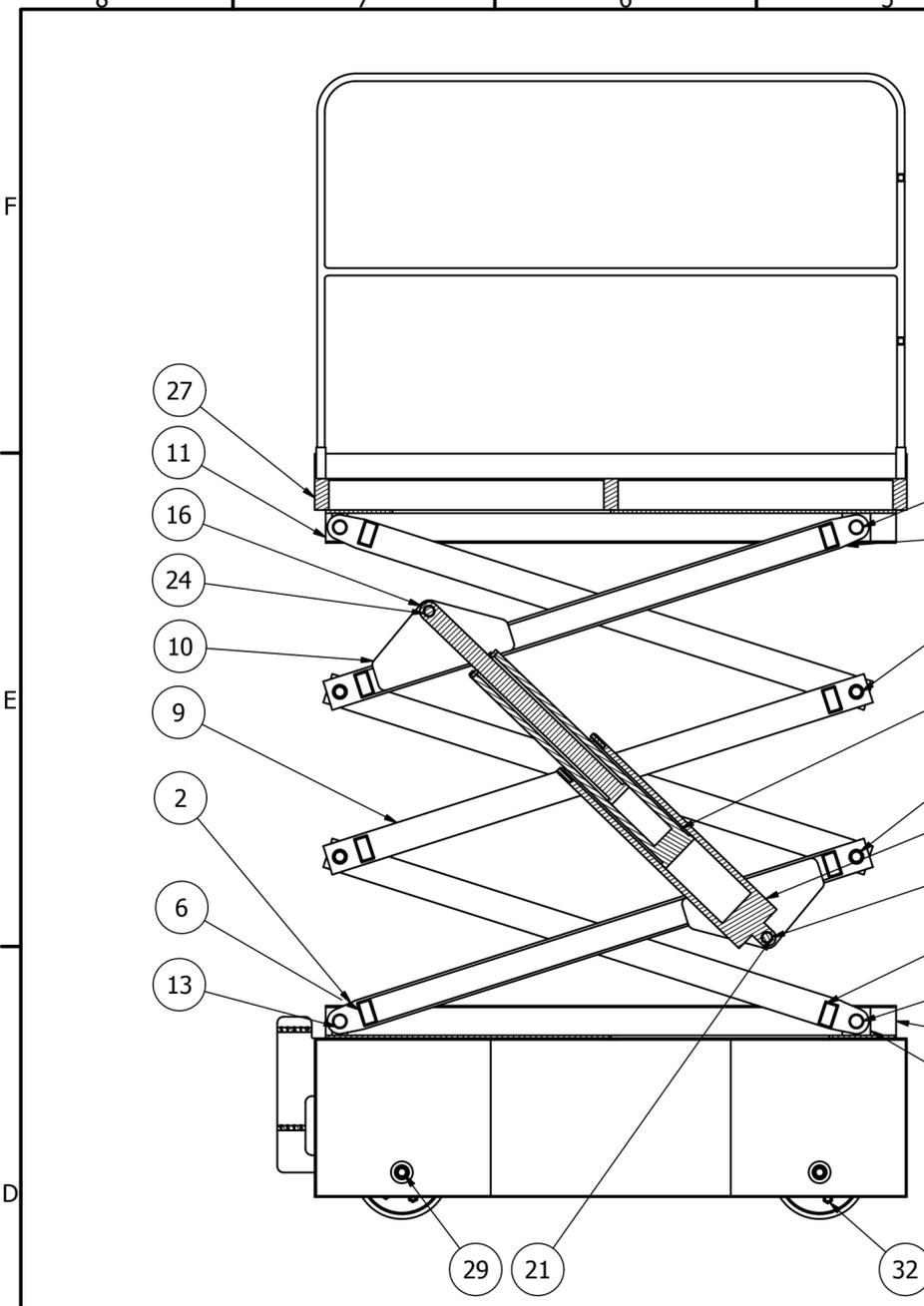
CATORCE MIL NOVECIENTOS CATORCE EUROS CON DIECISEIS CÉNTIMOS.

Documento III:

Anexo Planos

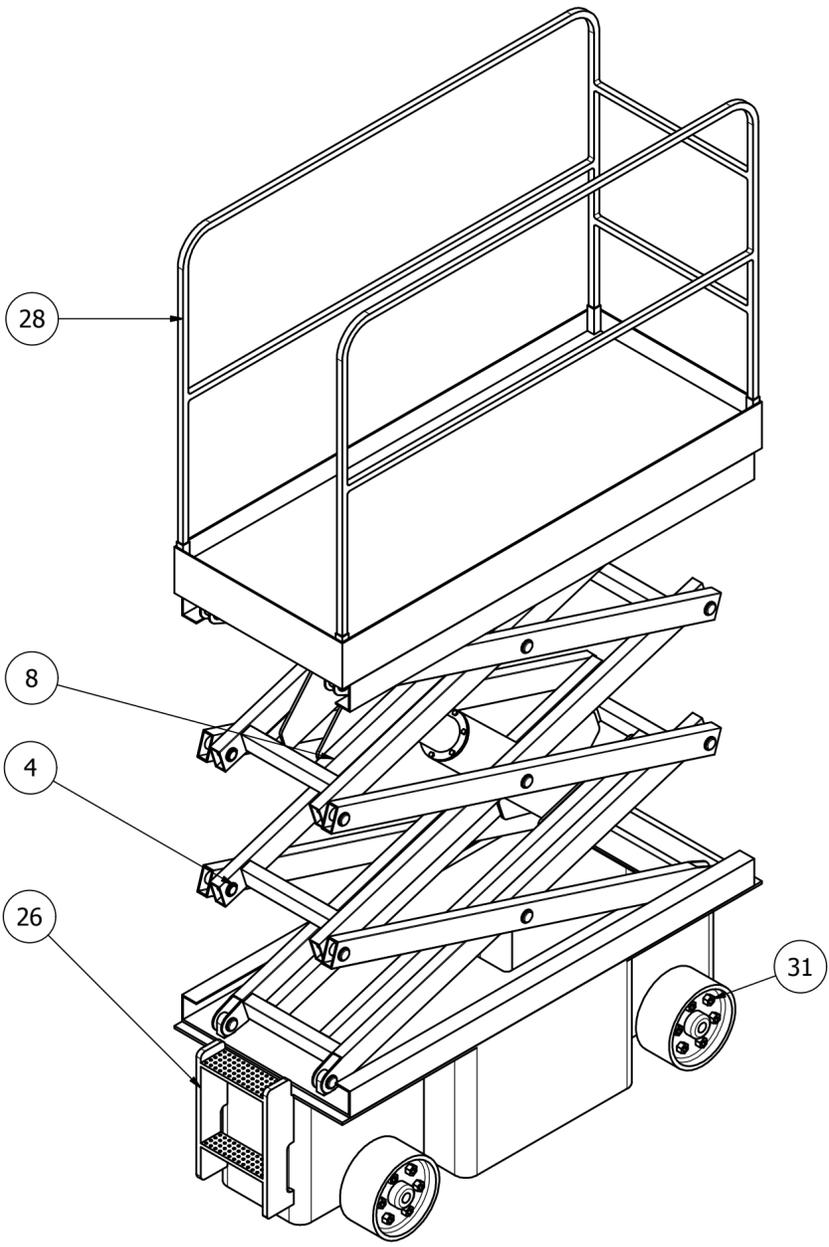
ÍNDICE GENERAL

Plano de Conjunto.....	1
Plano Aleta de sujeción.....	2
Plano Barandilla.....	3
Plano Barra unión estática.....	4
Plano Barra unión móvil.....	5
Plano Barra.....	6
Plano Casquillos.....	7
Plano Chasis.....	8
Plano Eje transmisión.....	9
Plano Módulo central pistón.....	10
Plano Módulo externo pistón.....	11
Plano Pasadores.....	12
Plano Placa base inferior.....	13
Plano Placa base superior.....	14
Plano Plataforma de trabajo.....	15
Plano Rigidizadores.....	16
Plano Rueda.....	17
Plano Taco cuadrado.....	18
Plano Tapas pistón.....	19
Plano vástago pistón.....	20



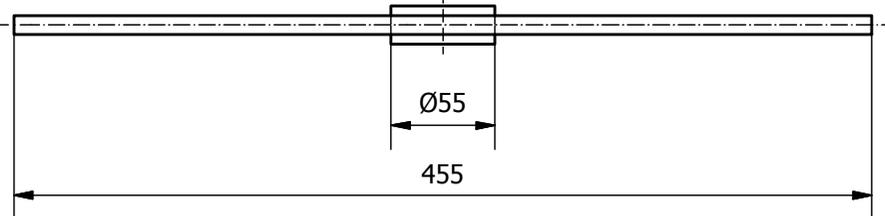
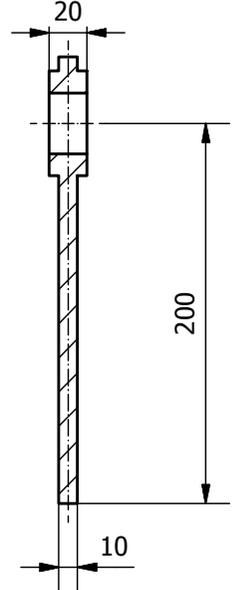
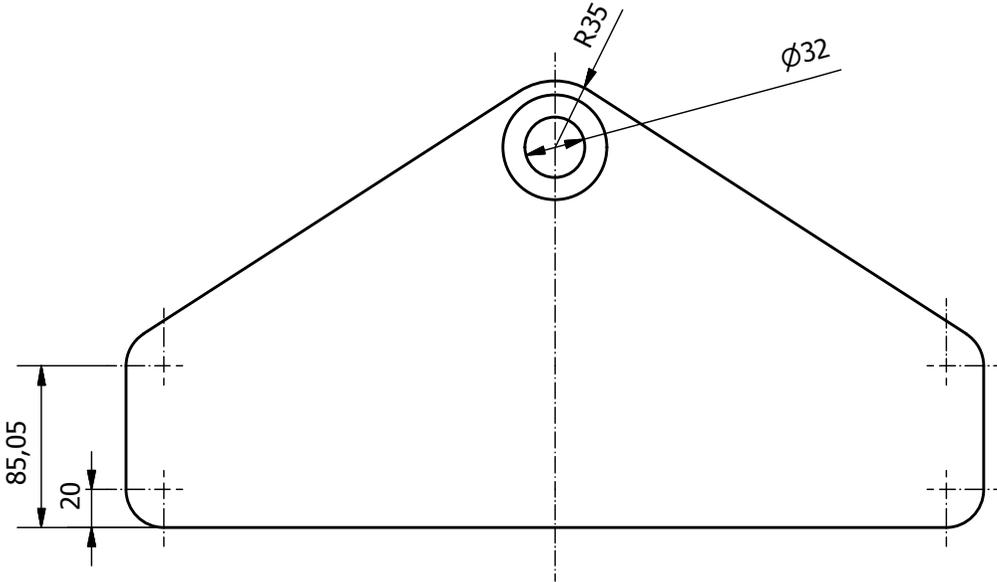
LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Placa base inferior	
2	4	Barra unión estática	
3	4	Barra unión móvil	
4	36	Casquillo barras	
5	2	Rigidizador transversal largo	
6	6	Rigidizador transversal corto	
7	2	Pasador unión tacos inferior	
8	4	Rigidizador longitudinal	
9	4	Barra	
10	4	Aleta sujeción	
11	1	Placa base superior	
12	2	Pasador unión tacos superior	
13	4	Pasador unión base estático	
14	1	Módulo externo pistón	
15	1	Módulo central pistón	
16	1	Vástago pistón	
17	4	Taco cuadrado	
18	1	Tapa módulo central	
19	1	Tapa módulo externo	
20	14	Pasador barras	
21	1	Pasador módulo externo pistón	
22	1	Pasador vástago pistón	
23	1	Casquillo módulo externo pistón	
24	1	Casquillo vástago pistón	
25	12	Tornillo tapas pistón	
26	1	Chasis	
27	1	Plataforma de trabajo	
28	1	Barandilla	
29	2	Eje transmisión	
30	4	Rueda	
31	24	Perno rueda	
32	24	Tuerca rueda	
33	24	MS 16624 - 1.312	Anillas de retención externas industriales, serie 3100

