



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

TRABAJO DE FIN DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA

Autor: NICOLÁS VIQUEIRA DÍAZ-ALEJO

Tutor: JOSEP LLUIS SUÑER MARTINEZ

Cotutor: PALOMA VILA TORTORSA

Curso Académico: 2017-2018

AGRADECIMIENTOS

A todo aquel que lo valore.

RESUMEN

En el presente Trabajo Fin de Grado se abordarán las etapas de diseño, modelado y simulación dinámica de una plataforma elevadora móvil de personal (PEMP) articulada, muy utilizadas actualmente para trabajos de mantenimiento y construcción. 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 Fusion 360. Durante una primera fase del trabajo, el alumno deberá realizar una búsqueda de información referente al diseño actual de plataformas elevadoras. Una vez localizado un modelo real, 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, movimientos, etc. Se obtendrán y analizarán aquellos parámetros y situaciones dinámicas más importantes y críticas para, realizar un mapa de trabajo de la máquina y compararlo con el real. Por último se valorará de forma global el alcance de los objetivos de diseño y se presentará un presupuesto del proyecto realizado.

Palabras clave: PEMP articulada, Diseño, Modelado, Análisis.

ÍNDICE DE DOCUMENTOS

- I. **MEMORIA**
- II. **PLIEGO DE CONDICIONES Y PRESUPUESTO**
- III. **ANEXO PLANOS**

DOCUMENTO I:

MEMORIA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ALCANCE	1
1.2. OBJETIVOS	1
1.3. UNIDAD DE ESTUDIO	2
1.4. METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO	2
1.4.1. METODOLOGÍA DEL TFG	2
1.4.2. METODOLOGÍA TÉCNICA Y PLAN DE TRABAJO	2
2. HERRAMIENTAS EMPLEADAS	3
2.1. INTRODUCCIÓN	3
2.2. PROGRAMAS CAD – AUTODESK AUTOCAD 2018	4
2.3. PROGRAMAS CAD – AUTODESK FUSION 360	5
2.4. PROGRAMAS SIMULACIÓN DINÁMICA – MSC ADAMS	6
3. INTRODUCCIÓN A LAS PLATAFORMAS ELEVADORAS MOVILES DE PERSONAL	7
3.1. PLATAFORMAS ELEVADORAS	7
3.2. PARTES	8
3.3. TIPOS	10
3.4. RIESGOS Y FACTORES DE RIESGO	11
4. DISEÑO Y MODELADO	13
4.1. DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO	13
4.2. OBTENCIÓN DE LAS DIMENSIONES	17
4.3. MODELADO DE LAS PIEZAS	17
4.3.1. MODELADO DE LA PLATAFORMA DE TRABAJO	22
4.3.2. MODELADO DEL CHASIS	24
4.3.3. MODELADO DE LAS ESTRUCTURAS EXTENSIBLES	26
4.3.4. MODELADO DE LOS ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS	34
5. ENSAMBLAJE	37
5.1. INTRODUCCIÓN	37
5.2. PROCEDIMIENTO	37
5.2.1. ENSAMBLAJE EN FUSION 360	37
5.2.2. ENSAMBLAJE EN ADAMS	43
5.3. MECANISMOS	48
5.3.1. CUADRILÁTERO ARTICULADO	48
5.3.2. BIELA – MANIVELA – DESLIZADERA	52
5.3.3. OTROS	55

6.	<u>MODELO MATEMÁTICO</u>	56
7.	<u>SIMULACIÓN DINÁMICA</u>	69
8.	<u>RESULTADOS Y CONCLUSIONES</u>	74
8.1.	OBTENCIÓN DE RESULTADOS	74
8.2.	CONCLUSIONES	105
9.	<u>BIBLIOGRAFIA</u>	107
10.	<u>LISTA DE FIGURAS</u>	108

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Alcance

Antes de empezar a explicar el trabajo es necesario justificar la elección del título, ya que ayudara a entender de mejor manera el estudio. 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 se dispone de la fuerza necesaria para levantar pesos elevados facilitando enormemente muchas tareas que requerían lidiar con ellos. Así pues debido a la importancia de estas maquinas, se realizara análisis dinámico de la plataforma elevadora móvil de personal articulada "Genie Z-51/30J-RT"

En primer lugar, se ha escogido esta máquina porque su ámbito de aplicación es muy extenso, de forma que se puede utilizar en diferentes actividades de mantenimiento y construcción.

En segundo lugar y a nivel ingenieril esta máquina presenta un interés completo, ya que cuenta con muchos elementos como sistemas hidráulicos, mecánicos, eléctricos, neumáticos... Este hecho provoca que sea una maquina que esta en continua evolución, tanto a nivel de diseño, mejora de materiales o análisis estructural entre otros.

En definitiva, se considera que esta plataforma es una maquina muy completa en todos los aspectos, ya que permite ser utilizada en muchos ámbitos realizando diferentes trabajos según las necesidades de los operarios.

1.2. Objetivos

El presente proyecto consiste en la creación de un modelo de la plataforma elevadora móvil de personal articulada "Genie Z-51/30J-RT" en el programa Autodesk Fusion 360 para su posterior estudio con las diferentes herramientas de simulación dinámica que nos facilita el programa MSC Adams.

Con ello, se pretende estudiar el comportamiento de la máquina en diferentes condiciones de funcionamiento. Esto nos permitirá conocer de forma aproximada el comportamiento de la plataforma sin necesidad de hacer una prueba con la máquina real.

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 para conseguir:

- Diseñar el modelo 3D mediante *Autodesk Fusion 360*
- Analizar el comportamiento dinámico del modelo computacional de la plataforma elevadora “Genie Z-51/30J-RT” mediante *MSC Adams*
- Obtener las ecuaciones de movimiento del mecanismo mediante el método de lazos.
- Comparar las distintas ecuaciones obtenidas
- Exponer las conclusiones obtenidas

1.3. Unidad de estudio

El trabajo se centra en la plataforma elevadora móvil de personal articulada “Genie Z-51/30J-RT”, en concreto en el movimiento de su brazo que actúa para alcanzar el movimiento deseado de la cesta.

1.4. Metodología y plan de trabajo

1.4.1. Metodología del TFG

Para llevar a cabo la elaboración del presente trabajo de fin de grado, se ha seguido la normativa para la realización de TFG y TFM del 7 de marzo de 2013, 21 de enero de 2015 y 28 de mayo de 2015 regulada por la Universidad Politécnica de Valencia i aprobada por el gobierno.

1.4.2. Metodología técnica y plan de trabajo

La planificación para realizar el estudio sobre la plataforma elevadora móvil de personal articulada “Genie Z-51/30J-RT” consiste en 6 fases:

1. Búsqueda de información sobre la plataforma tanto en internet como en los libros que regulen la utilización de este tipo de maquinaria.
2. Obtención de las medidas de la plataforma a partir de un archivo CAD en 2D.
3. Construcción del modelo 3D en el ordenador mediante el programa Autodesk Fusion 360.
4. Resolución del problema de posición para el mecanismo de brazos actuantes mediante el método de lazos.
5. Obtener las ecuaciones de velocidad y aceleración del mecanismo mediante el método analítico.
6. Fusionar los datos de las ecuaciones de velocidad y aceleración obtenidos con el modelo 3D diseñado mediante el programa Adams.

2. HERRAMIENTAS EMPLEADAS

2.1. Introducción

A día de hoy, gracias al gran desarrollo que se ha producido en la tecnología electrónica e informática es estas ultimas décadas, se ha conseguido disponer de los recursos necesarios para poder desarrollar toda clase de softwares informáticos ejecutables en prácticamente cualquier ordenador con una procesador estándar.

Entre la gran variedad de programas resultantes de este gran desarrollo tecnológico, en el trabajo se utilizan los programas CAD (*Computer-Aided-Design*). 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 grafica 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. Como se ha comentado anteriormente gracias a que no se necesitan ordenadores de altísima gama para poder ejecutar estos programas y dado que disponen de interfaces muy intuitivas y simples de utilizar, a día de hoy la gran mayoría de la industria utiliza estos programas.

Pese a que las licencias de estos programas en su mayoría no son libres, es decir, hay que pagar a la empresa desarrolladora del mismo una cifra considerable de dinero, cabe mencionar que suponen un ahorro enorme para las empresas que se benefician de los mismos. Dicho ahorro se hace visible cuando se piensa en como trabajaban estas empresas antes de disponer de estas herramientas. Anteriormente tenían la necesidad de hacer los planos a mano y luego modelos a escala de su producto final para posteriormente ensayarlos frente a las solicitaciones mecánicas que fuesen a soportar durante su vida útil o incluso si esto no fuera posible, fiarse únicamente de cálculos y suposiciones realizadas por los ingenieros, con los riesgos que eso conlleva. A la larga estos procesos eran mucho mas costosos que la obtención de un software donde puedes hacer una primera aproximación al mundo real.

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 se exponen a continuación.

2.2. Programas CAD – Autodesk AutoCAD 2018

AutoCAD es un software de dibujo asistido por ordenador de modelos 2D y 3D. Su primer programa fue presentado en diciembre de 1982 y actualmente es el programa de dibujo asistido más usado en el mundo. Este programa es usado en muchos ámbitos de la vida profesional como pueden ser arquitectura, construcción, fabricación, industria o investigación. En el caso de la Ingeniería Mecánica el programa nos ayuda a la creación de planos de piezas, maquinas u otros derivados relacionados con las maquinas.

En el caso de este trabajo final de grado, AutoCAD permite visualizar los planos de la plataforma elevadora móvil de personal articulada “Genie Z-51/30J-RT” en 2D. A partir de se obtendrán las medidas de la plataforma mediante la herramienta *Acotar*.

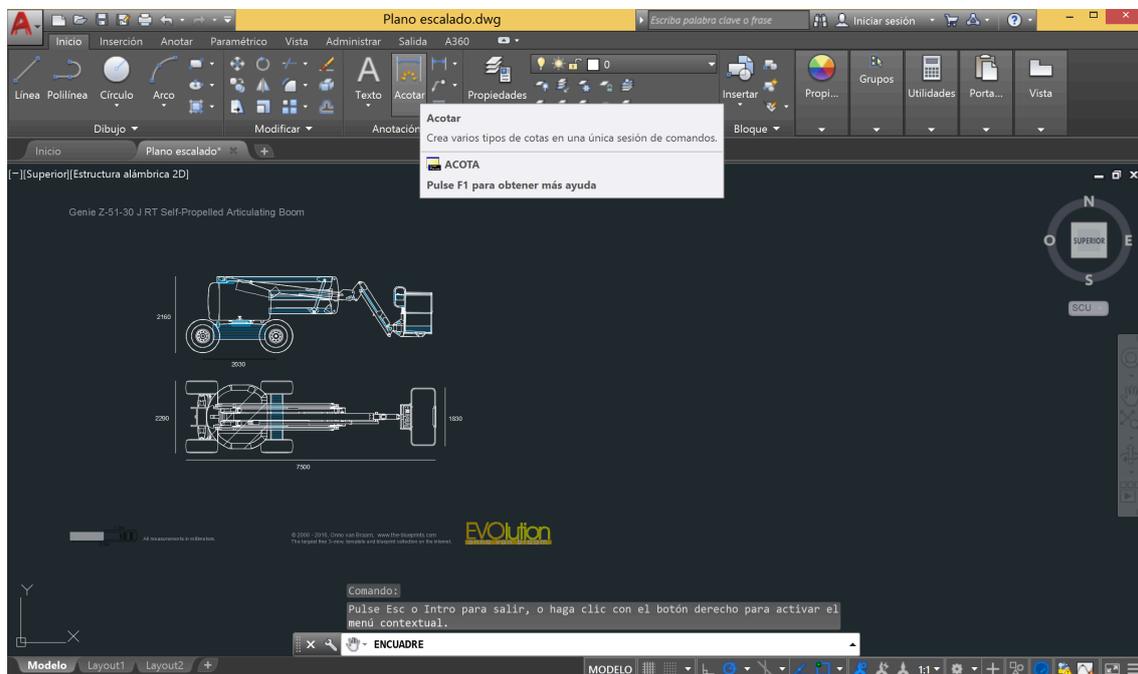


Figura 2.1 – Herramienta Acotar en AutoCAD 2018

2.3. Programas CAD – Autodesk Fusion 360

Fusion 360 es un programa informático que nos ayuda al diseño de sólidos, combina el diseño mecánico e industrial, la simulación, la colaboración y el mecanizado en un conjunto de herramientas integrado que abarca desde el concepto hasta la fabricación de los productos. Es la primera herramienta de modelado 3D CAD CAM y CAE de su tipo. Conecta todo el proceso de producción y desarrollo de un producto en una única aplicación que opera en la nube. Se trata de una herramienta muy utilizada en el ámbito de la ingeniería, ya que nos permite reproducir de una forma exacta el comportamiento y geometría exacta de muchas piezas. La gran ventaja que ofrece este programa es que permite guardar todos los archivos en la “nube” y es compatible con todos los sistemas operativos.

Para este proyecto, se utiliza Fusión 360 para la creación del modelo 3D CAD que se exporta posteriormente a MSC Adams para el análisis dinámico. Así como para la obtención de los planos de cada componente de la plataforma.

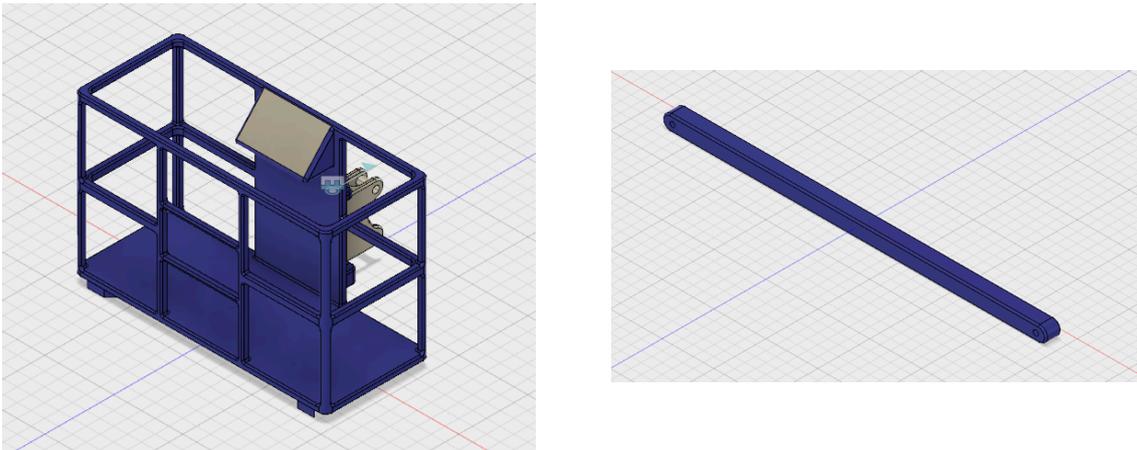


Figura 2.2 – Modelado de piezas en Autodesk Fusion 360

2.4. Programas simulación dinámica – MSC Adams

ADAMS (acrónimo de Automated Dynamic Analysis of Mechanical Systems) es un software de simulación de dinámica multicuerpo equipado con soluciones numéricas Fortran y C ++. ADAMS fue desarrollado originalmente por Mechanical Dynamics Incorporation, que luego fue adquirida por MSC Software Corporation. Adams ha demostrado ser muy esencial para VPD (Desarrollo de Prototipos Virtuales) a través de la reducción del tiempo de producción del producto y los costos de desarrollo del producto.

Adams es uno de los softwares de Dinámica Multicuerpo más utilizados en el mundo. Es utilizado por empresas líderes en múltiples industrias para desarrollar y probar los productos que vemos todos los días. Se compone de varios módulos que permiten hacer simulaciones del funcionamiento por medio de animaciones, realizar análisis de vibraciones, realizar análisis de esfuerzos, etcétera. Durante este proyecto se van a utilizar los siguientes módulos:

- Adams/View → Realiza simulaciones de un mecanismo.
- Adams/Solver → Genera los cálculos para la solución de un mecanismo. Es usado por los demás módulos.

Este software será utilizado para la simulación dinámica de la plataforma, analizando diferentes condiciones de funcionamiento de esta para crear un mapa de trabajo y compararlo con el de la máquina real.

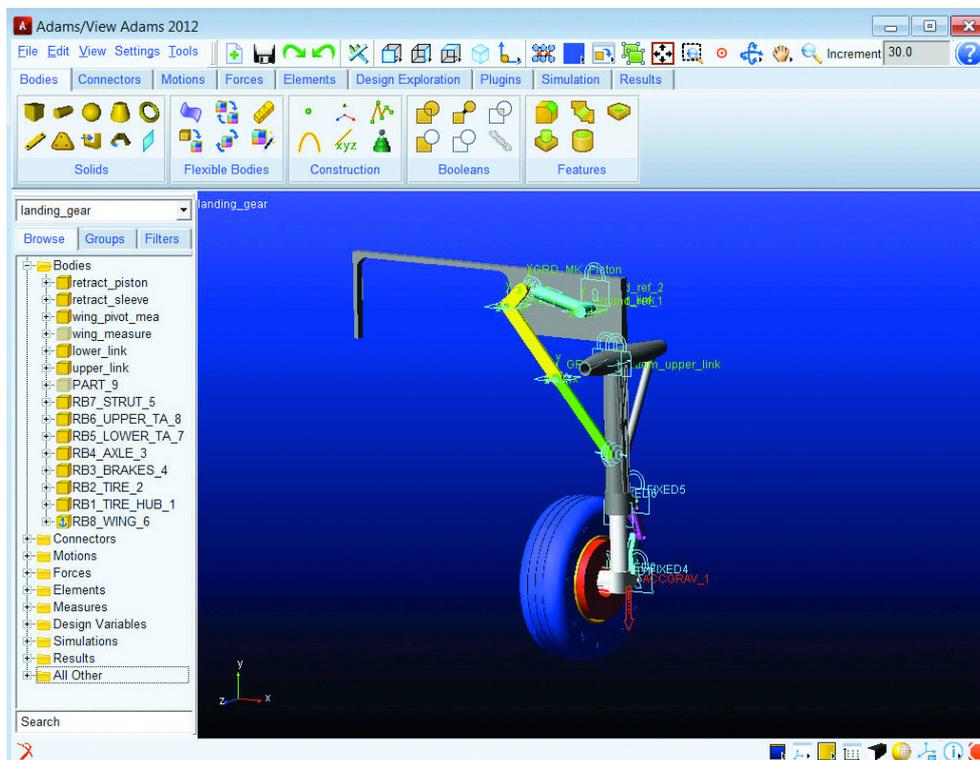


Figura 2.3 – Ejemplo proyecto en MSC Adams

3. INTRODUCCIÓN A LAS PLATAFORMAS ELEVADORAS MOVILES DE PERSONAL

3.1. Plataformas elevadoras

La plataforma elevadora móvil de personal (PEMP) es una maquina móvil destinada a desplazar personas hasta una posición de trabajo, con una única y definida posición de entrada y salida de la plataforma. Se utilizan para efectuar trabajos en altura de distinta índole, principalmente montajes, reparaciones, inspecciones u otros trabajos similares. Están constituida como mínimo por una plataforma de trabajo con órganos de servicio, una estructura extensible y un chasis. Existen plataformas sobre camión, articuladas y telescópicas, autopropulsadas de tijera, autopropulsadas articuladas o telescópicas y plataformas especiales remolcables entre otras.

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: Son las que la proyección vertical del centro de gravedad (c.d.g.) de la carga está siempre en el interior de las líneas de vuelco¹, teniendo en cuenta todas las posibles configuraciones de la máquina y a la máxima inclinación del chasis especificada por el fabricante.
- Grupo B: Son las que la proyección vertical del centro de gravedad (c.d.g.) de la carga puede estar en el exterior de las líneas de vuelco.

Existe una segunda clasificación complementaria a la primera en función del tipo de traslación que permiten las PEMP, se dividen en tres tipos:

- Tipo 1: La traslación solo es posible si la PEMP se encuentra en posición de transporte.
- Tipo 2: La traslación con la plataforma de trabajo en posición elevada solo puede ser mandada por un órgano situado en el chasis.
- Tipo 3: La traslación con la plataforma de trabajo en posición elevada puede ser mandada por un órgano situado en la plataforma de trabajo.

¹ Se definen líneas de vuelco como aquellas que delimitan la región en la que se encuentra la base o apoyo del sistema elevador

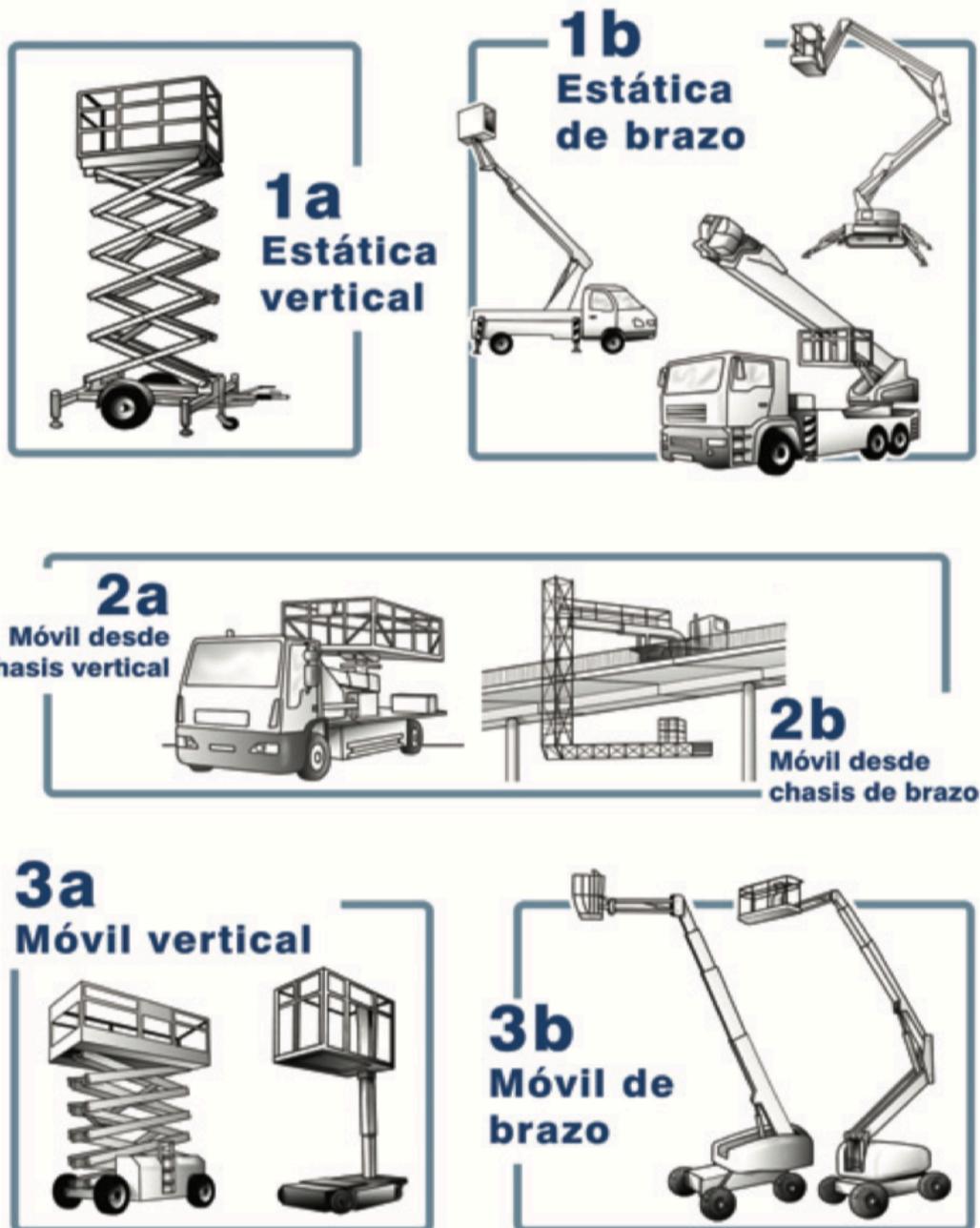


Figura 3.1 - Tipos de PEMP según norma UNE 58923

3.2. Partes

Las distintas partes que componen una PEMP se pueden ver en la *figura 3.2* y se describen a continuación:

- **Plataforma de trabajo:** Esta formada por una bandeja rodeada por una barandilla, o por una cesta.

- **Chasis:** Es la base de la PEMP y puede ser autopropulsado, empujado o remolcado. Puede estar situado sobre el suelo, ruedas, cadenas, orugas o bases especiales y fijado con estabilizadores, ejes exteriores, gatos u otros sistemas que aseguren su estabilidad.
- **Estructura extensible:** Estructura unida al chasis sobre la que está instalada la plataforma de trabajo, permitiendo moverla hasta la situación deseada. Puede constar de uno o varios tramos, brazos simples, telescópicos o articulados, estructura de tijera o cualquier combinación entre todos ellos, con o sin posibilidad de orientación con relación a la base.
- **Elementos complementarios:**
 - Estabilizadores: dispositivos o sistemas concebidos para asegurar la estabilidad de las plataformas como pueden ser gatos, bloqueo de suspensión, ejes extensibles, etc.
 - Sistemas de accionamiento: sistemas que sirven para accionar todos los movimientos de las estructuras extensibles. Pueden ser accionadas por cables, cadenas, tornillo o por piñón y cremallera.
 - Órganos de servicio: Incluye los paneles de mando normales, de seguridad y de emergencia.



Figura 3.2 – Partes de una plataforma elevadora móvil de personal

3.3. Tipos

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 sobre camión articuladas o telescópicas (1B - 2/3)** : se utiliza para trabajos al aire libre situados a gran altura, como pueden ser reparaciones, mantenimiento, tendidos eléctricos, etc. Consta de un brazo articulado con gran amplitud de movimientos capaz de elevarse a alturas de hasta 100 m. y de girar de forma continua o no continua 360° respecto del eje que le ancla al chasis del camión.
- **PEMP de tijera autopropulsadas (3A - 2/3)**: es una maquina diseñada para la elevación vertical mediante una estructura extensible unida al chasis en forma de tijera con altura máxima de 25 m. Al disponer de una plataforma amplia, puede ser utilizada por varios operarios simultáneamente, así como elevar grandes cantidades de material. Pueden estar alimentadas por baterías, motor de explosión y tracción a las cuatro ruedas. Este tipo de plataformas se utiliza para trabajos de instalaciones eléctricas, mantenimientos, montajes industriales, etc.
- **PEMP articuladas o telescópicas autopropulsadas (3B – 2/3)**: Se trata de la PEMP de estudio en este trabajo, se caracteriza por tener un brazo articulado y sección telescópica o solo telescópica con gran amplitud de movimientos unido al chasis. El chasis suele ser una plataforma sobre ruedas autopropulsada, aunque es posible su montaje sobre vehículo, cadenas o remolque. Estas PEMP permiten salvar obstáculos bajo el área de trabajo y permiten salvar grandes desplazamientos. Otras características que tienen que pueden girar, a izquierdas o derechas, de forma continua o no continua, 360°. Del mismo modo que el tipo anterior, el sistema de autopropulsión puede estar constituido por un motor de combustión interna alternativo o uno eléctrico por medio de baterías. Se utilizan principalmente para labores en zonas de difícil acceso en las que se necesita alcanzar alturas elevadas con un alcance de hasta 40 m.



Figura 3.3 – PEMP sobre camión articulada o telescópica

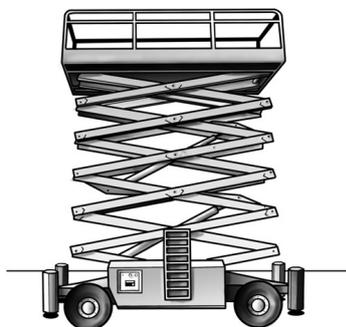


Figura 3.4 – PEMP de tijera autopropulsada

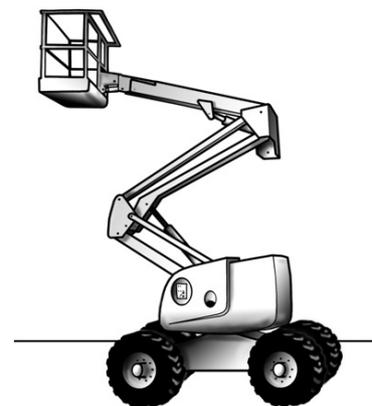


Figura 3.5 – PEMP articulada o telescópica autopropulsada

3.4. Riesgos y factores de riesgo

A la hora de plantear el diseño final de la PEMP es muy importante tener en cuenta una serie de riesgos que se producen durante la utilización de la máquina. El conocimiento con anterioridad de estos riesgos puede ayudar a realizar un diseño óptimo para evitarlos. En este apartado se comentan de forma general aquellos mas frecuentes.

- **Caídas del operario desde la plataforma de trabajo debida a:**
 - Basculamiento de la plataforma debido a estar situado sobre una superficie inclinada o en mal estado así como por la falta de estabilizadores.
 - Plataformas con ausencia de barandillas de seguridad parcial o total
 - Utilización de elementos auxiliares durante el trabajo para ganar mas altura mediante escaleras, banquetas, etc.
 - Trabajar sobre la plataforma sin los equipos de protección individual debidamente anclados.
 - Rotura de la plataforma de trabajo por sobrecarga, deterioro o mal uso de la misma.

- **Vuelco de la plataforma debido a:**
 - Trabajar sobre una superficie inclinada o en mal estado.
 - Fallo del terreno sobre el que se apoya el chasis por hundimiento o reblandecimiento de la superficie.
 - No utilizar estabilizadores, hacerlo de forma incorrecta, apoyarlos total o parcialmente sobre superficies poco resistentes.
 - Sobrecarga de la plataforma respecto a su resistencia máxima permitida.
 - Uso inadecuado de la PEMP como por ejemplo utilizarla como una grua para elevar cargas suspendidas.
 - No tener en cuenta los efectos del viento durante el trabajo.

- **Caída de materiales debido a:**
 - Vuelco de la PEMP.
 - Rotura y desprendimiento de alguna de las partes de la plataforma de trabajo.
 - Herramientas sueltas o materiales dejados sobre la superficie.

- **Golpes o atrapamientos de partes del cuerpo con la plataforma debidos a:**
 - Movimientos de elevación o pequeños desplazamientos del equipo en proximidades de obstáculos fijos o móviles sin las correspondientes precauciones.
 - Apoyarse o situarse en las proximidades del mecanismo durante las operaciones.
 - Efectuar algún tipo de actuación en la estructura durante la operación de bajada de la misma.
 - Situarse entre el chasis y la plataforma durante la operación de bajada de la plataforma de trabajo.

- **Accidentes eléctricos directos o indirectos debidos a:**
 - Proximidad a líneas eléctricas de alta tensión y/o baja tensión ya sean aéreas o en fachada.

- **Intoxicaciones o quemaduras debidas a:**

- Mantener el motor encendido durante el repostaje de combustible.
- Una manipulación inadecuada de las baterías de la máquina
- Contacto con liquido 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 de diseño

Entre la enorme variedad de posibles PEMP en el mercado, se ha escogido aquella que aprovecha la tipología de brazo articulado, permitiendo realizar trabajos industriales a altura que precisen de libertad de movimiento. Se trata de una máquina muy versátil que hoy en día es utilizada en labores de construcción, limpieza, mantenimiento, etc.

Su uso es tan extendido debido a la capacidad que posee para realizar labores en zonas de difícil acceso en las que se necesita alcanzar alturas elevadas con un alcance de hasta 40 m. Además es capaz de elevar grandes cantidades de peso (superiores a 200 Kg) que anteriormente debían de solucionarse a base de poleas y andamios, lo que supone una gran reducción de esfuerzo y tiempo en este tipo de trabajos.

Las principales ventajas que se encuentran al utilizar este tipo de plataformas son:

- El diseño de la plataforma proporciona polivalencia de movimiento gracias a su versatilidad y a su alcance horizontal.
- Sistema de autopropulsión que simplifica su desplazamiento hasta la zona de trabajo deseada, así como el cambio de posición dentro de dicha zona.
- Optimización de tiempo de trabajo, ya que no es necesario montar y desmontar los andamios, un proceso que conlleva bastante tiempo.
Evitamos la necesidad de tener personal empleando tiempo en montar el andamio.
- 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 este cada vez.
- Son muchos más seguras que los andamios, tanto para trabajadores como para el resto de las personas.

Antes de empezar con el modelado de la PEMP, resulta necesario conocer las piezas que la componen, así como una visión más detallada de la máquina que se va a desarrollar a lo largo del proyecto. La PEMP elegida es el modelo *Z51/30J-RT* de la compañía *Genie*, el cual ha servido como base del modelo. Esta PEMP es ideal para rehabilitar fachadas, estructuras metálicas, reparación de puentes, etc. También es perfecta para obras en altura de difícil acceso, incluso en terrenos accidentados. Su gran movilidad lateral y su versatilidad permiten llegar a cualquier punto. Además, presenta la gran ventaja de que su mantenimiento es mínimo. A continuación se indica de forma general las piezas de las que se compone así como una pequeña explicación de las mismas.

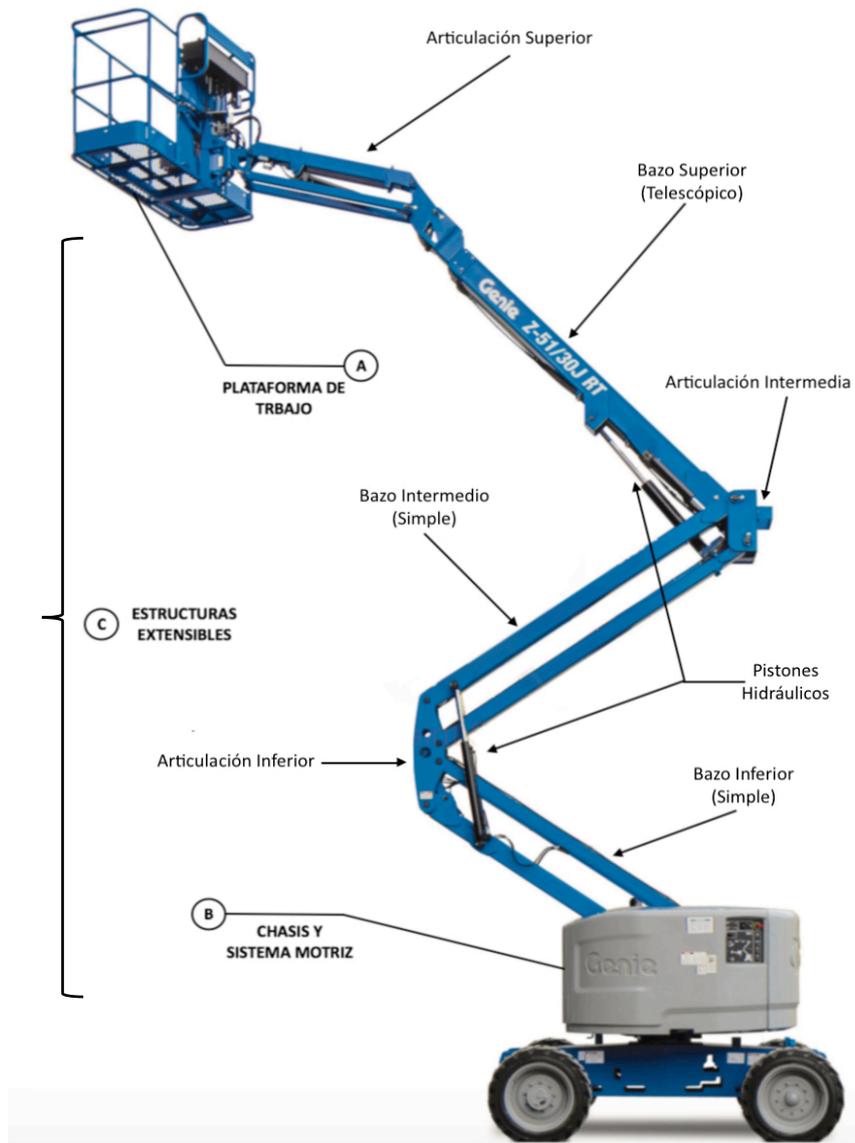


Figura 4.1 – Partes generales PEMP articulada Genie Z51/30J - RT

A. Plataforma de trabajo

Se trata de la plataforma sobre la que los operarios realizan su trabajo. Esta formada por una bandeja rodeada por una barandilla. Estas son un elemento de seguridad para garantizar la integridad del operario. Suelen contar con una entrada y salida por medio de una puerta integrada en el propio perímetro de la barandilla.

B. Chasis

Es la base de la PEMP situada sobre las ruedas que soporta la carga de la misma, en este caso es autopropulsado por un motor diésel. Es posible 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.

C. Estructuras extensibles

Constituido principalmente por barras metálicas de perfil rectangular unidas entre sí por pasadores y rigidizadores. 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. Las estructuras extensibles de esta plataforma están formada por:

- Seis brazos simples (inferiores, intermedios y superiores)
- Un Brazo Telescópico
- Articulaciones (Tipo Par R y Par P)

D. Elementos complementarios

- Sistemas de accionamiento: son sistemas que sirven para accionar todos los movimientos de las estructuras extensibles.
 - Pistones Hidráulicos: elementos encargados de producir la fuerza necesaria para hacer que el mecanismo levante la carga de trabajo. Dicho sistema está constituido por una bomba volumétrica trabajando con un fluido incompresible y el pistón telescópico.
- 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. También se han de considerar aquellos que se encargan de la seguridad en caso de emergencia.

A la hora del diseño el principal problema reside en el hecho de que los fabricantes de esta maquinaria no facilitan los planos de construcción, lo que es completamente entendible y lícito, para evitar plagios de documentación de empresas competidoras en el mercado.

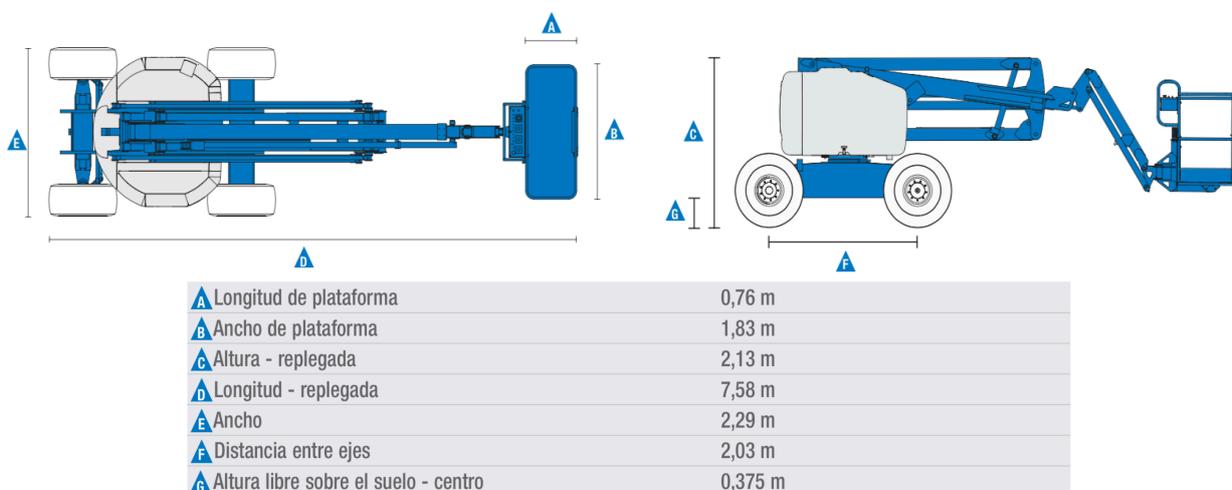


Figura 4.2 – Dimensiones generales PEMP proporcionada en el catálogo

Debido a ello y con el objetivo de disponer de una base sobre la que dimensionar las piezas, se ha utilizado la información dimensional que se facilita en los catálogos comerciales junto con un archivo CAD 2D. Mediante un escalado de estos y utilizando el programa AutoCAD el objetivo es obtener unas dimensiones aproximadas de la máquina.

Cabe mencionar que las medidas extraídas mediante este procedimiento son meramente orientativas, no tomándose en ningún caso como medidas estrictas de dimensionado. Será tras el estudio dinámico cuando se vea si estas dimensiones son suficientes para cumplir con los requerimientos mecánicos adecuadamente o si por el contrario han de ser modificadas.

Las características técnicas de la PEMP articulada con la que se va a trabajar han sido obtenidas del catálogo, no siendo exactamente las mismas pero sí lo más parecidas posible.

Dimensiones

Altura máxima de trabajo*	17,59 m
Altura máxima de la plataforma	15,59 m
Alcance horizontal máx.	9,37 m
Altura de la articulación del brazo (máx.)	7,39 m

Productividad

Capacidad de elevación	227 kg
Rotación de la plataforma	160°
Rotación vertical del plumín	135° (+78°/-57°)
Rotación de la torreta	355° no continua
Voladizo posterior de la plataforma giratoria	cero
Velocidad de traslación – replegada	8 km/h
Velocidad de traslación – elevada**	1 km/h
Pendiente superable - 4x4 - replegada***	45%
Radio de giro – int.	1,68 m
Radio de giro – ext.	4,50 m
Controles	12 V DC proporcionales
Neumáticos	315/55 D20 de espuma

Potencia

Alimentación	Deutz D2011 L03i 3 cilindros diésel 35,8 kW
Unidad de alimentación auxiliar	12 V DC
Capacidad del depósito hidráulico	90,9 L
Capacidad del depósito de combustible	64,4 L

Peso****

7.394 kg

Figura 4.3 – Características técnicas de la PEMP proporcionadas en el catálogo

4.2. Obtención de las dimensiones

Para la realización de este apartado se tiene un plano 2D en formato *.dwg* a escala 1:50. A continuación se abrirá en *AutoCAD* y una vez dentro del programa se reescala el plano mediante la herramienta *Escalar* multiplicando por el factor de escala 50 para tener el plano en 1:1 y poder medir como en la realidad. Seguidamente mediante la herramienta *Acotar* y *Distancia* se obtienen las dimensiones de la plataforma.

Hay que tener en cuenta que no se puede obtener exactamente todas las dimensiones de la plataforma, ya que los planos de los que se dispone solo muestran esta en posición de reposo quedando algunos componentes ocultos. Debido a esto, el comportamiento de nuestro modelo en *MSC Adams* no será exactamente igual al que tendría el modelo real de la *PEMP Genie Z51/30J - RT*. Pero si conseguirá un comportamiento parecido que permitirá mejorar algunas características de la plataforma.

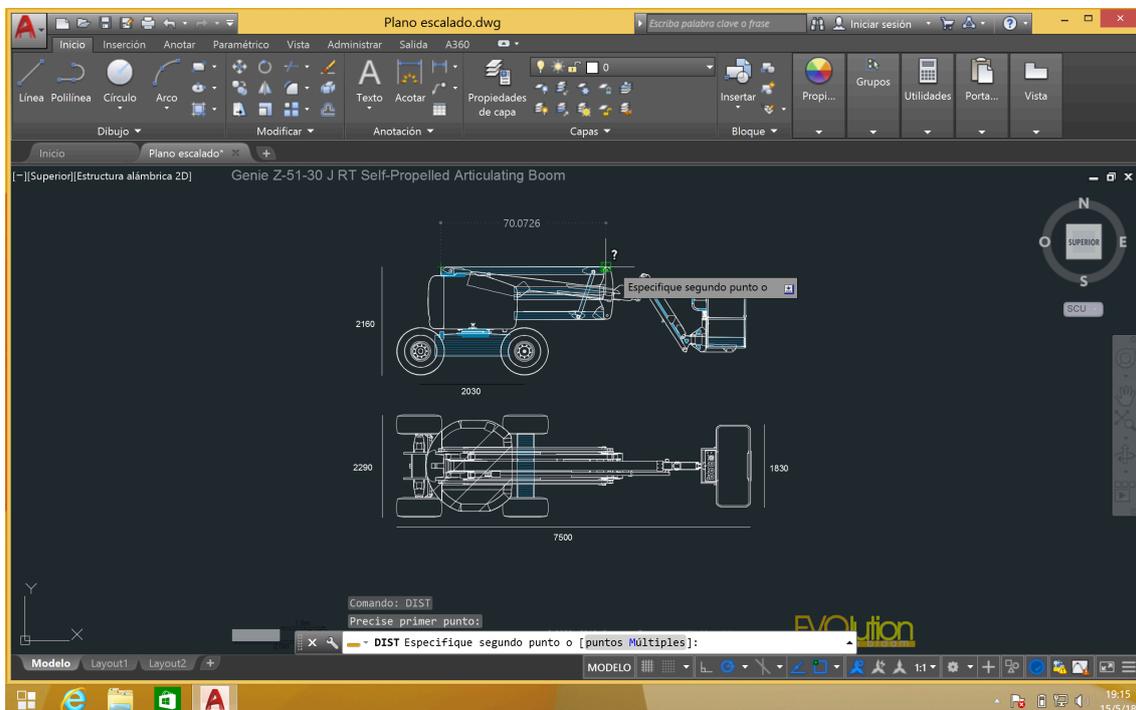


Figura 4.4 – Obtención de las medidas en AutoCAD

4.3. Modelado de las piezas

Como se ha comentado anteriormente, para realizar el modelado de la *PEMP* utilizaremos el programa *Autodesk Fusion 360*. A continuación se describe brevemente las herramientas más utilizadas durante el proceso de modelado

Para llegar a los resultados deseados, primero se realiza un croquis de cada pieza mediante la herramienta "Sketch" a partir de las cotas obtenidas anteriormente en *AutoCAD*. Cabe destacar la importancia de las *restricciones* a la hora de realizar esta operación para no tener ningún fallo geométrico.

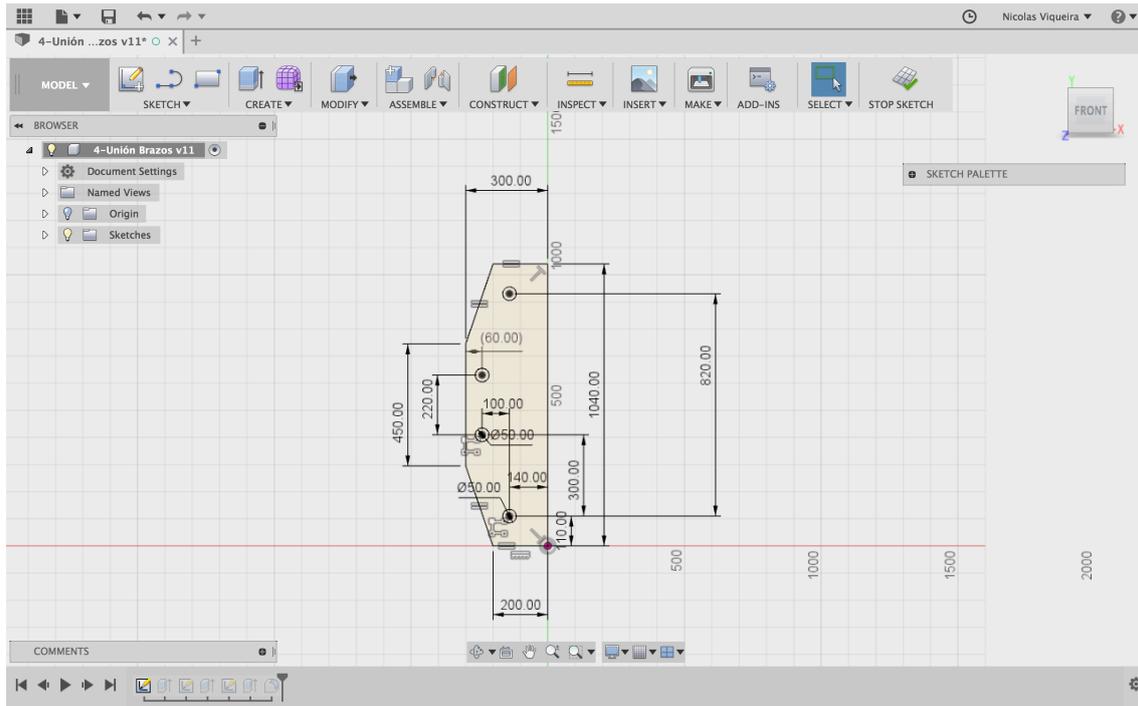


Figura 4.5 – Ejemplo croquis mediante la herramienta “Sketch” de una pieza en Autodesk Fusion 360

Al croquis se le puede dar volumen mediante la herramienta “Extrude” para que los componentes se parezcan lo mas posible a la realidad.

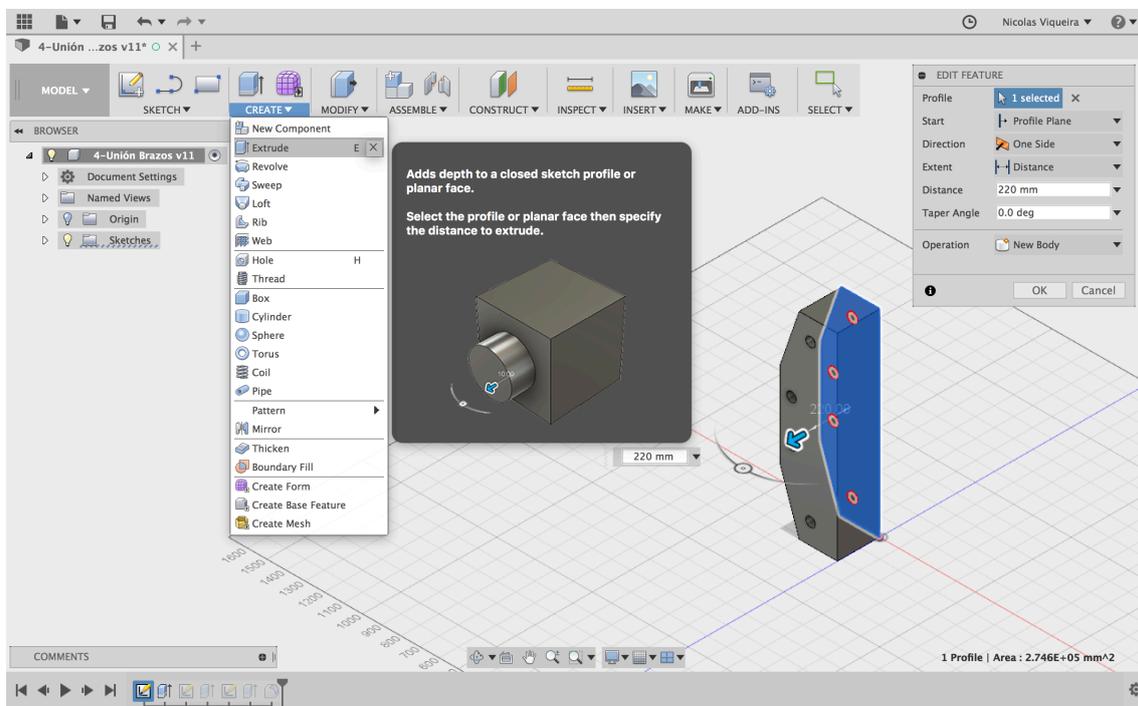


Figura 4.6 – Ejemplo herramienta “Extrude” de una pieza en Autodesk Fusion

Finalmente para hacer mas realista el modelo se vacían algunas piezas también mediante la herramienta “*Extrude*”, se hacen agujeros mediante la herramienta “*Hole*” y se redondean los bordes de algunas de ellas mediante la herramienta “*Fillet*”.

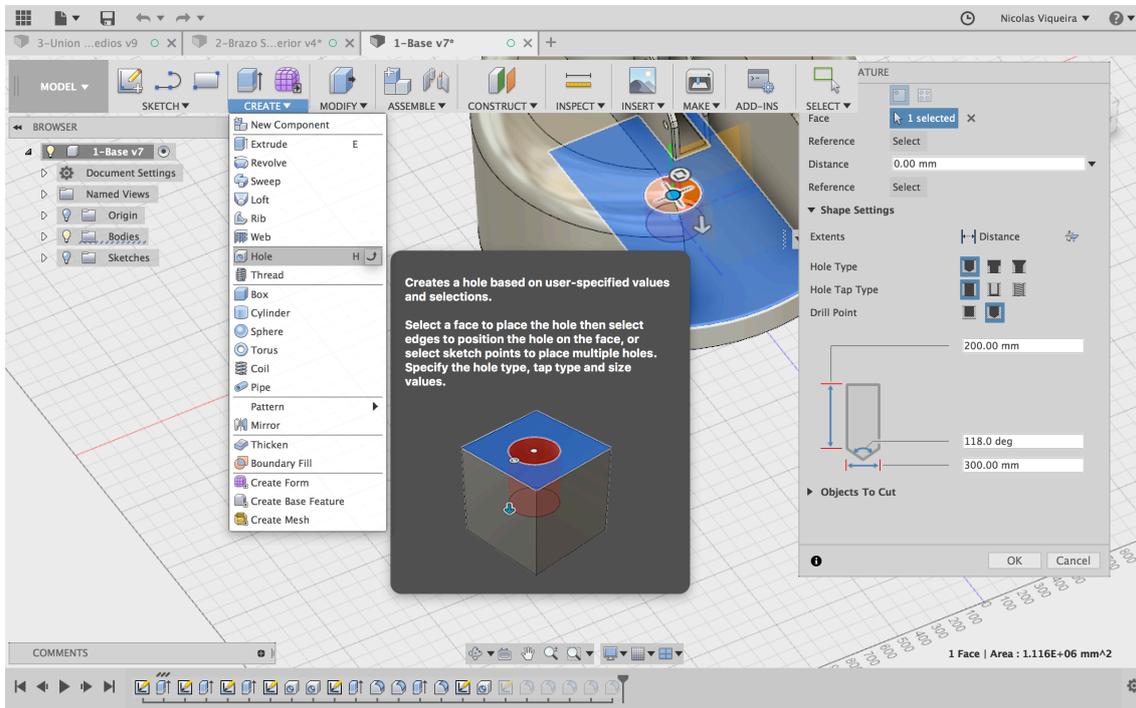


Figura 4.7 – Ejemplo herramienta “*Hole*” de una pieza en Autodesk Fusion 360

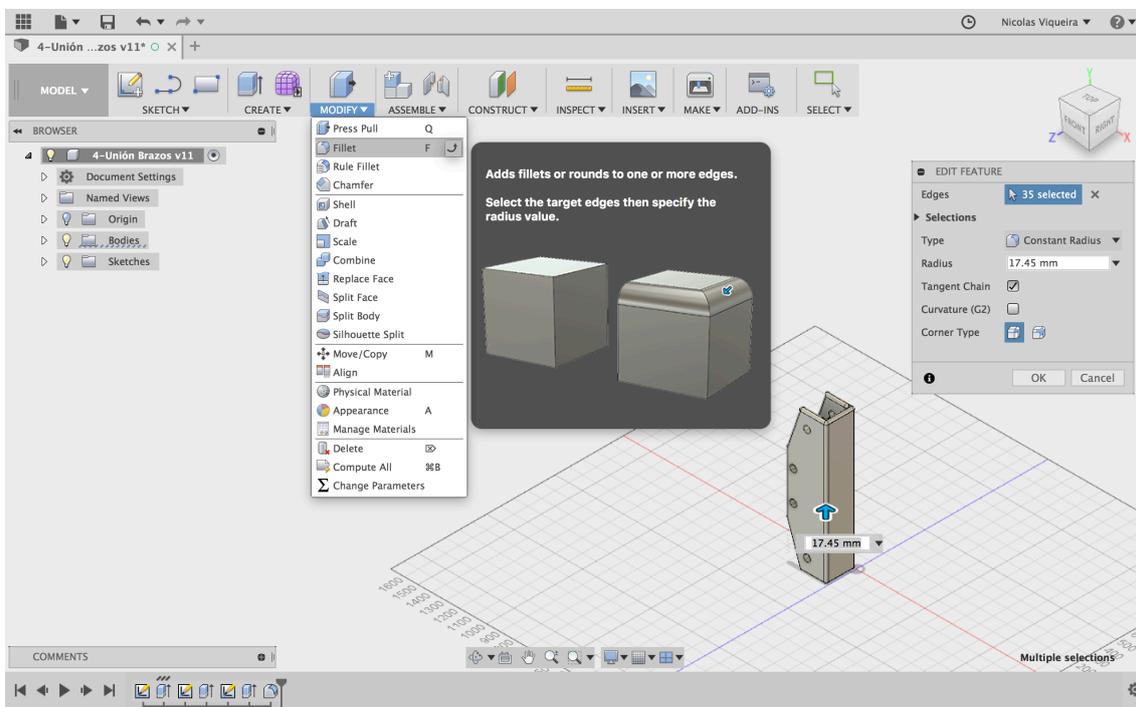


Figura 4.8 – Ejemplo herramienta “*Fillet*” de una pieza en Autodesk Fusion 360

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 en la *Figura 4.1* podemos pasar a una más extensa que se muestra en la siguiente figura:

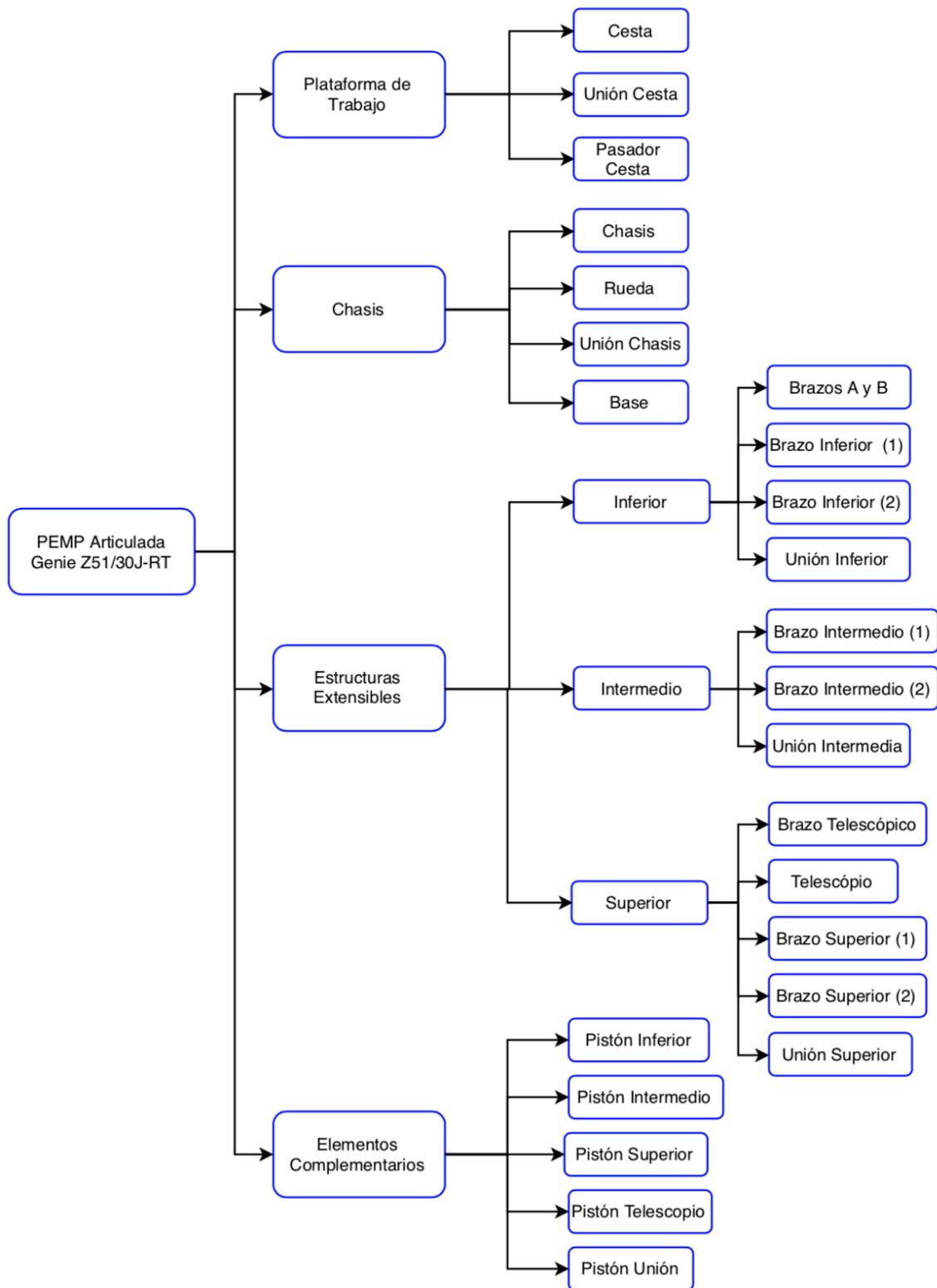


Figura 4.9 – Despiece PEMP articulada Genie Z51/30J - RT

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. A continuación se describe el modelado de las diferentes partes de la plataforma donde se comenta el diseño de estas y algunas medidas importantes, para ver todas las dimensiones consultar los planos.

El paso inicial para empezar con el modelado de las piezas es crear una carpeta dentro de la “nube” de Fusión 360, mediante la opción *New Folder*, donde se guarden todas las piezas para posteriormente a la hora ensamblar el conjunto completo el programa sepa donde tiene que acceder para poder trabajar con ellas.

Para la creación de cualquier pieza, el primer paso consiste en crear un nuevo diseño, para ello se selecciona en la parte superior izquierda de la interfaz la opción *New Design* y a continuación se guarda en la carpeta creada anteriormente mediante la opción *Save*.

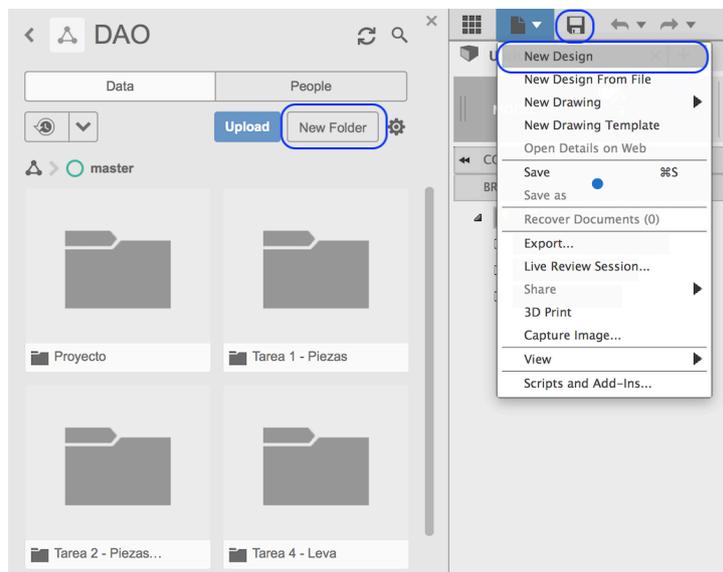


Figura 4.10 – Creación de una nueva carpeta, opciones nuevo diseño y guardar

A continuación se creará un croquis en 2D mediante la opción *Sketch*, se selecciona uno de los tres planos de trabajo y se realiza el boceto mediante las herramientas disponibles. Para que el modelado de las piezas sea correcto, es de vital importancia que tras realizar el boceto y previo a la aplicación de operaciones de modelado 3D se compruebe que el boceto en cuestión se encuentra totalmente restringido, evitando cualquier tipo de incertidumbre dimensional. Para ello las líneas de este tienen que aparecer de color negro, es decir, es correcto geométricamente y tiene las restricciones apropiadas, en caso contrario las líneas serán de color azul. Una vez terminado el boceto, podemos pasar a la interfaz de modelado 3D seleccionando el botón superior derecho *Finish Sketch*.

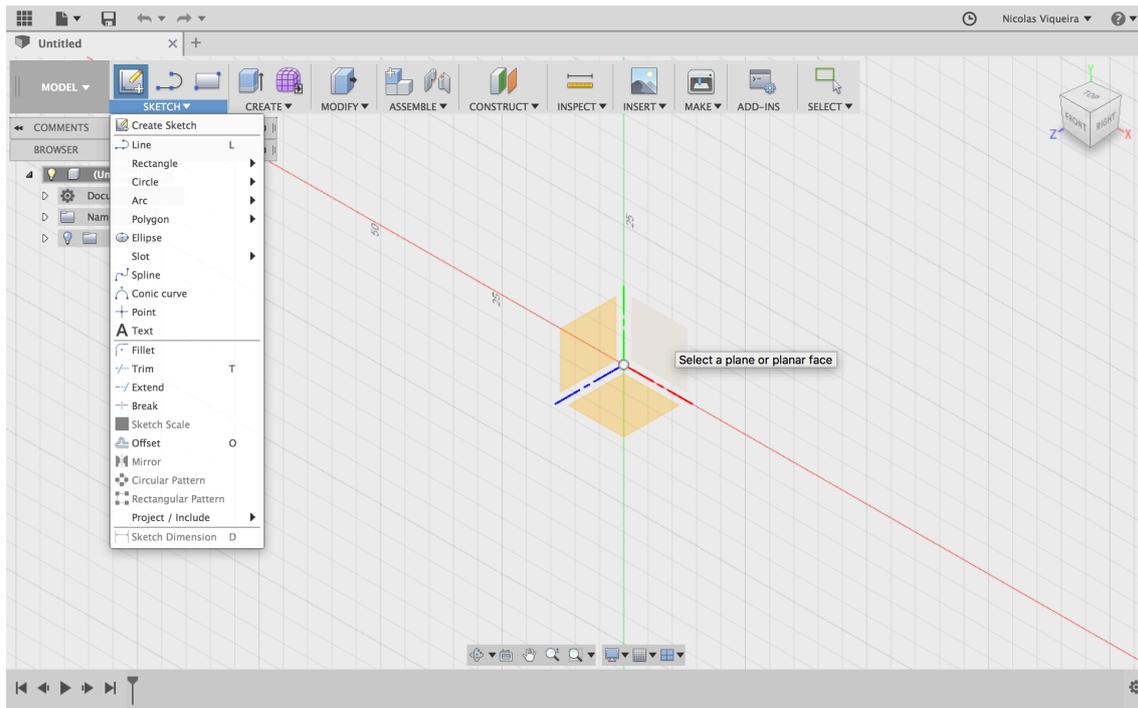


Figura 4.11 – Creación de un nuevo boceto y sus herramientas

Debido a que los pasos descritos anteriormente son comunes para iniciar el modelado de cualquier pieza, no se hará más referencia a ellos siendo por ello pasos implícitos. Al finalizar el *Sketch* se observa como cambia la interfaz gráfica, apareciendo en la parte superior todo tipo de herramientas y operaciones nuevas que serán comentadas conforme vayan siendo utilizadas en el modelo. Según se vaya trabajando se obtendrá en la parte izquierda una ventana donde se irán guardando todas las operaciones de forma esquemática y secuencial, así como una línea temporal de estas que aparecerá en la parte inferior de la pantalla. 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.

4.3.1. Modelado de la Plataforma de Trabajo

- **Pasador Plataforma:**

Es la pieza de unión entre la *cesta* y la *unión cesta*. Para realizar este componente, se realiza un croquis de un círculo de 50 [mm] de diámetro. Seguidamente mediante la herramienta de extrusión se obtiene un cilindro con una altura de 500 [mm] de altura. Ahora se hace un sketch en la parte superior de dicho cilindro, se dibuja otro círculo esta vez de diámetro 65 [mm] y se extruye 20 [mm]. Finalmente mediante la operación *Fillet* se realiza un empalme de 5 [mm] de radio.

- **Cesta:**

Se trata de la plataforma sobre la cual los operarios trabajan. Para modelar este componente, se realizara conjuntamente la base y las barandillas sobre un mismo modelo. Para ello se dibuja rectángulo de dimensiones 1830x760 [mm] y en su interior otro de dimensiones 1730x660 [mm]. A continuación se realiza una extrusión de los 2 rectángulos una distancia de 80[mm] obteniendo así la base de la cesta. Seguidamente se extruye solo el rectángulo mayor con una altura de 1160 [mm] formando la estructura de la barandilla, en la opción *Operation* siempre seleccionamos *Join* para trabajar sobre el mismo cuerpo creado anteriormente.

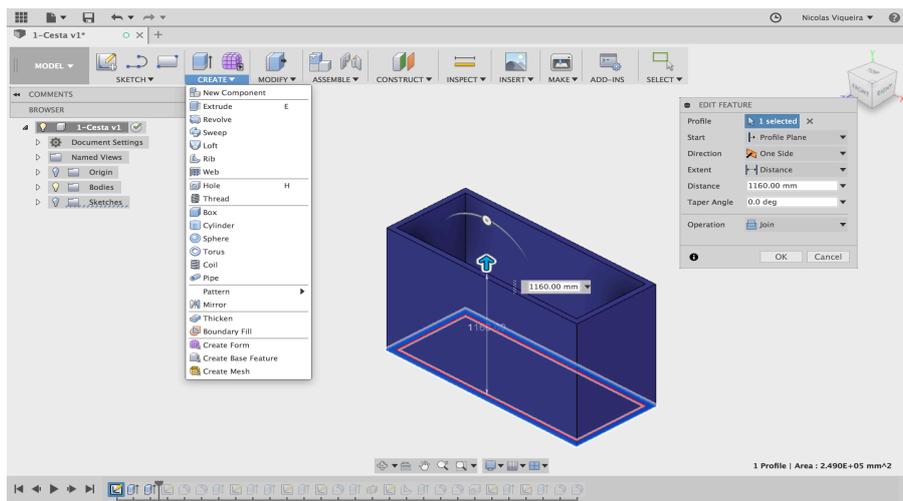


Figura 4.12 – Extrusión de la cesta

Para la creación de los agujeros de la barandilla se realiza un boceto sobre una de las caras más grandes del rectángulo. Dicho boceto consiste en un cuadrado de 550x500 [mm] separado del extremo 50 [mm], mediante la herramienta *Rectangular Pattern* se obtienen los tres restantes por simetría. De la misma manera se obtiene los rectángulos centrales superior e inferior de dimensiones 550x350 [mm] y finalmente el rectángulo central de 550x300 [mm]. A continuación los rectángulos laterales se vacian mediante la herramienta *Extrude* → *Cut* una distancia de 760 [mm] y los centrales 50 [mm]. De igual manera se obtienen los rectángulos 500x660 [mm] de los laterales de la cesta.

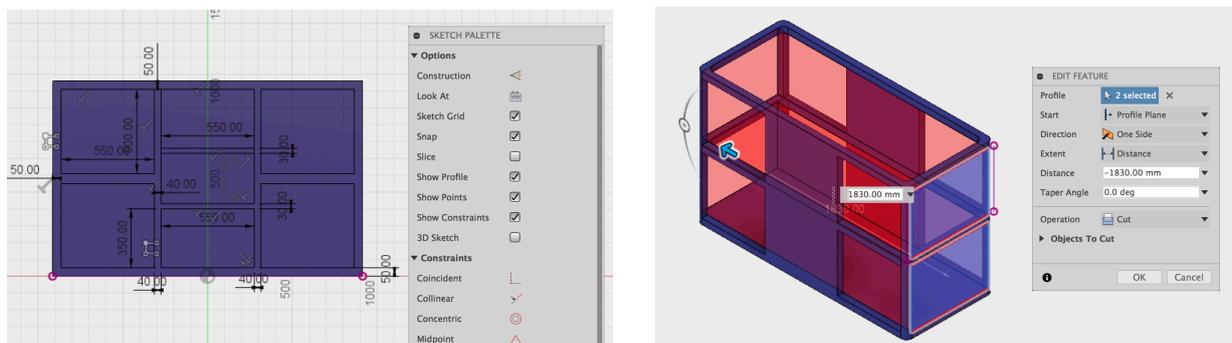


Figura 4.13 – Creación de los agujeros de la cesta

Con el objetivo de dotar de rigidez a la plataforma, mediante la extrusión de barras rectangulares colocadas sobre la cara inferior se genera una estructura en forma V formando 90° entre ellas.

Finalmente se diseña la unión de geometría rectangular en la parte posterior de la cesta. Mediante la herramienta *Construct* → *Midplane* se crea un plano intermedio entre los laterales de la cesta donde se realizara el *sketch*. Se extruye el boceto seleccionando la opción *Symmetric* y por último se redondean los bordes de la barandilla mediante la herramienta *Fillet*.

- **Unión Cesta:**

Como su nombre indica, es la pieza que une la cesta con los *brazos superiores*. La constituyen un cuadrado de 160 [mm] de lado con un círculo en su punto central de 50[mm] de diámetro extruidos con una altura de 450 [mm] en el eje vertical. A continuación se realiza un *Sketch* de un rectángulo centrado en uno de sus lados de dimensiones 385x150 [mm] que es extruido 280 [mm] en el eje horizontal. A este ultimo, mediante la herramienta *Hole*, se le realizan dos agujeros pasantes de 50 [mm] de diámetro en los extremos superior e inferior separados 100 [mm] de ancho y 200 [mm] de ancho, se extruye interiormente 280[mm]un perfil en rectangular en U y se redondean las esquinas mediante la herramienta *Fillet* para obtener una apariencia real.

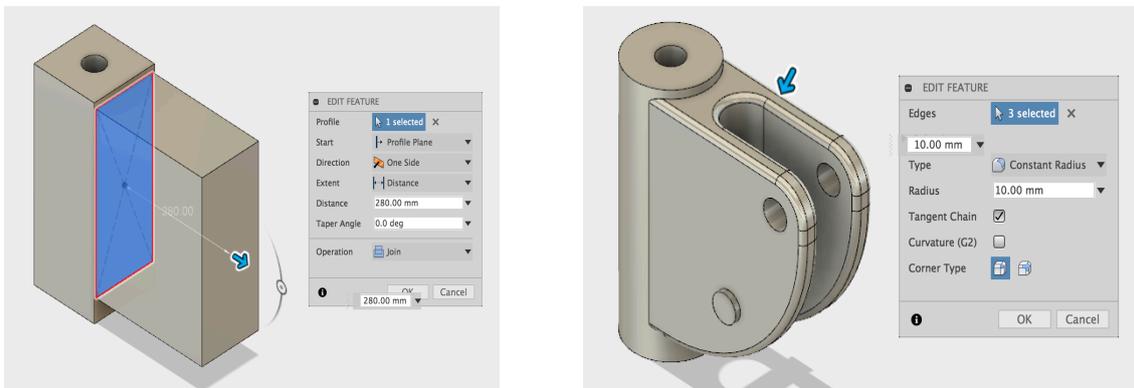


Figura 4.14 – Creación de la Unión Cesta

4.3.2. Modelado del Chasis

- **Chasis:**

Se trata de la parte de la máquina destinada a albergar el sistema motriz y la transmisión. Se trata de una pieza que ha sido modelada más como elemento estético que como funcional, en el sentido de que se ha simplificado significativamente ya que no juega un papel importante en cuanto al mecanismo que se analiza.

Se ha simplificado a un rectángulo de 1730x1000 [mm] extruido 225 [mm] simétricamente. Los ejes están formados por dos rectángulos de 1430x150 [mm]

extruidos simétricamente 75 [mm] a los cuales se les añade un cilindro de 100 [mm] de diámetro y 430 [mm] de largo. Mediante la herramienta *Mirror* se obtienen los restantes. También cuenta con un agujero pasante de 300 [mm] de diámetro en la parte central para facilitar la unión con la *base*.

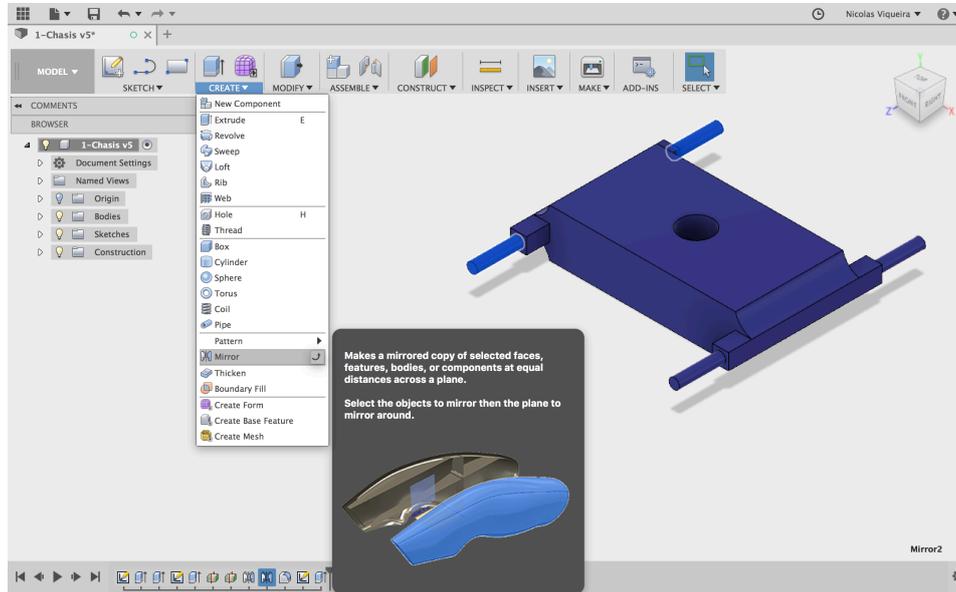


Figura 4.15 – Herramienta *mirror* para el modelado de los ejes del chasis

- **Rueda:**

También es un elemento estético, se trata de un círculo de 700mm de diámetro con otro concéntrico de 100mm de diámetro extruidos 400mm. Cabe destacar que para la realización de la huella de la rueda se realiza una extrusión de un rectángulo en la parte superior de la circunferencia y mediante la herramienta *Circular Pattern* se crea un patrón circular con la geometría deseada alrededor del eje de esta.

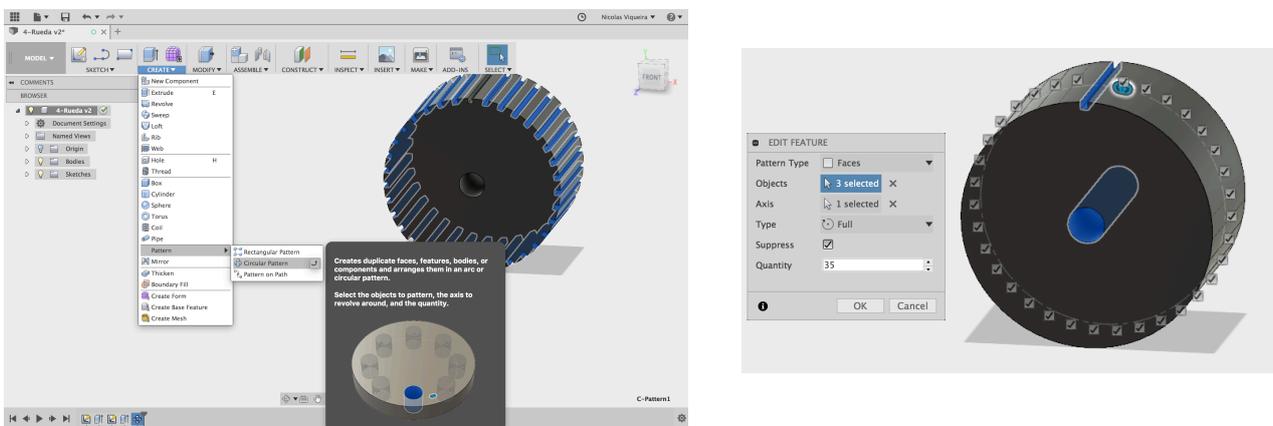


Figura 4.16 – Creación de la huella de la rueda mediante un patrón circular

- **Pasador Chasis:**

Esta pieza se ha modelado de la misma forma que el *pasador plataforma*. Sus dimensiones son 300 [mm] de diámetro y 410 [mm] de altura.

- **Base:**

Al igual que el chasis se trata de un elemento estético que tiene como función ser el nexo de unión entre el mecanismo de brazos articulados y el chasis.

Para su modelado se realiza un círculo de 2030 [mm] de diámetro y se extruye 160[mm] sobre este se realiza otro croquis para crear la unión con los brazos. Dicha unión consiste en un rectángulo de 400x220 [mm] extruido 600 [mm] al cual se le aplican cuatro agujeros pasantes de diámetro 50 [mm] en los puntos de unión con los brazos. Es de vital importancia que la distancia e inclinación entre los agujeros sea la misma que en la unión inferior para formar así un cuadrilátero articulado.

Finalmente se extruye la base circular 900 [mm], se realiza el agujero central que sirve de unión con el chasis y se redondean las esquinas.

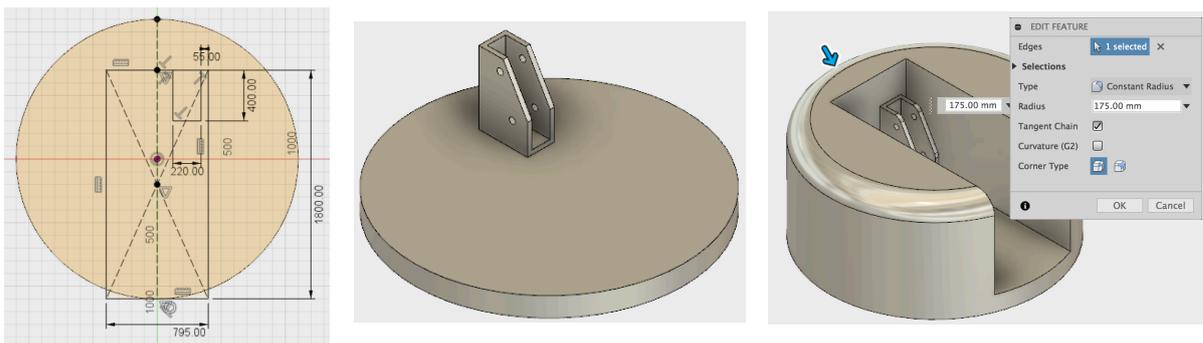


Figura 4.17 – Pasos seguidos durante el modelado de la base

4.3.3. Modelado de las Estructuras Extensibles

El diseño de las **estructuras extensibles inferior, intermedio y superior** son prácticamente iguales. Están constituidas por un conjunto de brazos y una unión que los relaciona. Como ya se ha comentado, es muy importante mantener la orientación y la distancia entre los agujeros de las uniones que relacionan los brazos para poder formar mecanismos de cuadrilátero articulado.

- Estructura Inferior:

- **Brazo Inferior (1):**

El objetivo de esta pieza es unir la *Base* con la *Unión Inferior* permitiendo así el desplazamiento vertical de la plataforma gracias a la unión de este con otros brazos.

Para modelar esta pieza lo primero es dibujar un rectángulo de dimensiones 3585x150[mm]. Tras ello, se utiliza la operación *Extrude* consiguiendo así un rectángulo macizo de espesor 150 [mm]. Posteriormente se realizan un agujero de diámetro 50mm mediante la operación *Hole*, separado 100 [mm] con respecto al borde lateral de la pieza y 75 [mm] respecto al alto.

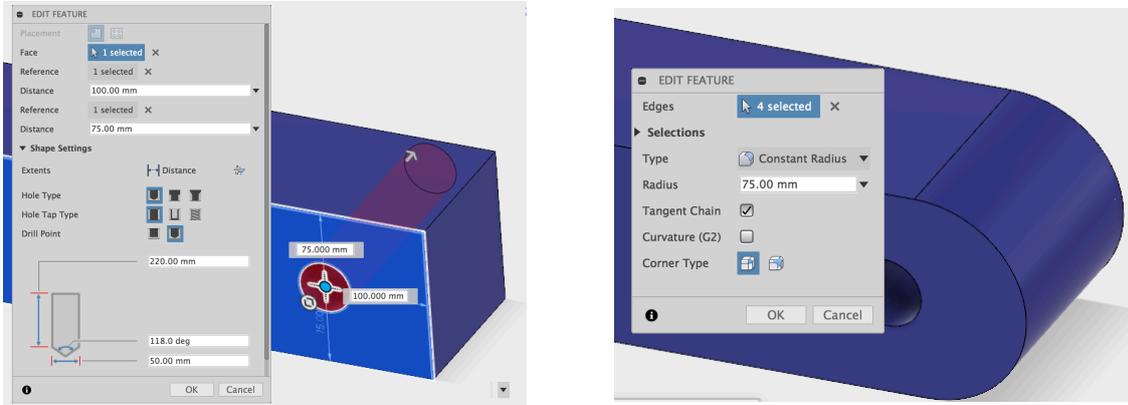


Figura 4.18 – Operaciones Hole y Fillet durante el modelado de los Brazos

Se utiliza la herramienta *Mirror* para generar la parte que se acaba de modelar de forma simétrica respecto al plano medio perpendicular al rectángulo. Finalmente, 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 *Fillet*, con un radio de valor 75 [mm] y los bordes laterales con un radio de 15 [mm]. Obteniendo finalmente la pieza deseada.