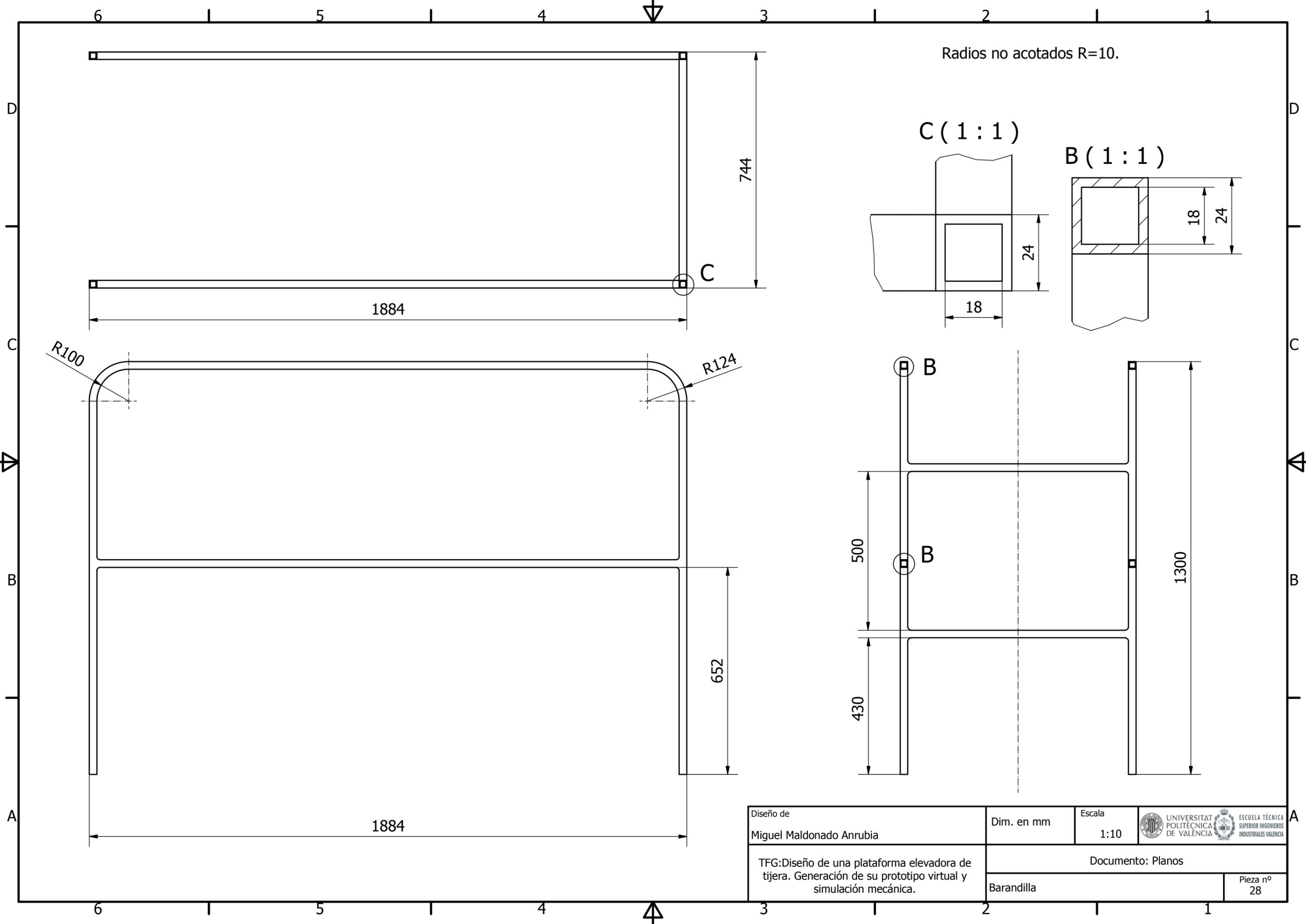


Diseño de Miguel Maldonado Anrubia	Dim. en mm	Escala 1:16	UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA
TFG:Diseño de una plataforma elevadora de tijera. Generación de su prototipo virtual y simulación mecánica.		Documento: Planos	
Plano de conjunto			Pieza nº Conjunto

Radios no acotados R=20.



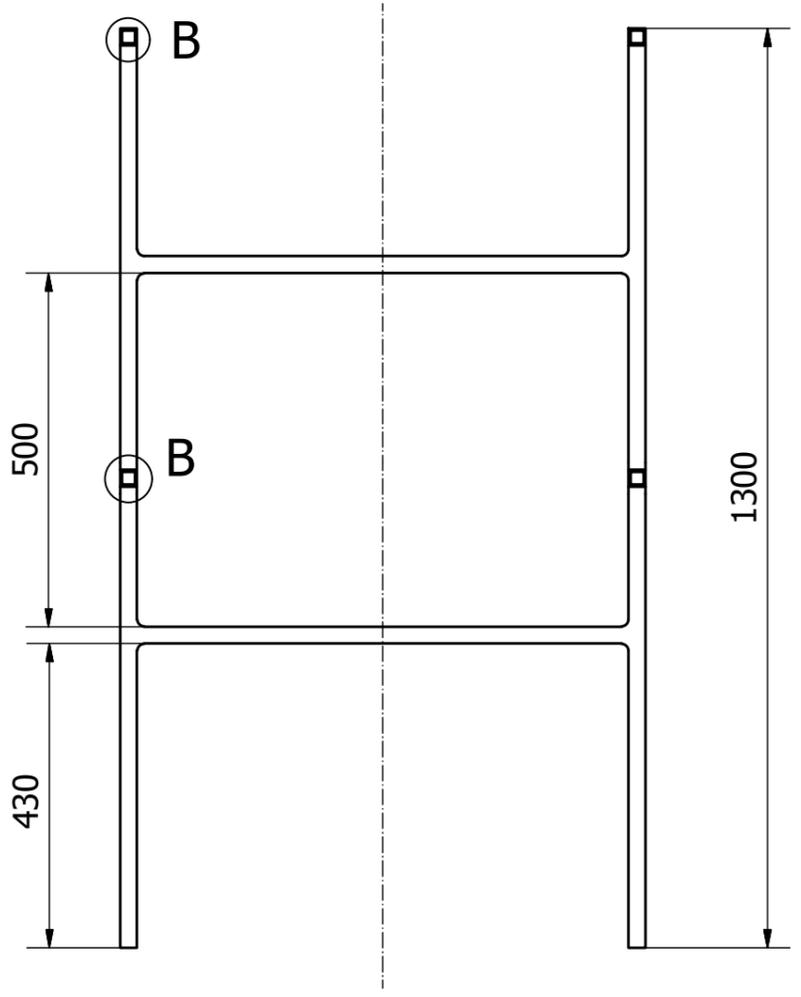
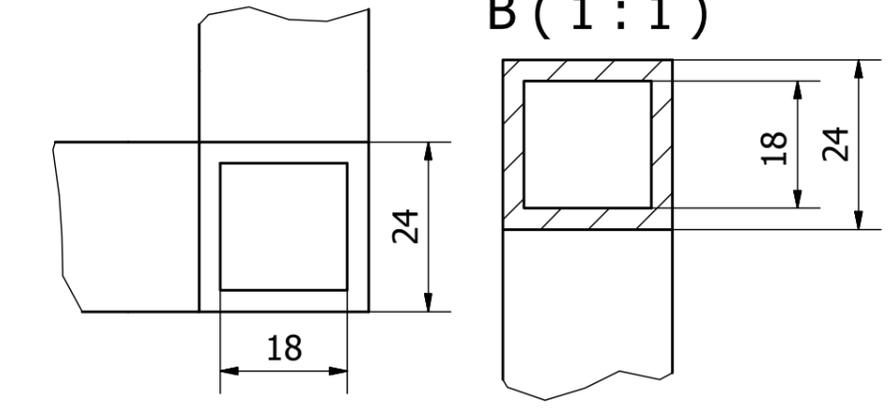
Diseño de Miguel Maldonado Anrubia	Dim. en mm	Escala 1:4	
TFG:Diseño de una plataforma elevadora de tijera. Generación de su prototipo virtual y simulación mecánica.	Aleta de sujeción	Documento: Planos	



Radios no acotados R=10.

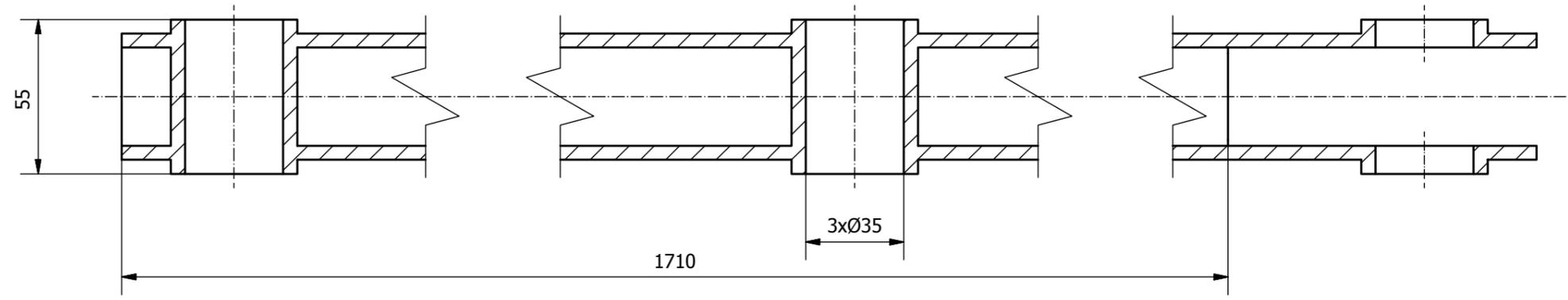
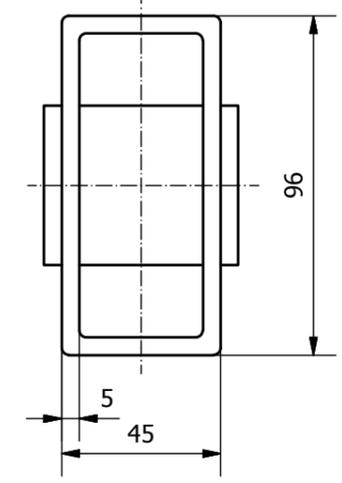
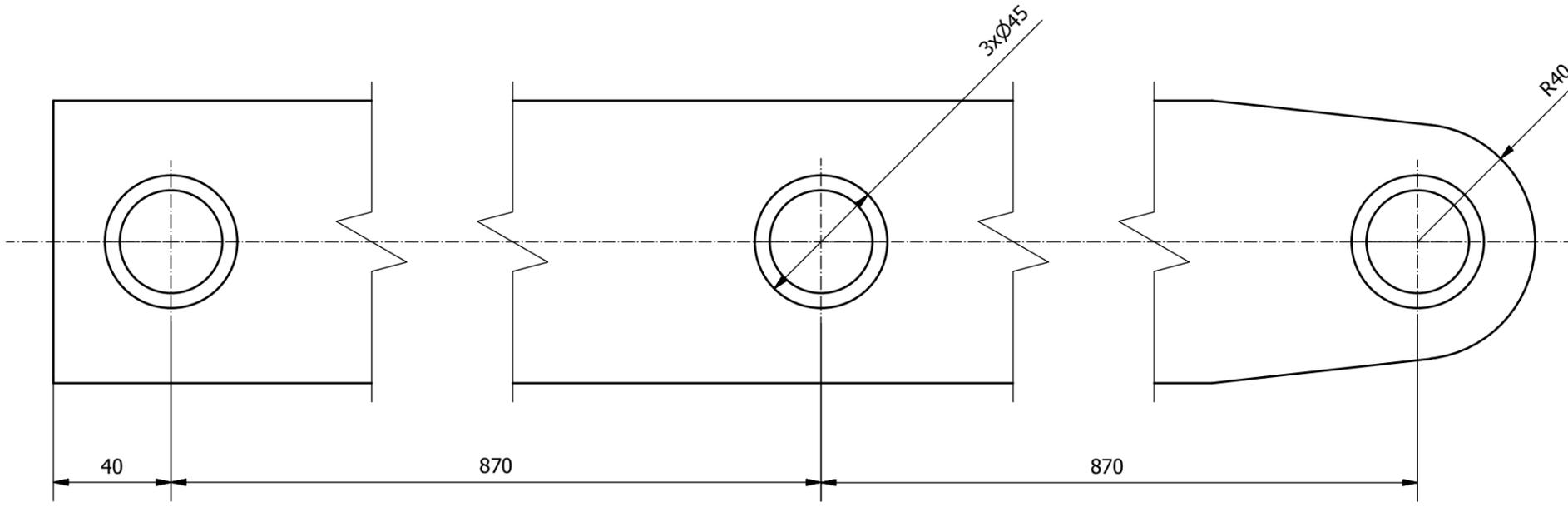
C (1:1)

B (1:1)