Cabe destacar que este brazo tiene una unión circular en uno de sus laterales, consiste en un cilindro de 50 [mm] de diámetro a una distancia de 500 [mm] con uno de los agujeros pasantes y una altura de 300 [mm]. Además para la obtención de la unión entre el *Brazo inferior (1)* y *Brazo intermedio (1)* se realiza en una de sus caras laterales un boceto de un cuadrado de 75x75 [mm] con un círculo de 50 [mm] de diámetro centrado en él. El boceto se extruye dos veces diferentes, la primera solamente el cuadrado una distancia de 75 [mm] con un *Offset Plane* de 37.5 [mm], a continuación se extruye el círculo 125 [mm] con un *Offset* de 12.5[mm].

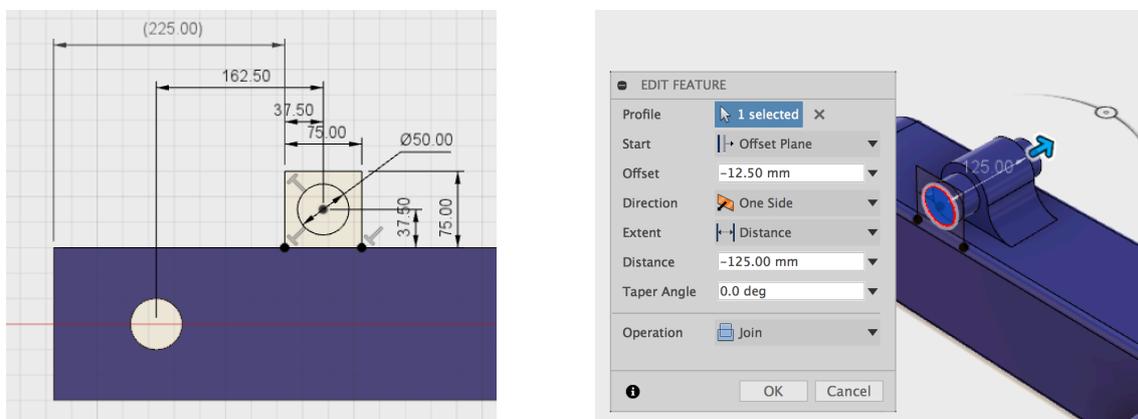


Figura 4.19 – Creación de la unión entre Brazo Inferior (1) y Brazo Intermedio (1)

- **Brazo Inferior (2):**

Esta pieza se ha modelado de la misma forma que el *Brazo Inferior (1)*. Sus dimensiones son 3585x150x150 [mm].

La única singularidad que presenta se realiza para evitar interferencias entre sólidos mediante la sustracción de material. Se trata de una modificación en uno de sus extremos, para ello se realiza dos *sketches* en dicha zona que consisten dos rectángulos, uno de 62.5x112.5 colineal con el vértice superior y lateral derecho y otro de 150x37.5 [mm] colineal con el vértice inferior y el lateral derecho. Dichos rectángulos se extruyen 150 [mm] con la opción *cut* y finalmente se redondean las esquinas mediante la herramienta *fillet* obteniendo la geometría deseada.

- **Unión Inferior:**

Es la pieza que relaciona los brazos inferiores con los intermedios permitiendo el movimiento de ambos mediante el giro sobre esta. Lo más importante de esta pieza es mantener la misma orientación de los agujeros entre las uniones para formar cuadriláteros articulados.

Para el modelado de esta pieza se realiza un croquis con la geometría deseada, se trata de un rectángulo de 820x300 [mm] al cual se le recortan 2 esquinas de forma diagonal dejando una base superior e inferior de 200 [mm] y el lado lateral sobrante de 450[mm] como se observa en la *figura 4.19*.

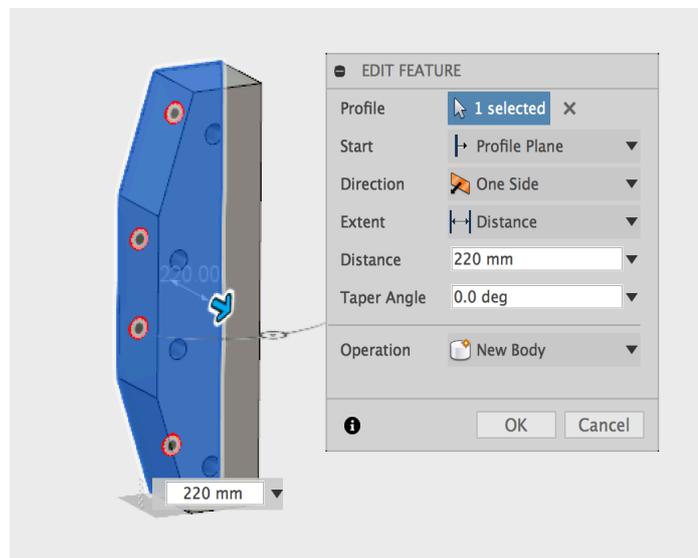
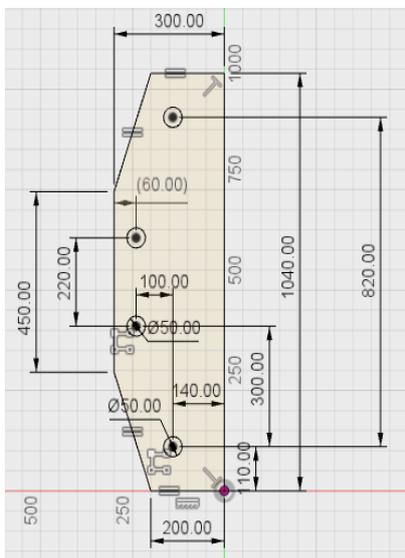


Figura 4.20 – Croquis y extrusión de la unión inferior

Los agujeros pasantes tienen la misma orientación y separación que los de la unión de la *base*, mediante la operación *mirror* se obtienen los superiores que a su vez tendrán la misma orientación que los de la *unión intermedia*. Una vez finalizado el boceto se extruye la pieza deseada sin seleccionar los círculos (agujeros) una distancia de 220[mm].

A continuación se realiza un boceto de un rectángulo centrado en la parte posterior de la pieza de 1040x150 [mm] y se extruye una distancia de 300[mm] con la opción *Cut*.

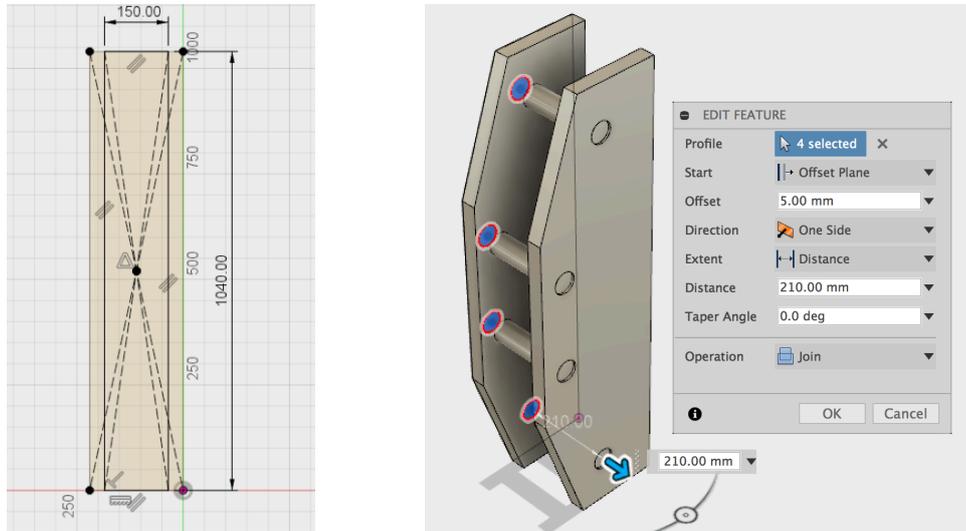


Figura 4.21 – Croquis posterior y extrusión de los pasadores de la unión inferior

Para simplificar la geometría y no tener demasiadas piezas, los pasadores se integran dentro de la pieza. Para ello se realiza una extrusión de los agujeros una distancia de 210 [mm] con un *Offset* de 5 [mm] y la opción *Join*. Por último se redondean las esquinas mediante la herramienta *Fillet* con un radio de 10 [mm].

- **Brazos A y B:**

Se trata de dos brazos simétricos de geometría muy simple que tienen la función de unir el Brazo Inferior (1) con el Brazo Intermedio (1) de manera que cuando se acciona el actuador inferior, que relaciona el Brazo Inferior (1) con el Brazo Intermedio (2), relaciona el movimiento del Brazo Inferior (1) con el Brazo Intermedio (1).

Esta pieza se ha modelado de la misma forma que el *Brazo Inferior (1)*. Sus dimensiones son 566.61x75x25 [mm]. La única singularidad que presenta se realiza para evitar interferencias entre sólidos mediante la sustracción de material. Se trata de una reducción de material mediante la extrusión de un rectángulo de 391.61x25 [mm] centrado en la parte superior de este.

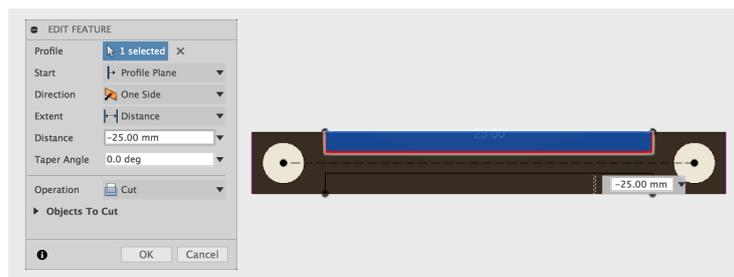


Figura 4.22 – Reducción de material de los Brazos A y B para evitar

- Estructura Intermedia:

- **Brazo Intermedio (1):**

Esta pieza se ha modelado de la misma forma que el *Brazo Inferior (1)*. Sus dimensiones son 3685x150x150 [mm].

Para obtener la base de los brazos de unión con el *Brazo Inferior (1)* se realiza un boceto en el mismo plano que el primero y colineal con uno de sus laterales de 150 [mm] de lado. Consiste en un rectángulo de 75x150 [mm] centrado, con un círculo de diámetro 50 [mm] separado 37.5 [mm] con su extremo. Finalmente se procede a realizar el mismo proceso de extrusión que en el Brazo Inferior (1) para dicho elemento de unión.

- **Brazo Intermedio (2):**

Esta pieza se ha modelado de la misma forma que el *Brazo Inferior (1)*. Sus dimensiones son 3685x150x150 [mm]. También presenta el mismo cilindro en uno de sus laterales.

- **Unión Intermedia:**

Se trata de la pieza que relaciona los brazos intermedios con los superiores, el modelado de esta pieza sigue el mismo proceso que el de la *unión inferior* así pues se va a describir solo el croquis de esta ya que los pasos siguientes son análogos a los de la pieza mencionada. A su vez también es el nexo de unión con el *pistón intermedio*.

En primer lugar se dibuja un *Sketch* en forma de L, para ello se crea un primer rectángulo de dimensiones 300x500 [mm] y un segundo rectángulo de 150x200 [mm]. Se realizan tres círculos de diámetro 50 [mm] que serán los agujeros dónde se situaran los brazos y el pistón, manteniendo las mismas dimensiones que la unión inferior. A continuación se extruye el primer rectángulo una distancia de 455 [mm] y seguidamente el segundo una distancia de 270[mm] obteniéndose así la geometría deseada. Ahora se realiza otro boceto en la cara posterior para proceder al vaciado de la pieza, dicho boceto consiste en dos rectángulos uno de 150x500 [mm] y otro de 200x500 [mm] ambos separados 35 [mm] respecto al lateral y entre ellos. Se extruyen ambos rectángulos con un *Offset* de 40 [mm] una distancia de 410 [mm]. Finalmente se modelan los pasadores y se redondean los perfiles como se ha explicado anteriormente en la *unión inferior*.

- Estructura Superior:

- **Brazo Telescópico:**

Este brazo se modela de la misma manera que los anteriores y tiene la misma función que estos con la particularidad de que alberga en su interior el telescopio que permite a la plataforma alcanzar mayores distancias horizontales.

Las dimensiones del brazo son 4400x200x200 [mm]. Para el modelado de su cavidad interior se realiza un croquis en una de sus caras laterales cuadradas, se dibuja un

cuadrado centrado de 160x160 [mm] y se extruye una distancia de 4000 [mm]. Para confeccionar los enlaces con el *Pistón Telescopio* se realiza un croquis en una de sus caras laterales de un círculo de diámetro 50 [mm] a 500 [mm] del agujero izquierdo. Consecutivamente se extruye dos veces una distancia de 45 [mm] desde cada lateral. Finalmente para obtener la geometría que confecciona la unión con el *Pistón Intermedio*, se efectúa en su cara lateral un boceto de un rectángulo de 100x100[mm], con un círculo de 50 [mm] de diámetro en su interior, se extruye el rectángulo 70 [mm] a cada lado y el círculo 60 [mm] con un *Offset* de 140 [mm]. Por último se le aplica un redondeo de radio 50 [mm].

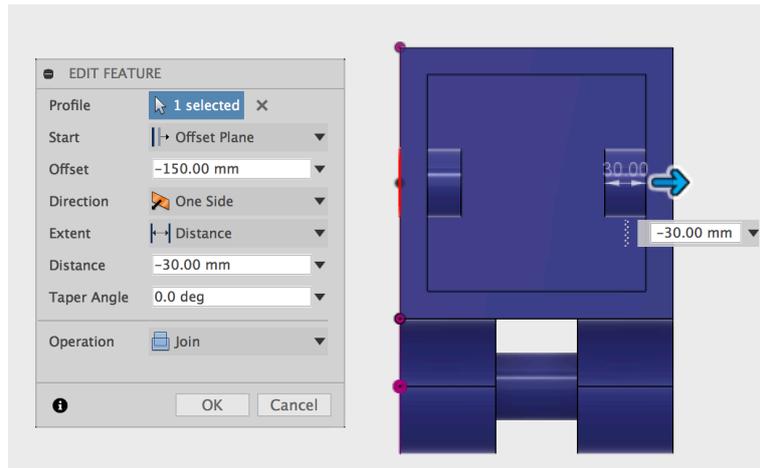


Figura 4.23 – Confección de los enlaces del brazo con el Pistón Telescopio

- **Telescopio:**

Este componente tiene como objetivo proporcionar un mayor alcance longitudinal a la plataforma. Se trata de un brazo modelado de la misma forma que el *Brazo Inferior (1)*. Sus dimensiones son 2800x150x150 [mm]. Al igual que el *Brazo Telescópico* esta hueco en su interior y presenta el mismo diseño para los enlaces para el *Pistón Telescopio* y *Pistón unión*, a una distancia de 1400 [mm] desde la izquierda para el *Pistón Telescopio* y 500 [mm] desde la derecha para el *Pistón Unión*, se tratan de círculos de 50 [mm] de diámetro extruidos 20 [mm] con un *Offset* de 25 [mm] respecto al lateral.

Este brazo presenta una estructura sobre la cual se sitúa la *Unión Superior*, la cual pivota sobre esta. Para el diseño de esta se efectúa un boceto su cara cuadrada mas externa, dicho boceto consiste en un rectángulo de 200x360[mm] centrado y colineal con el vértice inferior el cual se extruye una distancia de 350 [mm] con un *Offset* de -50 [mm]. A continuación se realiza otro boceto sobre una de sus caras laterales dibujando una línea recta que una el vértice del brazo con la línea superior del rectángulo en su punto medio y se extruye la parte sobrante una distancia de 220 [mm] con la opción *Cut*. Finalmente se hacen dos agujeros pasantes de diámetro 50 [mm] en la esquina superior derecha y se vacía la pieza una distancia de 300 [mm] mediante otro *sketch* de un rectángulo de 150x360 [mm] centrado en su cara exterior.

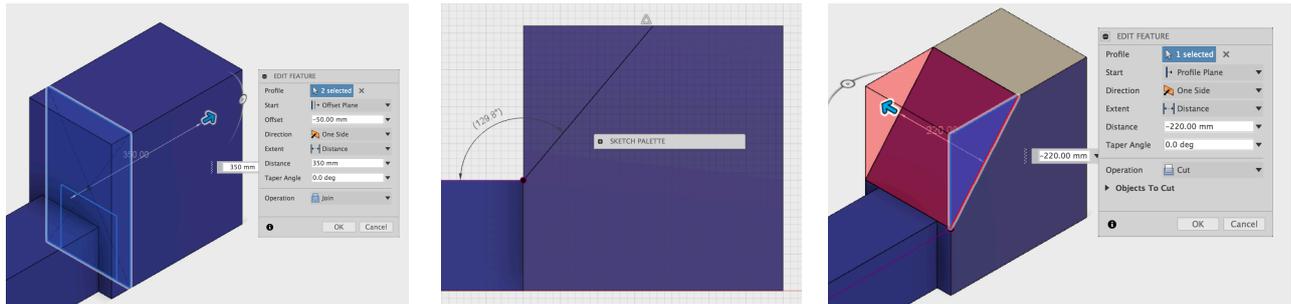


Figura 4.24 – Diseño de la estructura adicional del Telescopio

Para evitar interferencias entre sólidos se realiza una sustracción de material mediante la extrusión de 650 [mm] de dos rectángulos: el primero de 100x25 [mm] colineal con el vértice inferior y el segundo de 100x85 [mm] colineal con el superior.

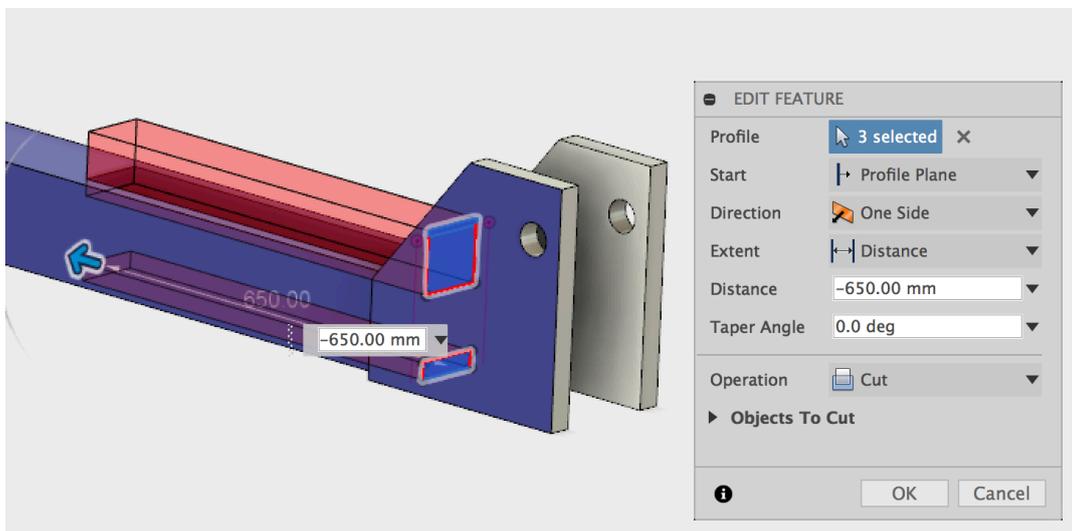


Figura 4.25 – Sustracción de material del Telescopio

- **Brazo Superior (1A y 1B):**

Esta pieza se ha modelado de la misma forma que el *Brazo Inferior (1)*. Sus dimensiones son 1350x100x40 [mm]. Ambos brazos son iguales y tienen la función de conectar la *Unión Superior* con la *Unión Cesta* permitiendo el giro relativo entre ellas.

- **Brazo Superior (2):**

Esta pieza se ha modelado de la misma forma que el *Brazo Inferior (1)*. Sus dimensiones son 1350x100x80 [mm]. En la parte inferior presenta una extensión que sirve de unión con el *Pistón Superior*, se modela de la misma manera que en el Brazo Telescópico y esta situada a 300 [mm] del vértice lateral derecho.

Al igual que en otros brazos para evitar interferencias entre sólidos se realiza una sustracción de material mediante la extrusión de un rectángulo de 775x50 [mm] colineal con el vértice inferior a 75 [mm] del agujero izquierdo.

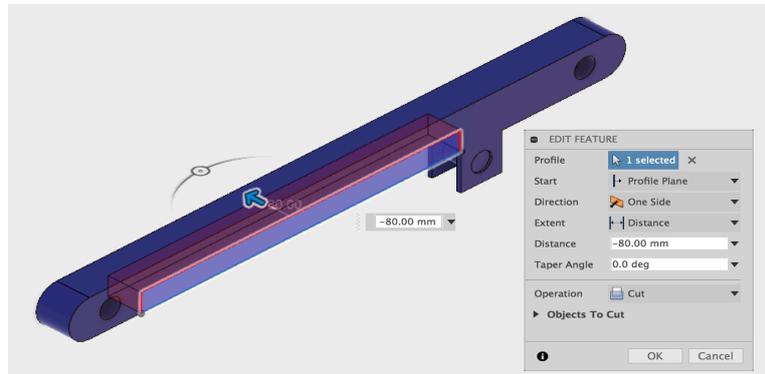


Figura 4.26 – Sustracción de material del Brazo Superior 2

- **Unión Superior:**

Se trata de la pieza que relaciona el *telescopio* con los *Brazos Superiores*, el modelado de esta pieza sigue el mismo proceso que el de las otras uniones así pues se va a describir solo el croquis de esta ya que los pasos siguientes son análogos a los de la pieza mencionada. A su vez también es el nexo de unión con el *pistón unión* y el *pistón superior*. Esta unión es la mas importante de las tres ya que es la que se encarga de mantener siempre la plataforma en posición horizontal mediante la rotación sobre el telescopio, según el brazo telescópico sube o baja esta se regula para mantener la plataforma de trabajo siempre en la posición adecuada.

La unión se modela en forma de cruz manteniendo siempre las mismas distancias entre los agujeros para mantener el mecanismo de cuadrilátero articulado. El diseño de esta no tiene gran relevancia, cabe destacar que una vez extruida en forma de cruz y empalmando las aristas en forma de círculo se realiza otro boceto sobre esta mediante líneas tangentes a las circunferencias y se extruye otra vez dándole un aspecto mas realista. Las operaciones siguientes son análogas a las descritas en el modelado de las otras uniones.

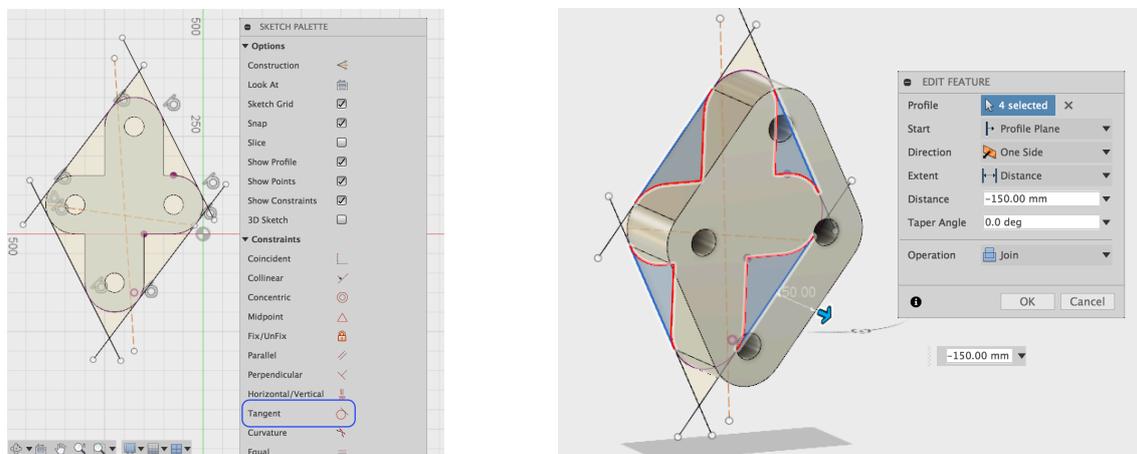


Figura 4.27 – Modelado de la unión superior

4.3.4. Modelado de los Elementos Complementarios

La plataforma cuenta con un total de **5 pistones hidráulicos**. Se trata del elemento encargado de aportar la fuerza necesaria para permitir la extensión y plegado de la máquina y cada uno tiene una función específica dentro del trabajo de esta. Todos son diseñados de la misma forma variando algunas de sus dimensiones. 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 muy importante en el correcto funcionamiento del mecanismo, profundizar en él queda fuera del alcance del trabajo y por ello se procede a un modelado simplificado del mismo. Está constituido por una *Camisa del pistón* y un *Vástago del pistón*.

- **Pistón Inferior:**

Para el modela de la *Camisa inferior* se realiza un primer boceto de un cuadrado 100x100[mm] el cual se extruye una primera vez una distancia de 100[mm] formando un cuadrado, seguidamente se vuelve a extruir en el mismo plano una distancia de de 740 [mm] formando un rectángulo el cual se convierte en un cilindro mediante el redondeo de sus esquinas con la herramienta *Fillet*. A continuación se realiza un agujero de diámetro 50 [mm] mediante la herramienta *Hole* en la cara plana del cilindro con una profundidad de 700[mm] que será la cavidad donde se desplace el *vástago del pistón* y finalmente se realiza otro agujero pasante de diámetro 50 [mm] en el centro cubo creado anteriormente.

Para modela el x se crea un boceto de un rectángulo de 690x50[mm] al cual se le une un círculo de diámetro 50 [mm] separado 25 [mm] con cada vértice, la distancia del rectángulo al centro del círculo es de 43.301 [mm]. Por ultimo se crea otro círculo concéntrico de diámetro 100 [mm].



Figura 4.28 – Croquis del vástago del Pistón Inferior

A continuación se extruye el rectángulo una distancia de 25 [mm] a cada lado mediante la opción *symmetric* y de la misma manera 30 [mm] el círculo exterior. Finalmente se redondean los vértices del rectángulo mediante la herramienta *Fillet* con un radio de 25[mm].

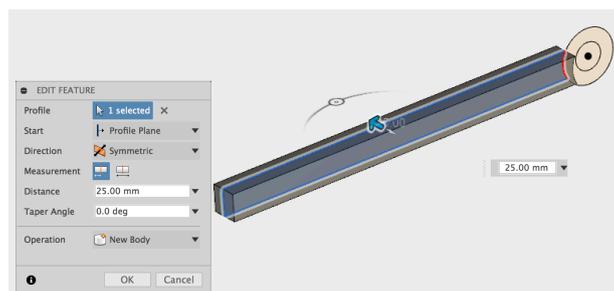


Figura 4.29 – Extrusión mediante la opción *symmetric* del vástago del Pistón Inferior

- **Pistón Intermedio:**

Esta pieza se ha modelado de la misma forma que el *Pistón Inferior*, solo varían sus dimensiones.

- **Pistón Superior:**

Esta pieza se ha modelado de la misma forma que el *Pistón Inferior*, solo varían sus dimensiones.

- **Pistón Telescopio:**

Esta pieza se ha modelado de la misma forma que el *Pistón Inferior*, solo varían sus dimensiones.

- **Pistón Unión:**

Esta pieza se ha modelado de la misma forma que el *Pistón Inferior*, solo varían sus dimensiones.

A continuación se proporciona una tabla con el resultado final del modelado de cada pieza:

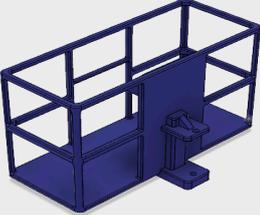
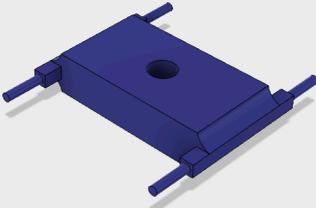
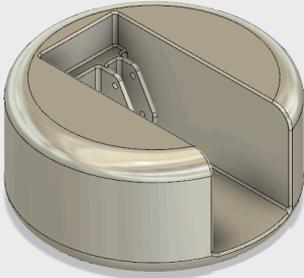
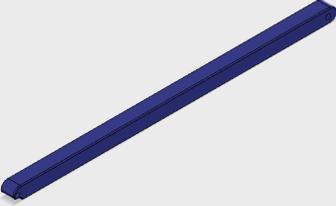
		
<i>Cesta</i>	<i>Unión Cesta</i>	<i>Pasador Cesta</i>
		
<i>Chasis</i>	<i>Rueda</i>	<i>Pasador Chasis</i>
		
<i>Base</i>	<i>Brazo Inferior (1)</i>	<i>Brazo Inferior (2)</i>



Figura 4.30 – Resultado del modelado de las piezas

5. ENSAMBLAJE

5.1. Introducción

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. Este proceso se va a realizar dos veces: la primera en Autodesk Fusion 360 para comprobar que el modelo funciona correctamente y seguidamente una segunda vez en MSC Adams para realizar la simulación dinámica.

5.2. Procedimiento

5.2.1. Ensamblaje en Fusion 360

Fusion 360 permite ensamblar piezas mediante la función *Assemble* → *Joint*. Para ello lo primero que hay que hacer es abrir un nuevo archivo e insertar en este las piezas para unirlos a continuación. En primer lugar se inserta la pieza de referencia desde la carpeta en la que se encuentre haciendo clic en el botón derecho y pulsando la opción *insert into current design*. Una vez introducida la pieza se puede mover y girar en el espacio a voluntad del usuario, cuando se encuentra en la posición deseada se ancla mediante la opción *ground*.

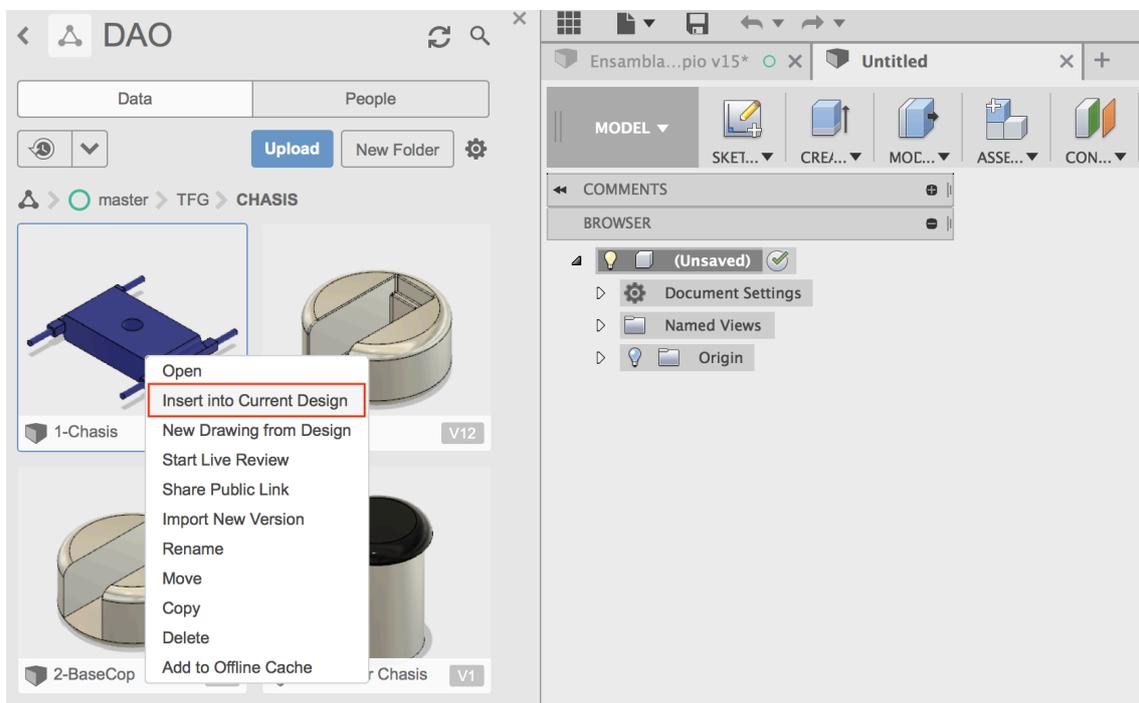


Figura 5.1 – Insertar piezas en el modelo

A continuación se inserta otra pieza y se ensambla mediante la herramienta *Joint*, primero se selecciona la pieza que se mueve y después la fija en el punto deseado para dicha unión.

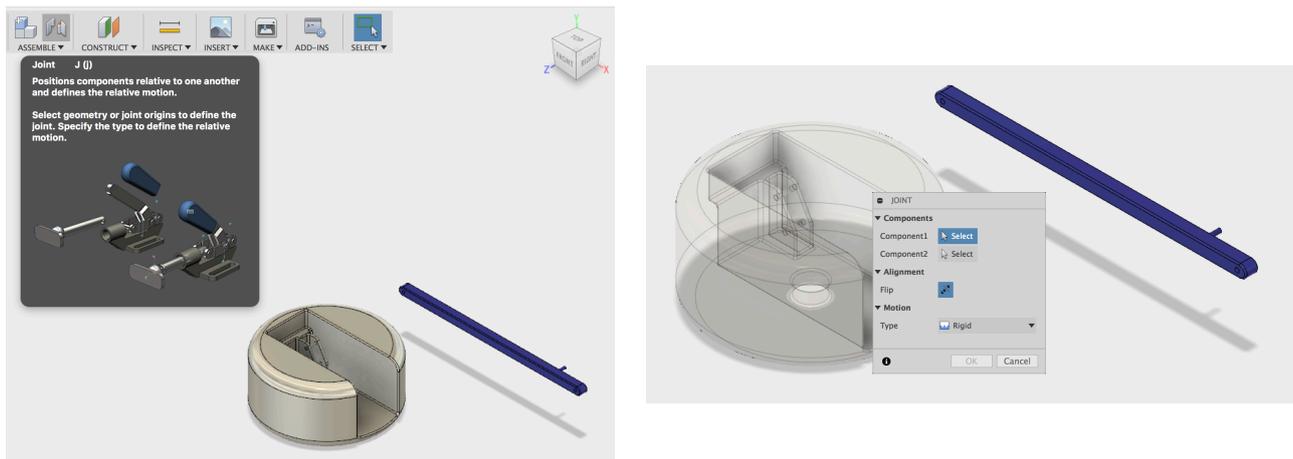


Figura 5.2 – Creación de una unión

Llegados a este punto, se considera importante explicar las operaciones de ensamblaje que se van a utilizar y cómo actúan.

- **Rigid – Unión Rígida:**

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 todos los grados libertad entre las caras seleccionadas de las piezas deseadas.

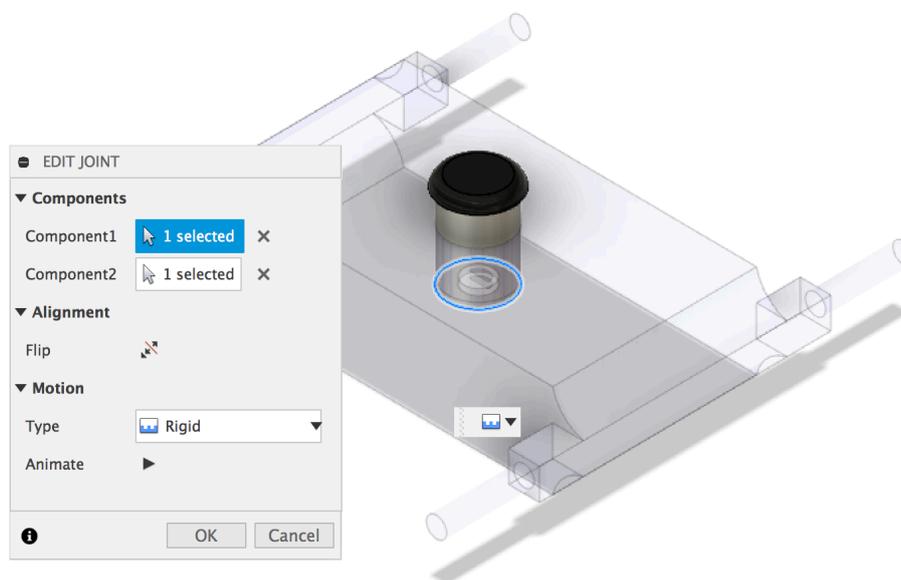


Figura 5.3 – Ejemplo unión rígida

- **Revolute – Par de Revolución (R):**

Impide cualquier posible traslación en el plano de una barra respecto a otra, o lo que es lo mismo, permite únicamente el giro relativo entre las dos barras conectadas.

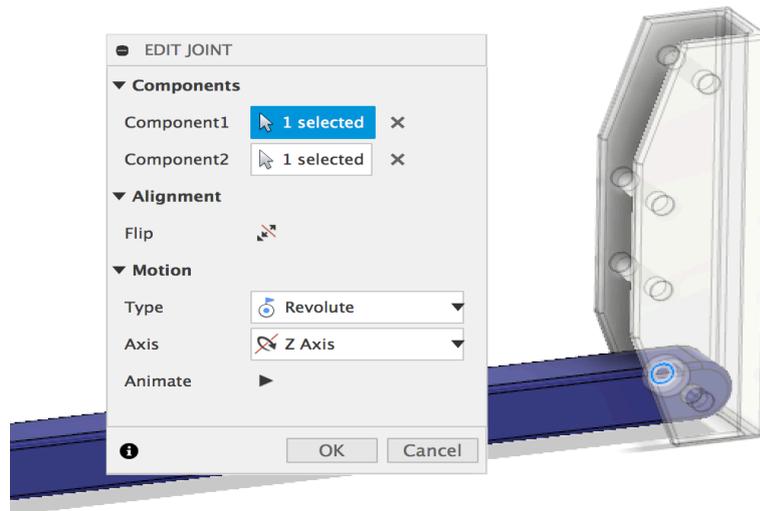


Figura 5.4 – Ejemplo par de revolución

- **Slider – Par Prismático (P):**

Impide la traslación en la dirección perpendicular a la guía y la rotación relativa entre ambas barras, o lo que es lo mismo, permite únicamente la traslación en la dirección de la guía.

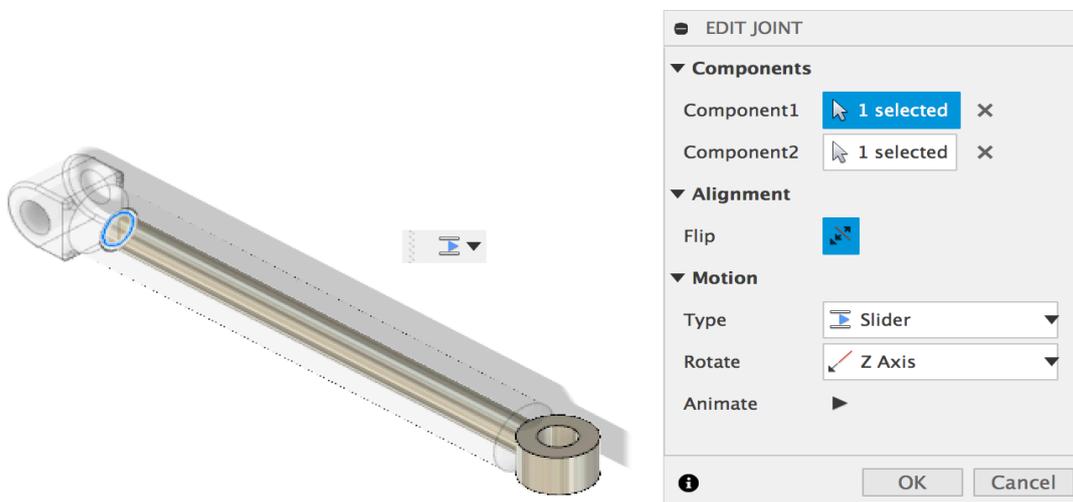


Figura 5.5 – Ejemplo par prismático

Todas estas uniones pueden modificarse haciendo clic derecho en la unión y seleccionando la opción *Edit Joint*, mediante la cual se puede limitar el ángulo girado en un par de revolución o la distancia recorrida en un par prismático.

Cabe destacar que se utiliza en primer lugar este programa debido a la facilidad que ofrece a la hora de insertar las piezas diseñadas y en la creación de uniones, permitiendo a su vez simular los movimientos según se va ensamblando el modelo.

Ahora se procede a describir el **ensamblaje del conjunto**, para ello se realizan tres sub-ensamblajes (chasis, estructuras extensibles y plataforma de trabajo) y finalmente se ensamblan formando la plataforma.

Para comenzar se realiza el ensamblaje del chasis, para ello se fija la pieza *Chasis* 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. A continuación se inserta el *pasador chasis* y mediante una unión fija (*rigid joint*) se conecta con el *chasis*. Seguidamente se introduce la *base* y se une al *pasador chasis* mediante un par de revolución (*revolute joint*). Finalmente se incluyen las *ruedas* y se unen al *chasis* mediante pares de revolución.

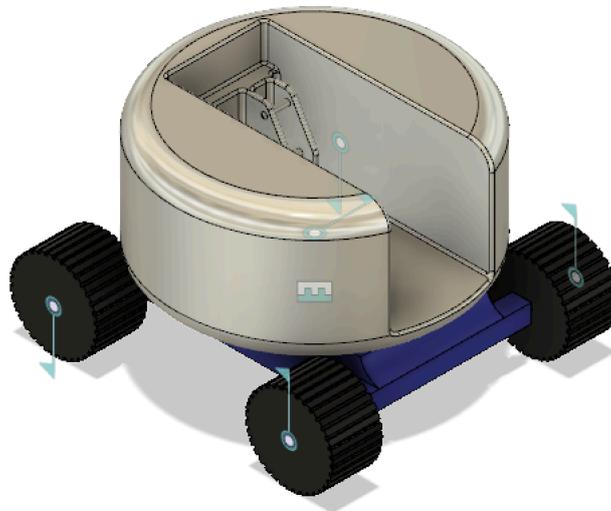


Figura 5.6 – Ensamblaje Chasis

Para realizar el ensamblaje de las *estructuras extensibles*, 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 tres sub-ensamblajes (inferior, intermedio y superior) que posteriormente se ensamblarán entre sí. Todas ellas se unen los brazos con las uniones y los pistones mediante pares revolución, excepto el *pistón telescópico* que va ligado a los brazos mediante una unión fija. A su vez todos los pistones, que constan de dos piezas, van unidos entre si mediante un par prismático entre la camisa y el vástago de estos.

Los brazos inferiores tienen una limitación de giro de 60° , los intermedios de 45° y el brazo telescópico tiene un rango desde -5° hasta 75° . A su vez la unión superior tiene un *Motion link*² entre el par de revolución *unión superior* – telescópico con el par de revolución *brazo telescópico* – *unión intermedia* que permite mantener la plataforma de trabajo siempre en posición horizontal. Los brazos superiores tienen un rango de recorrido desde -45° hasta 75° . Finalmente los *brazos superiores* se unen con la *unión superior* mediante pares de revolución.

² Se trata de una herramienta de ensamblaje que relaciona el movimiento de una unión con el de otra.

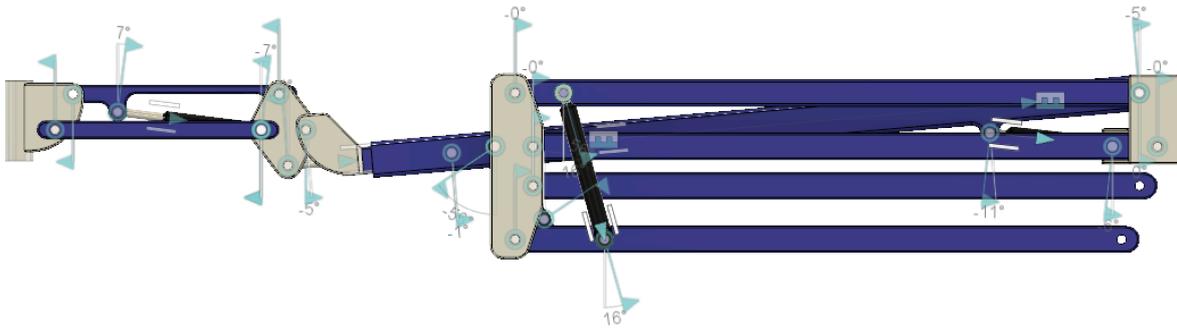


Figura 5.7 – Ensamblaje Estructuras Extensibles

Por último el ensamblaje de la plataforma de trabajo consiste en una única unión rígida entre la *cesta* y el *pasador cesta*.

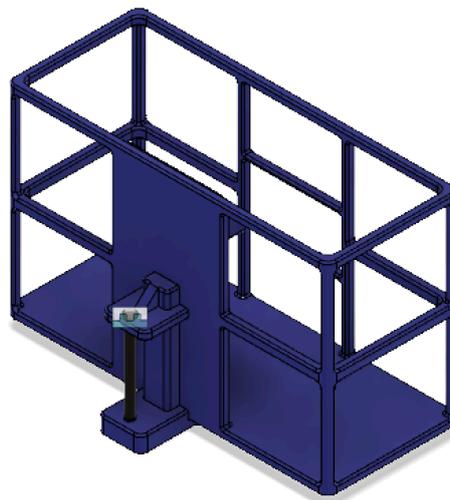


Figura 5.8 – Ensamblaje Plataforma de Trabajo

Una vez realizados los tres sub-ensamblajes se procede a unirlos para formar el ensamblaje completo de la plataforma elevadora móvil de personal articulada. Para ello primero se une el ensamblaje de las estructuras extensibles con el ensamblaje del chasis mediante dos pares de revolución entre los brazos inferiores y la base del chasis. A continuación se une el ensamblaje de las estructuras extensibles con el ensamblaje de la plataforma de trabajo mediante un par de revolución entre la unión cesta y la unión pasador con un recorrido desde -80° hasta 80° .

Una vez ensamblado todo el conjunto se comprueba que funcionan todas las articulaciones una a una mediante la herramienta *Drive joint* que permite mover únicamente una unión seleccionada. De este modo se comprueba el correcto funcionamiento de la plataforma garantizando un modelado adecuado.

A continuación se proporciona una imagen del ensamblaje final en Fusion 360, donde cada banderín representa un par cinemático:

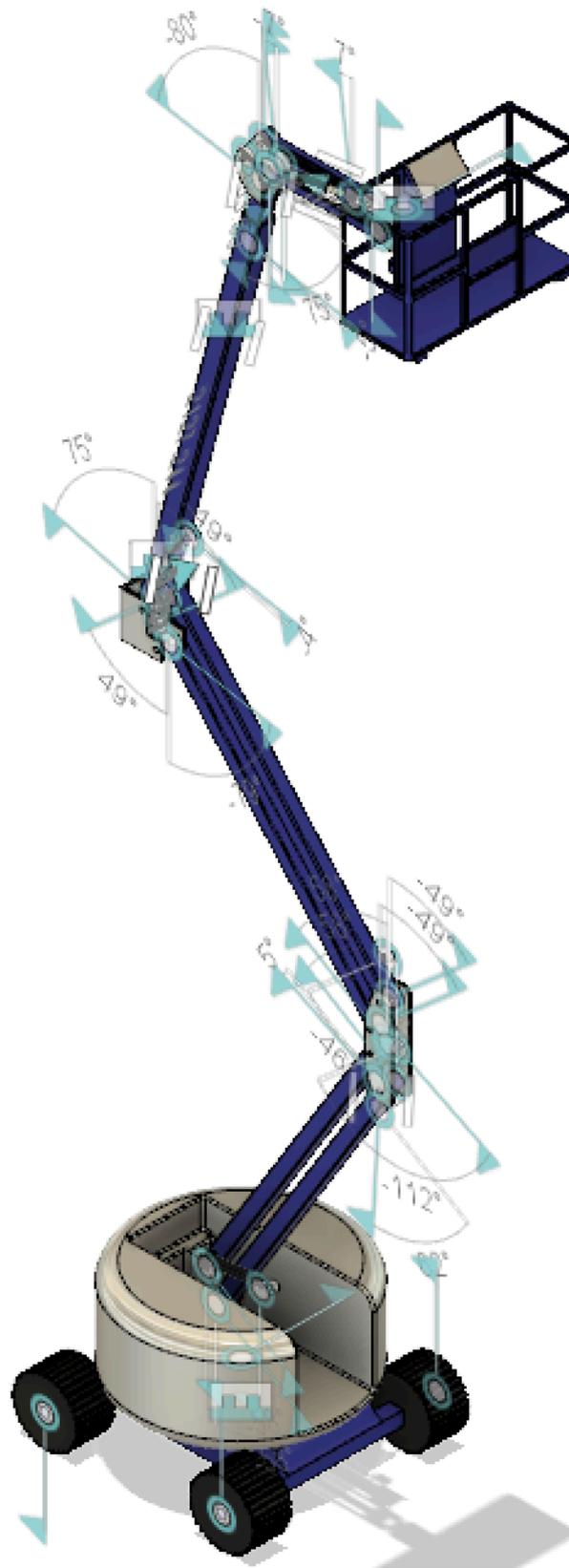


Figura 5.9 – Ensamblaje final en Fusion 360

5.2.2. Ensamblaje en Adams

Una vez realizado el ensamblaje completo en Autodesk Fusion 360, se guarda en la posición mostrada anteriormente y se importa al programa *SolidWorks* para exportarlo seguidamente a un archivo con extensión '*Parasolid*' que será el que *Adams* lea de la manera más óptima. *Adams* permite realizar el estudio de posición, velocidad y aceleración para cada uno de los componentes que es uno de los objetivos de este proyecto.

En primer lugar se inicia el programa y se selecciona *New Model*, una vez creado y guardado se importa el archivo del ensamblaje, en formato '*Parasolid*', creado anteriormente mediante la opción *Import*.

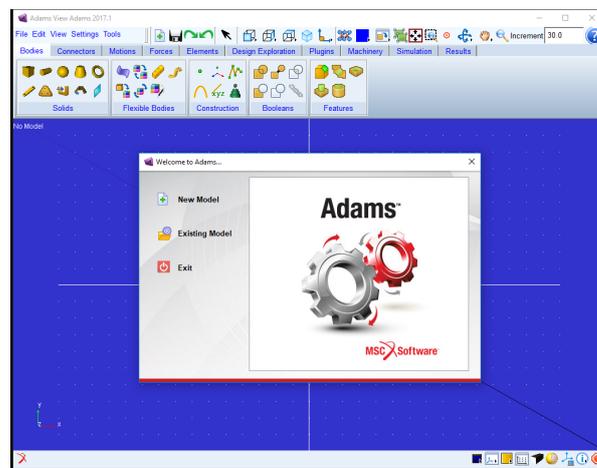


Figura 5.10 – Inicio Adams

A continuación se renombra cada pieza haciendo clic con el botón derecho en *Rename* y se le da el nombre deseado para tener todas las piezas organizadas, ya que a la hora de trabajar será mucho más cómodo e intuitivo.



Figura 5.11 – Listado de piezas en Adams

A continuación se le asigna a cada pieza el material apropiado, en este caso todas las piezas son de acero menos las ruedas que son de goma. Para ello se selecciona la pieza, se hace clic con el botón derecho y se selecciona la opción *Modify*, una vez aquí se selecciona *Geometry and Material Type* y en *Material Type* se hace clic con el botón derecho y se selecciona *Material* → *Guesses* → *Steel*.

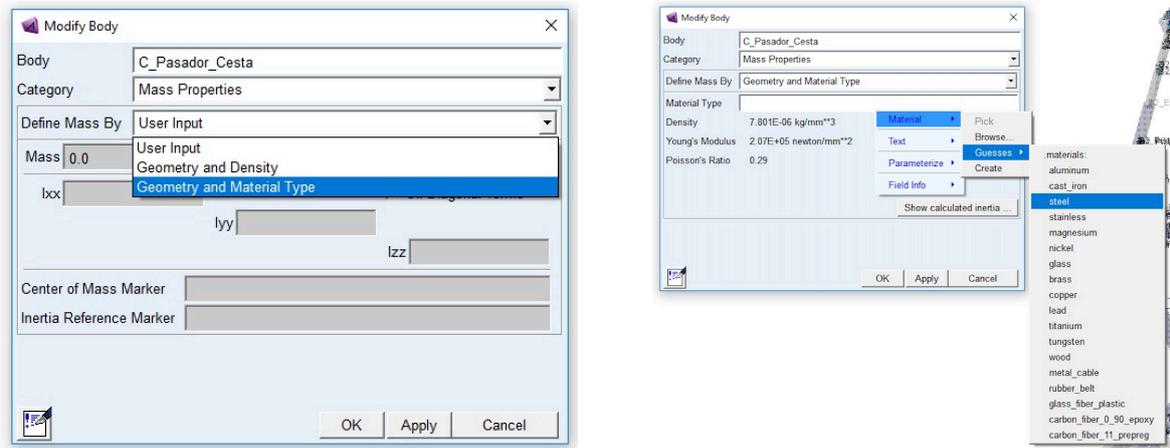


Figura 5.12 – Ensamblaje final en Fusion 360

A continuación se crean *Markers* (marcadores) en los lugares donde tienen que ir los pares entre piezas. Para ello se selecciona *Bodies* → *Construction* → *Marker*.

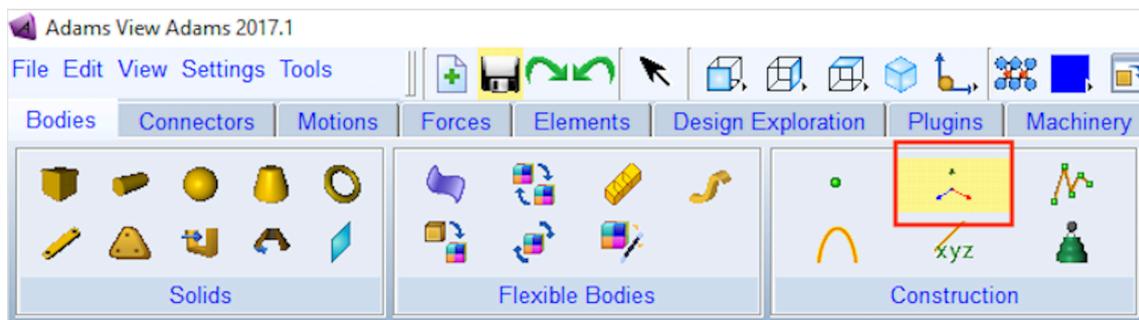


Figura 5.13 – Selección herramienta Marker

En opciones se escoge *Add to Part + Global orientation XY Plane*, consecutivamente se hace clic la pieza en la que se va a introducir el marcador y se busca el lugar deseado moviendo el ratón sobre la pieza, si no es posible encontrar dicho lugar se hace clic con el botón derecho en la pieza, se selecciona *Modify* y en la opción de *Location* se modifican sus coordenadas.

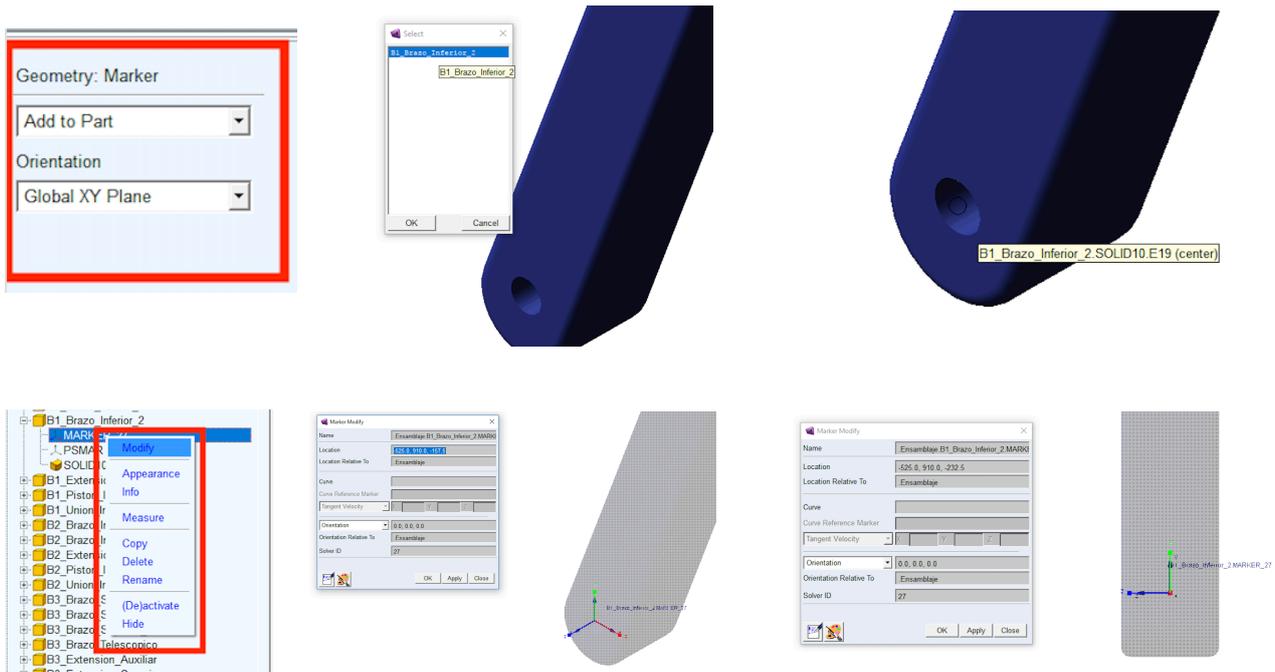


Figura 5.14 – Creación de un Marker

Una vez establecidos todos los *Markers* se procede a formar todas las uniones descritas anteriormente ahora en *Adams*. Llegados a este punto y dado que el proceso de ensamblaje es muy repetitivo se describe únicamente la creación una unión de cada tipo:

- **Rigid Joint – Unión Rígida:**

Primero se selecciona el menú de *Connectors*, seguidamente la herramienta *Create a Rigid Joint* y en opciones se escoge *2 Bodies - 1 Location + Normal to grid*. A continuación se escogen las dos piezas entre las que se quiere realizar la unión y finalmente se selecciona el *Marker* donde se quiere establecer dicha unión.

- **Revolute Joint – Par de Revolución (R):**

En primer lugar se selecciona el menú de *Connectors*, seguidamente la herramienta *Create a Revolute Joint* y en opciones se escoge *2 Bodies - 1 Location + Normal to grid*. A continuación se escoge en primer lugar la pieza conducida y en segundo lugar la conductora. Finalmente se selecciona el *Marker* donde se quiere establecer la unión.

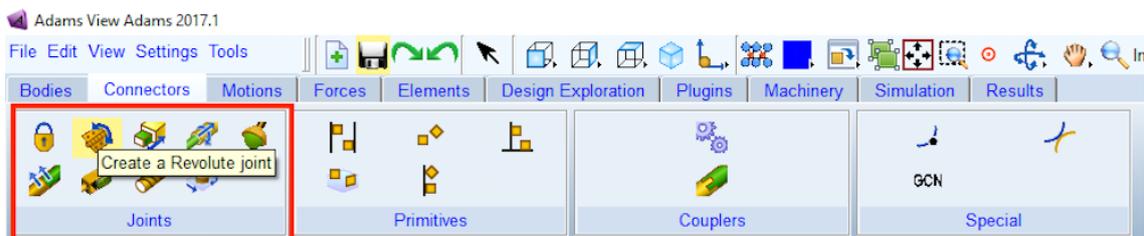


Figura 5.15 – Selección de la herramienta par de revolución

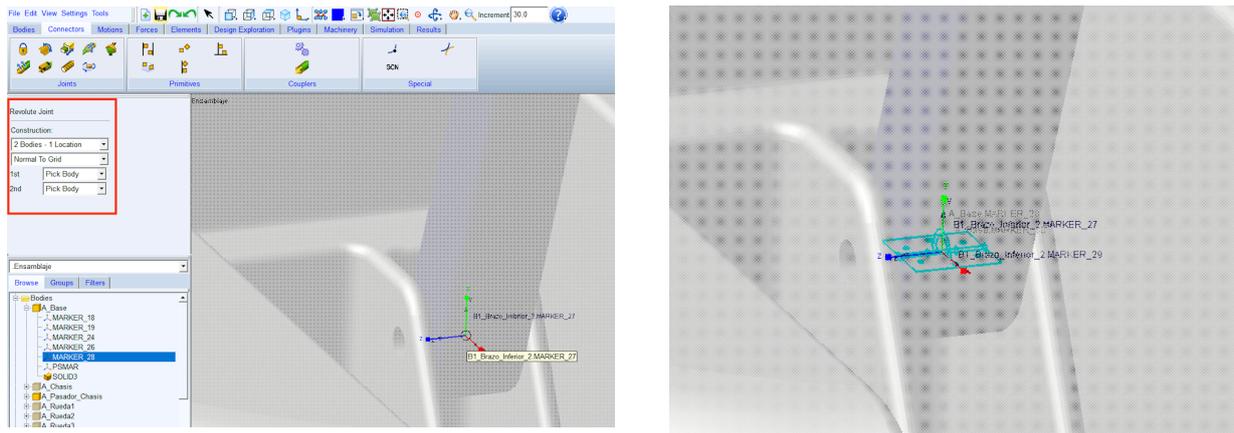


Figura 5.16 – Creación de un par de revolución

- **Slider – Par Prismático (P):**

Primero se selecciona el menú de *Connectors*, seguidamente la herramienta *Create a Slider Joint* y en opciones se escoge *2 Bodies - 1 Location + Normal to grid*. A continuación se escoge en primer lugar la pieza conducida y en segundo lugar la conductora. Finalmente se selecciona el *Marker* donde se quiere establecer la unión y la dirección de esta.

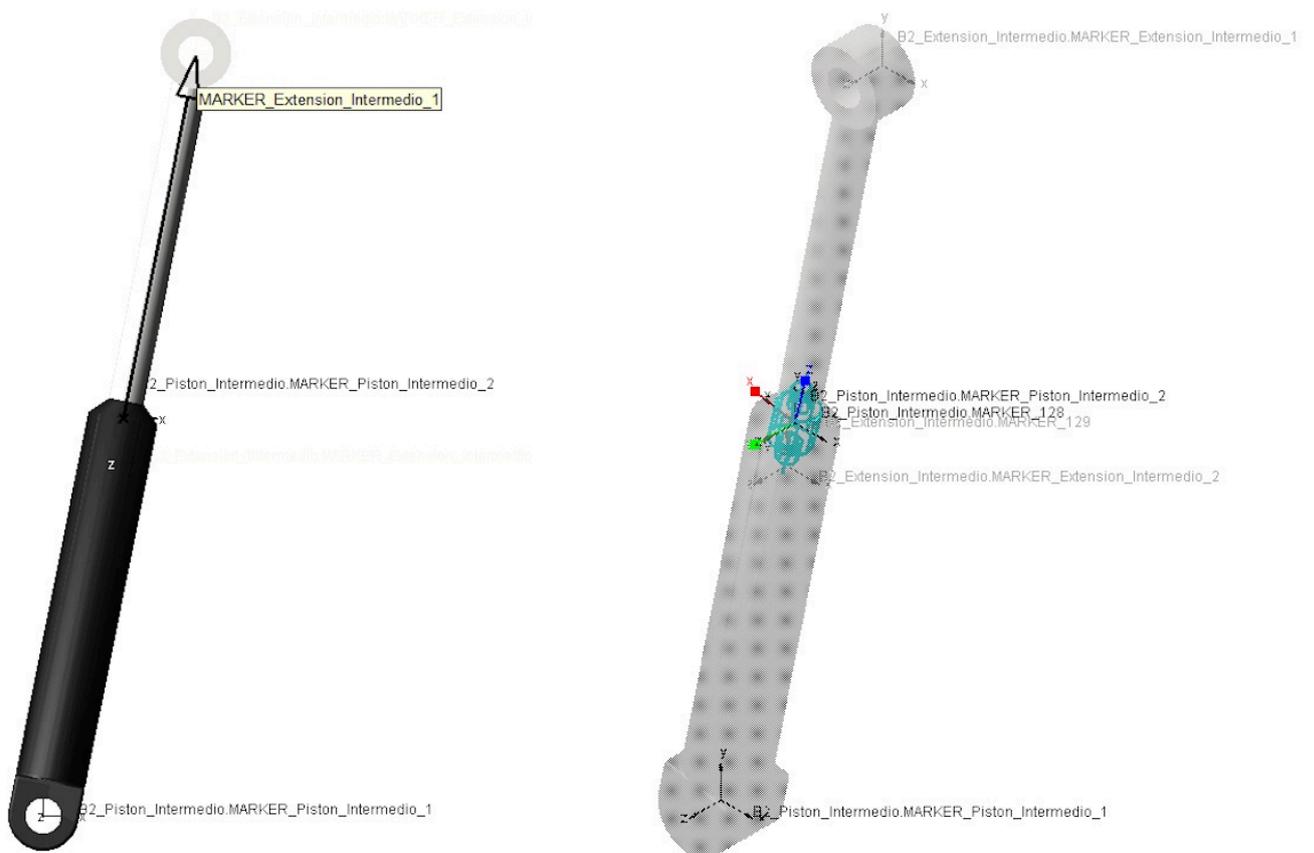


Figura 5.17 – Creación de un par prismático

Una vez creadas todas la uniones el ensamblaje ya esta completo y queda de la siguiente manera:

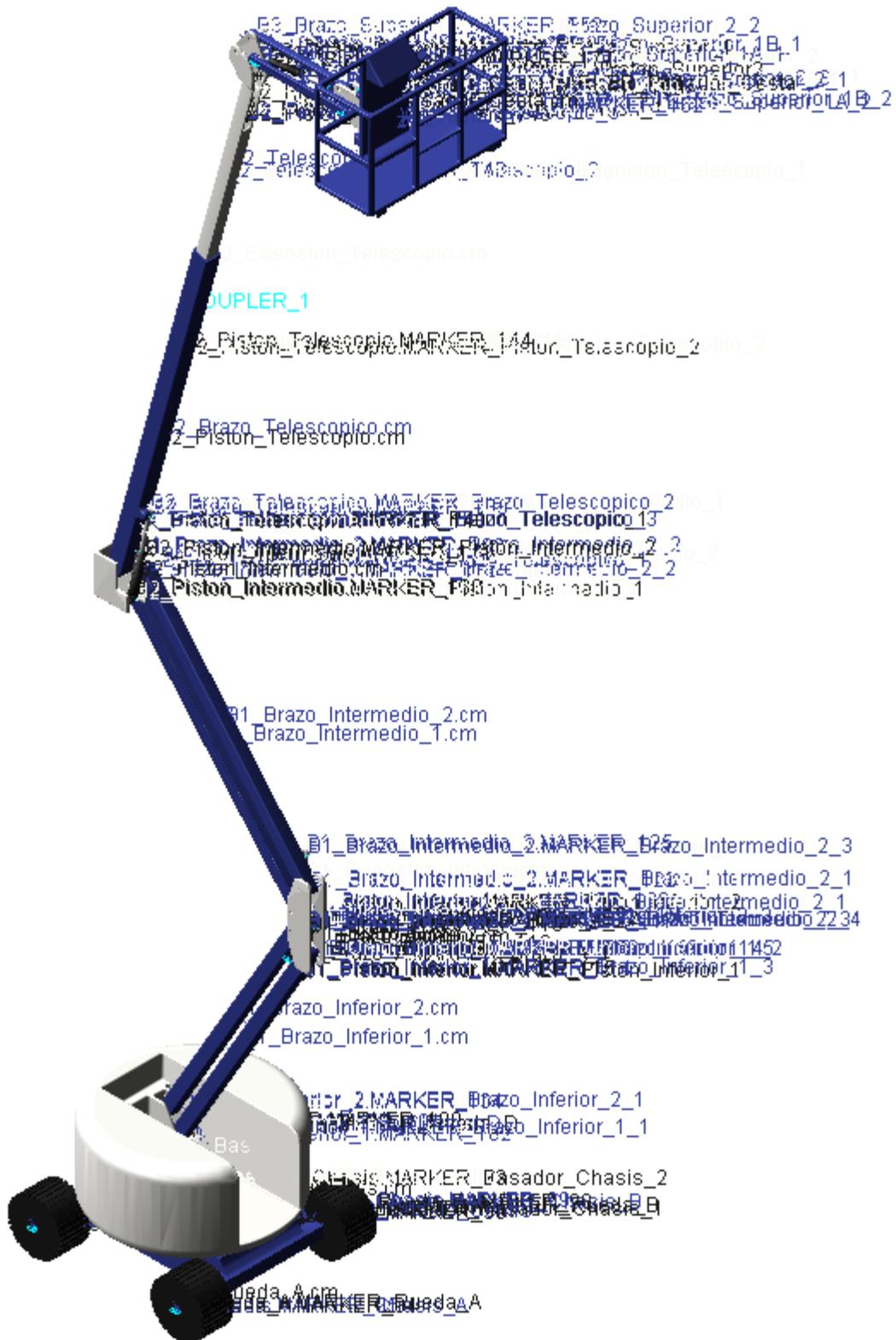


Figura 5.18 – Ensamblaje final en MSC ADAMS

5.3. Mecanismos

A continuación se describen los mecanismos presentes en la plataforma a través de los cuales esta consigue sus diferentes movimientos.

5.3.1. Cuadrilátero Articulado

Uno de los mecanismos articulados (unidos por pares R o P) más ampliamente utilizado es el mecanismo denominado de cuatro barras o cuadrilátero articulado (Figura 5.1). Este mecanismo está constituido por cuatro barras, tres de ellas móviles, unidas entre sí por pares de revolución y con una configuración en cadena cinemática cerrada.

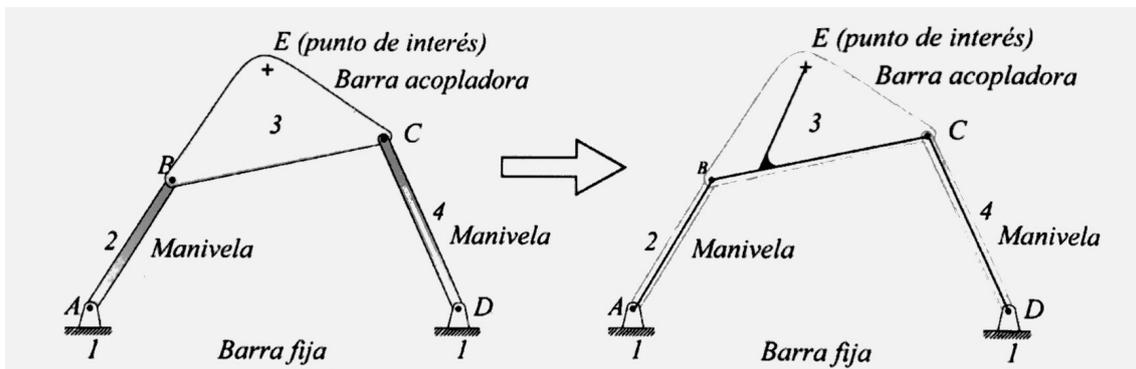


Figura 5.19 – Cuadrilátero articulado

En la figura anterior se muestra el posible esquema cinemático de un cuadrilátero articulado. Se trata de un mecanismo plano con una única cadena cinemática cerrada, tiene un único grado de libertad y todos sus pares son de revolución (Tipo R).

El cuadrilátero articulado se puede encontrar formando parte de una gran variedad de maquinas, desde los más pequeños instrumentos hasta el equipamiento más pesado. La función que realiza es muy amplia, pudiéndose clasificar de un modo general en:

- Coordinación de las barras de entrada y de salida (barras conectadas con la barra fija).
- Guiado de la barra acopladora (colocar dicha barra en una determinada posición en el plano).
- Guiado de un punto del acoplador (hacer que se mueva a lo largo de una trayectoria).

Clasificación de los mecanismos de cuatro barras:

Los mecanismos articulados de cuatro barras se pueden clasificar en dos categorías atendiendo a si alguno de sus elementos puede efectuar una rotación completa:

- **CLASE I:** Al menos una de las barras del mecanismo puede realizar una rotación completa (*mecanismos de manivela*).
- **CLASE II:** Ninguna de las barras del mecanismo puede realizar una rotación completa (*mecanismos de balancín*).

La *Ley de Grashof* proporciona un medio para averiguar la clase a la que pertenece un mecanismo articulado de cuatro barras con sólo conocer sus dimensiones y disposición. Si un cuadrilátero no cumple dicho teorema pertenece a la clase II.

Para los mecanismos de cuatro barras, la *Ley de Grashof* afirma que la barra más corta de un mecanismo de cuatro barras da vueltas enteras respecto a todas las otras si se cumple que la suma de la longitud de la barra más larga (l) y la de la más corta (s) es más pequeña o igual que la suma de las longitudes de las otras dos p y q : $s + l \leq p + q$.

Una ***inversión cinemática*** es cada uno de los diferentes mecanismos que se pueden obtener con una cadena cinemática al hacer fijo un eslabón diferente de la cadena. En un cuadrilátero articulado que cumple la *Ley de Grashof* se puede distinguir entre :

- ***Mecanismos de doble manivela:*** Si el soporte del mecanismo es la barra menor(s), las dos barras contiguas a él, actúan de manivelas (Clase I).
- ***Mecanismos de manivela-balancín:*** Si la barra fija es una de las barras contiguas a la menor (s), la barra menor actúa de manivela y la opuesta de balancín (Clase I).
- ***Mecanismos de doble balancín:*** Cuando un mecanismo no cumple una de las condiciones anteriores, las dos barras que giran respecto a la barra fija se comportan como balancines (Clase II).
- ***Paralelogramo articulado:*** Mecanismo donde cada barra es igual a su opuesta, la barra fija es igual a la biela, y la manivela (barra conductora) es igual a la manivela (barra conducida). En este tipo de mecanismos las dos barras contiguas al soporte son manivelas (*mecanismos de doble manivela*).

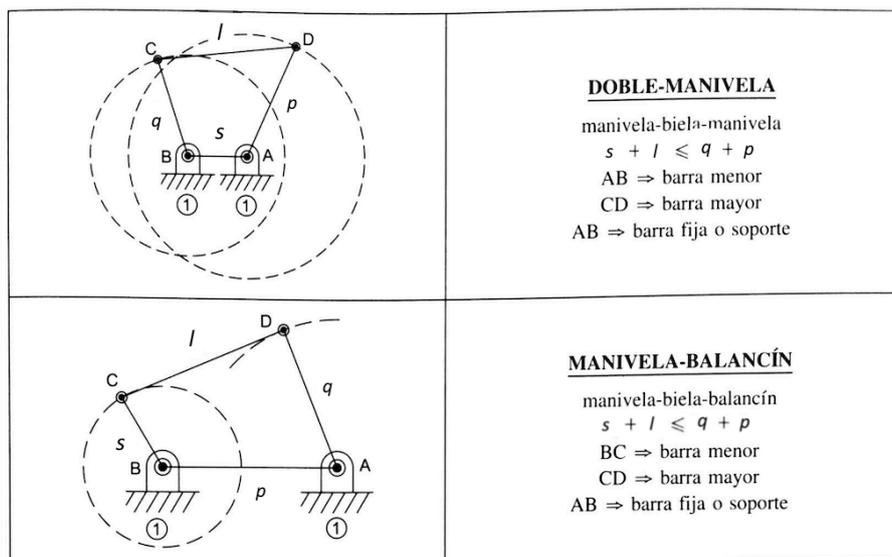


Figura 5.20 (a) – Tipos de cuadrilátero articulado

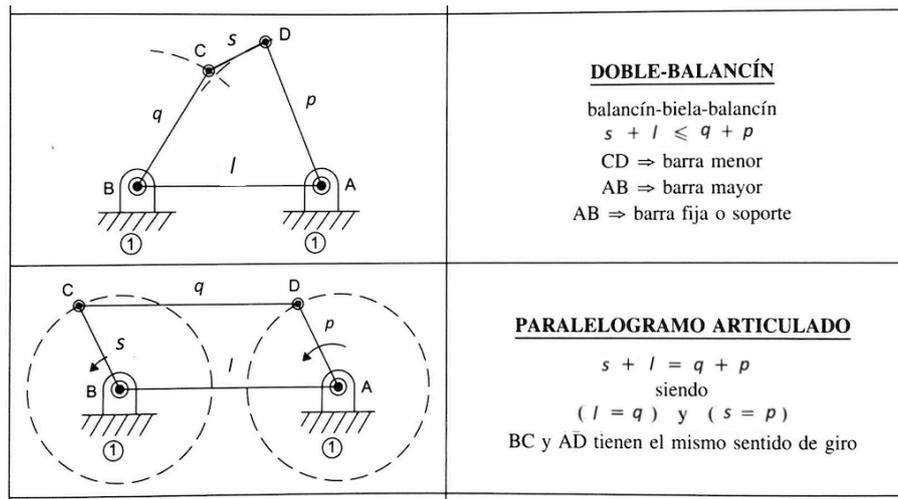


Figura 5.20 (b) – Tipos de cuadrilátero articulado

En la plataforma a analizar este mecanismo se encuentra tres veces en forma de **paralelogramo articulado**:

- Base - Brazos Inferiores – Unión Inferior:

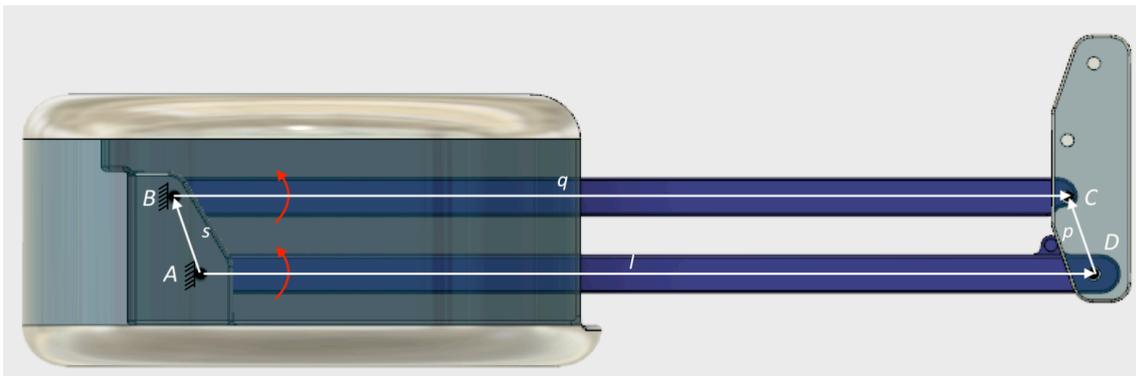


Figura 5.21 – Paralelogramo articulado en los Brazos Inferiores

- Unión Inferior - Brazos Intermedios - Unión Intermedio:

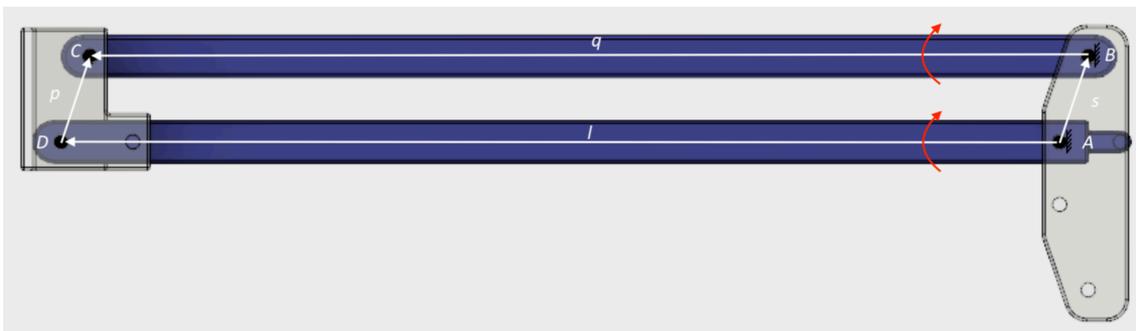


Figura 5.22 – Paralelogramo articulado en los Brazos Intermedios

- *Unión Superior – Brazos Superiores – Unión Cesta:*

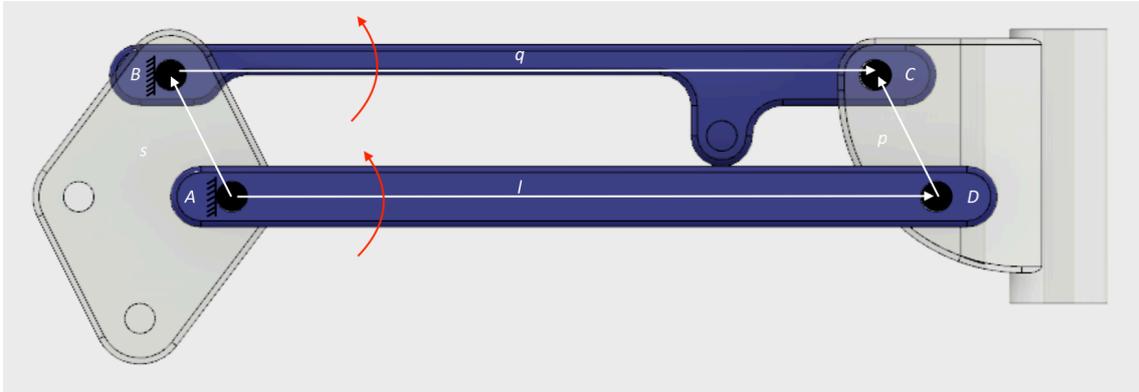


Figura 5.23 – Paralelogramo articulado en los Brazos Superiores

Además también existe un cuadrilátero articulado de **balancín - balancín** entre *Brazos Inferior (1) - Unión Intermedia - Brazos A y B – Brazo Intermedio (1)* que permite el movimiento simultaneo de los dos cuadriláteros articulados el inferior y el superior:

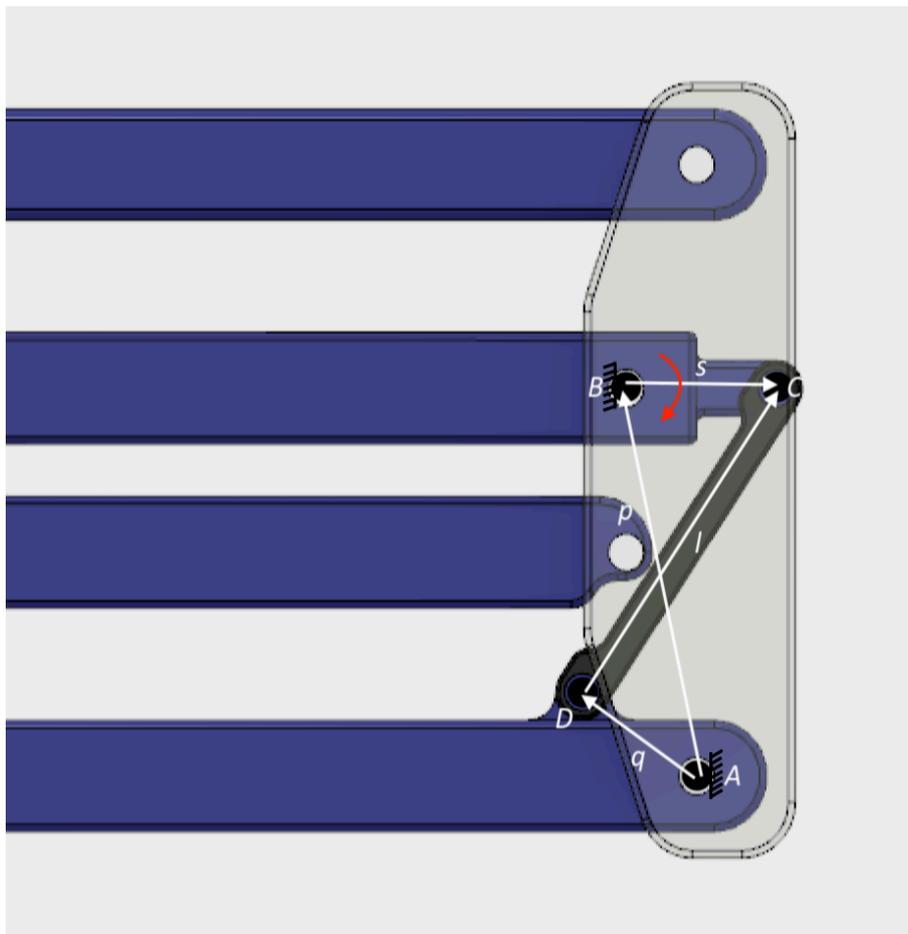


Figura 5.24 – Cuadrilátero articulado manivela - balancín

5.3.2. Biela – Manivela – Deslizadera

Aparte del cuadrilátero articulado, el otro mecanismo empleado con más frecuencia es el triángulo articulado con un lado de longitud variable. Es un ejemplo el mecanismo *Biela – Manivela – Deslizadera*.

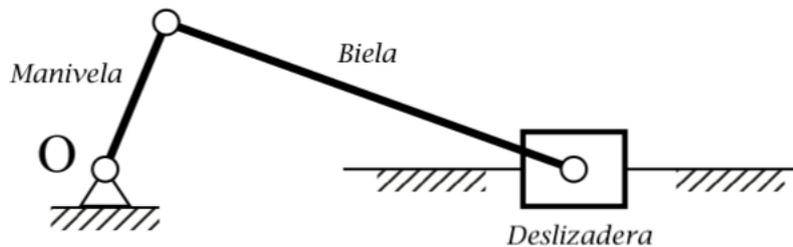


Figura 5.25 - Mecanismo Biela – Manivela - Deslizadera

En la figura anterior se muestra el posible esquema cinemático de este mecanismo. Esta constituido también por cuatro barras, pero a diferencia del anterior, uno de los pares que las unen es prismático con guía recta (Tipo *P*). Se trata de un mecanismo plano, de un grado de libertad, con configuración en cadena cinemática cerrada.