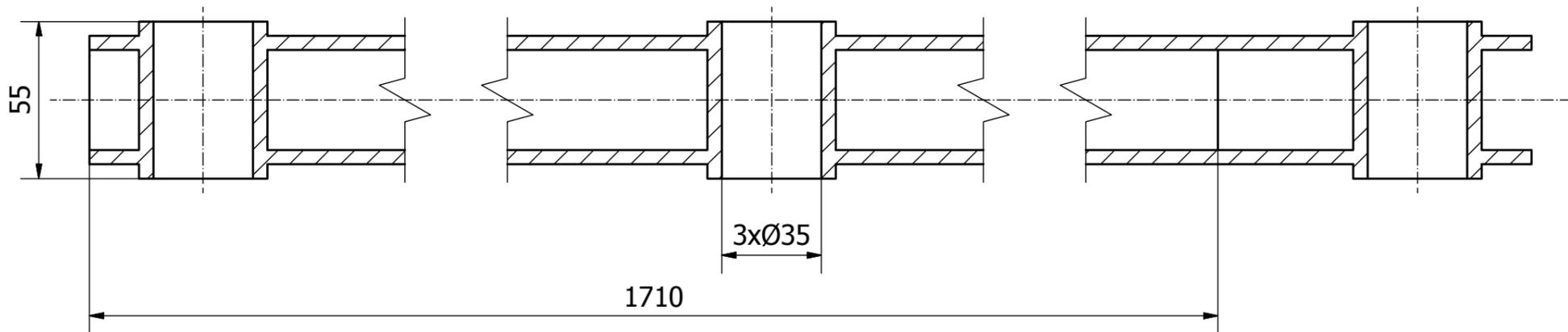
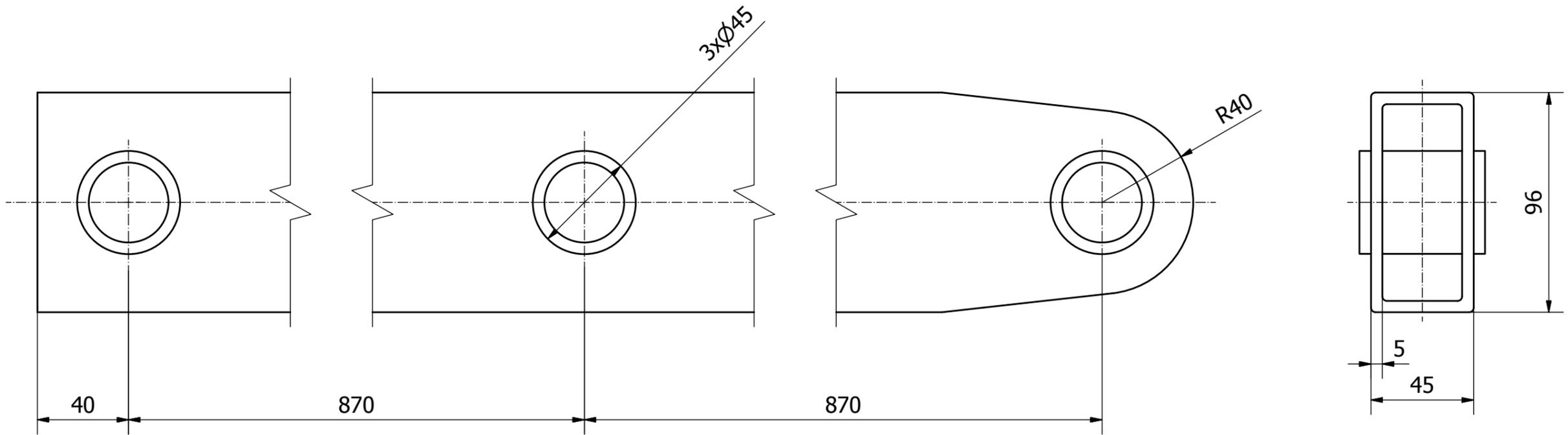
Diseño de Miguel Maldonado Anrubia	Dim. en mm	Escala 1:10	
TFG: Diseño de una plataforma elevadora de tijera. Generación de su prototipo virtual y simulación mecánica.	Documento: Planos		
Barandilla	Pieza nº 28		

Radios no acotados R=2.

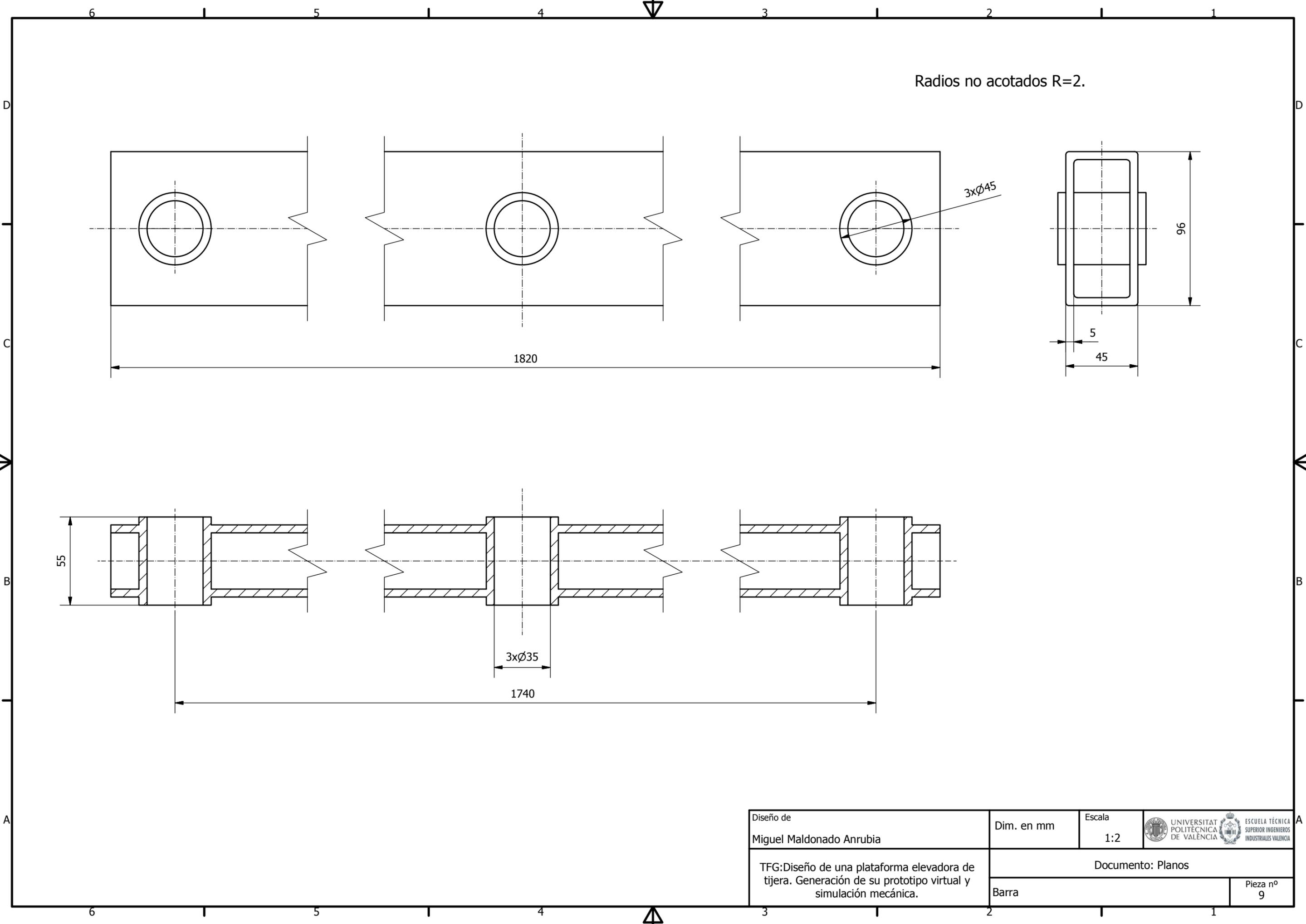


Diseño de Miguel Maldonado Anrubia	Dim. en mm	Escala 1:2	
TFG: Diseño de una plataforma elevadora de tijera. Generación de su prototipo virtual y simulación mecánica.	Documento: Planos		
Barra unión estática	Pieza nº 2		

Radio no acotados R=2.



Diseño de Miguel Maldonado Anrubia	Dim. en mm	Escala 1:2	
TFG: Diseño de una plataforma elevadora de tijera. Generación de su prototipo virtual y simulación mecánica.	Documento: Planos		
	Barra unión móvil	Pieza nº 3	



Radios no acotados R=2.

3xØ45

1820

96

5

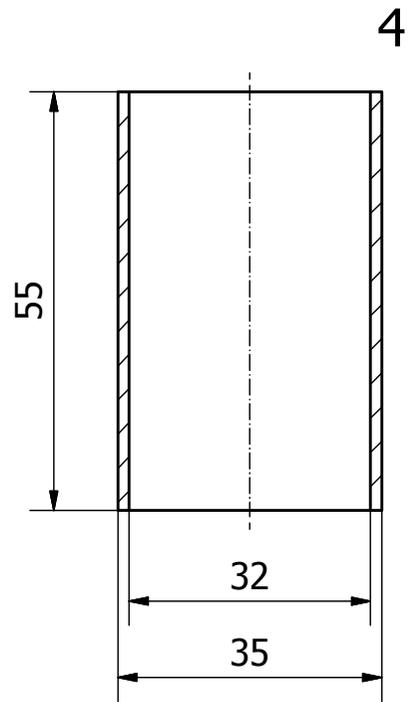
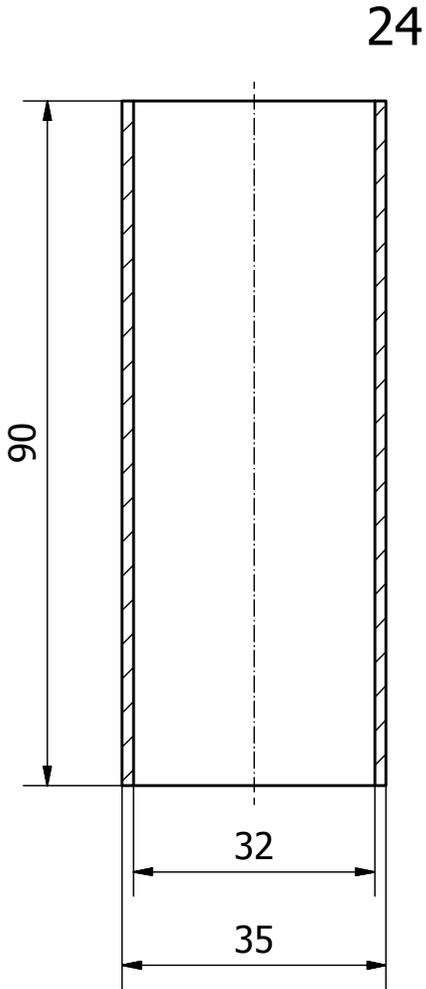
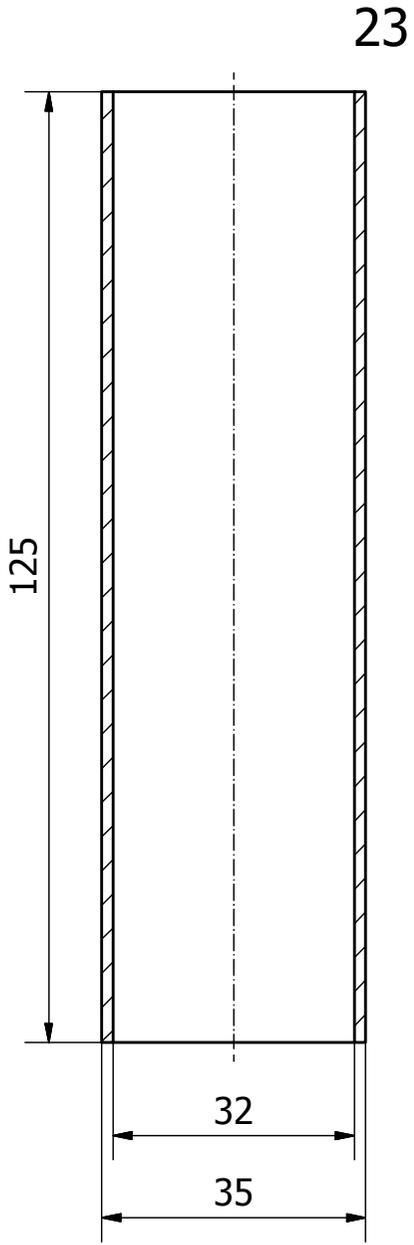
45