Este mecanismo se utiliza, por ejemplo, en motores y compresores alternativos para convertir el movimiento rotativo de la manivela en movimiento de translación alternativo del pistón, o viceversa. Para que la manivela pueda dar vueltas enteras, debe cumplir la condición evidente de que esta sea menor o igual a la biela.

Inversiones del Biela – Manivela – Deslizadera:

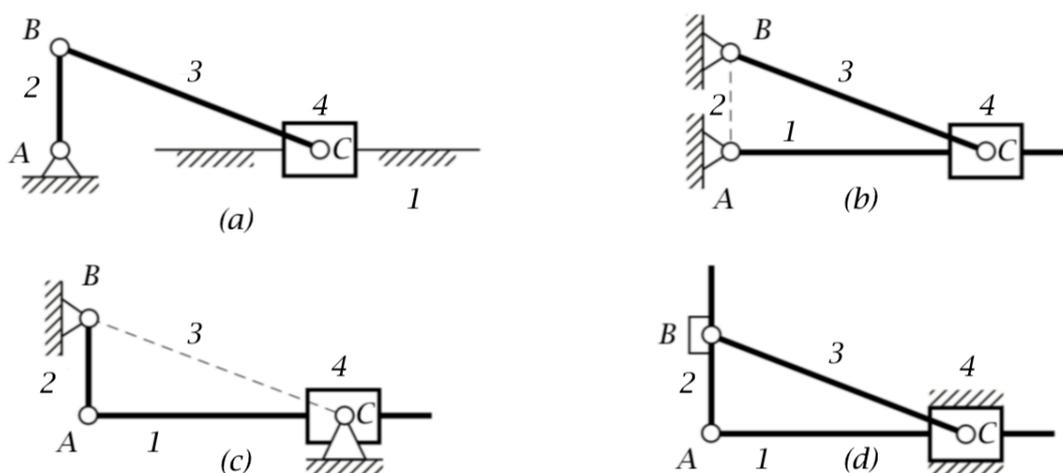


Figura 5.26 - Las cuatro inversiones del mecanismo Biela – Manivela – Deslizadera

- En la *figura 5.26 (a)* se presenta el mecanismo básico de *biela – manivela – deslizadera*, tal y como se encuentra en la mayor parte de los motores de combustión interna de hoy en día. El eslabón 4, el pistón, es impulsado por las gases en expansión y constituye la entrada; el eslabón 2, la manivela, es la salida impulsada; y el marco de referencia es el bloque del cilindro, el eslabón 1. Al invertir los papeles de la entrada y la salida, este mismo mecanismo puede servir como compresora.
- En la *figura 5.26 (b)* se ilustra la misma cadena cinemática sólo que ahora se ha invertido y el eslabón 2 queda estacionario. El eslabón 1, que antes era el de referencia, gira ahora en torno a la revolvente en A. Esta inversión del mecanismo de corredera-manivela se utilizó como base del motor rotatorio empleado en los primeros aviones.
- En la *figura 5.26 (c)* aparece otra inversión de la misma cadena, compuesta por el eslabón 3, que antes era la biela, y que en estas circunstancias actúa como eslabón de referencia. Este mecanismo se usó para impulsar las ruedas de las primeras locomotoras de vapor, siendo el eslabón 2 una rueda.
- La cuarta y última inversión de la cadena *figura 5.26 (d)* tiene al pistón, el eslabón 4, estacionario. Aunque no se encuentra en motores, si se hace girar la figura 90° en el mismo sentido del movimiento de las manecillas del reloj, este mecanismo se puede reconocer como parte de una bomba de agua para jardín. Se observará en esta figura que el par prismático que conecta los eslabones 1 y 4 está también invertido, es decir, se han invertido los elementos "interior" y "exterior" del par.

En la plataforma a analizar este mecanismo se encuentra tres veces en la inversión **(b)**: un esquema de este mecanismo a analizar puede verse en la *figura 5.27*. El cilindro hidráulico está articulado en O_2 con la *barra fija* y en A con la *barra 4*; la *barra 4* también se encuentra articulada con la *barra fija* en O_4 ; entre el cuerpo y el vástago del cilindro hidráulico existe un par prismático de guía recta.

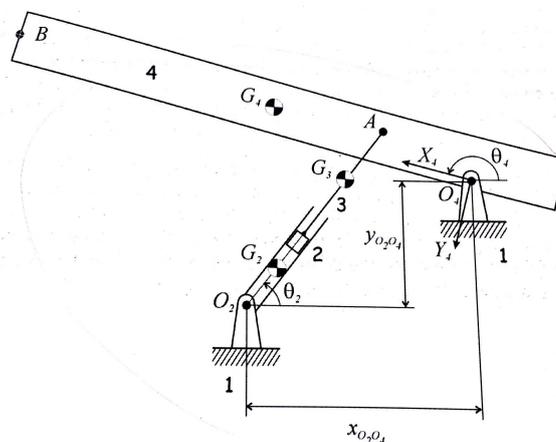


Figura 5.27 - Esquema del mecanismo

- Pistón *Intermedio*:

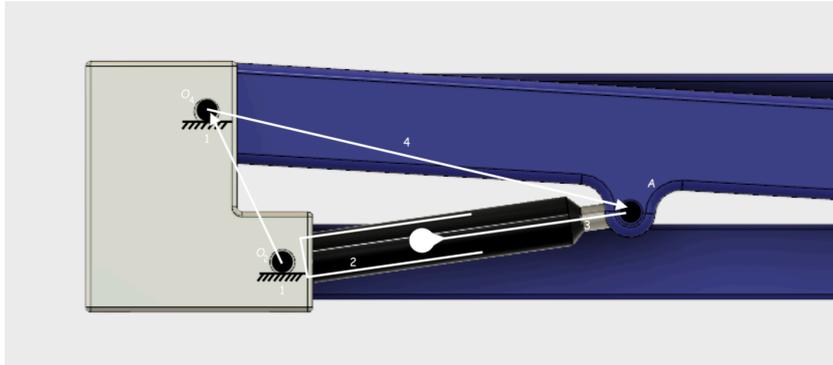


Figura 5.28 – Mecanismo biela – manivela -deslizadora pistón intermedio

- Pistón *Superior*:

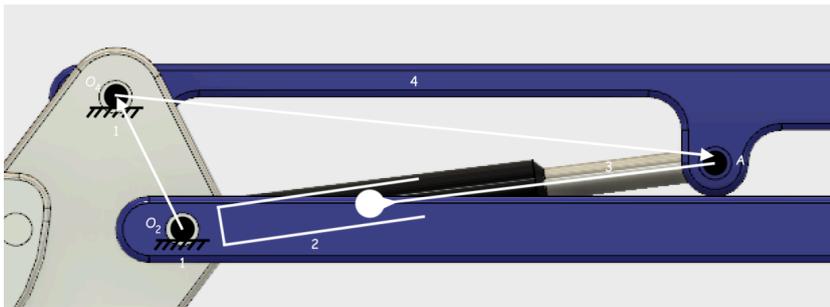


Figura 5.29 – Mecanismo biela – manivela -deslizadora pistón superior

- Pistón *Unión*:

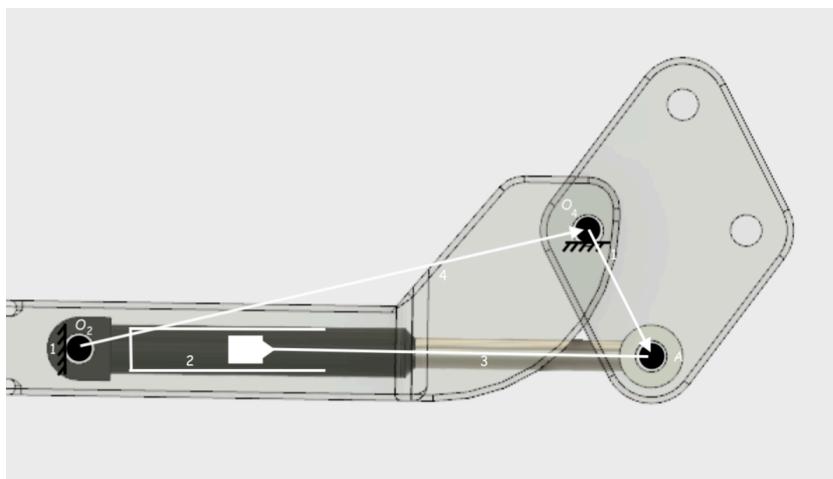


Figura 5.30 – Mecanismo biela – manivela -deslizadora pistón unión

5.3.3. Otros

- Mecanismo Inferior Completo:

Se presenta un mecanismo compuesto por 7 barras (*Brazo Inferior 1 – Brazo Inferior 2 – Brazo Intermedio 1 – Brazo Intermedio 2 – Unión Inferior – Pistón Inferior – Brazos A y B*) que permite mediante la extensión del actuador, el movimiento de tres cuadriláteros articulados. Se trata de un mecanismo de un único grado de libertad.

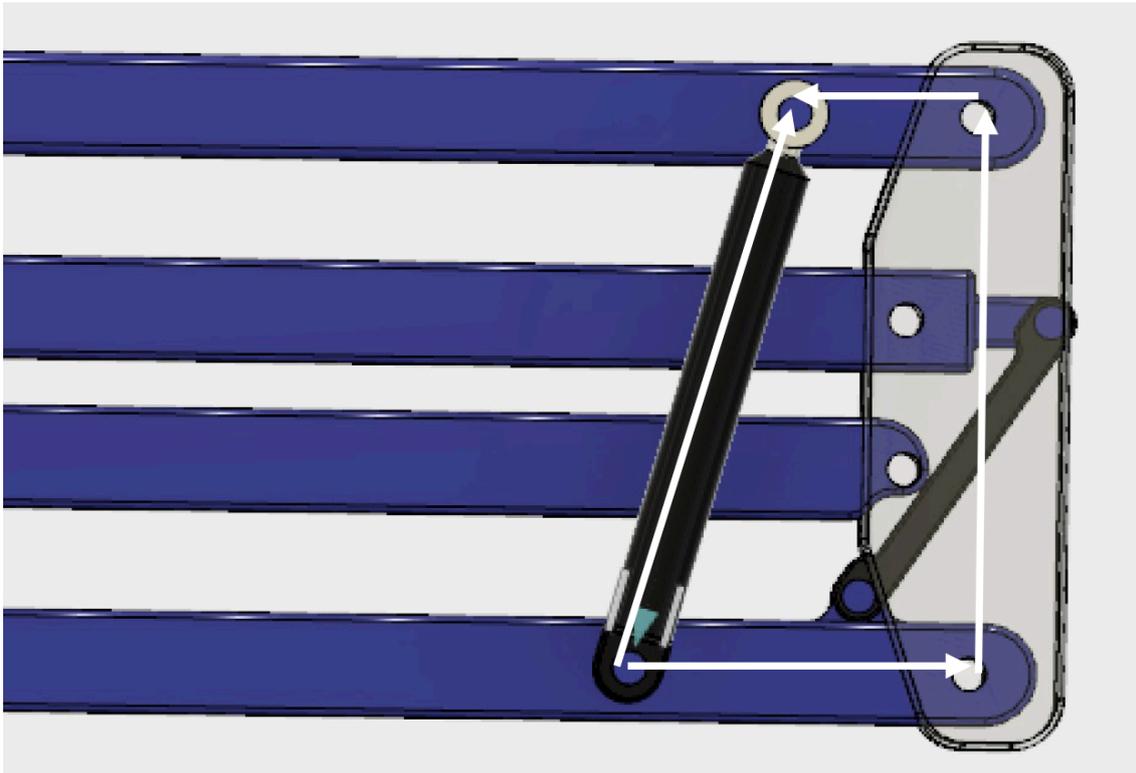


Figura 5.31 – Mecanismo Adicional

- Pistón Telescopio:

Se trata de un actuador hidráulico formado por una camisa y un vástago. Este mecanismo está formado únicamente por un par prismático, así pues, solo tiene un grado de libertad que permite únicamente movimiento de traslación en la dirección de la guía.



Figura 5.32 – Mecanismo pistón telescopio

6. MODELO MATEMÁTICO

En primer lugar cabe comentar que la formulación utilizada para obtener las ecuaciones del mecanismo es la que se utiliza para mecanismos planos por ordenador y no se ha visto durante el grado. Así pues servirá como ampliación de conocimientos tanto *Teoría de maquinas y mecanismos* como en *Simulación de dinámica de sistemas multicuerpo*.

Este estudio se realizará para dar una visión teórica al modelo, no se sacarán valores de velocidades y aceleraciones puesto que el estudio se basa fundamentalmente en el diseño estructural del mecanismo.

De todas formas, se desarrollarán las ecuaciones que definen el movimiento del mecanismo como son las de posición, velocidad y aceleración, por si se desea comparar con exactitud las velocidades y aceleraciones logradas por el sistema. Para realizar este estudio utilizaremos la teoría de lazos que relaciona posiciones mediante las coordenadas de *Lagrange*.

Las coordenadas de *Lagrange* son un sistema de coordenadas que permite obtener un modelo matemático de un mecanismo, es decir, un sistema de ecuaciones que lo modeliza. Las coordenadas que se utilizan son de dos tipos: independientes (q_i), en un número igual al de grados de libertad del mecanismo, y dependientes o secundarias (s_j), que completan la ubicación de todas las barras del mecanismo. Las coordenadas independientes se suelen asociar a las barras de entrada del mecanismo. Las ecuaciones que relacionan las coordenadas independientes y las secundarias son las de restricción y se obtienen a partir de la definición de lazos de vectores asociados a las barras y pares cinemáticos del mecanismo.

El método utilizado para resolver el problema de posición permite relacionar los vectores que definen la distancia entre los pares de revolución y prismáticos con los ángulos de las barras que conforman el mecanismo. Con esta información se puede obtener la posición de un punto cualquiera.

Si el estudio es correcto, la posición que da el método numérico tendrá que coincidir con los datos obtenidos con *Adams*, sabiendo que podrán existir errores tanto en la medida de las barras como en la resolución de las ecuaciones.

Para obtener este estudio, es necesario definir previamente los lazos independientes del mecanismo, el que permitirá obtener las ecuaciones de restricción del sistema. Estos lazos se utilizan para conocer las magnitudes dependientes e independientes del mecanismo.

Teniendo en cuenta esta información, se define qué magnitudes en cuanto a posición y giro son variables o constantes. En el mecanismo hay cuatro lazos independientes y cuatro lazos que dependen directamente de los otros cuatro.

A continuación se muestra un esquema de cómo se han numerado los lazos para la obtención de las ecuaciones de la máquina.

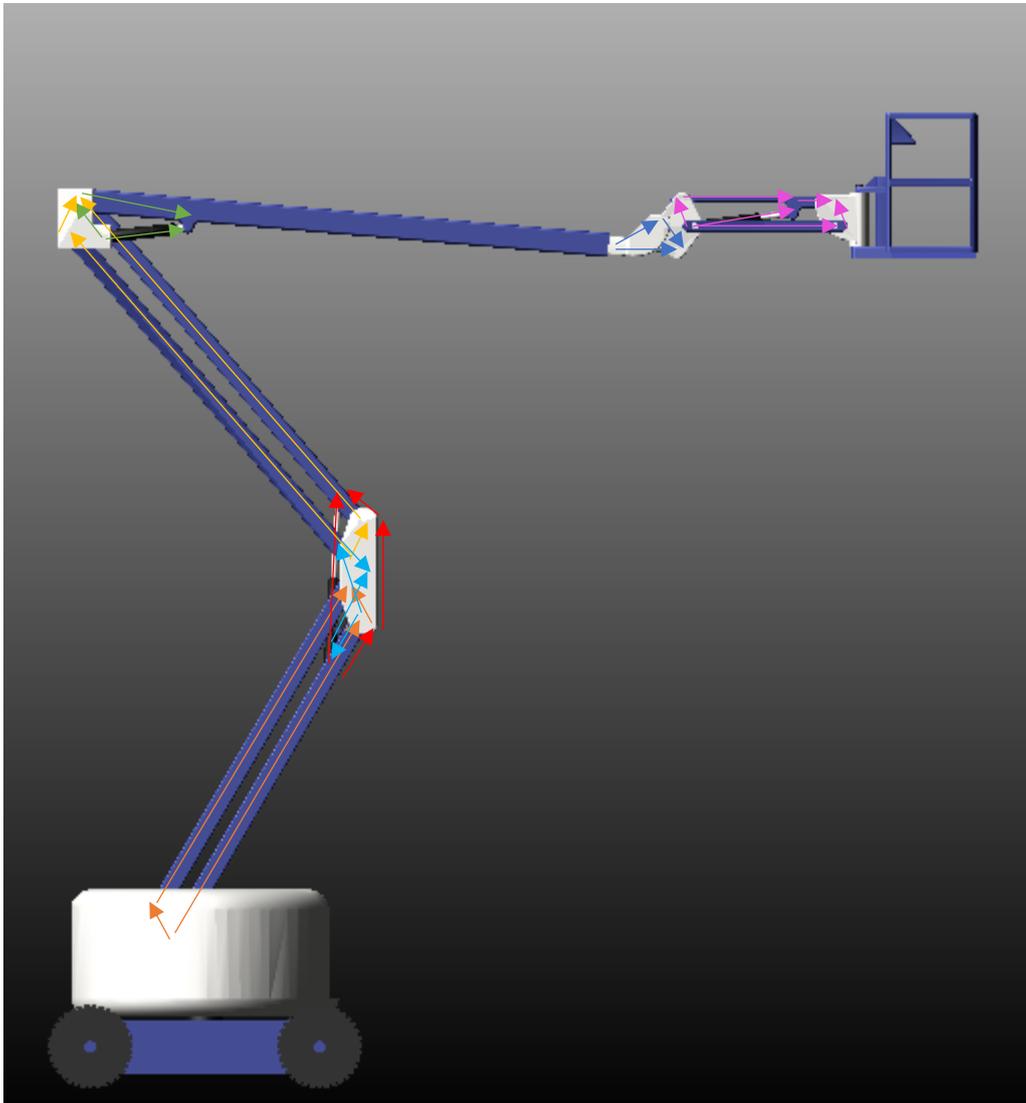


Figura 6.1 – Esquema de lazos en la plataforma

LAZO 1	
LAZO 2	
LAZO 3	
LAZO 4	
LAZO 5	
LAZO 6	
LAZO 7	

Para realizar el pertinente estudio, se definen que vectores conforman cada lazo para estudiarlos independientemente. Si alguna barra forma más de un vector se nombrará con una extensión, como por ejemplo $r1''$.

Las ecuaciones forman un sistema de ecuaciones lineal mediante la teoría expuesta de *Newton-Raphson*, que definirá las ecuaciones de restricción del sistema modelado.

Primeramente se tendrá que definir las variables del sistema, fijándose en el módulo (longitud) y la orientación (giros) del mecanismo. Seguidamente se resuelve el sistema de ecuaciones.

Para tener más claro el proceso de estudio, se hará una tabla para describir los movimientos y distancias de cada vector. Las distancias están extraídas directamente del programa '*Fusion 360*'.

La ecuación que define cada vector es: $r_n = r_n \cdot \cos(\theta_x) \cdot \vec{i} + r_n \cdot \sin(\theta_x) \cdot \vec{j}$

- **LAZO 1:**

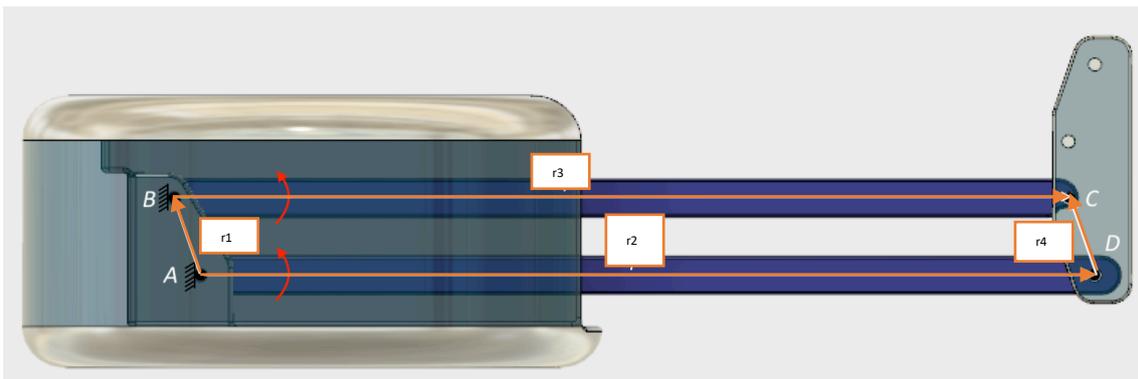


Figura 6.2 – Esquema de lazos en la plataforma

VECTOR	INICIO	FIN	MÓDULO	ORIENTACIÓN	DISTANCIA (mm)
\vec{r}_1	A	B	CONSTANTE	CONSTANTE	316,228
\vec{r}_2	A	D	CONSTANTE	VARIABLE	3385
\vec{r}_3	B	C	CONSTANTE	VARIABLE	3385
\vec{r}_4	D	C	CONSTANTE	CONSTANTE	316,228

Se observa que:

$$\vec{r}_1 = \vec{r}_4 \quad \theta_1 = \theta_4$$

$$\vec{r}_2 = \vec{r}_3 \quad \theta_2 = \theta_3$$

Se consideran las siguientes coordenadas: $\{q_1, s_1, s_2\} = \{\theta_2, \theta_3, r_1\}$

➤ Posición:

Las ecuaciones de lazo vectorial determinan la posición de los vectores:

$$\vec{r}_1 + \vec{r}_3 = \vec{r}_2 + \vec{r}_4 \rightarrow \vec{r}_1 + \vec{r}_2 = \vec{r}_2 + \vec{r}_1 \quad \text{dónde:}$$

$$\vec{r}_1 = r_1 \cdot \cos(\theta_1) \cdot \vec{i} + r_1 \cdot \sin(\theta_1) \cdot \vec{j}$$

$$\vec{r}_2 = r_2 \cdot \cos(\theta_2) \cdot \vec{i} + r_2 \cdot \sin(\theta_2) \cdot \vec{j}$$

$$\vec{r}_3 = r_3 \cdot \cos(\theta_3) \cdot \vec{i} + r_3 \cdot \sin(\theta_3) \cdot \vec{j} \rightarrow \vec{r}_3 = r_2 \cdot \cos(\theta_2) \cdot \vec{i} + r_2 \cdot \sin(\theta_2) \cdot \vec{j}$$

$$\vec{r}_4 = r_4 \cdot \cos(\theta_4) \cdot \vec{i} + r_4 \cdot \sin(\theta_4) \cdot \vec{j} \rightarrow \vec{r}_4 = r_1 \cdot \cos(\theta_1) \cdot \vec{i} + r_1 \cdot \sin(\theta_1) \cdot \vec{j}$$

Si se sustituyen las variables en las ecuaciones anteriores se tiene que:

$$\vec{r}_1 = s_2 \cdot \cos(\theta_1) \cdot \vec{i} + s_2 \cdot \sin(\theta_1) \cdot \vec{j}$$

$$\vec{r}_2 = r_2 \cdot \cos(q_1) \cdot \vec{i} + r_2 \cdot \sin(q_1) \cdot \vec{j}$$

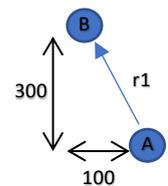
$$\vec{r}_3 = r_2 \cdot \cos(q_1) \cdot \vec{i} + r_2 \cdot \sin(q_1) \cdot \vec{j}$$

$$\vec{r}_4 = s_2 \cdot \cos(\theta_1) \cdot \vec{i} + s_2 \cdot \sin(\theta_1) \cdot \vec{j}$$

Sustituyendo en la ecuación vectorial esta se anula ya que se trata de un cuadrilátero articulado al tener los lados iguales dos a dos. Solamente hay una coordenada independiente (q_1) y una dependiente (θ_1).

Por trigonometría se obtiene el Angulo girado por la barra 1 (θ_1):

$$\theta_1 = \arctan\left(\frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}\right) = \arctan\left(\frac{300 - 0}{0 - 100}\right) = -71,565^\circ$$



• **LAZO 2:**

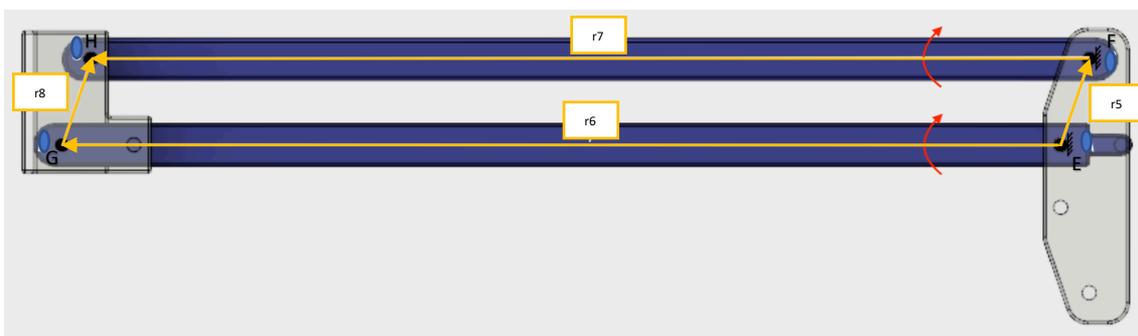


Figura 6.3 – Obtención del lazo 2

VECTOR	INICIO	FIN	MÓDULO	ORIENTACIÓN	DISTANCIA (mm)
\vec{r}_5	E	F	CONSTANTE	CONSTANTE	316,228
\vec{r}_6	E	H	CONSTANTE	VARIABLE	3485
\vec{r}_7	F	G	CONSTANTE	VARIABLE	3485
\vec{r}_8	H	G	CONSTANTE	CONSTANTE	316,228

Se observa que:

$$\vec{r}_5 = \vec{r}_8 \quad \theta_5 = \theta_8$$

$$\vec{r}_6 = \vec{r}_7 \quad \theta_6 = \theta_7$$

Se consideran las siguientes coordenadas: $\{q_2, s_3, s_4\} = \{\theta_6, \theta_7, r_5\}$

➤ Posición:

Las ecuaciones de lazo vectorial determinan la posición de los vectores:

$$\vec{r}_5 + \vec{r}_7 = \vec{r}_6 + \vec{r}_8 \rightarrow \vec{r}_5 + \vec{r}_6 = \vec{r}_6 + \vec{r}_5 \quad \text{dónde:}$$

$$\vec{r}_5 = r_5 \cdot \cos(\theta_5) \cdot \vec{i} + r_5 \cdot \sin(\theta_5) \cdot \vec{j}$$

$$\vec{r}_6 = r_6 \cdot \cos(\theta_6) \cdot \vec{i} + r_6 \cdot \sin(\theta_6) \cdot \vec{j}$$

$$\vec{r}_7 = r_7 \cdot \cos(\theta_7) \cdot \vec{i} + r_7 \cdot \sin(\theta_7) \cdot \vec{j} \rightarrow \vec{r}_7 = r_6 \cdot \cos(\theta_6) \cdot \vec{i} + r_6 \cdot \sin(\theta_6) \cdot \vec{j}$$

$$\vec{r}_8 = r_8 \cdot \cos(\theta_8) \cdot \vec{i} + r_8 \cdot \sin(\theta_8) \cdot \vec{j} \rightarrow \vec{r}_8 = r_5 \cdot \cos(\theta_5) \cdot \vec{i} + r_5 \cdot \sin(\theta_5) \cdot \vec{j}$$

Si se sustituyen las variables en las ecuaciones anteriores se tiene que:

$$\vec{r}_5 = s_4 \cdot \cos(\theta_5) \cdot \vec{i} + s_4 \cdot \sin(\theta_5) \cdot \vec{j}$$

$$\vec{r}_6 = r_2 \cdot \cos(q_2) \cdot \vec{i} + r_2 \cdot \sin(q_2) \cdot \vec{j}$$

$$\vec{r}_7 = r_2 \cdot \cos(q_2) \cdot \vec{i} + r_2 \cdot \sin(q_2) \cdot \vec{j}$$

$$\vec{r}_8 = s_4 \cdot \cos(\theta_5) \cdot \vec{i} + s_4 \cdot \sin(\theta_5) \cdot \vec{j}$$

Sustituyendo en la ecuación vectorial esta se anula ya que se trata de un cuadrilátero articulado al tener los lados iguales dos a dos. Solamente hay una coordenada independiente (q_1) y una dependiente (θ_1).

Por trigonometría se puede obtener el Angulo girado por la *barra 5* (θ_5):

$$\theta_1 = \arctan\left(\frac{y_F - y_E}{x_F - x_E}\right) = \arctan\left(\frac{820 - 520}{100 - 0}\right) = 71,565^\circ$$

- **LAZO 3:**

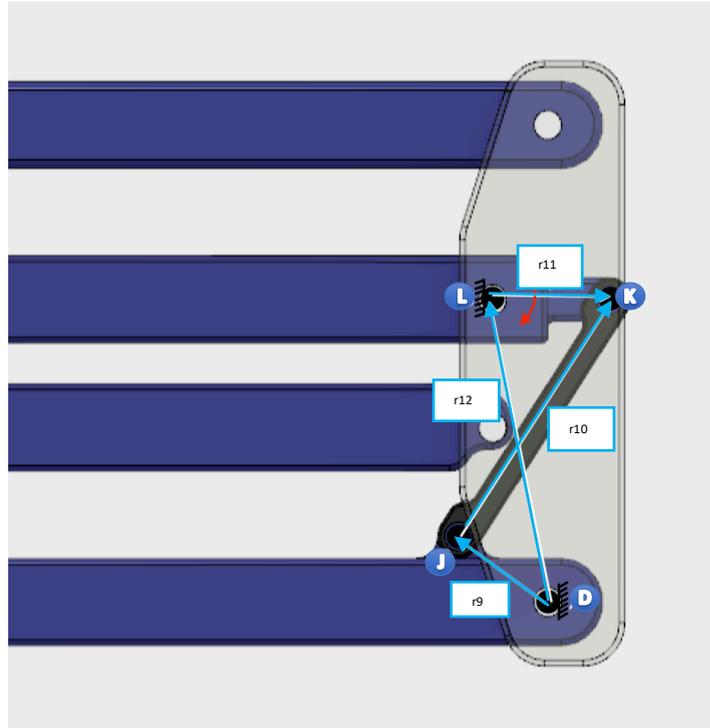


Figura 6.4 – Obtención del lazo 3

VECTOR	INICIO	FIN	MÓDULO	ORIENTACIÓN	DISTANCIA (mm)
\vec{r}_9	D	J	CONSTANTE	VARIABLE	197,642
\vec{r}_{10}	J	K	CONSTANTE	VARIABLE	491,61
\vec{r}_{11}	L	K	CONSTANTE	VARIABLE	212,5
\vec{r}_{12}	D	L	CONSTANTE	CONSTANTE	529,528

Se consideran las siguientes coordenadas: $\{q_3, s_5, s_6\} = \{\theta_9, \theta_{10}, \theta_{11}\}$

➤ Posición:

Ecuación de lazo vectorial: $\vec{r}_9 + \vec{r}_{10} = \vec{r}_{12} + \vec{r}_{11}$ dónde (sustituyendo)

$$\begin{aligned} \vec{r}_9 &= r_9 \cdot \cos(\theta_9) \cdot \vec{i} + r_9 \cdot \sin(\theta_9) \cdot \vec{j} \quad \rightarrow \vec{r}_9 = r_9 \cdot \cos(q_3) \cdot \vec{i} + r_9 \cdot \sin(q_3) \cdot \vec{j} \\ \vec{r}_{10} &= r_{10} \cdot \cos(\theta_{10}) \cdot \vec{i} + r_{10} \cdot \sin(\theta_{10}) \cdot \vec{j} \rightarrow \vec{r}_{10} = r_{10} \cdot \cos(s_5) \cdot \vec{i} + r_{10} \cdot \sin(s_5) \cdot \vec{j} \\ \vec{r}_{11} &= r_{11} \cdot \cos(\theta_{11}) \cdot \vec{i} + r_{11} \cdot \sin(\theta_{11}) \cdot \vec{j} \rightarrow \vec{r}_{11} = r_{11} \cdot \cos(s_6) \cdot \vec{i} + r_{11} \cdot \sin(s_6) \cdot \vec{j} \\ \vec{r}_{12} &= r_{12} \cdot \cos(\theta_{12}) \cdot \vec{i} + r_{12} \cdot \sin(\theta_{12}) \cdot \vec{j} \end{aligned}$$

Sustituyendo en la ecuación vectorial de restricción inicial $\vec{r}_9 + \vec{r}_{10} = \vec{r}_{12} + \vec{r}_{11}$:

$$\begin{aligned} x) \quad & r_9 \cdot \cos(q_3) + r_{10} \cdot \cos(s_5) - r_{12} \cdot \cos(\theta_{12}) - r_{11} \cdot \cos(s_6) = 0 \\ y) \quad & r_9 \cdot \sin(q_3) + r_{10} \cdot \sin(s_5) - r_{12} \cdot \sin(\theta_{12}) - r_{11} \cdot \sin(s_6) = 0 \end{aligned}$$

➤ Velocidad:

Las ecuaciones para las velocidades se obtienen derivando las ecuaciones de posición respecto del tiempo. Como el tiempo no es una variable explícita de las ecuaciones, hay que aplicar la regla de la cadena para derivar.

$$x) -r_9 \cdot \sin(q_3) \cdot \dot{q}_3 - r_{10} \cdot \sin(s_5) \cdot \dot{s}_5 + r_{11} \cdot \sin(s_6) \cdot \dot{s}_6 = 0$$

$$y) r_9 \cdot \cos(q_3) \cdot \dot{q}_3 + r_{10} \cdot \cos(s_5) \cdot \dot{s}_5 - r_{11} \cdot \cos(s_6) \cdot \dot{s}_6 = 0$$

➤ Aceleración:

Volviendo a derivar las ecuaciones anteriores respecto del tiempo, se obtienen las expresiones que definen la aceleración del mecanismo.

$$x) -r_9 \cdot \cos(q_3) \cdot \dot{q}_3^2 - r_9 \cdot \sin(q_3) \cdot \ddot{q}_3 - r_{10} \cdot \cos(s_5) \cdot \dot{s}_5^2 - r_{10} \cdot \sin(s_5) \cdot \ddot{s}_5 + r_{11} \cdot \cos(s_6) \cdot \dot{s}_6^2 + r_{11} \cdot \sin(s_6) \cdot \ddot{s}_6 = 0$$

$$y) -r_9 \cdot \sin(q_3) \cdot \dot{q}_3^2 - r_9 \cdot \cos(q_3) \cdot \ddot{q}_3 - r_{10} \cdot \sin(s_5) \cdot \dot{s}_5^2 + r_{10} \cdot \cos(s_5) \cdot \ddot{s}_5 + r_{11} \cdot \sin(s_6) \cdot \dot{s}_6^2 - r_{11} \cdot \cos(s_6) \cdot \ddot{s}_6 = 0$$

Con estas ecuaciones se obtienen las velocidades y aceleraciones de las barras implicadas. Si se desea realizar un estudio detallado de los movimientos estas ecuaciones lo permitirían.

• **LAZO 4:**

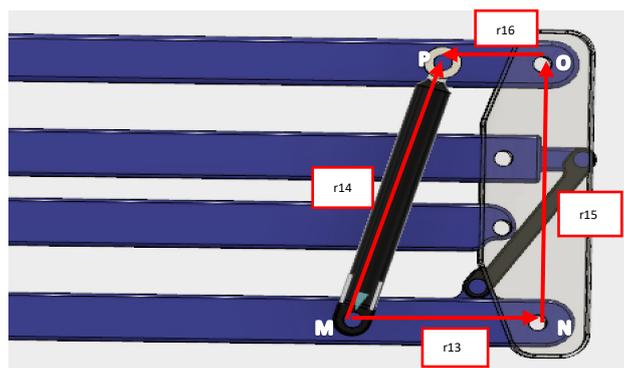


Figura 6.5 – Obtención del lazo 4

VECTOR	INICIO	FIN	MÓDULO	ORIENTACIÓN	DISTANCIA (mm)
\vec{r}_{13}	M	N	CONSTANTE	VARIABLE	500
\vec{r}_{14}	M	P	CONSTANTE	VARIABLE	851,647
\vec{r}_{15}	N	O	CONSTANTE	VARIABLE	820
\vec{r}_{16}	O	P	CONSTANTE	CONSTANTE	270

Se observa que:

$$\begin{aligned}\theta_{13} &= \theta_2 \\ \theta_{16} &= 180 - \theta_2 = \theta_7 \\ \theta_{15} &= 90^\circ\end{aligned}$$

Se consideran las siguientes coordenadas: $\{q_4, s_7, s_8\} = \{r_{14}, \theta_{14}, \theta_{13}\}$

Recordando que $\theta_{13} = \theta_2 = q_1$ y que $\theta_{16} = \theta_7 = s_3$

➤ Posición:

Ecuación de lazo vectorial: $\vec{r}_{14} = \vec{r}_{13} + \vec{r}_{15} + \vec{r}_{16}$ dónde (sustituyendo)

$$\begin{aligned}\vec{r}_{13} &= r_{13} \cdot \cos(\theta_{13}) \cdot \vec{i} + r_{13} \cdot \sin(\theta_{13}) \cdot \vec{j} \rightarrow \vec{r}_{13} = r_{13} \cdot \cos(q_1) \cdot \vec{i} + r_{13} \cdot \sin(q_1) \cdot \vec{j} \\ \vec{r}_{14} &= r_{14} \cdot \cos(\theta_{14}) \cdot \vec{i} + r_{14} \cdot \sin(\theta_{14}) \cdot \vec{j} \rightarrow \vec{r}_{14} = q_4 \cdot \cos(s_7) \cdot \vec{i} + q_4 \cdot \sin(s_7) \cdot \vec{j} \\ \vec{r}_{15} &= r_{15} \cdot \cos(\theta_{15}) \cdot \vec{i} + r_{15} \cdot \sin(\theta_{15}) \cdot \vec{j} \rightarrow \vec{r}_{15} = r_{15} \cdot \cos(90^\circ) \cdot \vec{i} + r_{15} \cdot \sin(90^\circ) \cdot \vec{j} \\ \vec{r}_{16} &= r_{16} \cdot \cos(\theta_{16}) \cdot \vec{i} + r_{16} \cdot \sin(\theta_{16}) \cdot \vec{j} \rightarrow \vec{r}_{16} = r_{16} \cdot \cos(s_3) \cdot \vec{i} + r_{16} \cdot \sin(s_3) \cdot \vec{j}\end{aligned}$$

Sustituyendo en la ecuación vectorial de restricción inicial $\vec{r}_{14} = \vec{r}_{13} + \vec{r}_{15} + \vec{r}_{16}$:

$$x) q_4 \cdot \cos(s_7) - r_{13} \cdot \cos(q_1) - r_{15} \cdot \cos(90) - r_{16} \cdot \cos(s_3) = 0$$

$$y) q_4 \cdot \sin(s_7) - r_{13} \cdot \sin(q_1) - r_{15} \cdot \sin(90) - r_{16} \cdot \sin(s_3) = 0$$

➤ Velocidad:

$$x) \dot{q}_4 \cdot \cos(s_7) - q_4 \cdot \sin(s_7) \cdot \dot{s}_7 + r_{13} \cdot \sin(q_1) \cdot \dot{q}_1 + r_{16} \cdot \sin(s_3) \cdot \dot{s}_3 = 0$$

$$y) \dot{q}_4 \cdot \sin(s_7) + q_4 \cdot \cos(s_7) \cdot \dot{s}_7 - r_{13} \cdot \cos(q_1) \cdot \dot{q}_1 - r_{16} \cdot \cos(s_3) \cdot \dot{s}_3 = 0$$

➤ Aceleración:

$$x) \ddot{q}_4 \cdot \cos(s_7) - 2 \cdot \dot{q}_4 \cdot \sin(s_7) \cdot \dot{s}_7 - q_4 \cdot \cos(s_7) \cdot \dot{s}_7^2 - q_4 \cdot \sin(s_7) \cdot \ddot{s}_7 + r_{13} \cdot \cos(q_1) \cdot \dot{q}_1^2 + r_{13} \cdot \sin(q_1) \cdot \ddot{q}_1 + r_{16} \cdot \cos(s_3) \cdot \dot{s}_3^2 + r_{16} \cdot \sin(s_3) \cdot \ddot{s}_3 = 0$$

$$y) \ddot{q}_4 \cdot \sin(s_7) + 2 \cdot \dot{q}_4 \cdot \cos(s_7) \cdot \dot{s}_7 - q_4 \cdot \sin(s_7) \cdot \dot{s}_7^2 + q_4 \cdot \cos(s_7) \cdot \ddot{s}_7 + r_{13} \cdot \sin(q_1) \cdot \dot{q}_1^2 + r_{13} \cdot \cos(q_1) \cdot \ddot{q}_1 + r_{16} \cdot \sin(s_3) \cdot \dot{s}_3^2 + r_{16} \cdot \cos(s_3) \cdot \ddot{s}_3 = 0$$

En este caso \dot{q}_4 i \ddot{q}_4 representan la velocidad y la aceleración del *pistón inferior*. Las variables s se refieren a la velocidad y la aceleración angular del mecanismo.

- **LAZO 5:**

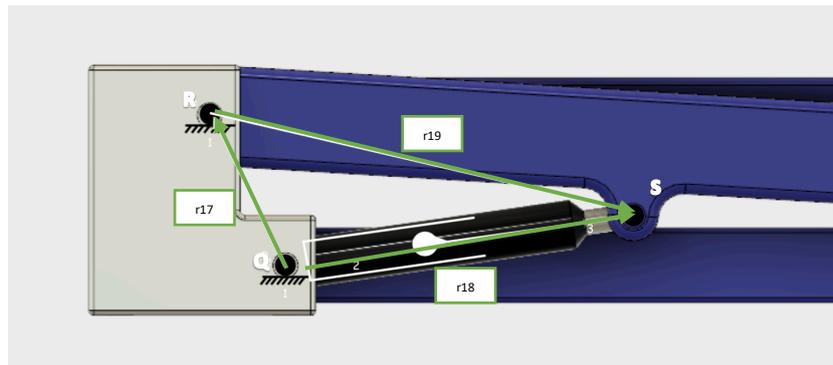


Figura 6.6 – Obtención del lazo 5

VECTOR	INICIO	FIN	MÓDULO	ORIENTACIÓN	DISTANCIA (mm)
\vec{r}_{17}	Q	R	CONSTANTE	VARIABLE	335,41
\vec{r}_{18}	Q	S	VARIABLE	VARIABLE	688,85
\vec{r}_{19}	R	S	CONSTANTE	VARIABLE	863,84

Se consideran las siguientes coordenadas: $\{q_5, s_9, s_{10}\} = \{r_{18}, \theta_{18}, \theta_{19}\}$

➤ Posición:

Ecuación de lazo vectorial: $\vec{r}_{18} = \vec{r}_{17} + \vec{r}_{19}$ dónde (sustituyendo)

$$\begin{aligned} \vec{r}_{17} &= r_{17} \cdot \cos(\theta_{17}) \cdot \vec{i} + r_{17} \cdot \sin(\theta_{17}) \cdot \vec{j} \rightarrow \vec{r}_{17} = r_{17} \cdot \cos(\theta_{17}) \cdot \vec{i} + r_{17} \cdot \sin(\theta_{17}) \cdot \vec{j} \\ \vec{r}_{18} &= r_{18} \cdot \cos(\theta_{18}) \cdot \vec{i} + r_{18} \cdot \sin(\theta_{18}) \cdot \vec{j} \rightarrow \vec{r}_{18} = q_5 \cdot \cos(s_9) \cdot \vec{i} + q_5 \cdot \sin(s_9) \cdot \vec{j} \\ \vec{r}_{19} &= r_{19} \cdot \cos(\theta_{19}) \cdot \vec{i} + r_{19} \cdot \sin(\theta_{19}) \cdot \vec{j} \rightarrow \vec{r}_{19} = r_{19} \cdot \cos(s_{10}) \cdot \vec{i} + r_{19} \cdot \sin(s_{10}) \cdot \vec{j} \end{aligned}$$

Sustituyendo en la ecuación vectorial de restricción inicial $\vec{r}_{18} = \vec{r}_{17} + \vec{r}_{19}$:

$$\begin{aligned} \text{x) } & q_5 \cdot \cos(s_9) - r_{17} \cdot \cos(\theta_{17}) - r_{19} \cdot \cos(s_{10}) = 0 \\ \text{y) } & q_5 \cdot \sin(s_9) - r_{17} \cdot \sin(\theta_{17}) - r_{19} \cdot \sin(s_{10}) = 0 \end{aligned}$$

➤ Velocidad:

$$\begin{aligned} \text{x) } & \dot{q}_5 \cdot \cos(s_9) - q_5 \cdot \sin(s_9) \cdot \dot{s}_9 + r_{19} \cdot \sin(s_{10}) \cdot \dot{s}_{10} = 0 \\ \text{y) } & \dot{q}_5 \cdot \sin(s_9) + q_5 \cdot \cos(s_9) \cdot \dot{s}_9 - r_{19} \cdot \cos(s_{10}) \cdot \dot{s}_{10} = 0 \end{aligned}$$

➤ Aceleración:

$$x) \ddot{q}_5 \cdot \cos(s_9) - 2 \cdot \dot{q}_5 \cdot \sin(s_9) \cdot \dot{s}_9 - q_5 \cdot \cos(s_9) \cdot \dot{s}_9^2 - q_5 \cdot \sin(s_9) \cdot \ddot{s}_9 + r_{19} \cdot \cos(s_{10}) \cdot \dot{s}_{10}^2 + r_{19} \cdot \sin(s_{10}) \cdot \ddot{s}_{10} = 0$$

$$y) \ddot{q}_5 \cdot \sin(s_9) + 2 \cdot \dot{q}_5 \cdot \cos(s_9) \cdot \dot{s}_9 - q_5 \cdot \sin(s_9) \cdot \dot{s}_9^2 + q_5 \cdot \cos(s_9) \cdot \ddot{s}_9 + r_{19} \cdot \sin(s_{10}) \cdot \dot{s}_{10}^2 + r_{19} \cdot \cos(s_{10}) \cdot \ddot{s}_{10} = 0$$

• **LAZO 6:**

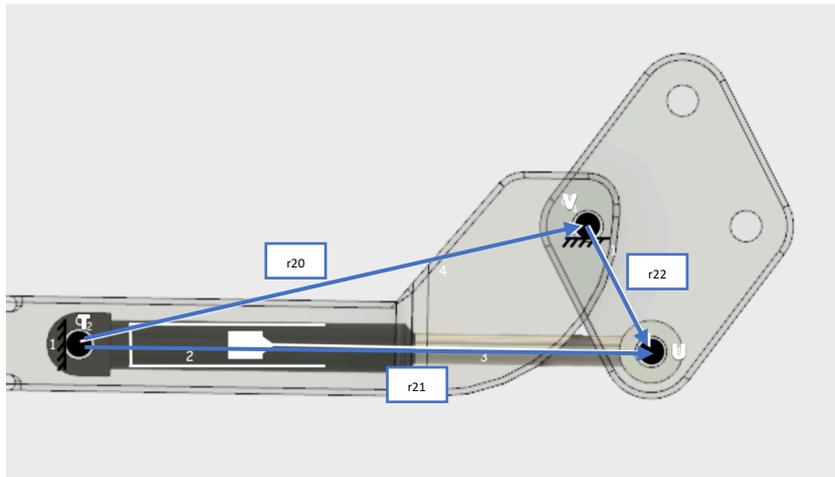


Figura 6.7 – Obtención del lazo 6

VECTOR	INICIO	FIN	MÓDULO	ORIENTACIÓN	DISTANCIA (mm)
\vec{r}_{20}	T	V	CONSTANTE	VARIABLE	826,80
\vec{r}_{21}	T	U	VARIABLE	VARIABLE	917,77
\vec{r}_{22}	V	U	CONSTANTE	VARIABLE	225

Se consideran las siguientes coordenadas: $\{q_6, s_{11}, s_{12}\} = \{r_{21}, \theta_{21}, \theta_{22}\}$

➤ Posición:

Ecuación de lazo vectorial: $\vec{r}_{21} = \vec{r}_{20} + \vec{r}_{22}$ dónde (sustituyendo)

$$\begin{aligned} \vec{r}_{20} &= r_{20} \cdot \cos(\theta_{20}) \cdot \vec{i} + r_{20} \cdot \sin(\theta_{20}) \cdot \vec{j} \rightarrow \vec{r}_{20} = r_{20} \cdot \cos(\theta_{20}) \cdot \vec{i} + r_{20} \cdot \sin(\theta_{20}) \cdot \vec{j} \\ \vec{r}_{21} &= r_{21} \cdot \cos(\theta_{21}) \cdot \vec{i} + r_{21} \cdot \sin(\theta_{21}) \cdot \vec{j} \rightarrow \vec{r}_{21} = q_6 \cdot \cos(s_{11}) \cdot \vec{i} + q_6 \cdot \sin(s_{11}) \cdot \vec{j} \\ \vec{r}_{22} &= r_{22} \cdot \cos(\theta_{22}) \cdot \vec{i} + r_{22} \cdot \sin(\theta_{22}) \cdot \vec{j} \rightarrow \vec{r}_{22} = r_{22} \cdot \cos(s_{12}) \cdot \vec{i} + r_{22} \cdot \sin(s_{12}) \cdot \vec{j} \end{aligned}$$

Sustituyendo en la ecuación vectorial de restricción inicial $\vec{r}_{21} = \vec{r}_{20} + \vec{r}_{22}$:

$$x) q_6 \cdot \cos(s_{11}) - r_{20} \cdot \cos(\theta_{20}) - r_{22} \cdot \cos(s_{12}) = 0$$

$$y) q_6 \cdot \sin(s_{11}) - r_{20} \cdot \sin(\theta_{20}) - r_{22} \cdot \sin(s_{12}) = 0$$

➤ Velocidad:

$$x) \dot{q}_6 \cdot \cos(s_{11}) - q_6 \cdot \sin(s_{11}) \cdot \dot{s}_{11} + r_{22} \cdot \sin(s_{12}) \cdot \dot{s}_{12} = 0$$

$$y) \dot{q}_6 \cdot \sin(s_{11}) + q_6 \cdot \cos(s_{11}) \cdot \dot{s}_{11} - r_{22} \cdot \cos(s_{12}) \cdot \dot{s}_{12} = 0$$

➤ Aceleración:

$$x) \ddot{q}_6 \cdot \cos(s_{11}) - 2 \cdot \dot{q}_6 \cdot \sin(s_{11}) \cdot \dot{s}_{11} - q_6 \cdot \cos(s_{11}) \cdot \dot{s}_{11}^2 - q_6 \cdot \sin(s_{11}) \cdot \ddot{s}_{11} + r_{22} \cdot \cos(s_{12}) \cdot \dot{s}_{12}^2 + r_{22} \cdot \sin(s_{12}) \cdot \ddot{s}_{12} = 0$$

$$y) \ddot{q}_6 \cdot \sin(s_{11}) + 2 \cdot \dot{q}_6 \cdot \cos(s_{11}) \cdot \dot{s}_{11} - q_6 \cdot \sin(s_{11}) \cdot \dot{s}_{11}^2 + q_6 \cdot \cos(s_{11}) \cdot \ddot{s}_{11} + r_{22} \cdot \sin(s_{12}) \cdot \dot{s}_{12}^2 + r_{22} \cdot \cos(s_{12}) \cdot \ddot{s}_{12} = 0$$

• **LAZO 7:**

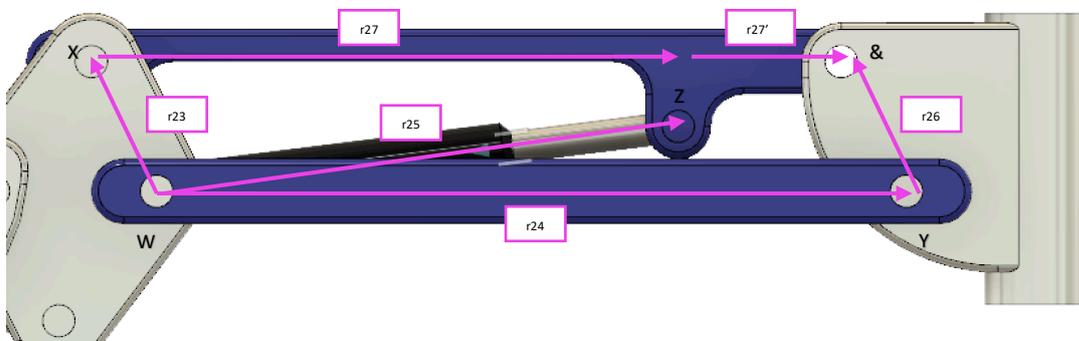


Figura 6.8 – Obtención del lazo 7

VECTOR	INICIO	FIN	MÓDULO	ORIENTACIÓN	DISTANCIA (mm)
\vec{r}_{23}	W	X	CONSTANTE	CONSTANTE	227,16
\vec{r}_{24}	W	Y	CONSTANTE	VARIABLE	1150
\vec{r}_{25}	W	Z	VARIABLE	VARIABLE	810
\vec{r}_{26}	Y	&	CONSTANTE	VARIABLE	227,16
\vec{r}_{27}	X	Z	CONSTANTE	VARIABLE	900
\vec{r}_{27}'	Z	&	CONSTANTE	VARIABLE	250

Se consideran las siguientes coordenadas:

$$\{q_7, s_{13}, s_{14}, s_{15}, s_{16}\} = \{r_{25}, \theta_{25}, \theta_{24}, \theta_{27}, r_{27}\}$$

➤ **Posición:**

Ecuaciones de lazo vectorial:

$$\begin{cases} \vec{r}_{25} = \vec{r}_{23} + \vec{r}_{27} \\ \vec{r}_{25} + \vec{r}_{27}' = \vec{r}_{24} + \vec{r}_{26} \\ \vec{r}_{23} + \vec{r}_{27} + \vec{r}_{27}' = \vec{r}_{24} + \vec{r}_{26} \quad (\text{combinación lineal}) \end{cases}$$

dónde (sustituyendo)

$$\begin{aligned} \vec{r}_{23} &= r_{23} \cdot \cos(\theta_{23}) \cdot \vec{i} + r_{23} \cdot \sin(\theta_{23}) \cdot \vec{j} \rightarrow \vec{r}_{23} = r_{23} \cdot \cos(\theta_{23}) \cdot \vec{i} + r_{23} \cdot \sin(\theta_{23}) \cdot \vec{j} \\ \vec{r}_{24} &= r_{24} \cdot \cos(\theta_{24}) \cdot \vec{i} + r_{24} \cdot \sin(\theta_{24}) \cdot \vec{j} \rightarrow \vec{r}_{24} = r_{24} \cdot \cos(s_{14}) \cdot \vec{i} + r_{24} \cdot \sin(s_{14}) \cdot \vec{j} \\ \vec{r}_{25} &= r_{25} \cdot \cos(\theta_{25}) \cdot \vec{i} + r_{25} \cdot \sin(\theta_{25}) \cdot \vec{j} \rightarrow \vec{r}_{25} = q_7 \cdot \cos(s_{13}) \cdot \vec{i} + q_7 \cdot \sin(s_{13}) \cdot \vec{j} \\ \vec{r}_{26} &= r_{26} \cdot \cos(\theta_{26}) \cdot \vec{i} + r_{26} \cdot \sin(\theta_{26}) \cdot \vec{j} \rightarrow \vec{r}_{26} = r_{26} \cdot \cos(\theta_{26}) \cdot \vec{i} + r_{26} \cdot \sin(\theta_{26}) \cdot \vec{j} \\ \vec{r}_{27} &= r_{27} \cdot \cos(\theta_{27}) \cdot \vec{i} + r_{27} \cdot \sin(\theta_{27}) \cdot \vec{j} \rightarrow \vec{r}_{27} = s_{16} \cdot \cos(s_{15}) \cdot \vec{i} + s_{16} \cdot \sin(s_{15}) \cdot \vec{j} \\ \vec{r}_{27}' &= r_{27}' \cdot \cos(\theta_{27}') \cdot \vec{i} + r_{27}' \cdot \sin(\theta_{27}') \cdot \vec{j} \rightarrow \vec{r}_{27}' = r_{27}' \cdot \cos(\theta_{27}') \cdot \vec{i} + r_{27}' \cdot \sin(\theta_{27}') \cdot \vec{j} \end{aligned}$$

Sustituyendo en las ecuaciones vectoriales de restricción inicial

$$\begin{cases} \vec{r}_{25} = \vec{r}_{23} + \vec{r}_{27} \\ \vec{r}_{25} + \vec{r}_{27}' = \vec{r}_{24} + \vec{r}_{26} \end{cases}$$

$$x_1) \quad q_7 \cdot \cos(s_{13}) - r_{23} \cdot \cos(\theta_{23}) - s_{16} \cdot \cos(s_{15}) = 0$$

$$y_1) \quad q_7 \cdot \sin(s_{13}) - r_{23} \cdot \sin(\theta_{23}) - s_{16} \cdot \sin(s_{15}) = 0$$

$$x_2) \quad q_7 \cdot \cos(s_{13}) + s_{16} \cdot \cos(s_{15}) - r_{24} \cdot \cos(s_{14}) - r_{26} \cdot \cos(\theta_{26}) = 0$$

$$y_2) \quad q_7 \cdot \sin(s_{13}) + s_{16} \cdot \sin(s_{15}) - r_{24} \cdot \sin(s_{14}) - r_{26} \cdot \sin(\theta_{26}) = 0$$

➤ **Velocidad:**

$$x_1) \quad \dot{q}_7 \cdot \cos(s_{13}) - q_7 \cdot \sin(s_{13}) \cdot \dot{s}_{13} - \dot{s}_{16} \cdot \cos(s_{15}) + s_{16} \cdot \sin(s_{15}) \cdot \dot{s}_{15} = 0$$

$$y_1) \quad \dot{q}_7 \cdot \sin(s_{13}) + q_7 \cdot \cos(s_{13}) \cdot \dot{s}_{13} - \dot{s}_{16} \cdot \sin(s_{15}) - s_{16} \cdot \cos(s_{15}) \cdot \dot{s}_{15} = 0$$

$$x_2) \quad \dot{q}_7 \cdot \cos(s_{13}) - q_7 \cdot \sin(s_{13}) \cdot \dot{s}_{13} + \dot{s}_{16} \cdot \cos(s_{15}) - s_{16} \cdot \sin(s_{15}) \cdot \dot{s}_{15} + r_{24} \cdot \sin(s_{14}) \cdot \dot{s}_{14} = 0$$

$$y_2) \quad \dot{q}_7 \cdot \sin(s_{13}) + q_7 \cdot \cos(s_{13}) \cdot \dot{s}_{13} + \dot{s}_{16} \cdot \sin(s_{15}) + s_{16} \cdot \cos(s_{15}) \cdot \dot{s}_{15} - r_{24} \cdot \cos(s_{14}) \cdot \dot{s}_{14} = 0$$

➤ **Aceleración:**

$$x_1) \ddot{q}_7 \cdot \cos(s_{13}) - 2 \cdot \dot{q}_7 \cdot \sin(s_{13}) \cdot \dot{s}_{13} - q_7 \cdot \cos(s_{13}) \cdot \dot{s}_{13}^2 - q_7 \cdot \sin(s_{13}) \cdot \ddot{s}_{13} - \ddot{s}_{16} \cdot \cos(s_{15}) + 2 \cdot \dot{s}_{16} \cdot \sin(s_{15}) \cdot \dot{s}_{15} + s_{16} \cdot \cos(s_{15}) \cdot \dot{s}_{15}^2 + s_{16} \cdot \sin(s_{15}) \cdot \ddot{s}_{15} = 0$$

$$y_1) \ddot{q}_7 \cdot \sin(s_{13}) + 2 \cdot \dot{q}_7 \cdot \cos(s_{13}) \cdot \dot{s}_{13} - q_7 \cdot \sin(s_{13}) \cdot \dot{s}_{13}^2 + q_7 \cdot \cos(s_{13}) \cdot \ddot{s}_{13} - \ddot{s}_{16} \cdot \sin(s_{15}) - 2 \cdot \dot{s}_{16} \cdot \cos(s_{15}) \cdot \dot{s}_{15} + s_{16} \cdot \sin(s_{15}) \cdot \dot{s}_{15}^2 - s_{16} \cdot \cos(s_{15}) \cdot \ddot{s}_{15} = 0$$

$$x_2) \ddot{q}_7 \cdot \cos(s_{13}) - 2 \cdot \dot{q}_7 \cdot \sin(s_{13}) \cdot \dot{s}_{13} - q_7 \cdot \cos(s_{13}) \cdot \dot{s}_{13}^2 - q_7 \cdot \sin(s_{13}) \cdot \ddot{s}_{13} + \ddot{s}_{16} \cdot \cos(s_{15}) - 2 \cdot \dot{s}_{16} \cdot \sin(s_{15}) \cdot \dot{s}_{15} - s_{16} \cdot \cos(s_{15}) \cdot \dot{s}_{15}^2 - s_{16} \cdot \sin(s_{15}) \cdot \ddot{s}_{15} + r_{24} \cdot \cos(s_{14}) \cdot \dot{s}_{14}^2 + r_{24} \cdot \sin(s_{14}) \cdot \ddot{s}_{14} = 0$$

$$y_2) \ddot{q}_7 \cdot \sin(s_{13}) - 2 \cdot \dot{q}_7 \cdot \cos(s_{13}) \cdot \dot{s}_{13} - q_7 \cdot \sin(s_{13}) \cdot \dot{s}_{13}^2 + q_7 \cdot \cos(s_{13}) \cdot \ddot{s}_{13} + \ddot{s}_{16} \cdot \sin(s_{15}) + 2 \cdot \dot{s}_{16} \cdot \cos(s_{15}) \cdot \dot{s}_{15} - s_{16} \cdot \cos(s_{15}) \cdot \dot{s}_{15}^2 + s_{16} \cdot \sin(s_{15}) \cdot \ddot{s}_{15} + r_{24} \cdot \sin(s_{14}) \cdot \dot{s}_{14}^2 - r_{24} \cdot \cos(s_{14}) \cdot \ddot{s}_{14} = 0$$

• **Pistón Telescopio:**

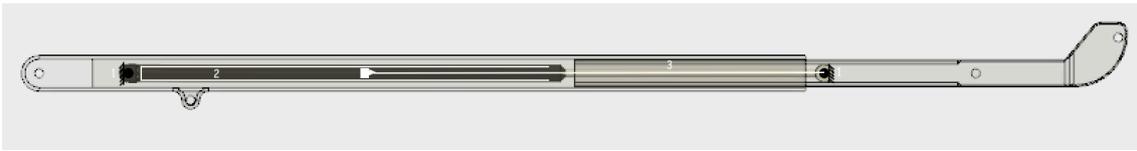


Figura 6.9 – Mecanismo pistón telescópico

Este mecanismo de un único grado de libertad no se trata de un lazo cerrado sino de un vector con un rango de 0-2200 (mm) cuya orientación viene dada por la coordenada θ_{19} en el lazo número cinco.

7. SIMULACIÓN DINÁMICA

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.

Los movimientos se pueden definir en *Adams* con la herramienta “*Motions*”, los cuales se editan con la función *Step5*. La función *Step5* es de la forma (x, x_0, h_0, x_1, h_1) ; donde la variable x se define como “time”, así se controla el tiempo de actuación de cada cilindro, la x_0 dependerá del movimiento anterior y la x_1 dependerá del tiempo donde queremos que pare el movimiento. La otra variable será la “ h ” que define el rango de actuación de cada cilindro. Se expresa en milímetros y permite gran variedad de movimientos. Para ello se va al menú de *Motions* y se selecciona el tipo deseado, traslacional o rotativo. Seguidamente se selecciona el par donde se quiere poner el movimiento y se introduce la ecuación descrita anteriormente. En este caso se añaden cuatro *Motions* en los pares prismáticos de los cilindros y dos rotativos en el par del *Pasador Cesta* y en la *Base*.

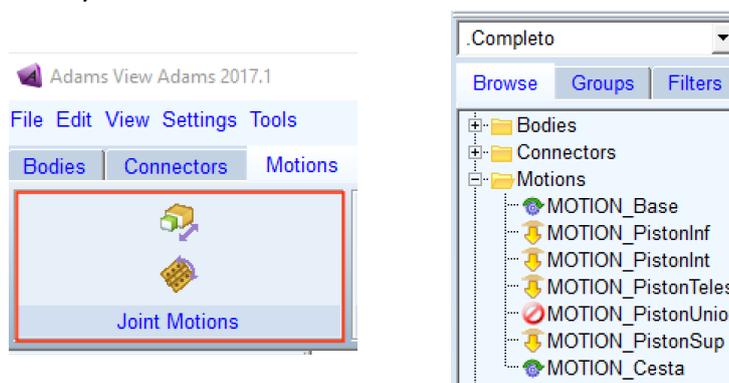


Figura 7.1 – Menú *Motions* y *Motions* empleadas

A continuación se muestra esta información con imágenes recopiladas directamente del programa.

- Pistón *Inferior*:

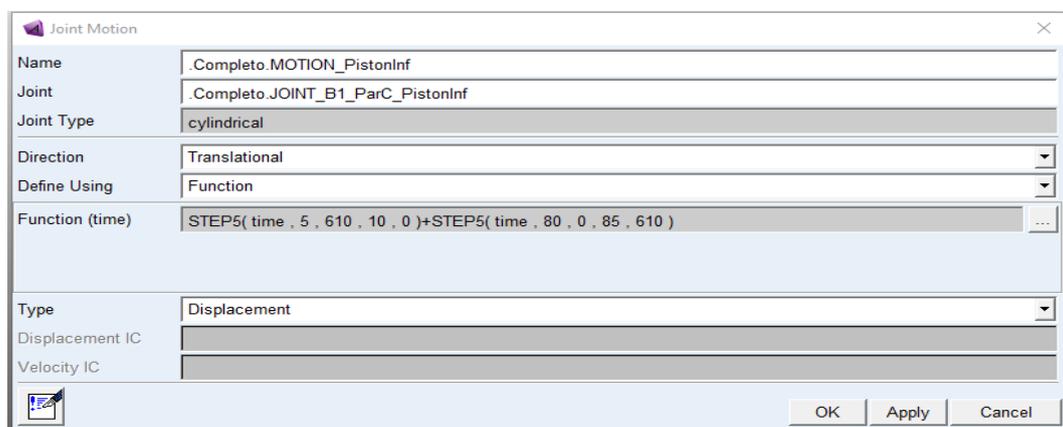


Figura 7.2 – Función del pistón inferior

- Pistón *Intermedio*:

Joint Motion

Name: .Completo.MOTION_PistonInt

Joint: .Completo.JOINT_B2_ParC_PistonInt

Joint Type: cylindrical

Direction: Translational

Define Using: Function

Function (time): STEP5(time , 10 , -415 , 15 , -385)+STEP5(time , 15 , 0 , 20 , 385)+STEP5(time , 75 , 0 , 80 , -415)

Type: Displacement

Displacement IC:

Velocity IC:

OK Apply Cancel

Figura 7.3 – Función del pistón intermedio

- Pistón *Telescopio*:

Joint Motion

Name: .Completo.MOTION_PistonTelesc

Joint: .Completo.JOINT_B3_ParC_PistonTelesc

Joint Type: translational

Direction: Translational

Define Using: Function

Function (time): STEP5(time , 1 , 2200 , 5 , 0)+STEP5(time , 70 , 0 , 75 , 2200)

Type: Displacement

Displacement IC:

Velocity IC:

OK Apply Cancel

Figura 7.4 – Función del pistón intermedio

- Pistón *Unión*:

Para el movimiento de este pistón se establece un *coupler* entre el par R del *brazo telescópico* y el par R de la *unión superior* con el *telescopio*. Este relaciona inversamente el movimiento de uno con otro.

Modify Coupler

Name: .Completo.COUPLER_1

Two Joint Coupler By Displacements

	Joint	Freedom Type	Displacements
Driver	B2_ParR_BrazoTelesc_UnionInt	Rotational	1.0
Coupled	NT_B3_ParR_Telesc_UnionSup	Rotational	-1.0

Figura 7.5 – Parámetros del coupler

- Pistón Superior:

Name	.Completo.MOTION_PistonSup
Joint	.Completo.JOINT_B3_ParC_PistonSup
Joint Type	cylindrical
Direction	Translational
Define Using	Function
Function (time)	STEP5(time, 20, 0, 25, 260)+STEP5(time, 25, 0, 30, -260)+STEP5(time, 30, 0, 35, -115)+STEP5(ti ...
Type	Displacement
Displacement IC	
Velocity IC	

Figura 7.6 – Función del pistón superior

- Base:

Name	.Completo.MOTION_Base
Joint	.Completo.JOINT_A_ParR_Base_Pasador
Joint Type	revolute
Direction	Rotational
Define Using	Function
Function (time)	STEP5(time, 55, 0, 60, 1.5)+STEP5(time, 60, 1.5, 65, -1.5)+STEP5(time, 65, -1.5, 70, 0)
Type	Displacement
Displacement IC	
Velocity IC	

Figura 7.7 – Función de la base

- Cesta:

Name	.Completo.MOTION_Cesta
Joint	.Completo.JOINT_C_ParR_Cesta
Joint Type	revolute
Direction	Rotational
Define Using	Function
Function (time)	STEP5(time, 40, 0, 45, 1.5)+STEP5(time, 45, 1.5, 50, -1.5)+STEP5(time, 50, -1.5, 55, 0)
Type	Displacement
Displacement IC	
Velocity IC	

Figura 7.8 – Función de la cesta

Una vez establecidos todos los movimientos se procede a simular el movimiento completo de la plataforma. Para ello se selecciona el menú *Simulation* y se hace clic en el engranaje, a continuación se abre la ventana de simulación y se establece el tiempo y los *Steps* (numero de pasos/fotograma), se simula la posición inicial (icono llave inglesa) y finalmente se simula el movimiento pulsando en el icono de *play*.

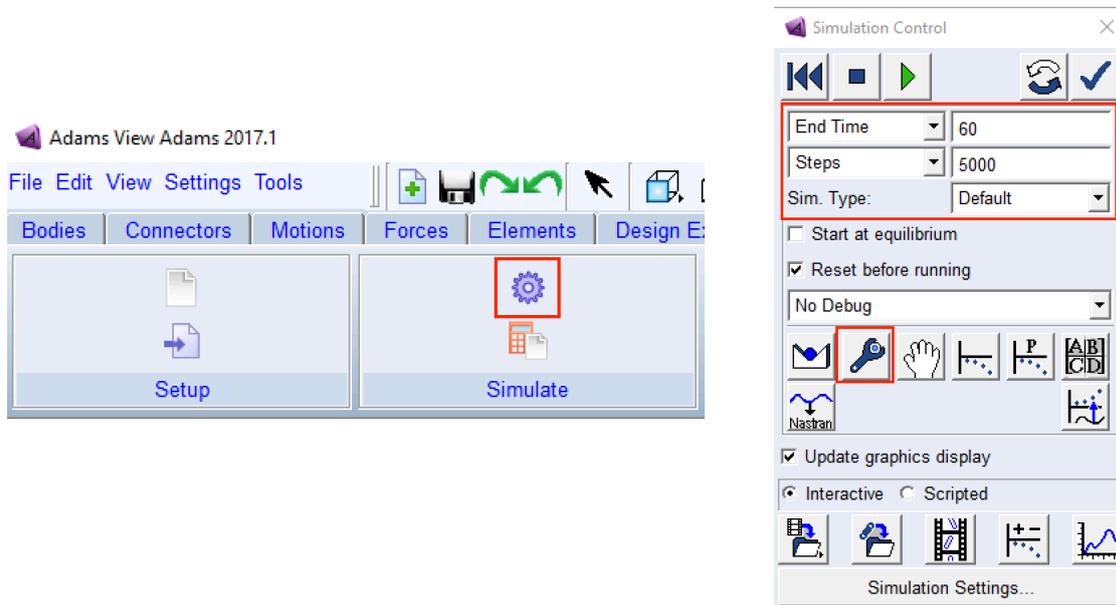
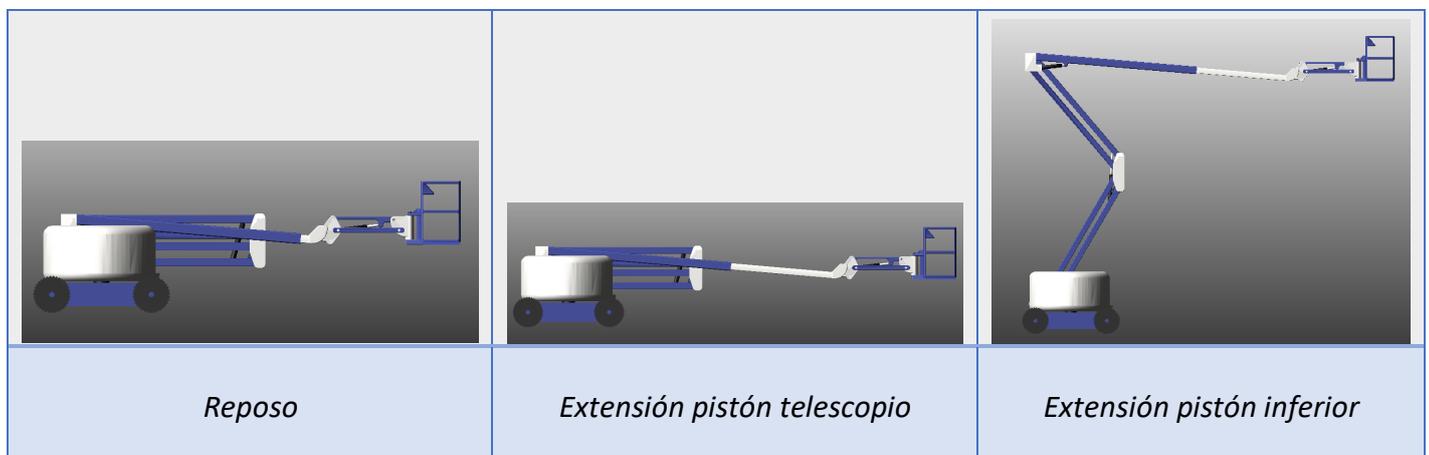


Figura 7.9 – Menús de simulación

Cuando se han definido todos los movimientos de la máquina y se hace la simulación, el programa permite obtener muchos resultados; cómo son fuerzas, movimientos, posiciones, trayectorias, velocidades... Las gráficas con los resultados se expondrán en el apartado 8 del proyecto (Resultados y conclusiones). A continuación se expone unas capturas de pantalla que permiten observar los movimientos de la plataforma durante la simulación dinámica.



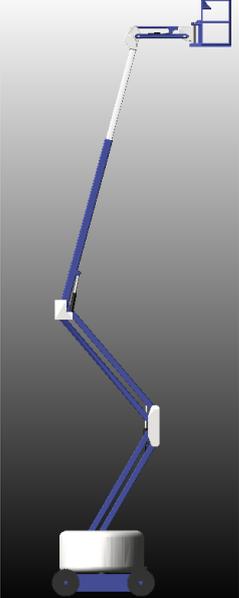
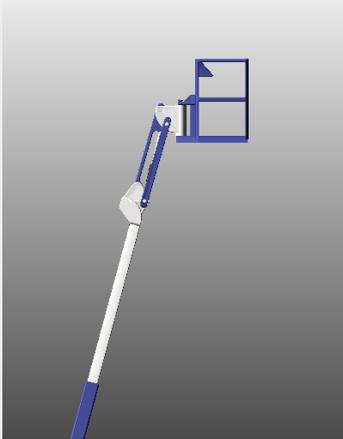
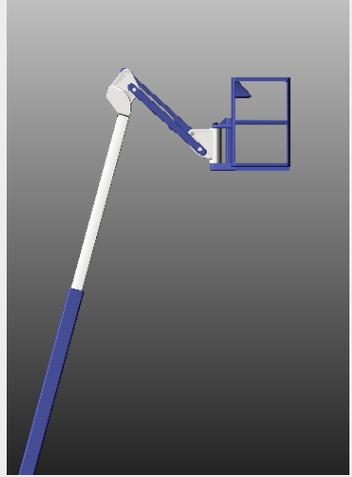
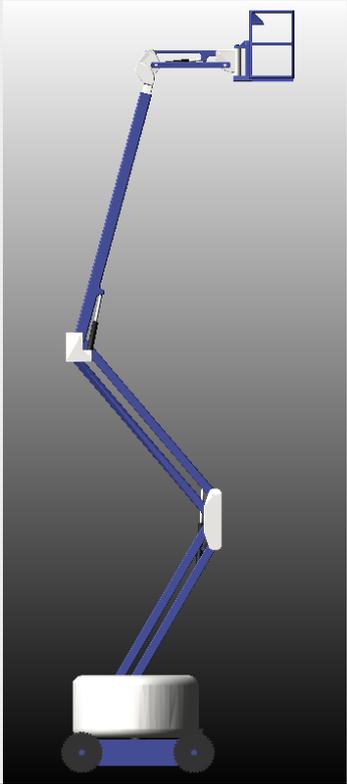
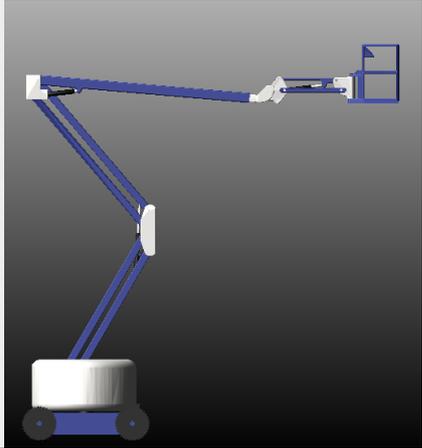
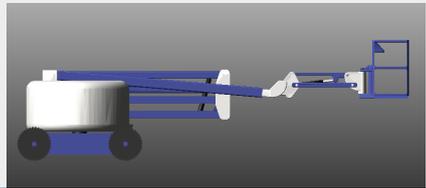
		
<p><i>Extensión pistón intermedio</i></p>	<p><i>Extension pistón superior</i></p>	<p><i>Acortamiento pistón superior</i></p>
		
<p><i>Acortamiento pistón telescopio</i></p>	<p><i>Acortamiento pistón intermedio</i></p>	<p><i>Acortamiento pistón inferior</i></p>

Figura 7.10 – Tabla de movimientos de la plataforma

8. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

8.1. Obtención de resultados

Para obtener los resultados habrá que utilizar la herramienta proporcionada por 'Adams View', que permite dibujar las gráficas que definen posiciones, velocidades, aceleraciones ... Esta herramienta se llama 'Postprocessor' y permite visualizar fuerzas y distancias tanto de las barras como los pares cinemáticos y movimientos impuestos al sistema. Cada medición realizada se puede estudiar mediante esta herramienta.

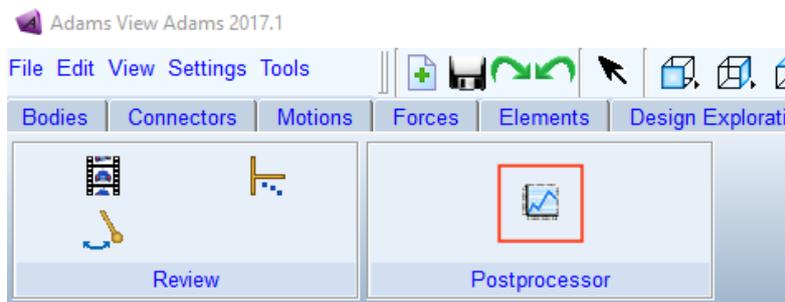


Figura 8.1 – Selección de la herramienta Postprocessor

Las desglosaremos por partes, primeramente se estudiarán las fuerzas realizadas por los actuadores. Para ello se realiza una medición en las *Motions* haciendo clic con el botón derecho y seleccionando la opción *Measure*. Se abrirá una ventana dónde se establece que se quiere medir, en este caso *Force*, la dirección que será en el eje Z y por último dónde se quiere medir donde se selecciona el *Marker* inferior del vástago del pistón.