55

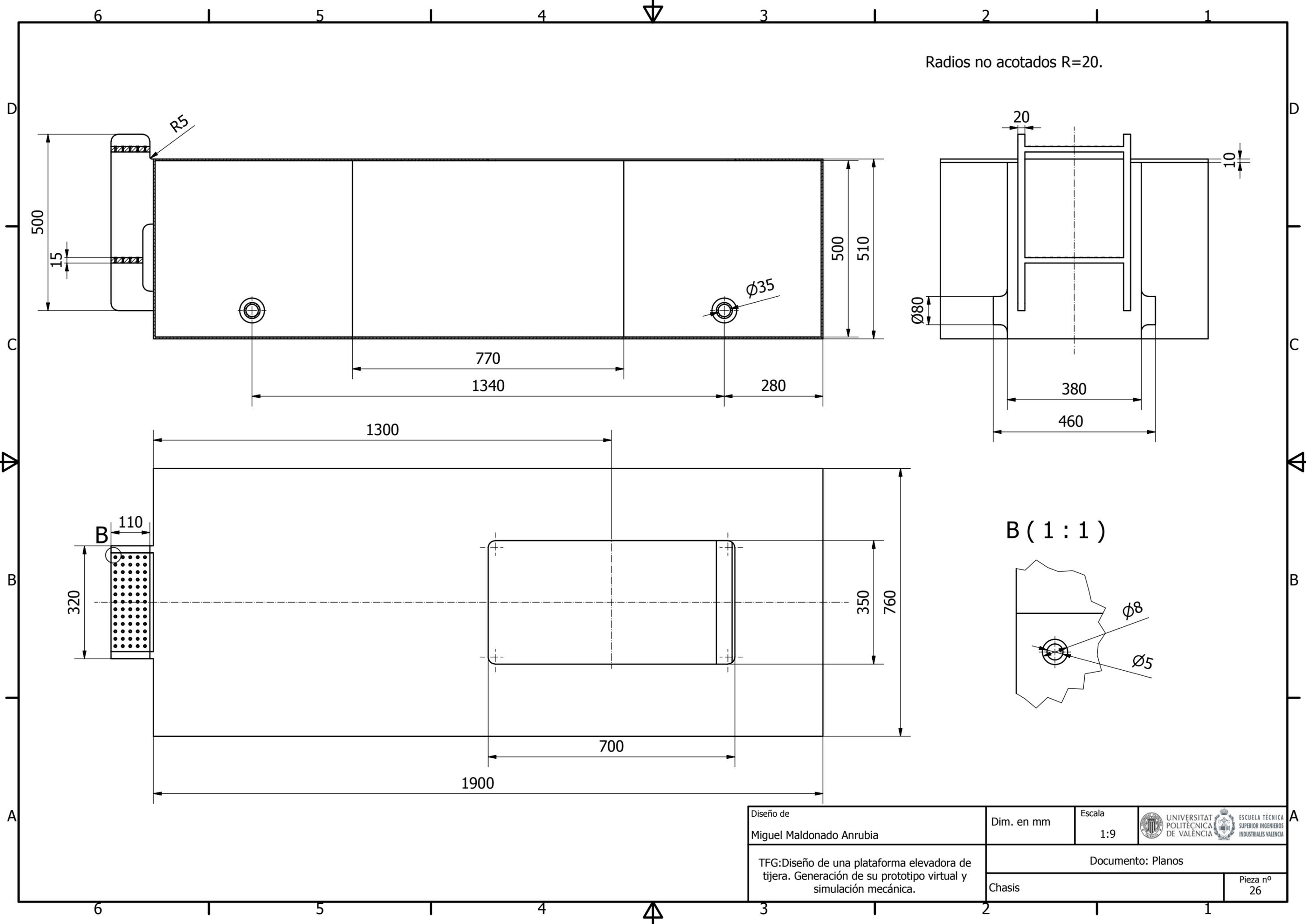
3xØ35

1740

Diseño de Miguel Maldonado Anrubia	Dim. en mm	Escala 1:2	 
TFG: Diseño de una plataforma elevadora de tijera. Generación de su prototipo virtual y simulación mecánica.	Documento: Planos		Pieza nº 9
	Barra		



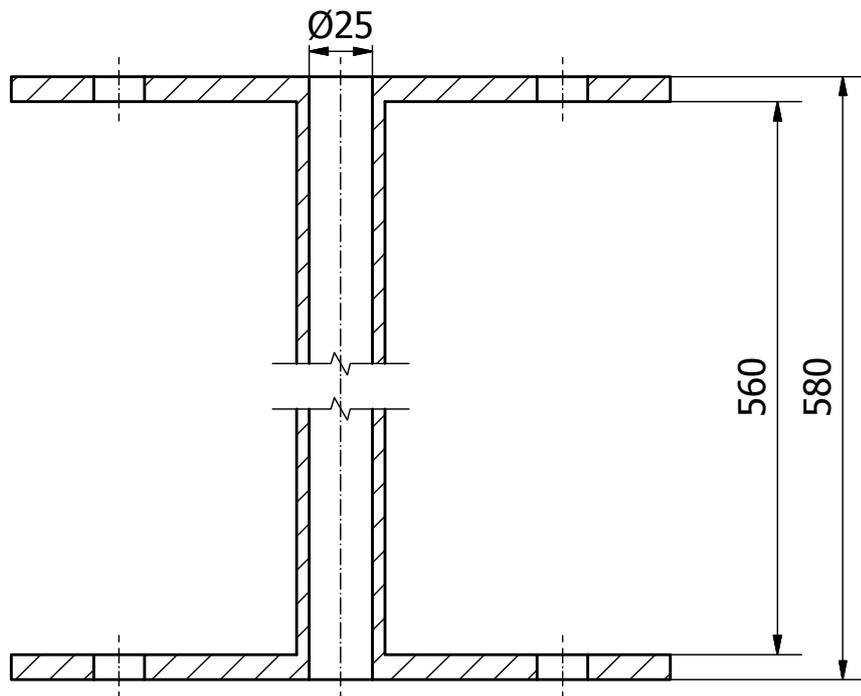
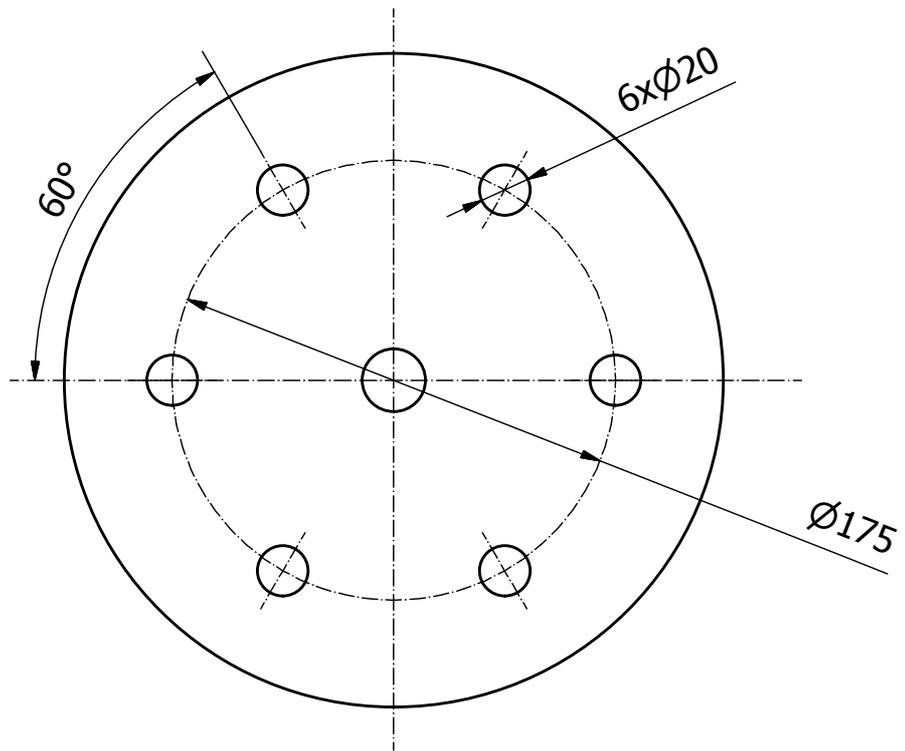
Diseño de Miguel Maldonado Anrubia	Dim. en mm	Escala 1:1	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALÈNCIA
TFG: Diseño de una plataforma elevadora de tijera. Generación de su prototipo virtual y simulación mecánica.	Documento: Planos		Pieza nº 4-23-24
Casquillos			



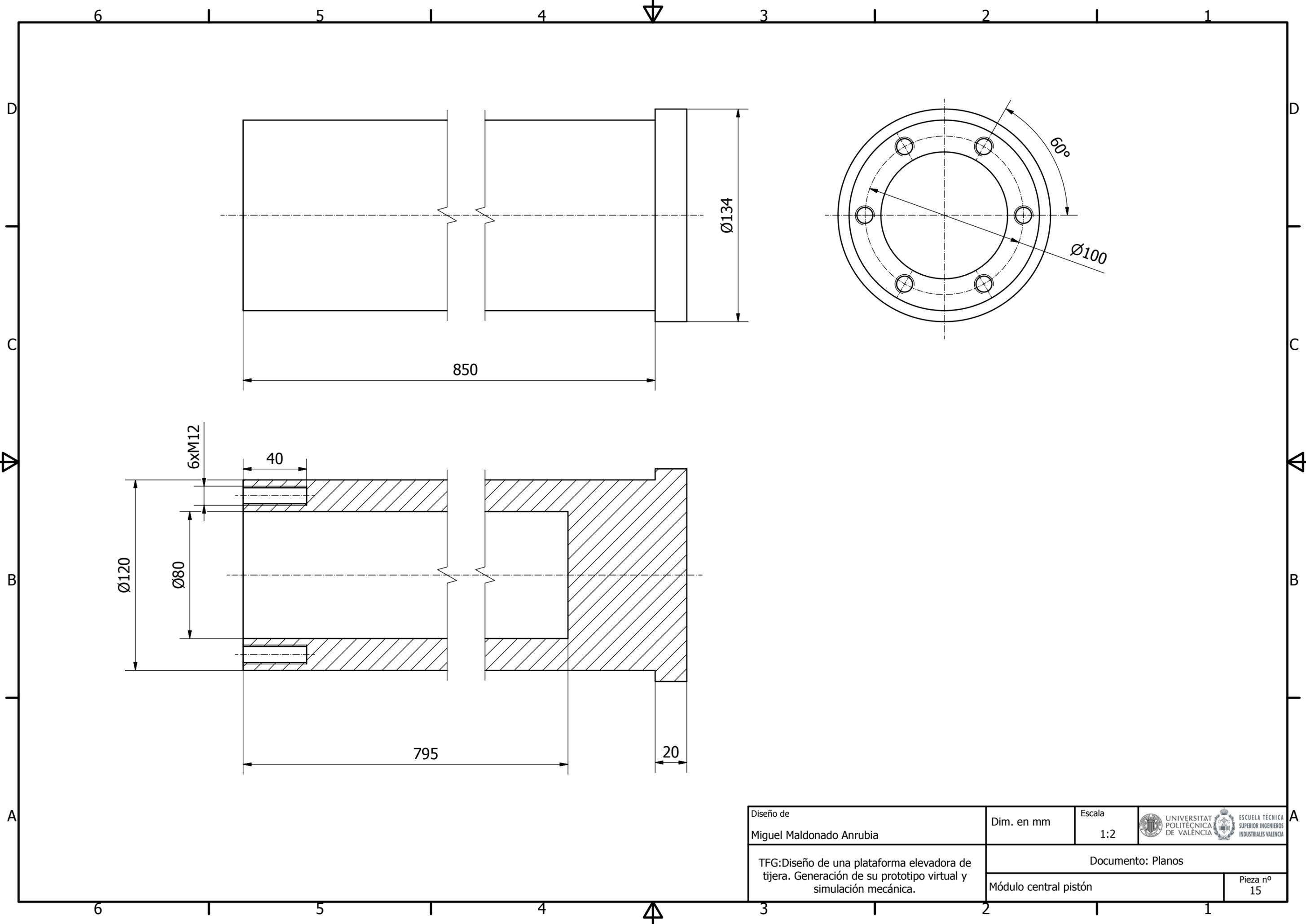
Radios no acotados R=20.