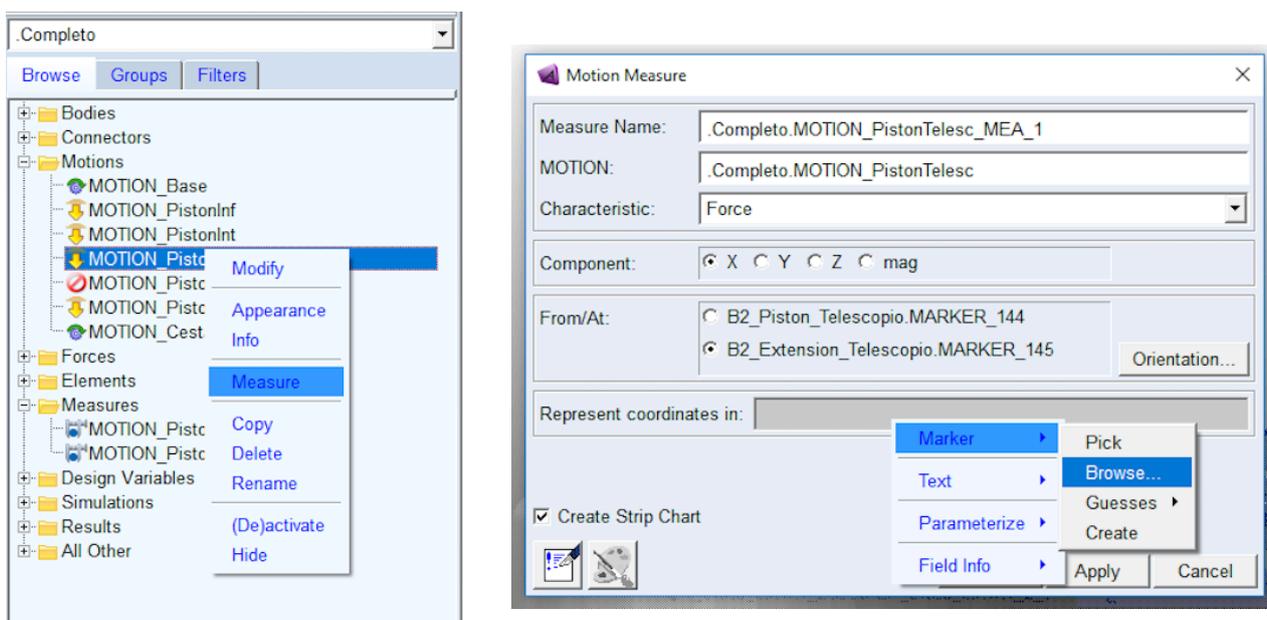


Figura 8.2 (a) – Creación de un medidor

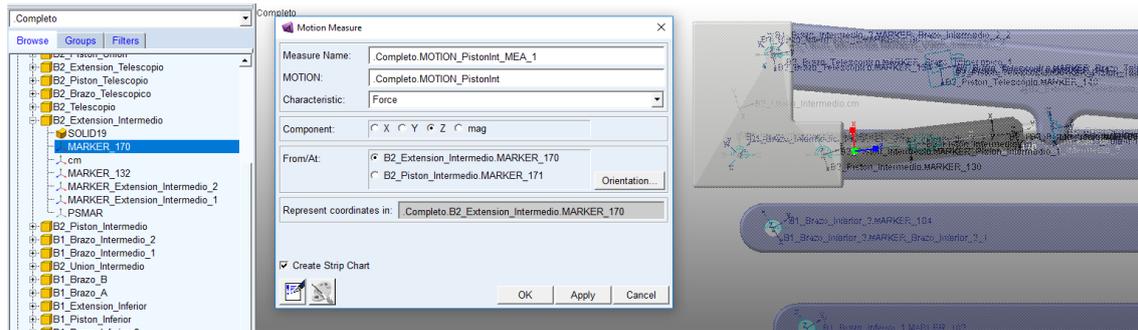


Figura 8.2 (b) – Creación de un medidor

De esta manera se obtienen las fuerzas ejercidas por los pistones durante la simulación dinámica, a continuación se muestran los resultados para cada uno de ellos:

- **Pistón Inferior:**

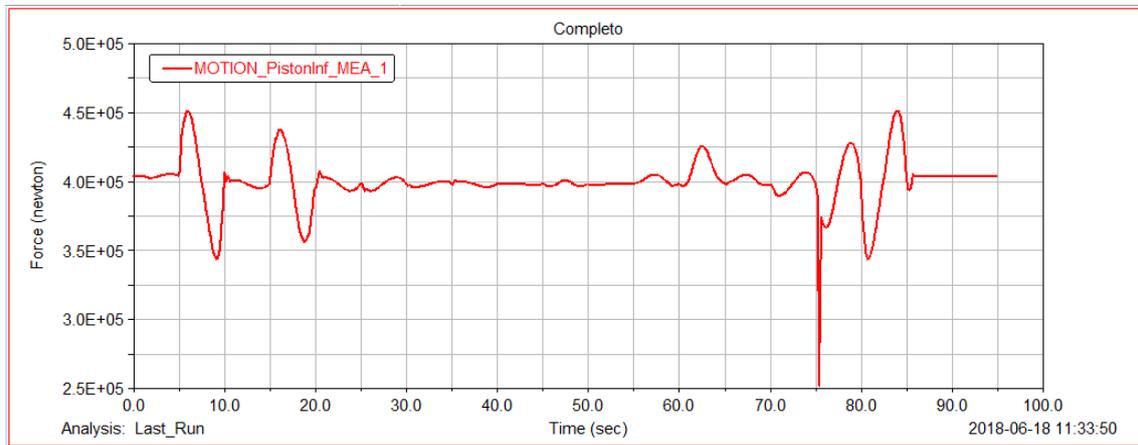


Figura 8.2 – Fuerza realizada por el pistón inferior

- **Pistón Intermedio:**

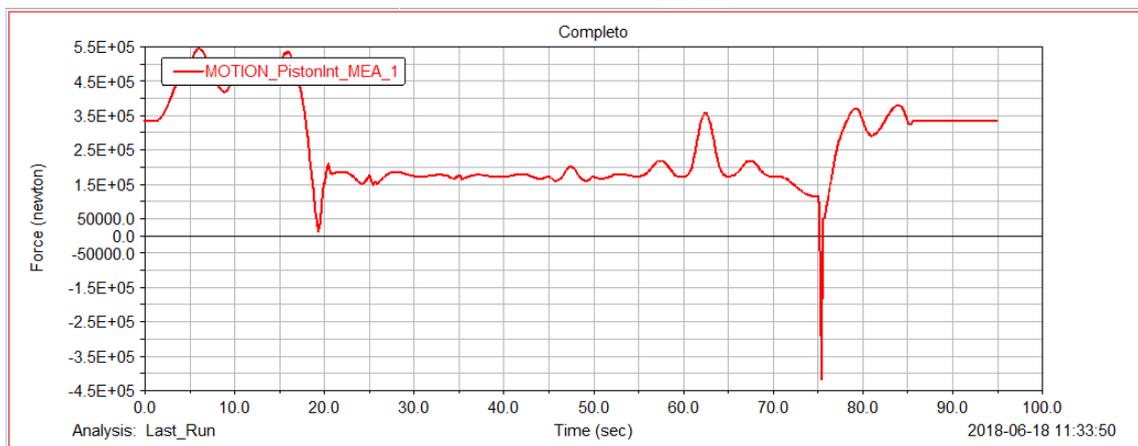


Figura 8.3 – Fuerza realizada por el pistón intermedio

- **Pistón Telescopio:**

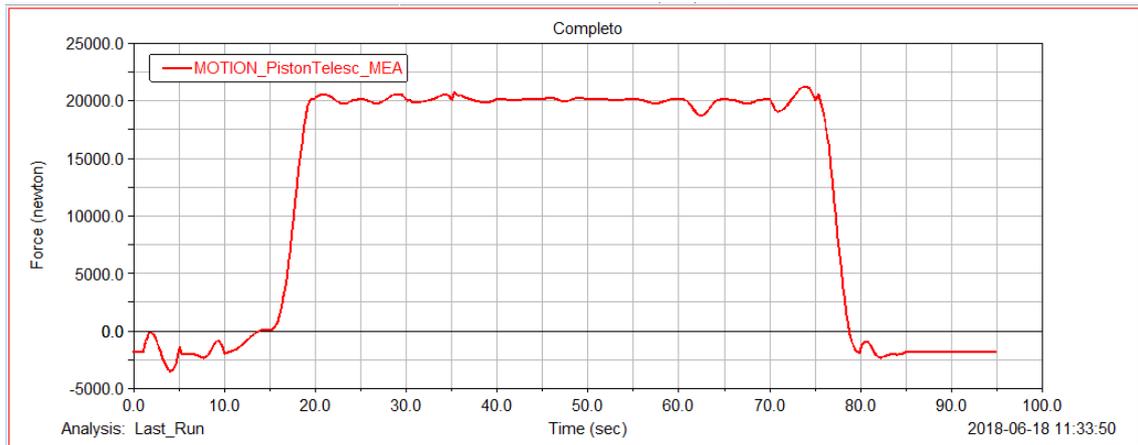


Figura 8.4 – Fuerza realizada por el pistón intermedio

- **Pistón Unión:**

Como se ha colocado un *coupler* entre el movimiento rotacional del brazo telescópico y la unión superior, para obtener la fuerza de este pistón habrá que medir el torque del brazo telescópico y multiplicarlo por la distancia desde el extremo de este hasta la unión superior obteniéndose así la fuerza realizada por el pistón unión. La distancia es de 4657.668 mm y el torque se presenta en la siguiente gráfica:

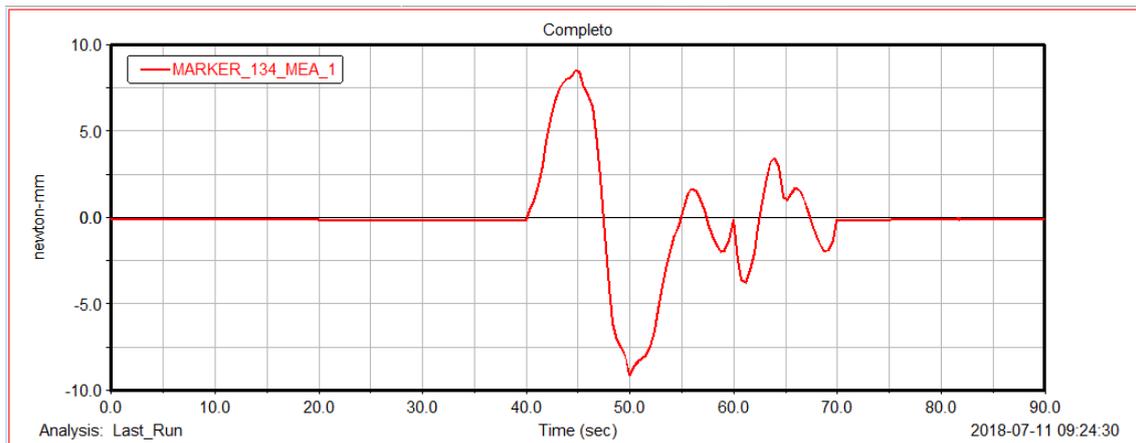


Figura 8.5 – Torque realizada por el brazo telescópico en la unión intermedia

- **Pistón Superior:**

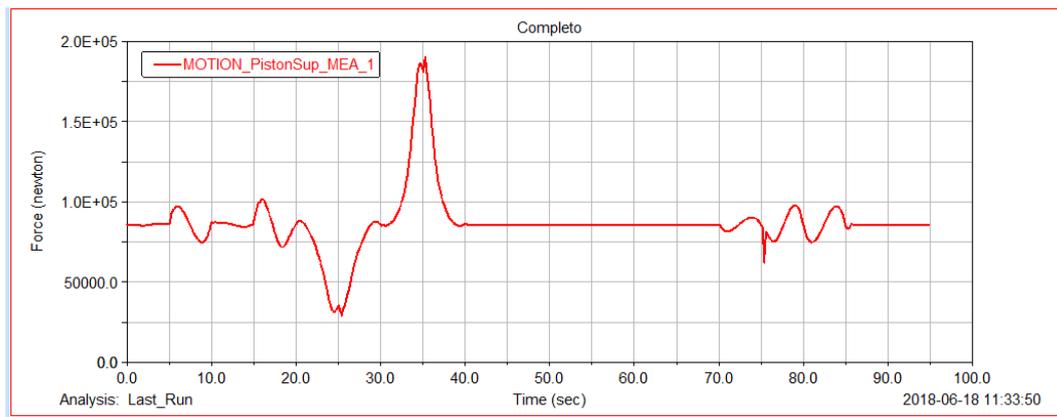


Figura 8.6 – Fuerza realizada por el pistón superior

Seguidamente se obtiene el torque realizado en el giro de la base y de la cesta. Se obtiene de forma análoga a las fuerzas en los pistones, cambiando *Force* por *Torque* y medido en el eje Y, el *Marker* de referencia será el del par de giro. A continuación se muestran los resultados para cada uno de ellos:

- **Base:**

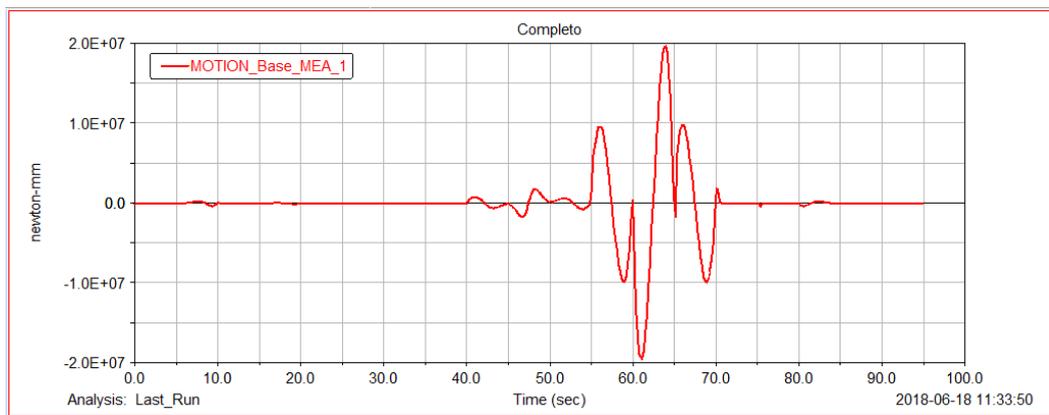


Figura 8.7 – Torque realizado por la base

- **Cesta:**

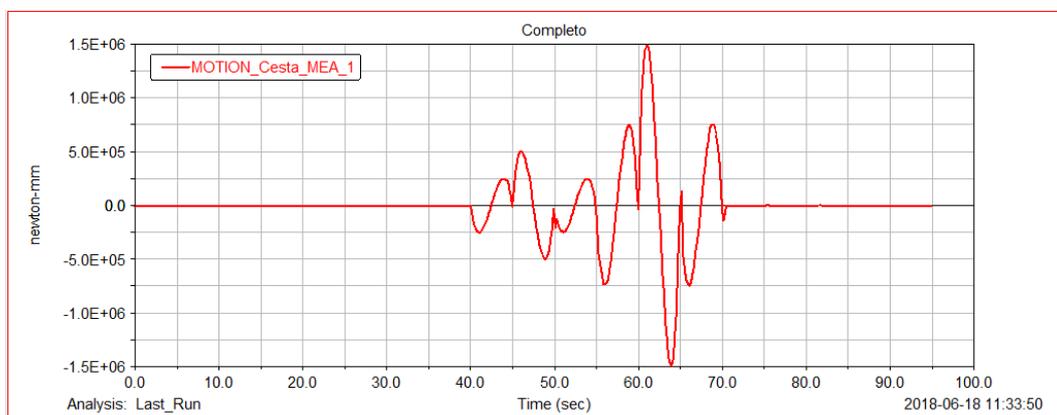


Figura 8.8 – Torque realizado por la cesta

Finalmente se estudian los movimientos, velocidades y aceleraciones de las barras. Fijándose en el centro de masas de cada parte se obtendrá de forma gráfica los resultados del mecanismo. El procedimiento será el mismo para todas las barras: se dibujarán las gráficas de posición, velocidad y aceleración del centro de masas en los ejes X e Y, y a continuación se representarán las gráficas de velocidad y aceleración angular comprendidas en el eje Z.