B (1 : 1)

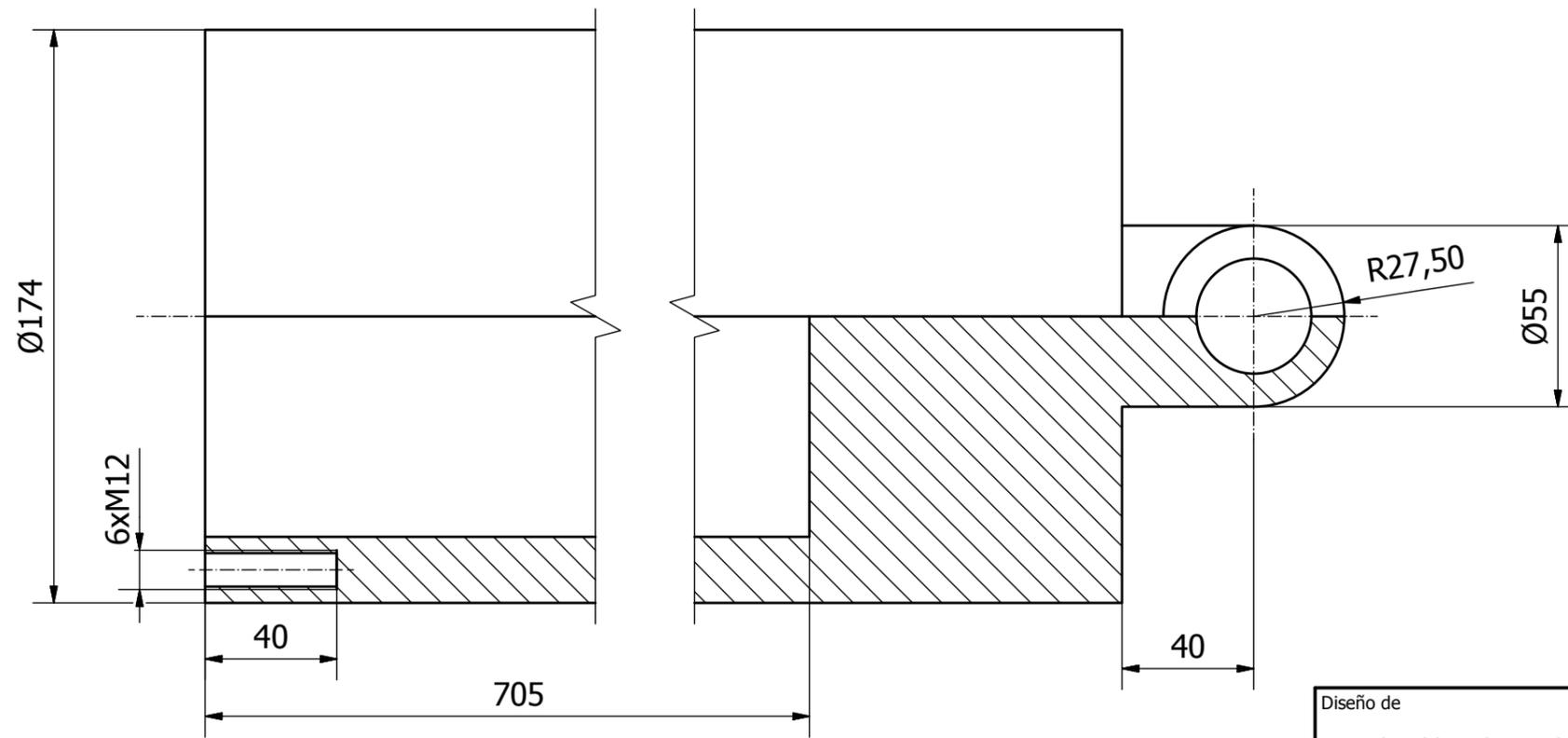
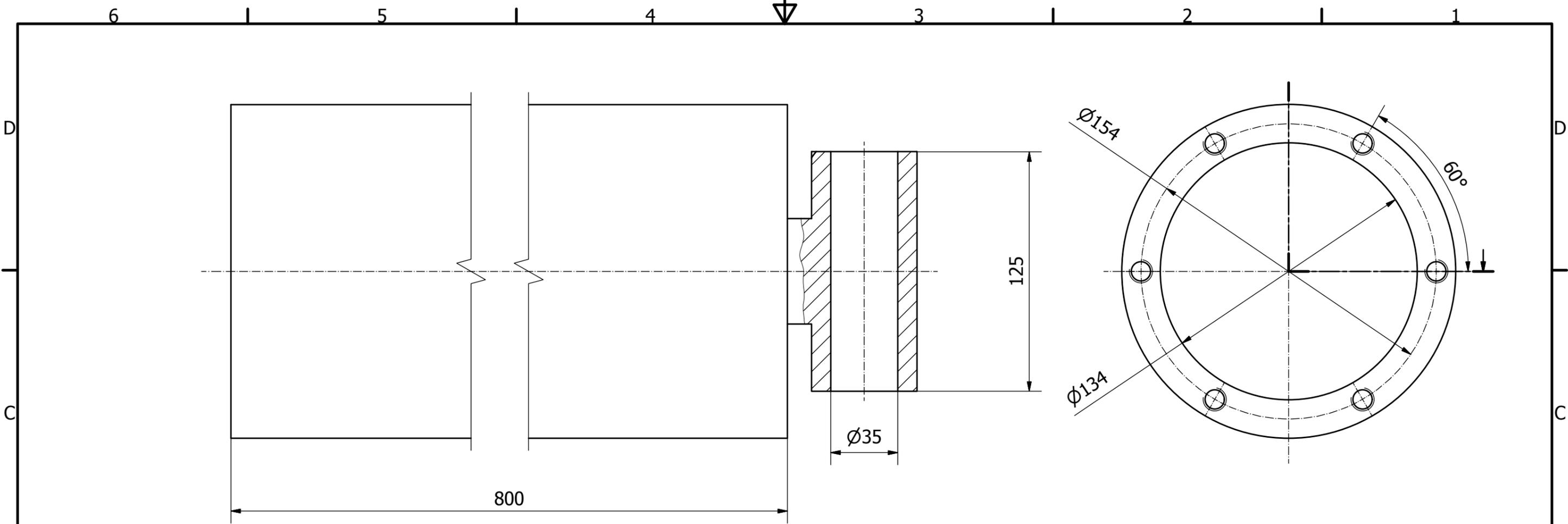
Diseño de Miguel Maldonado Anrubia	Dim. en mm	Escala 1:9	
TFG:Diseño de una plataforma elevadora de tijera. Generación de su prototipo virtual y simulación mecánica.	Documento: Planos		
Chasis	Pieza nº 26		



Diseño de Miguel Maldonado Anrubia	Dim. en mm	Escala 1:3	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALÈNCIA
TFG: Diseño de una plataforma elevadora de tijera. Generación de su prototipo virtual y simulación mecánica.	Documento: Planos		Pieza nº 29
	Eje transmisión		

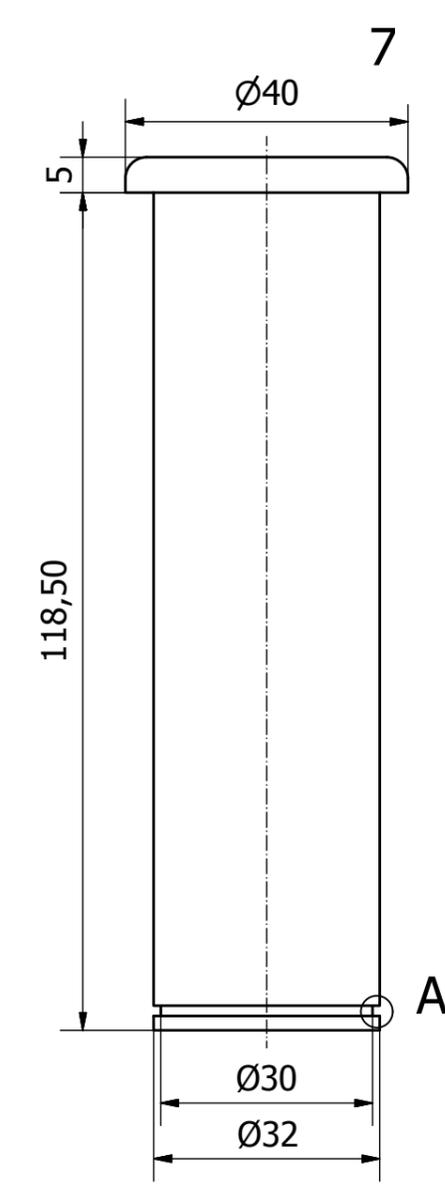
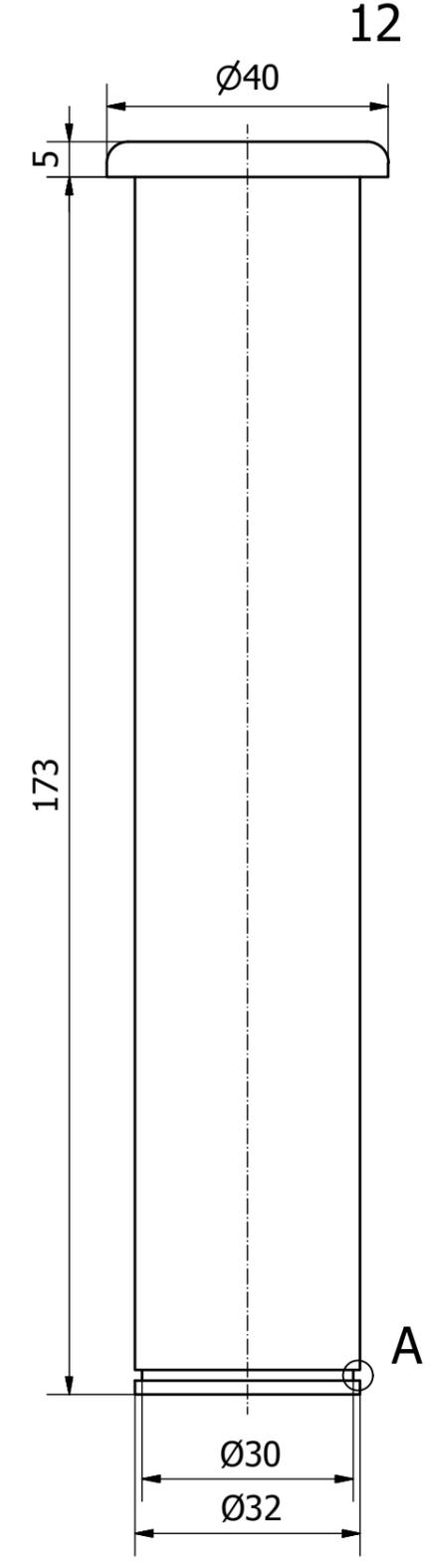
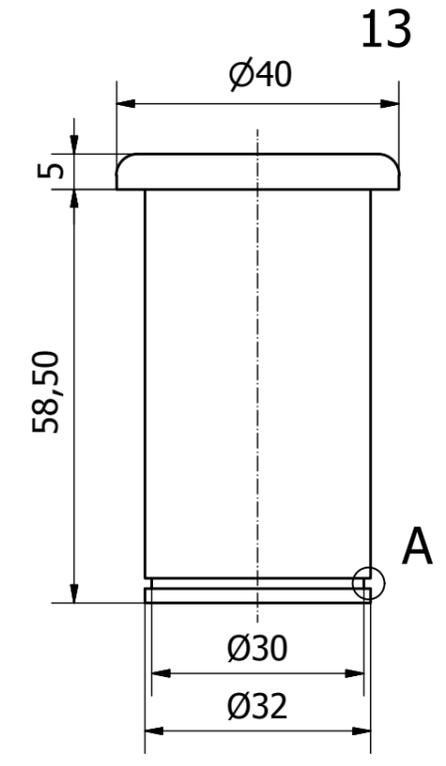
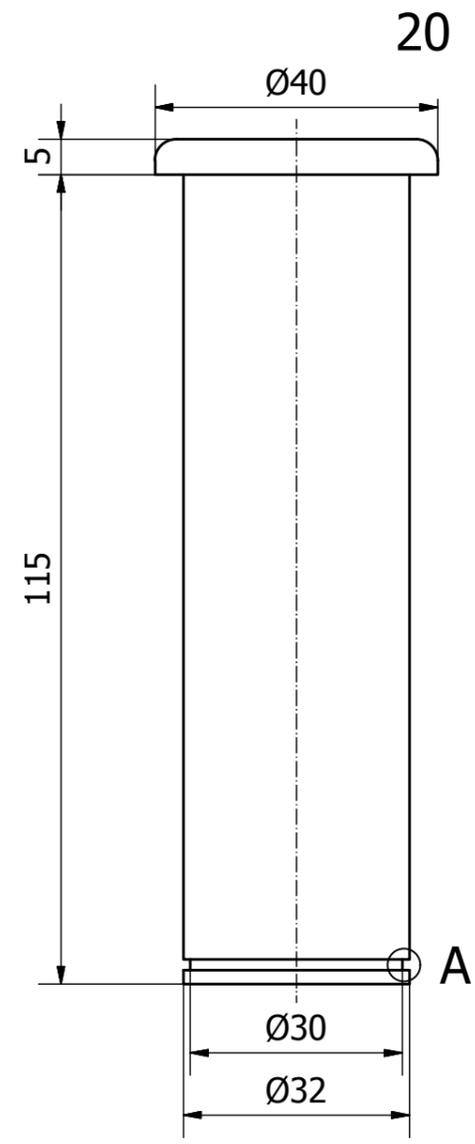


Diseño de Miguel Maldonado Anrubia	Dim. en mm	Escala 1:2	 
TFG: Diseño de una plataforma elevadora de tijera. Generación de su prototipo virtual y simulación mecánica.	Documento: Planos		
	Módulo central pistón		Pieza nº 15

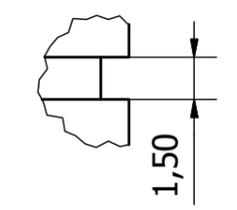


Diseño de Miguel Maldonado Anrubia	Dim. en mm	Escala 1:2	UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA
TFG: Diseño de una plataforma elevadora de tijera. Generación de su prototipo virtual y simulación mecánica.	Documento: Planos		Pieza nº 14
	Módulo externo pistón		

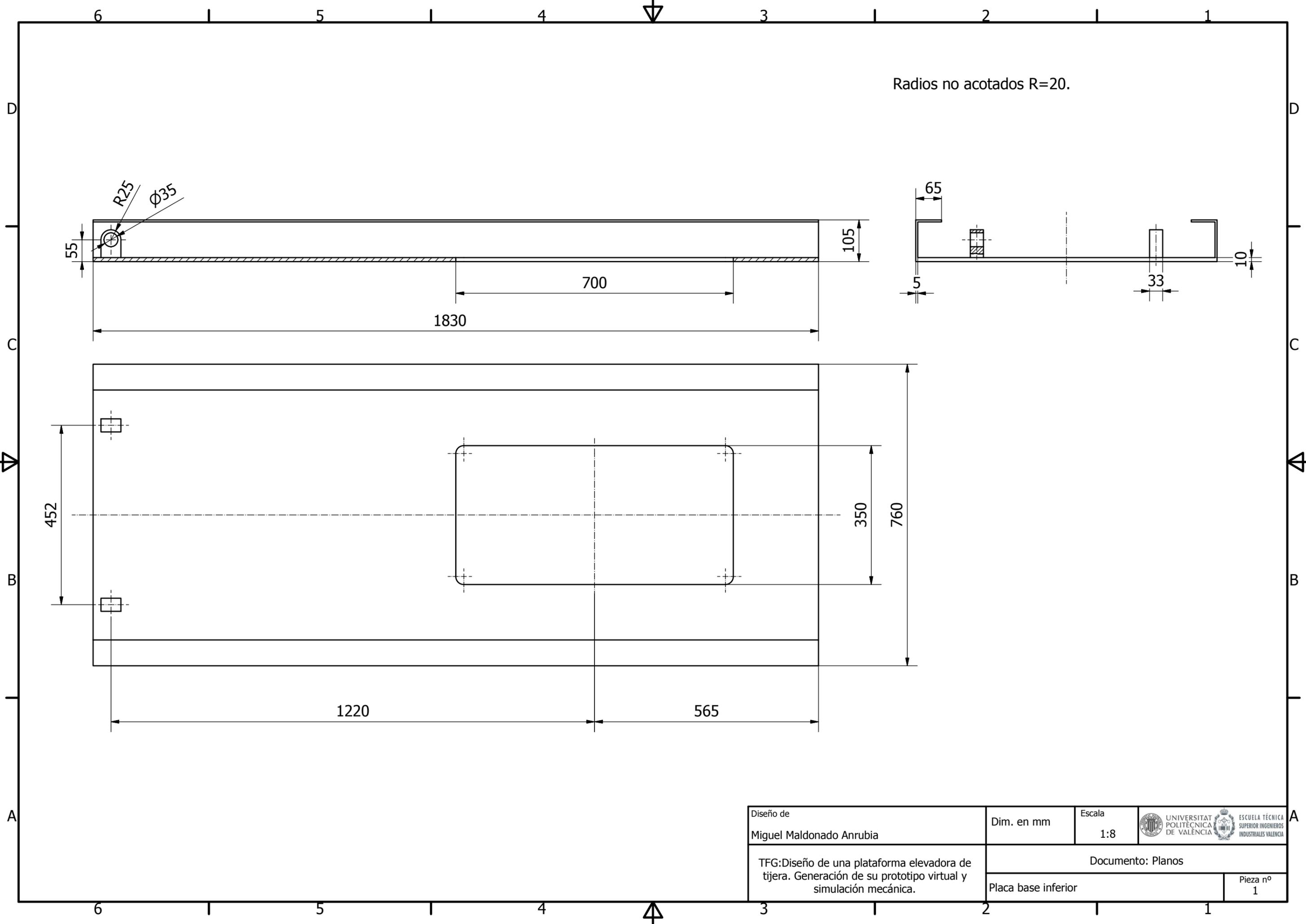
Radios no acotados R=3.



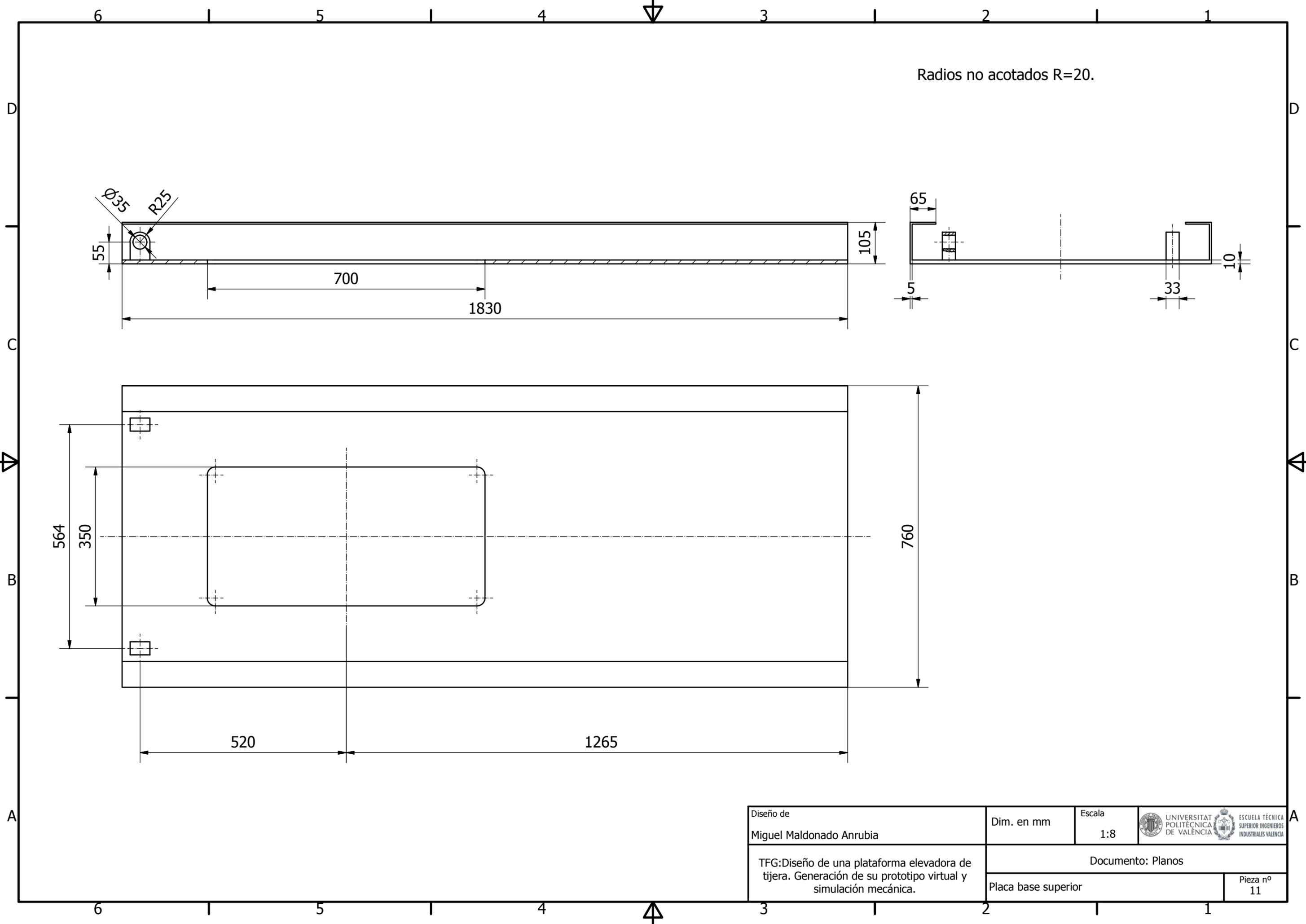
A (4 : 1)



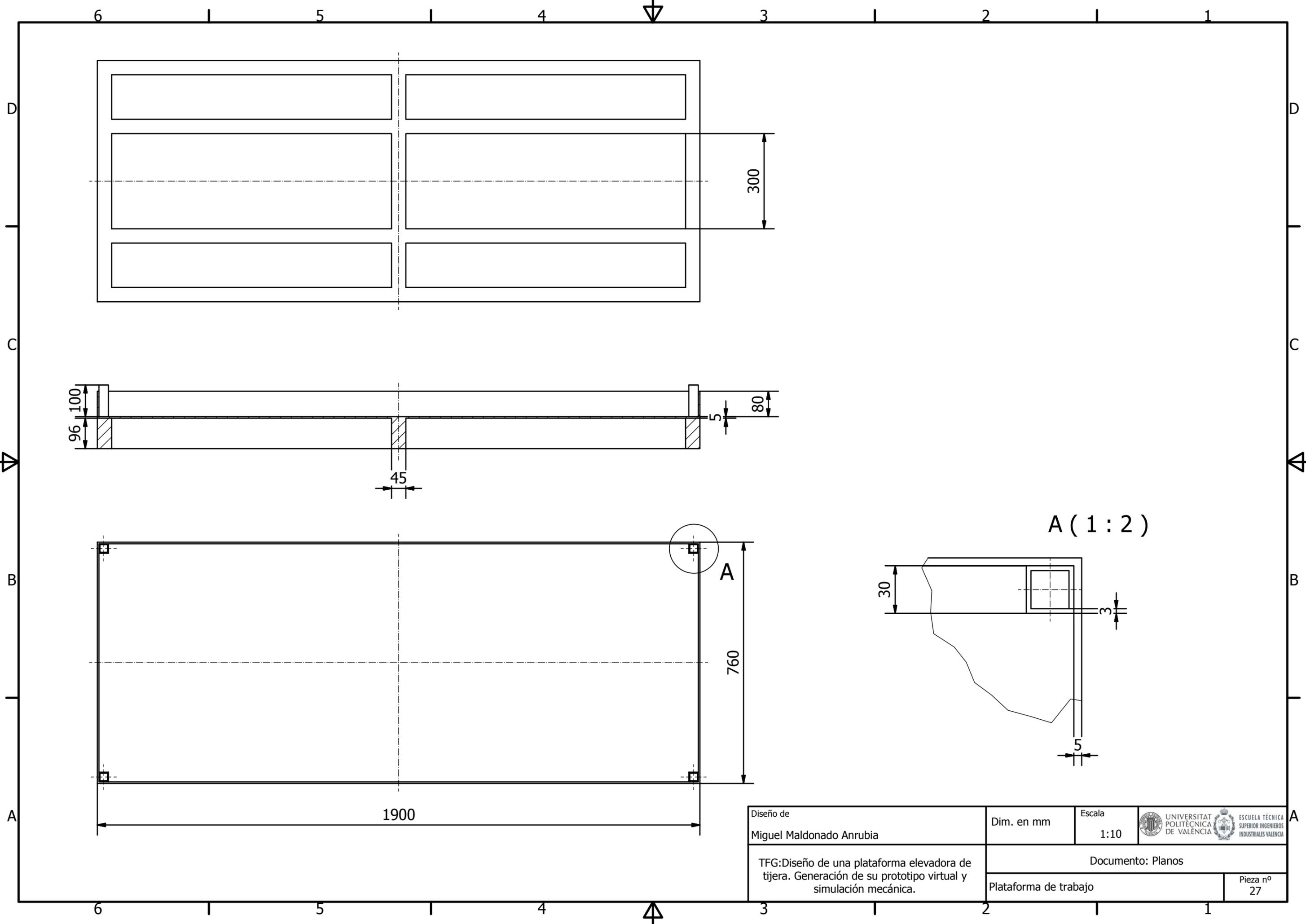
Diseño de Miguel Maldonado Anrubia	Dim. en mm	Escala 1:1	UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA
TFG:Diseño de una plataforma elevadora de tijera. Generación de su prototipo virtual y simulación mecánica.	Documento: Planos		Pieza nº 7-12-13-20
	Pasadores		



Diseño de Miguel Maldonado Anrubia	Dim. en mm	Escala 1:8	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA
TFG: Diseño de una plataforma elevadora de tijera. Generación de su prototipo virtual y simulación mecánica.	Documento: Planos		
	Placa base inferior	Pieza nº 1	

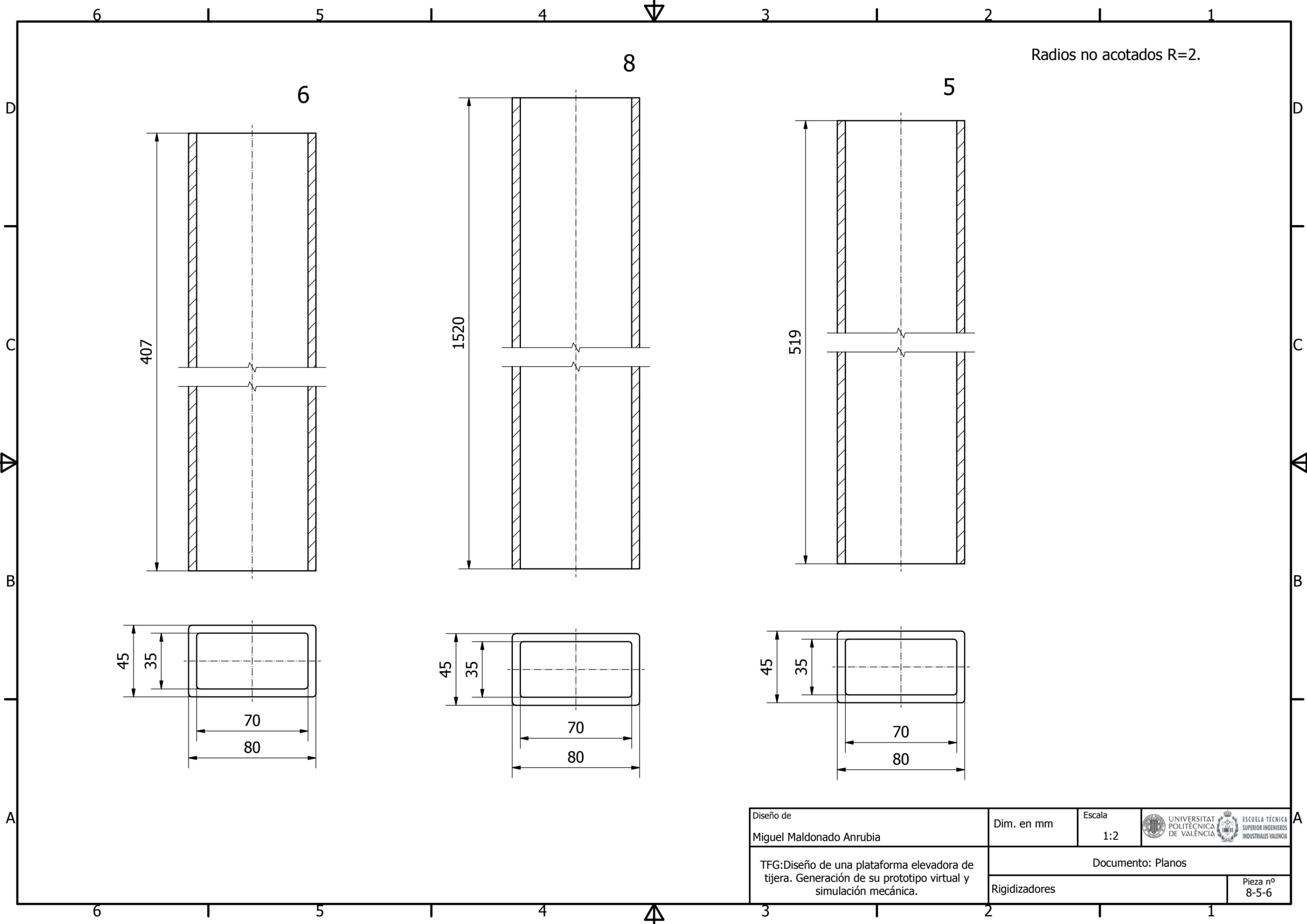


Diseño de Miguel Maldonado Anrubia	Dim. en mm	Escala 1:8	
TFG: Diseño de una plataforma elevadora de tijera. Generación de su prototipo virtual y simulación mecánica.	Documento: Planos		Pieza nº 11
	Placa base superior		



Diseño de Miguel Maldonado Anrubia	Dim. en mm	Escala 1:10	
TFG: Diseño de una plataforma elevadora de tijera. Generación de su prototipo virtual y simulación mecánica.	Documento: Planos		
	Plataforma de trabajo	Pieza nº 27	

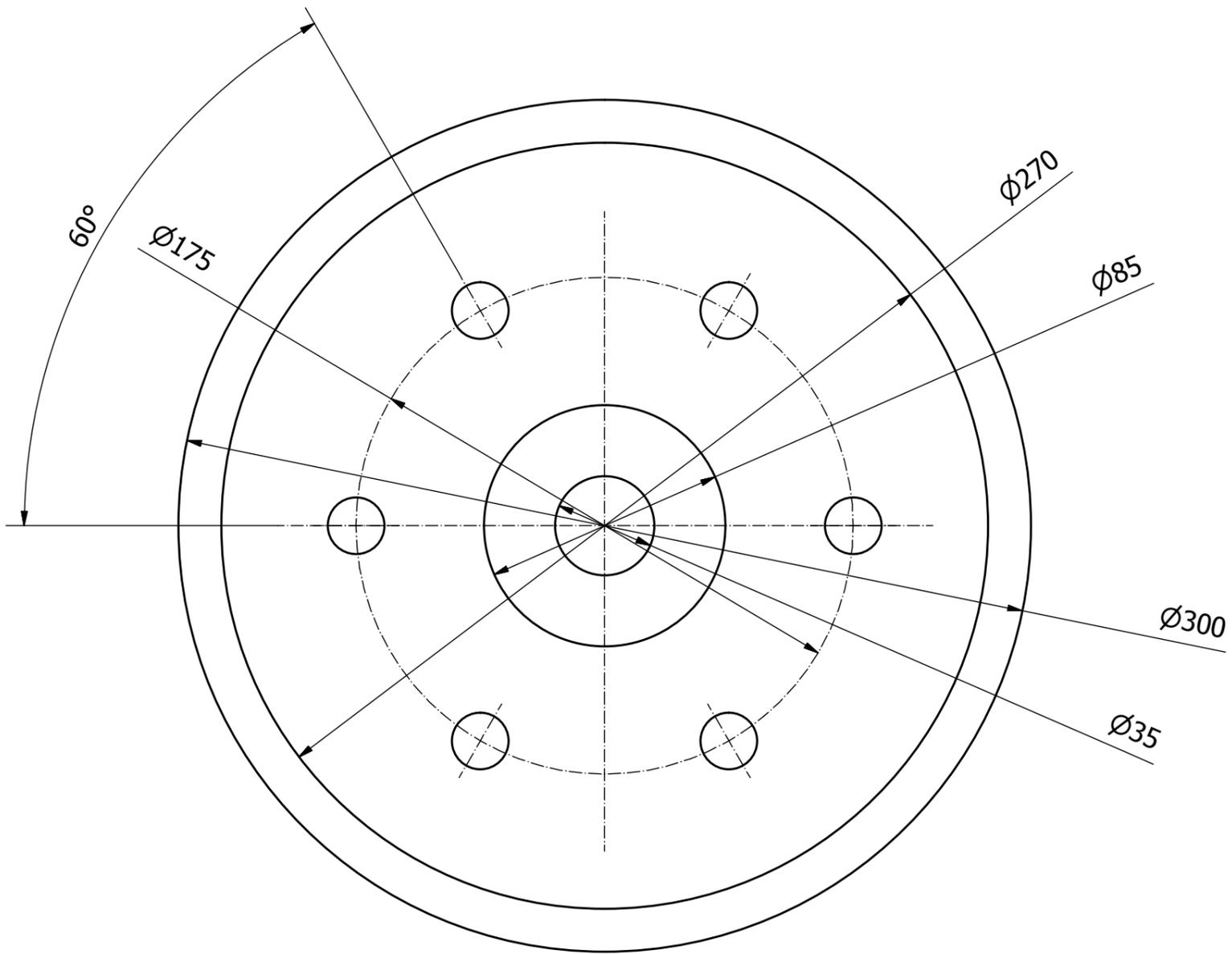
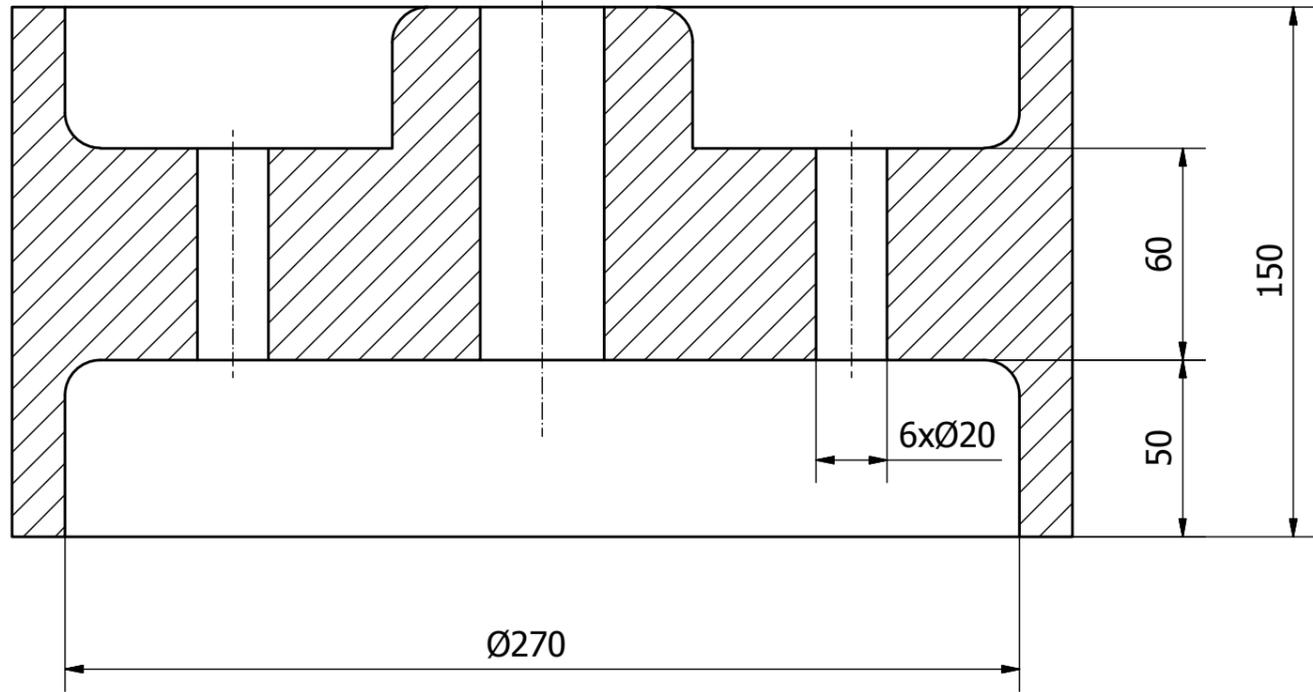
Radios no acotados R=2.



Diseño de Miguel Maldonado Anrubia	Dim. en mm	Escala 1:2	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA
TFG: Diseño de una plataforma elevadora de tijera. Generación de su prototipo virtual y simulación mecánica.	Documento: Planos		Pieza nº 8-5-6
	Rigidizadores		

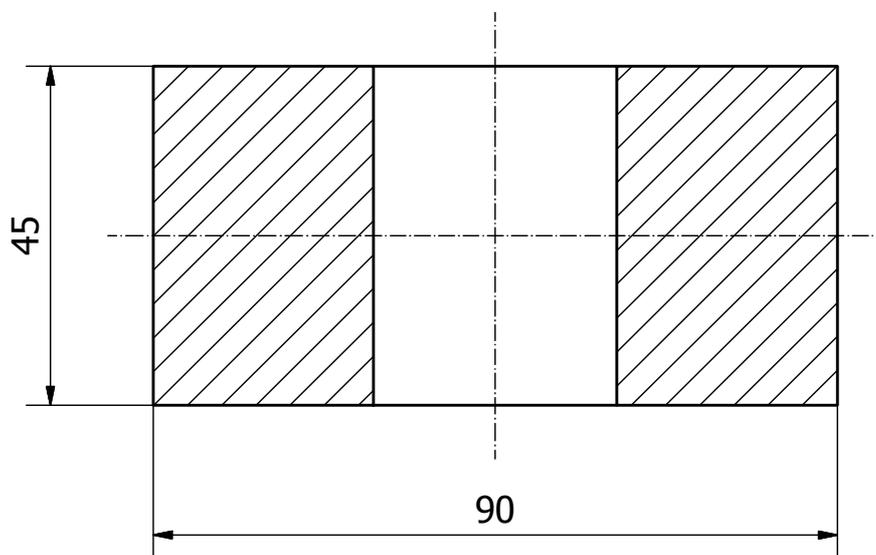
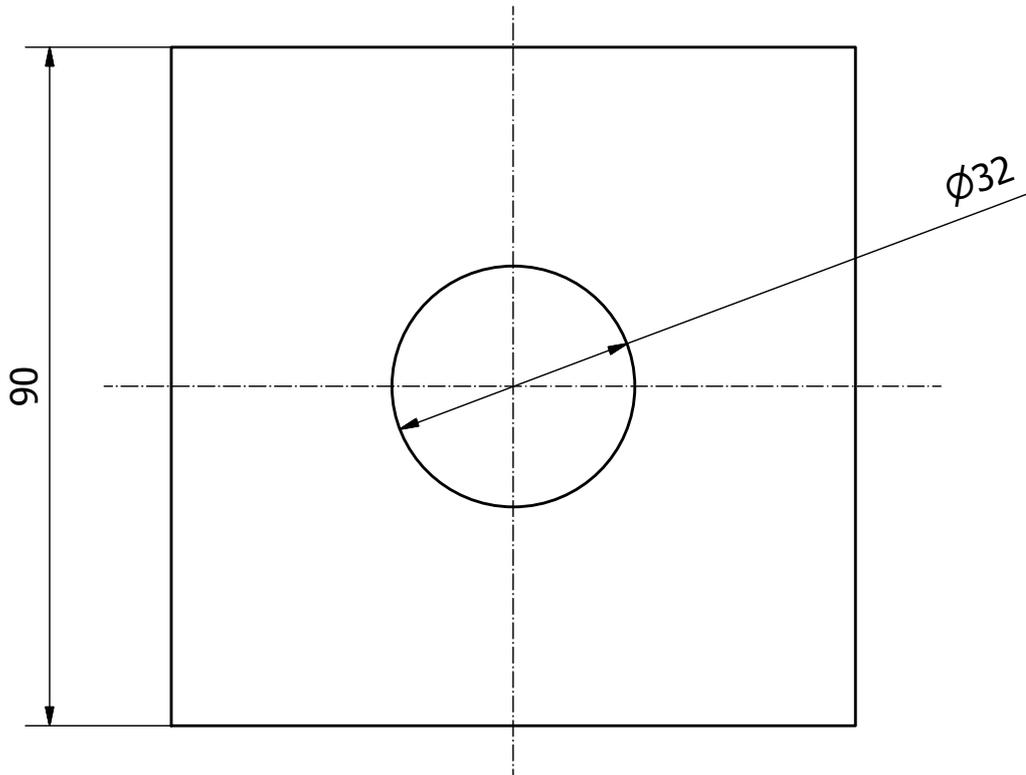
6 5 4 3 2 1

Radios no acotados R=10.

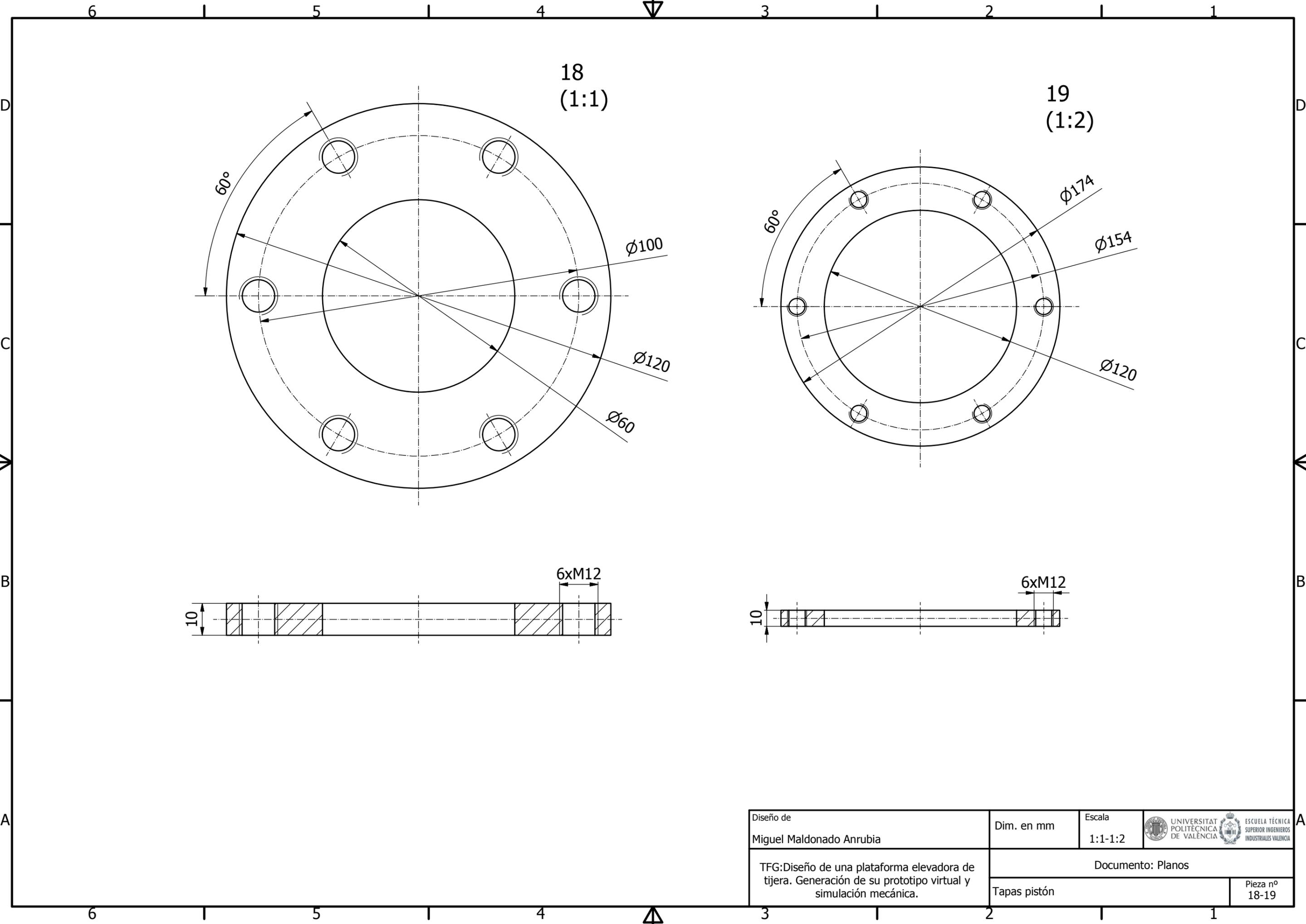


Diseño de Miguel Maldonado Anrubia	Dim. en mm	Escala 1:2	
TFG: Diseño de una plataforma elevadora de tijera. Generación de su prototipo virtual y simulación mecánica.	Documento: Planos		
Rueda	Pieza nº 30		

6 5 4 3 2 1



Diseño de Miguel Maldonado Anrubia	Dim. en mm	Escala 1:1	
TFG: Diseño de una plataforma elevadora de tijera. Generación de su prototipo virtual y simulación mecánica.	Documento: Planos		Pieza nº 17
	Taco cuadrado		



18
(1:1)

19
(1:2)

Ø100

Ø120

Ø60

Ø174

Ø154

Ø120

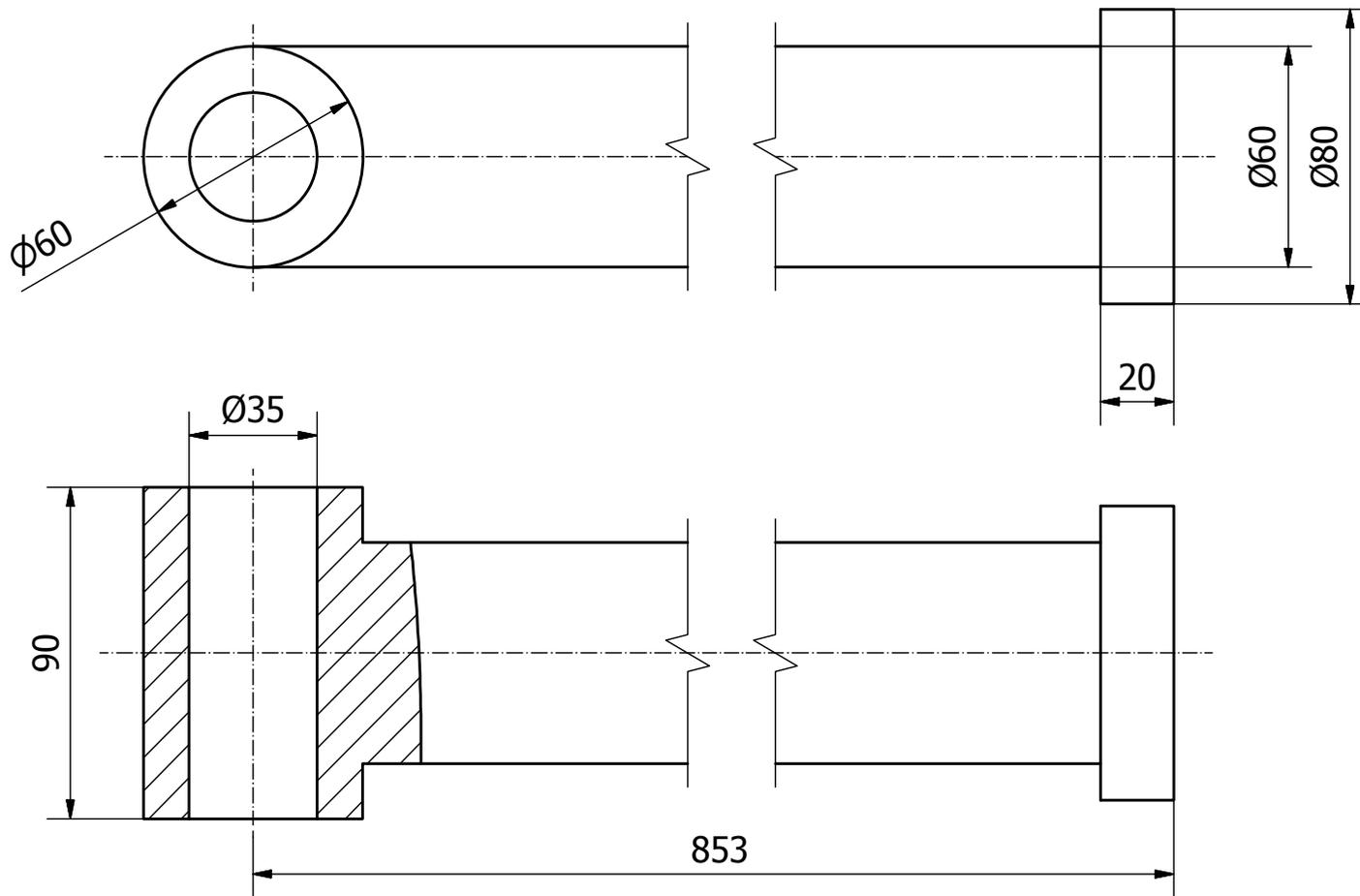
6xM12

6xM12

10

10

Diseño de Miguel Maldonado Anrubia	Dim. en mm	Escala 1:1-1:2	
TFG: Diseño de una plataforma elevadora de tijera. Generación de su prototipo virtual y simulación mecánica.		Documento: Planos	
Tapas pistón			Pieza nº 18-19



Diseño de Miguel Maldonado Anrubia	Dim. en mm	Escala 1:2	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALÈNCIA
TFG: Diseño de una plataforma elevadora de tijera. Generación de su prototipo virtual y simulación mecánica.	Documento: Planos		
	Vástago pistón	Pieza nº 16	