- **Base:**

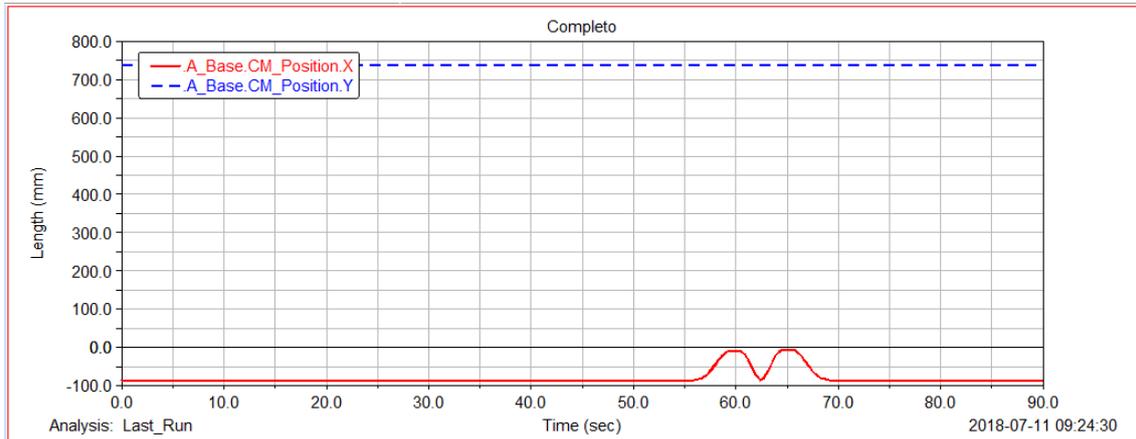


Figura 8.9 – Posición del centro de masas de la base

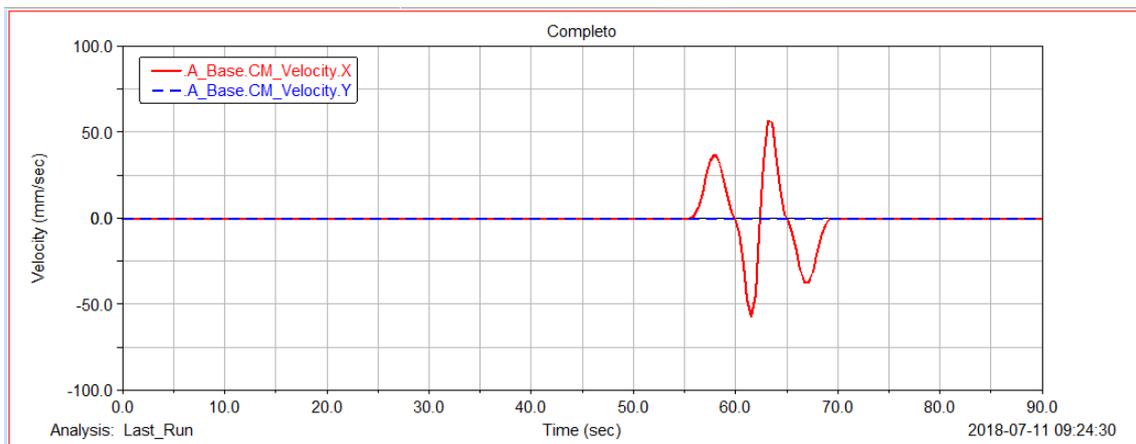


Figura 8.10 – Velocidad del centro de masas de la base

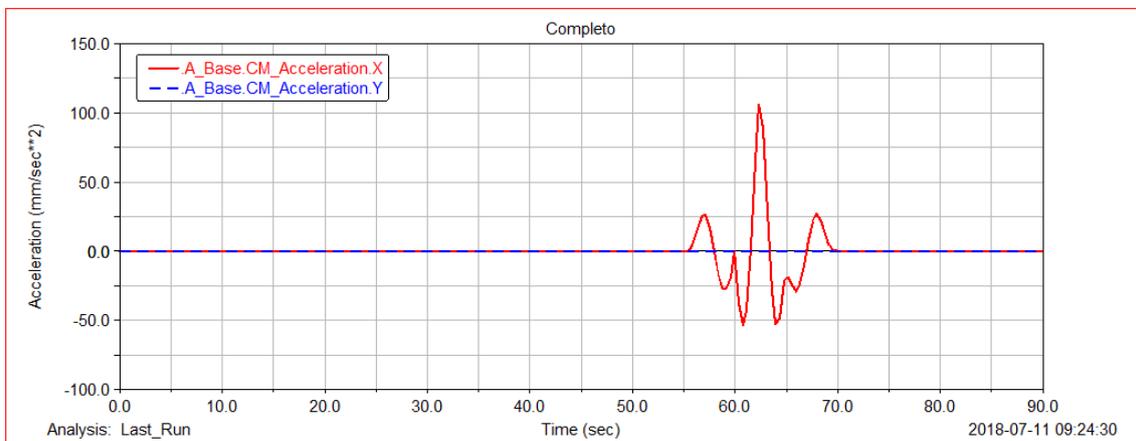


Figura 8.11 – Aceleración del centro de masas de la base

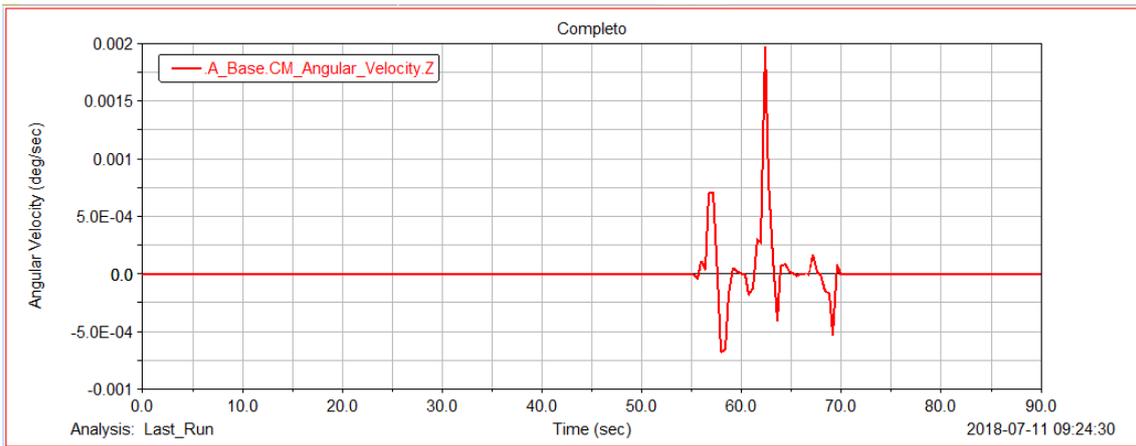


Figura 8.12 – Velocidad angular del centro de masas de la base

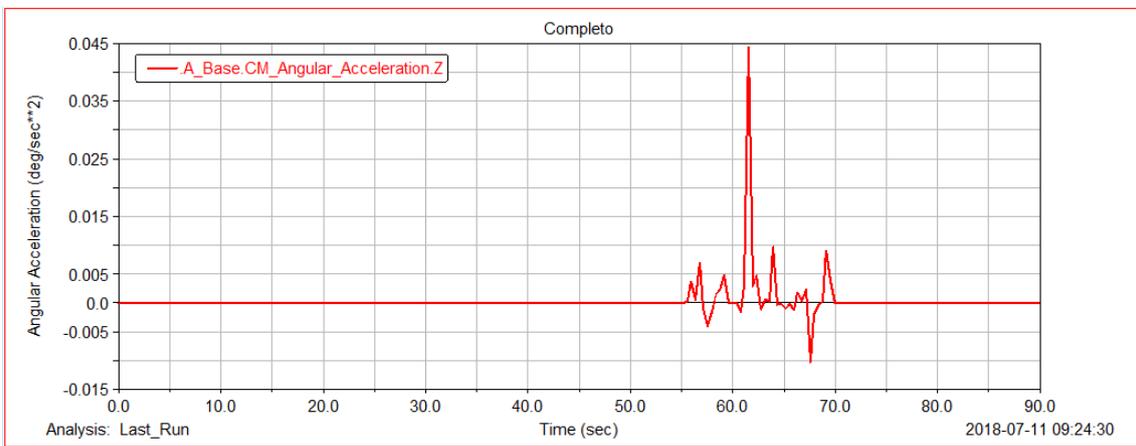


Figura 8.13 – Aceleración angular del centro de masas de la base

- **Brazos Inferiores 1 y 2:**

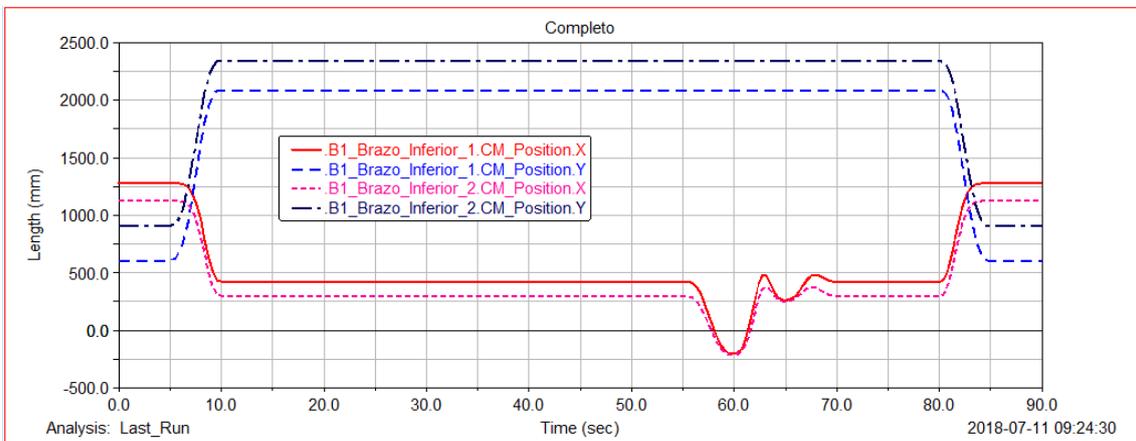


Figura 8.14 – Posición del centro de masas de los brazos inferiores

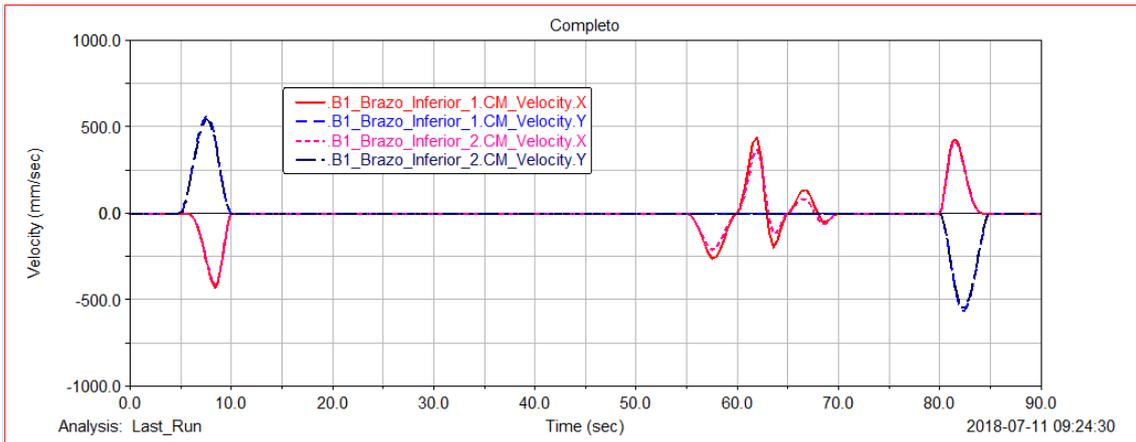


Figura 8.15 – Velocidad del centro de masas de los brazos inferiores

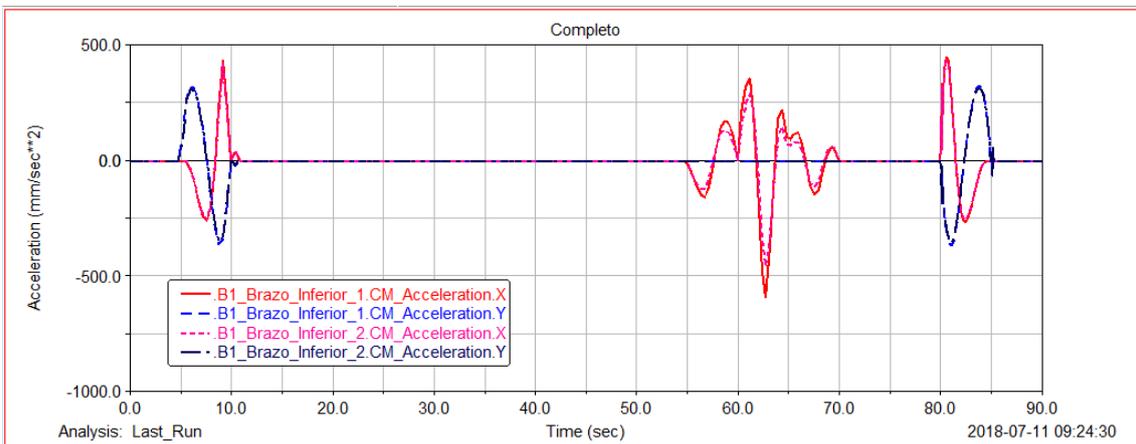


Figura 8.16 – Aceleración del centro de masas de los brazos inferiores

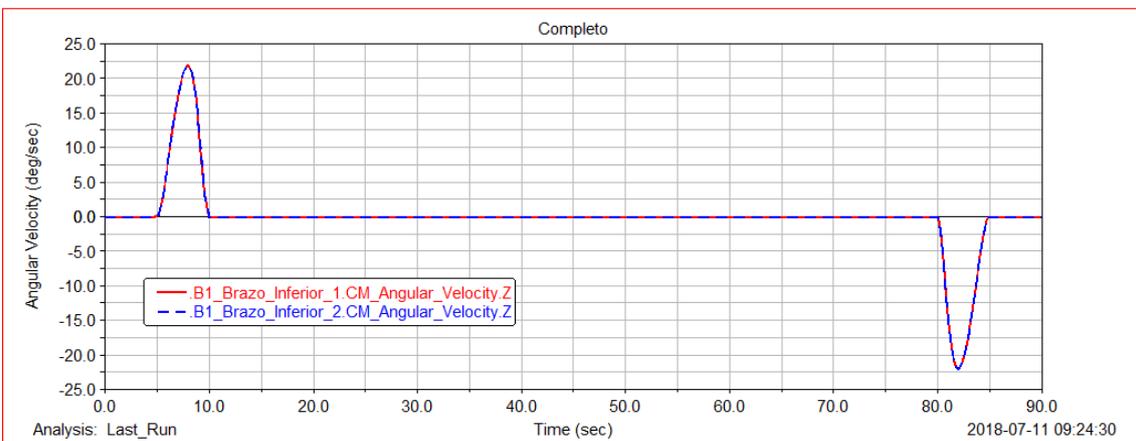


Figura 8.17 – Velocidad angular del centro de los brazos inferiores

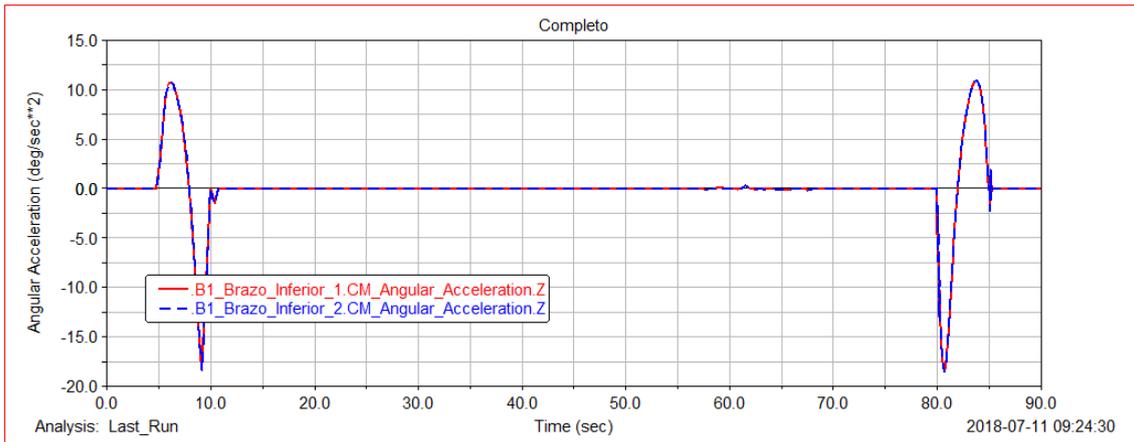


Figura 8.18 – Aceleración angular del centro de masas de los brazos inferiores

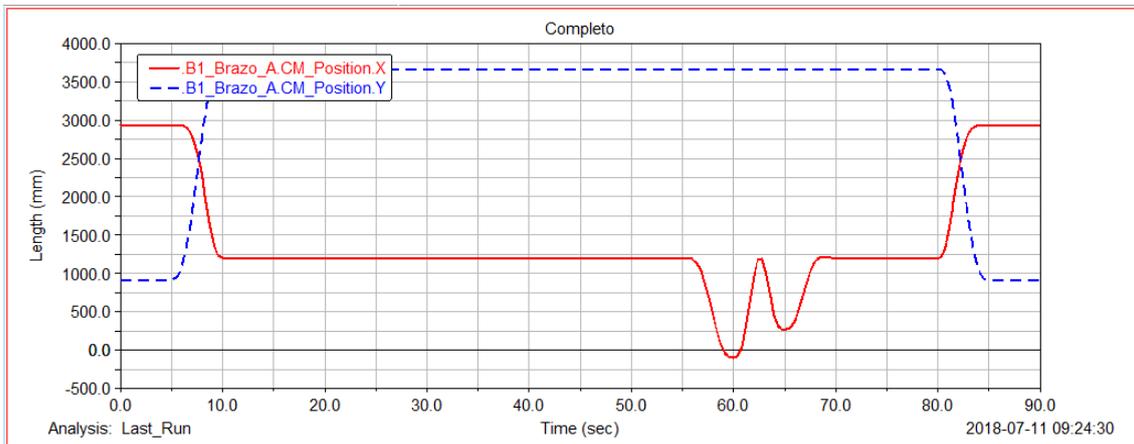


Figura 8.19 – Posición del centro de masas de los brazos A y B

- **Brazos A y B:**

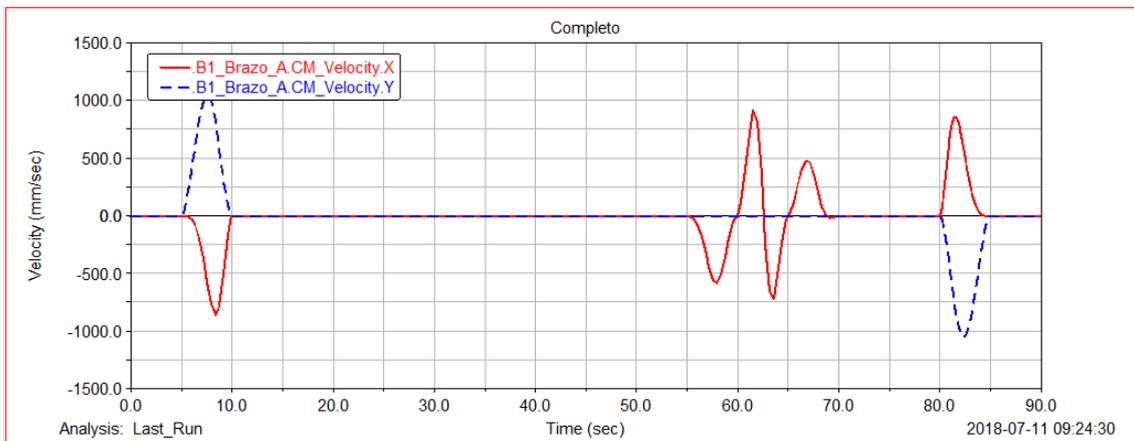


Figura 8.20 – Velocidad del centro de masas de los brazos A y B

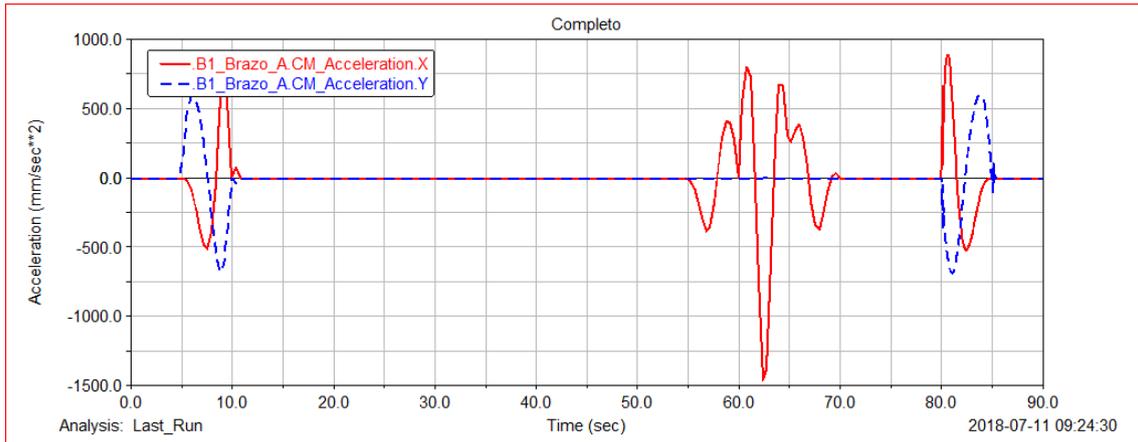


Figura 8.21 – Aceleración del centro de masas de los brazos A y B

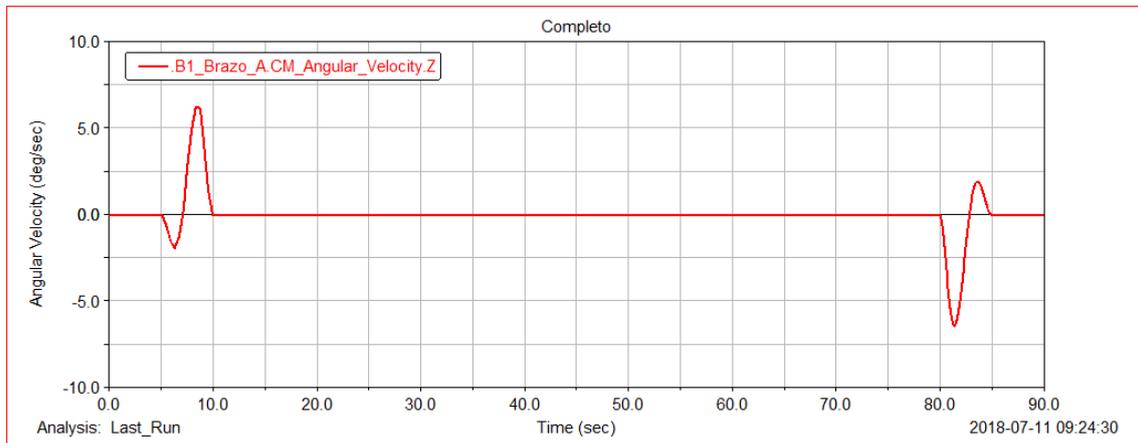


Figura 8.22 – Velocidad angular del centro de masas de los brazos A y B

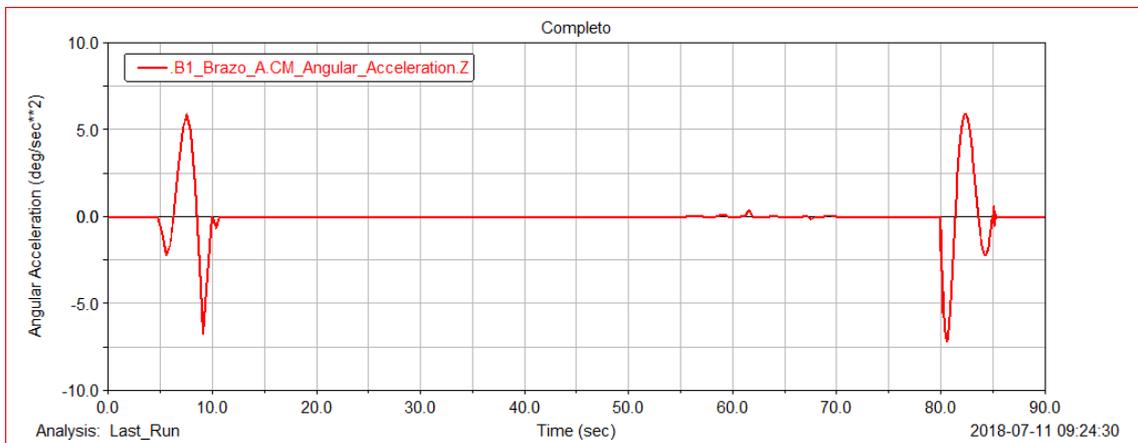


Figura 8.23 – Aceleración angular del centro de masas de los brazos A y B

- **Brazos Intermedios 1 y 2:**

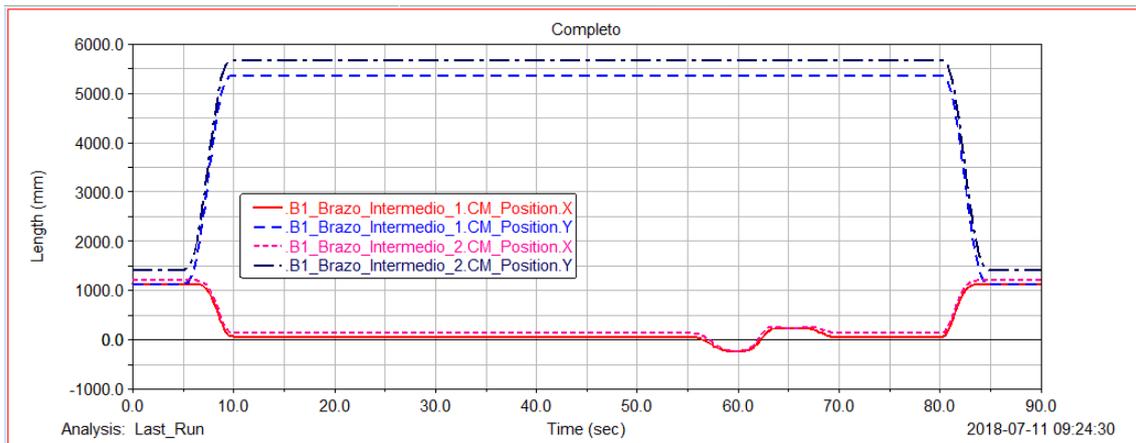


Figura 8.24 – Posición del centro de masas de los brazos intermedios

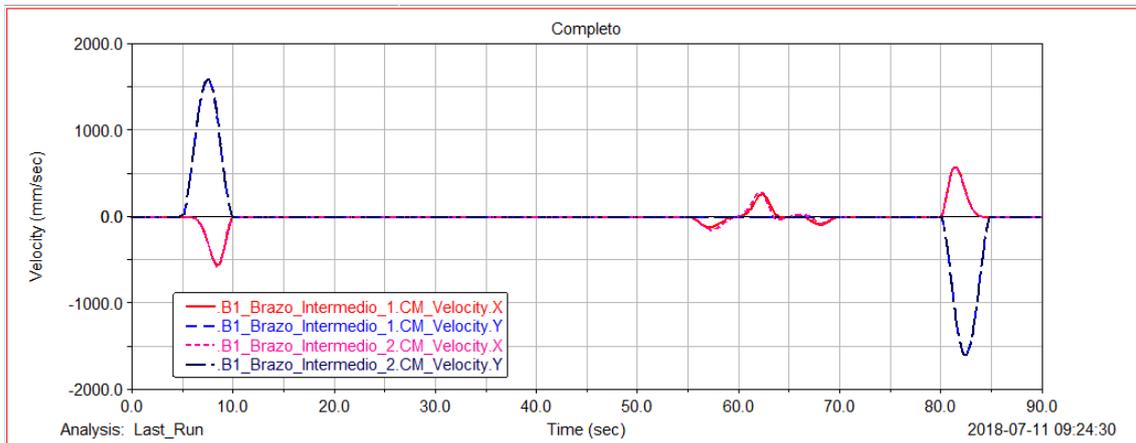


Figura 8.25 – Velocidad del centro de masas de los brazos intermedios

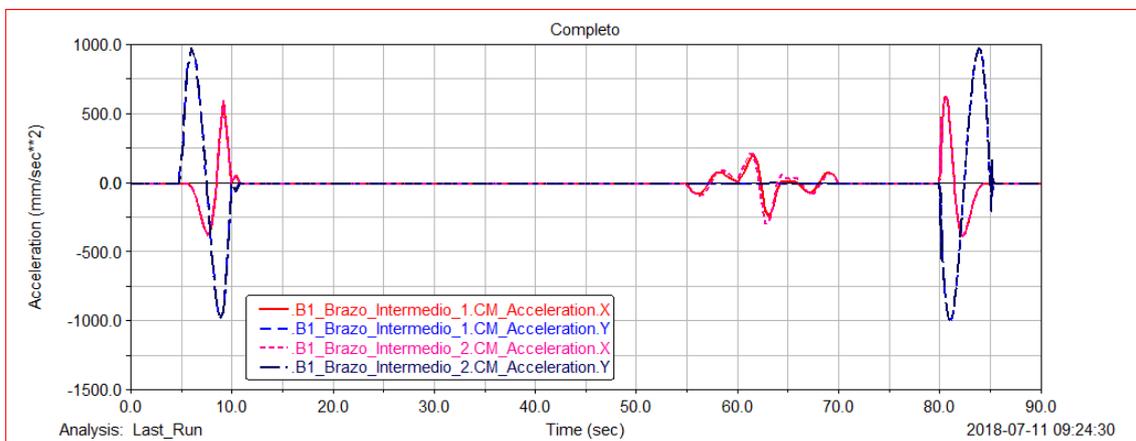


Figura 8.26 – Aceleración del centro de masas de los brazos intermedios

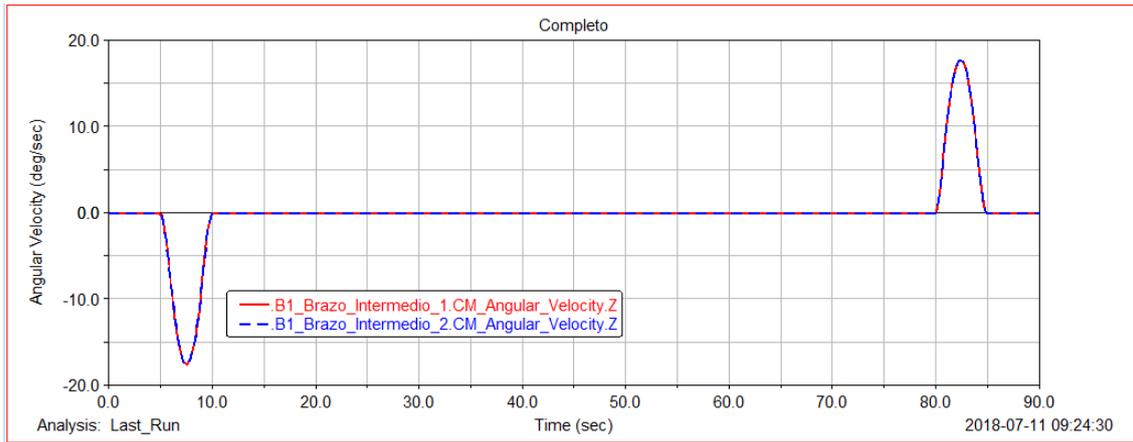


Figura 8.27 – Velocidad angular del centro de masas de los brazos intermedios

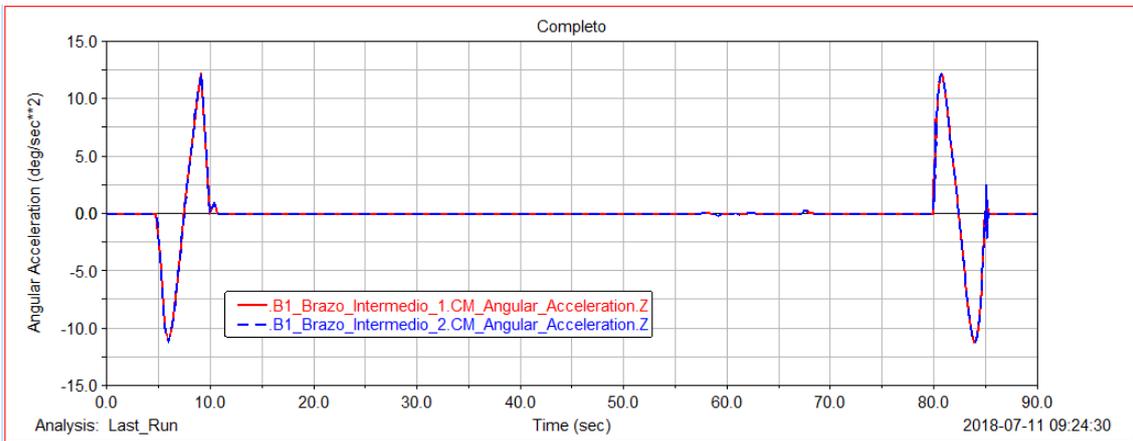


Figura 8.28 – Aceleración angular del centro de masas de los brazos intermedios

- **Brazo Telescópico:**

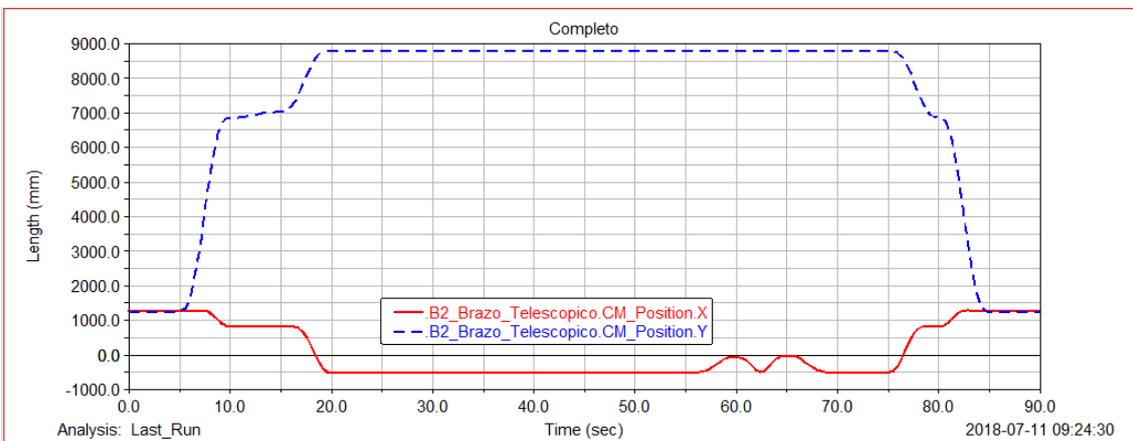


Figura 8.29 – Posición del centro de masas del brazo telescópico

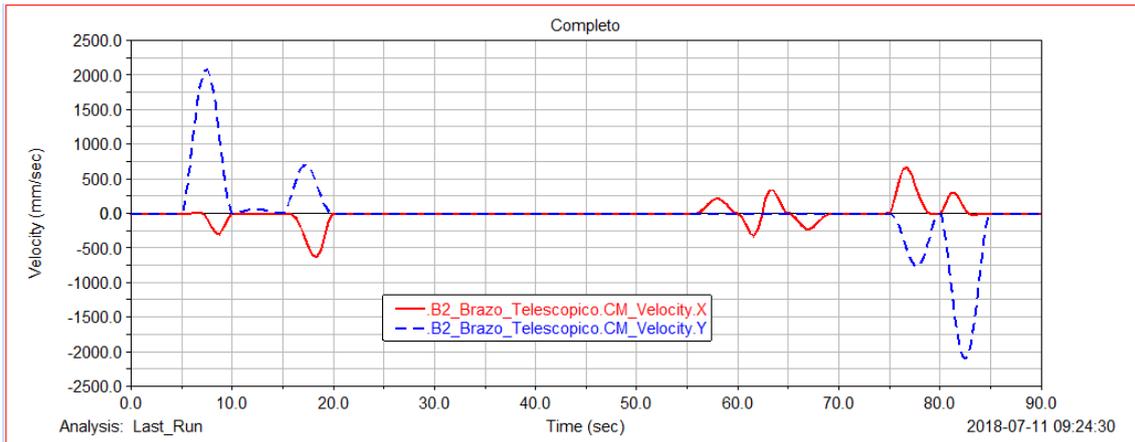


Figura 8.30 – Velocidad del centro de masas del brazo telescópico

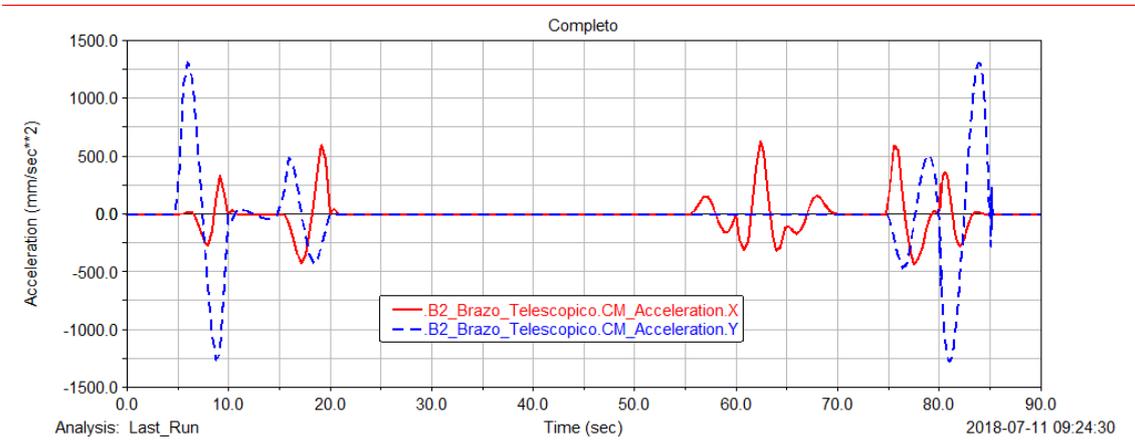


Figura 8.31 – Aceleración del centro de masas del brazo telescópico

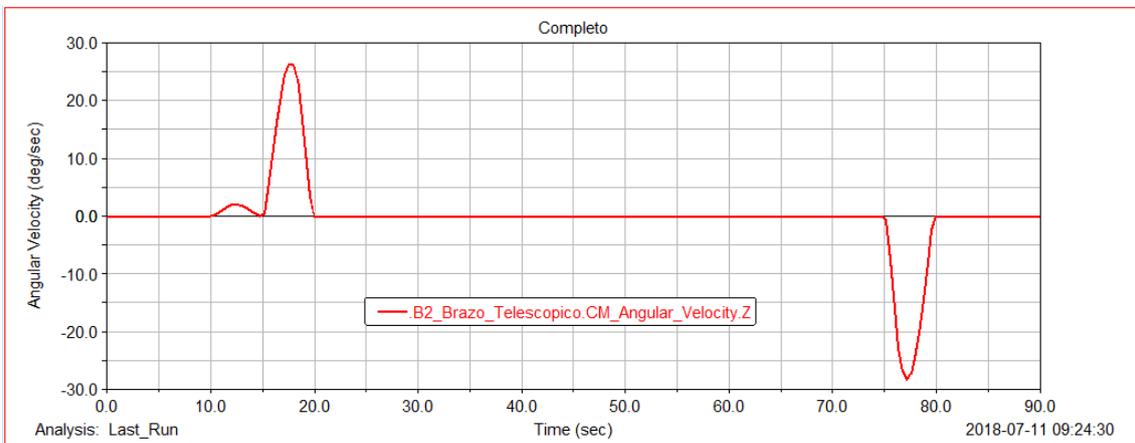


Figura 8.32 – Velocidad angular del centro de masas del brazo telescópico

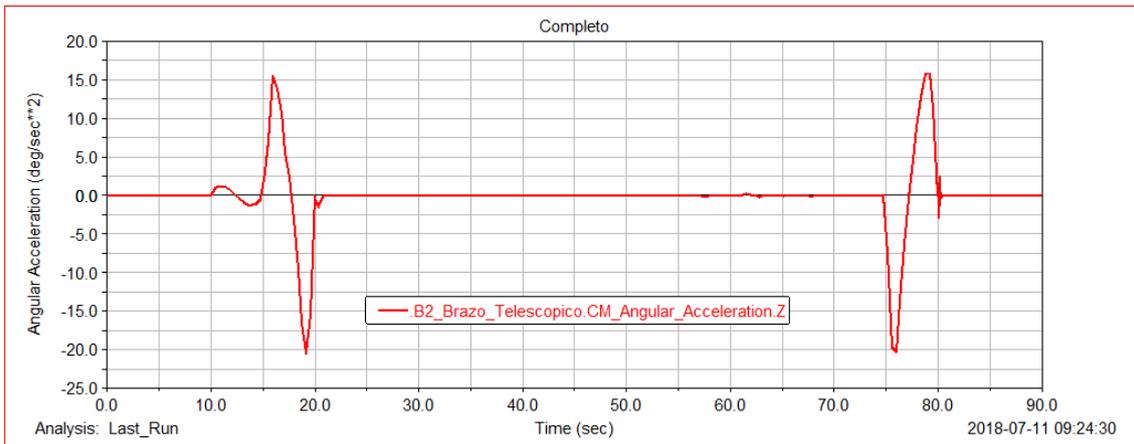


Figura 8.33 – Aceleración angular del centro de masas del brazo telescópico

- **Telescopio:**

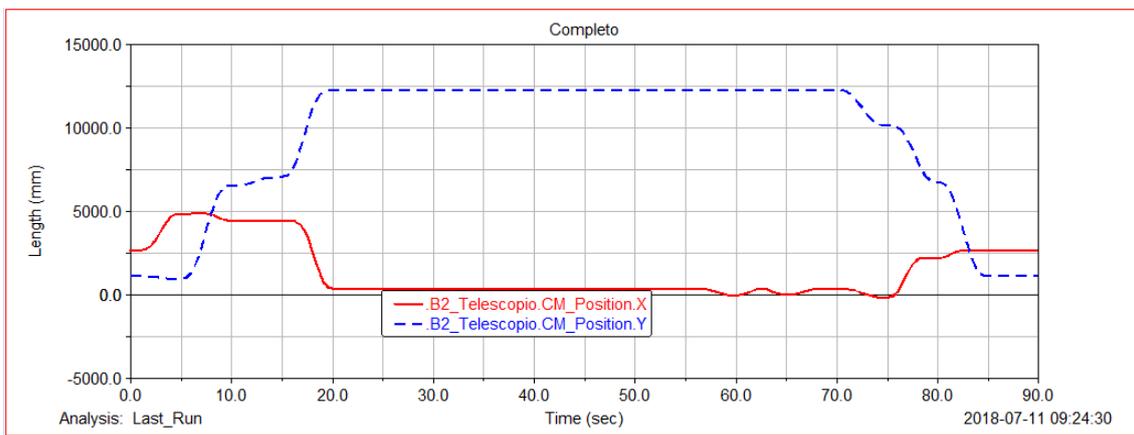


Figura 8.34 – Posición del centro de masas del telescopio

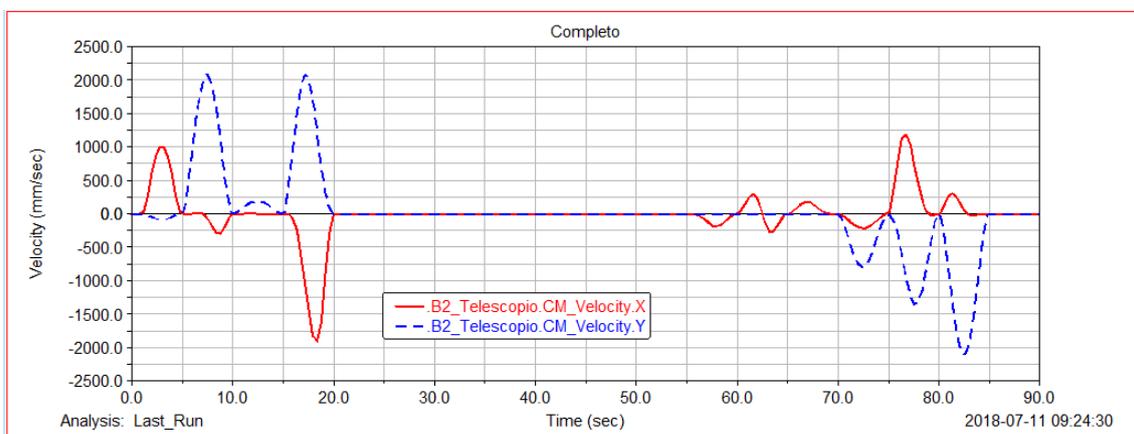


Figura 8.35 – Velocidad del centro de masas del telescopio

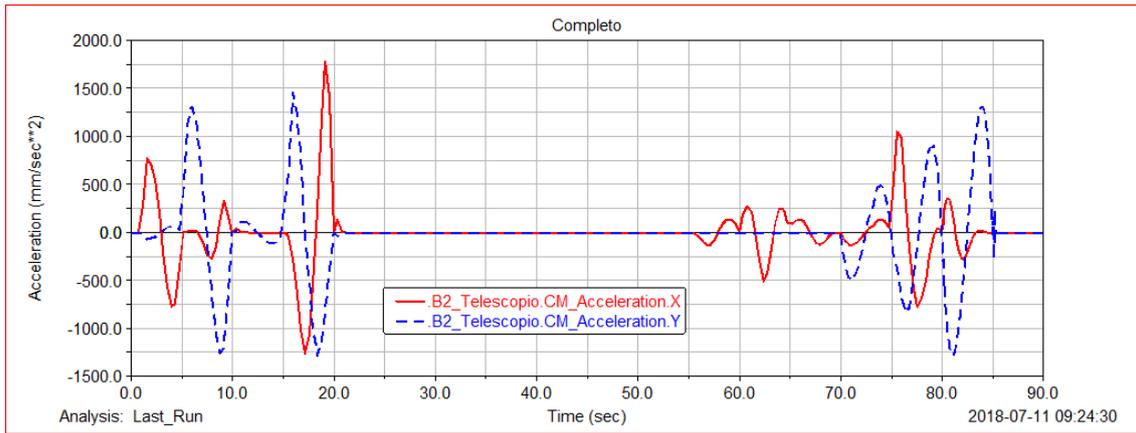


Figura 8.36 – Aceleración del centro de masas del telescopio

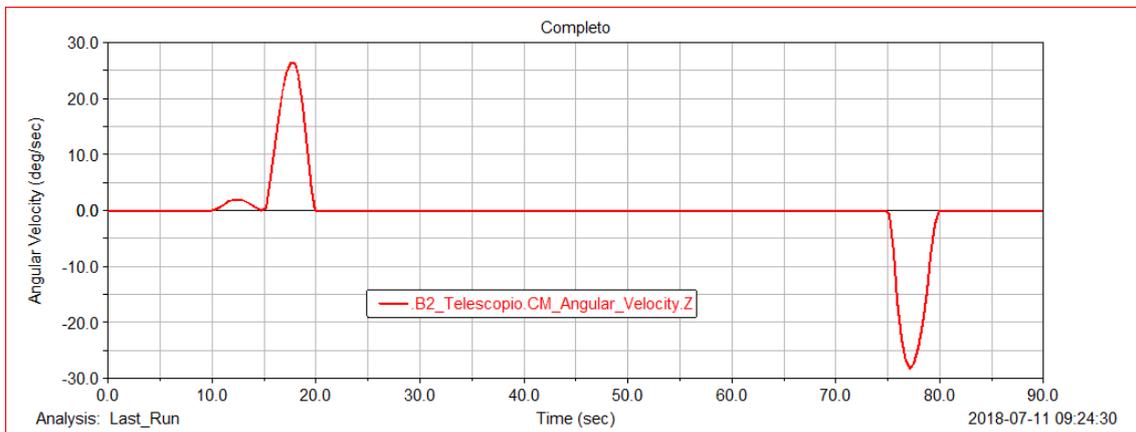


Figura 8.37 – Velocidad angular del centro de masas del telescopio

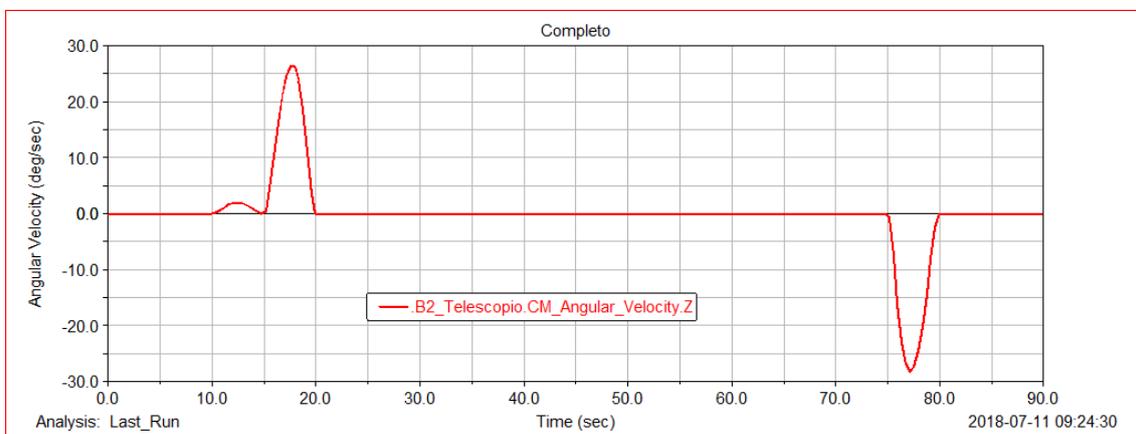


Figura 8.38 – Aceleración angular del centro de masas del telescopio

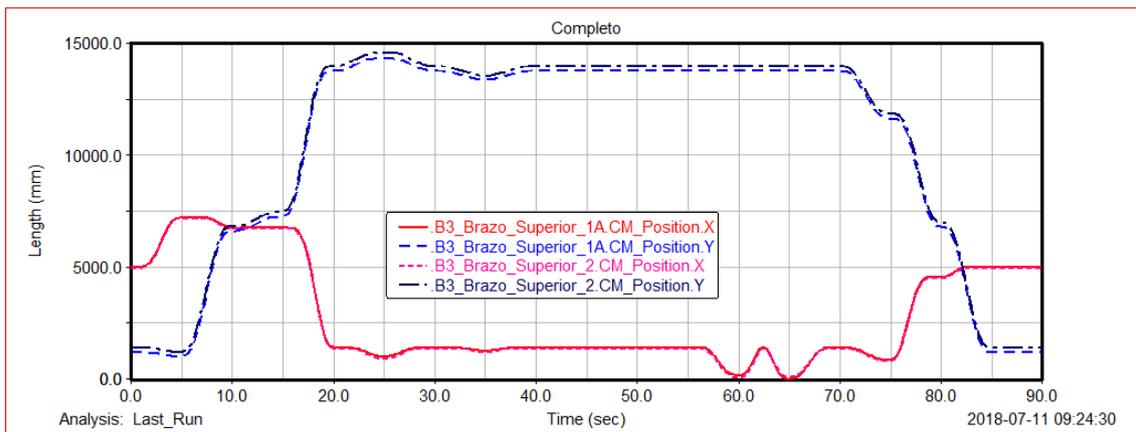
- **Brazos Superiores:**

Figura 8.39 – Posición del centro de masas de los brazos superiores

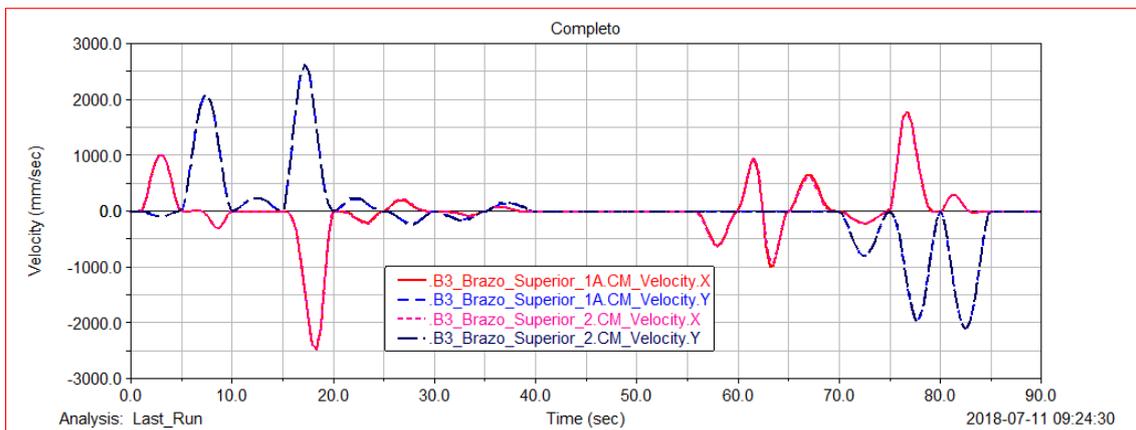


Figura 8.40 – Velocidad del centro de masas de los brazos superiores

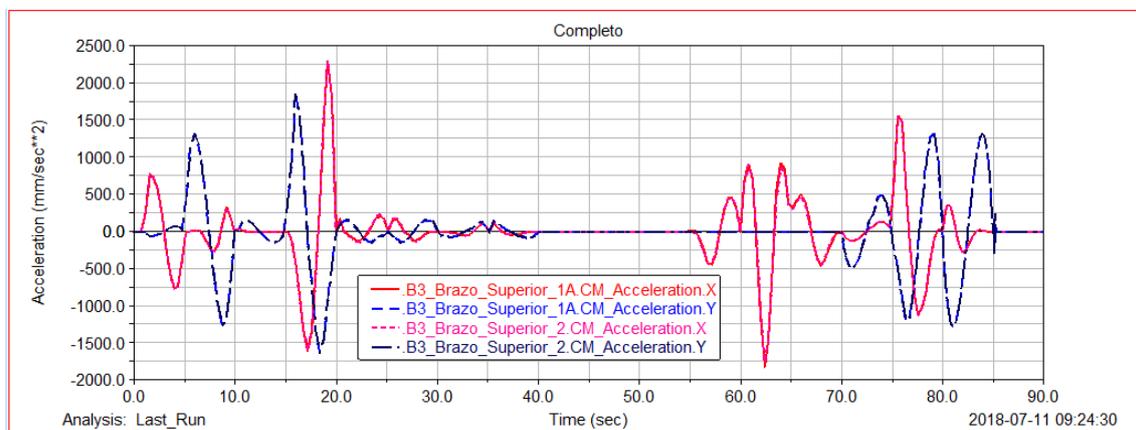


Figura 8.41 – Aceleración del centro de masas de los brazos superiores

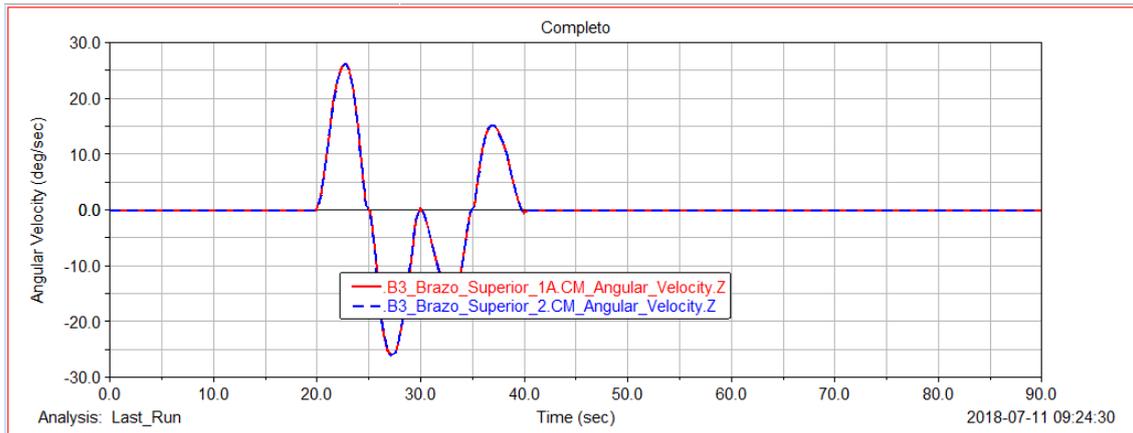


Figura 8.42 – Velocidad angular del centro de masas de los brazos superiores

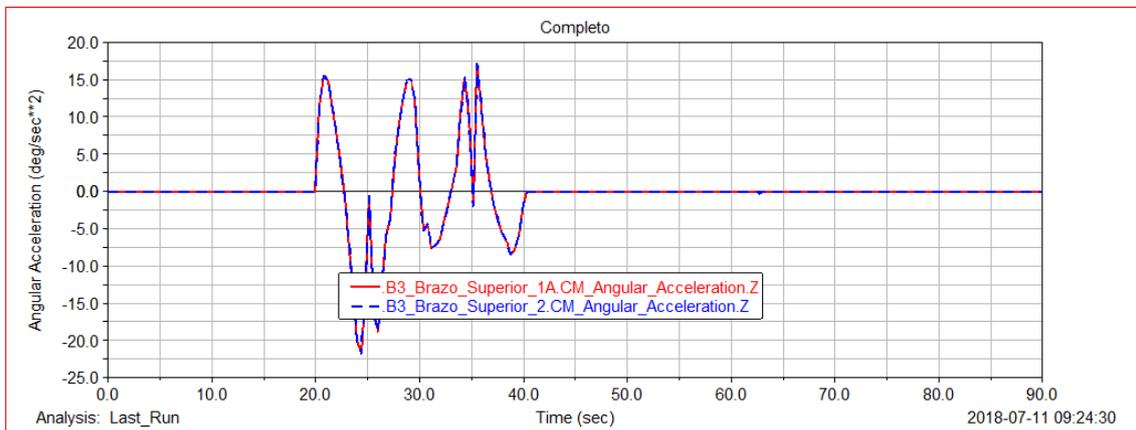


Figura 8.43 – Aceleración angular del centro de masas de los brazos superiores

- **Unión Inferior:**

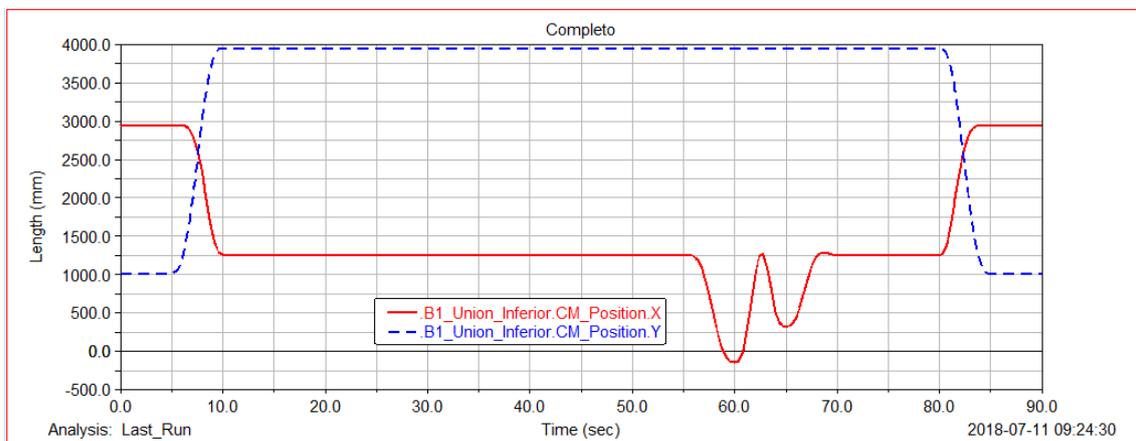


Figura 8.44 – Posición del centro de masas de la unión inferior

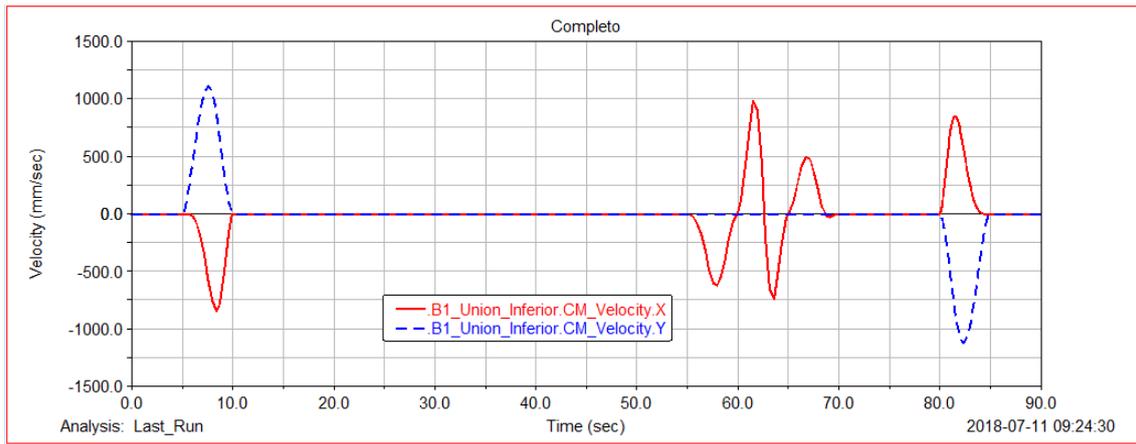


Figura 8.44 – Velocidad del centro de masas de la unión inferior

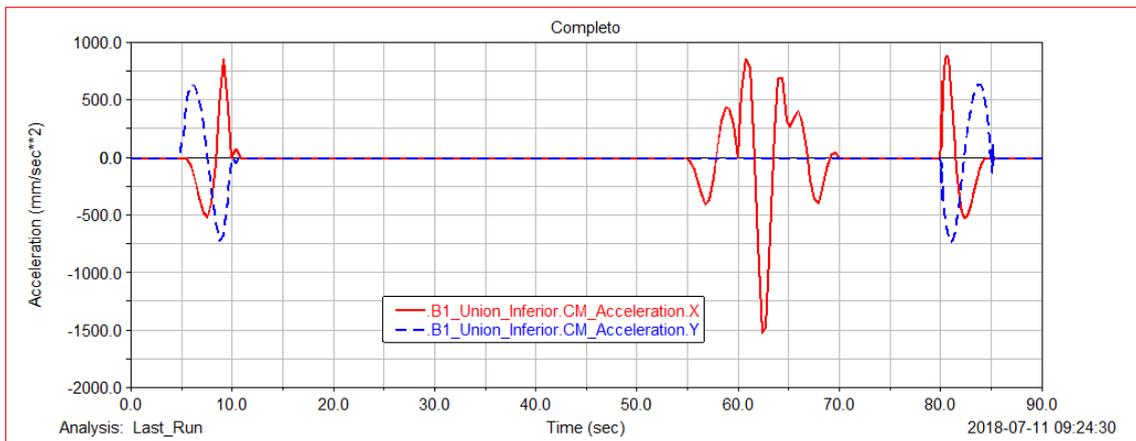


Figura 8.45 – Aceleración del centro de masas de la unión inferior

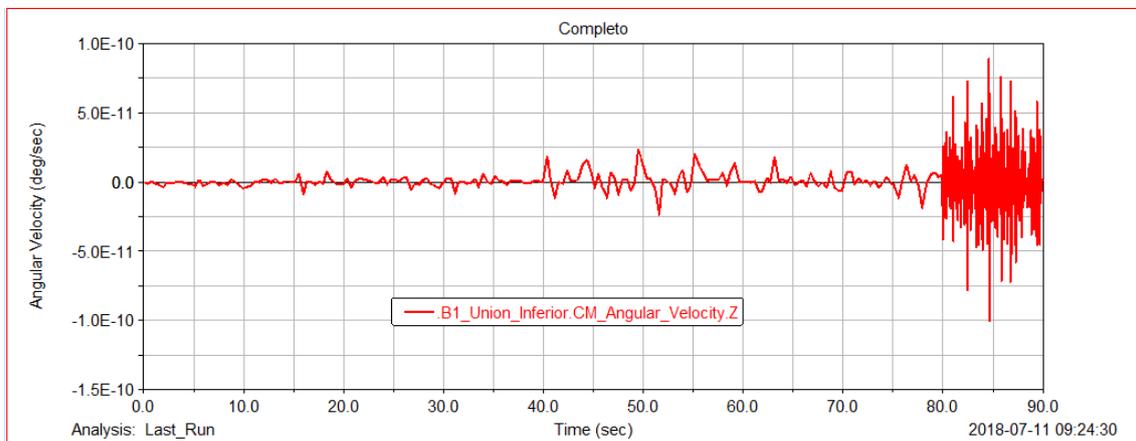


Figura 8.46 – Velocidad angular del centro de masas de la unión inferior

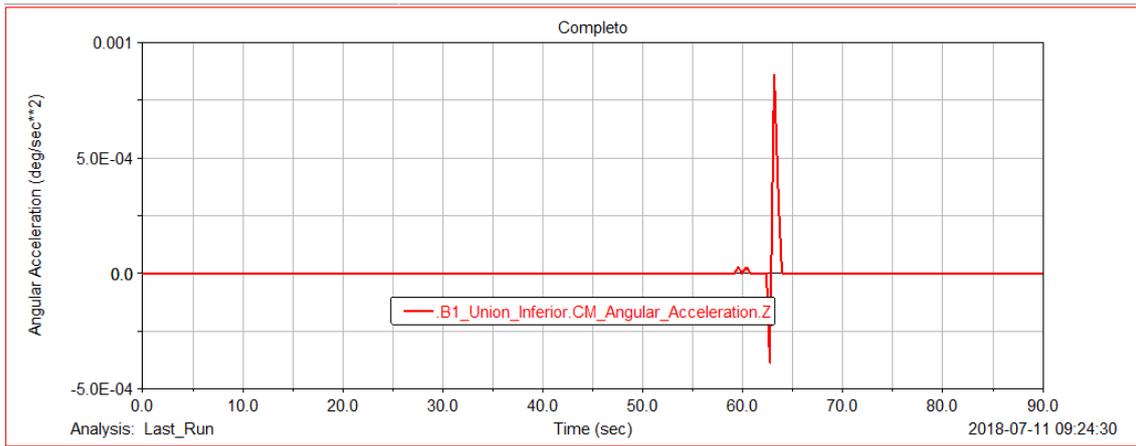


Figura 8.47 – Aceleración angular del centro de masas de la unión inferior

- **Unión Intermedia:**

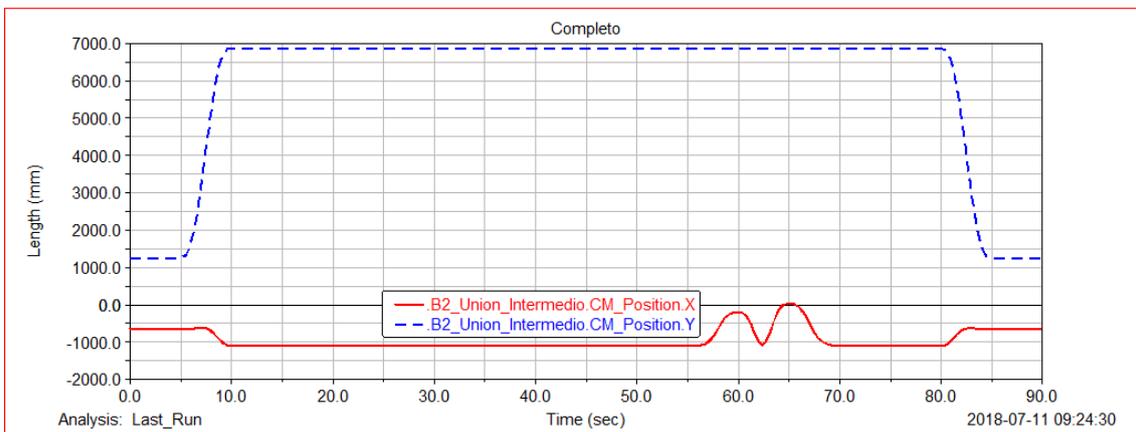


Figura 8.48 – Posición del centro de masas de la unión intermedia

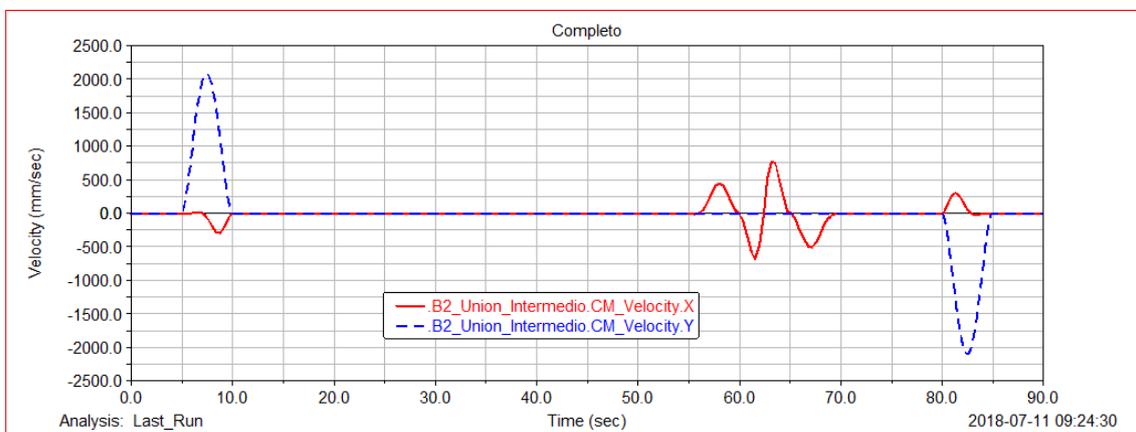


Figura 8.49 – Posición del centro de masas de la unión intermedia

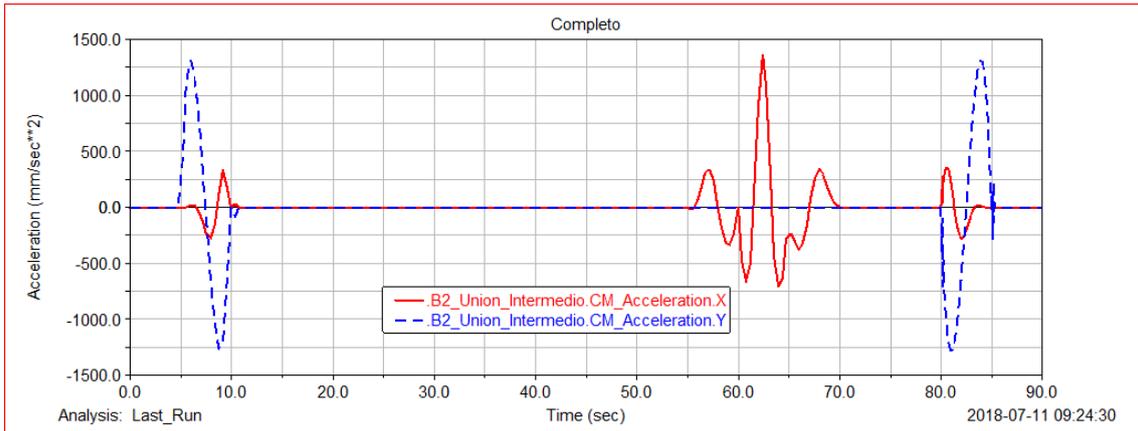


Figura 8.50 – Aceleración del centro de masas de la unión intermedia

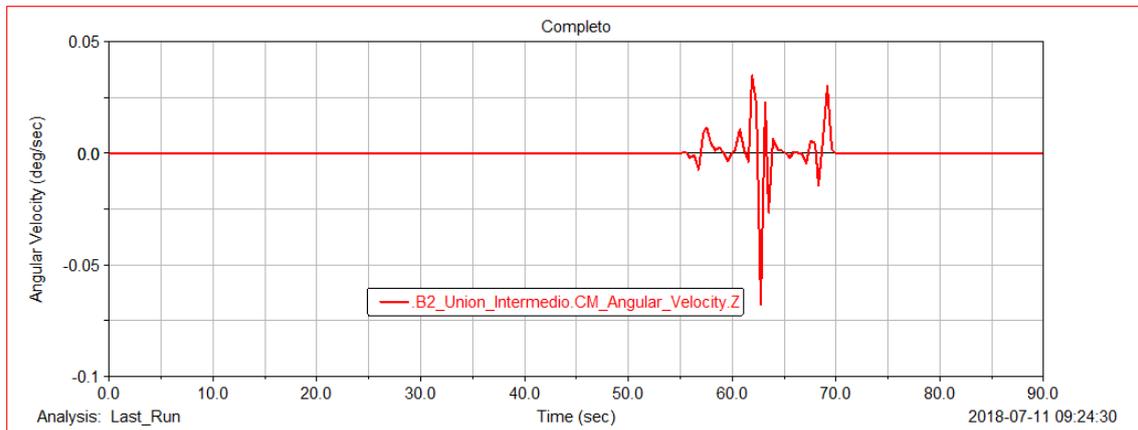


Figura 8.51 – Velocidad angular del centro de masas de la unión intermedia

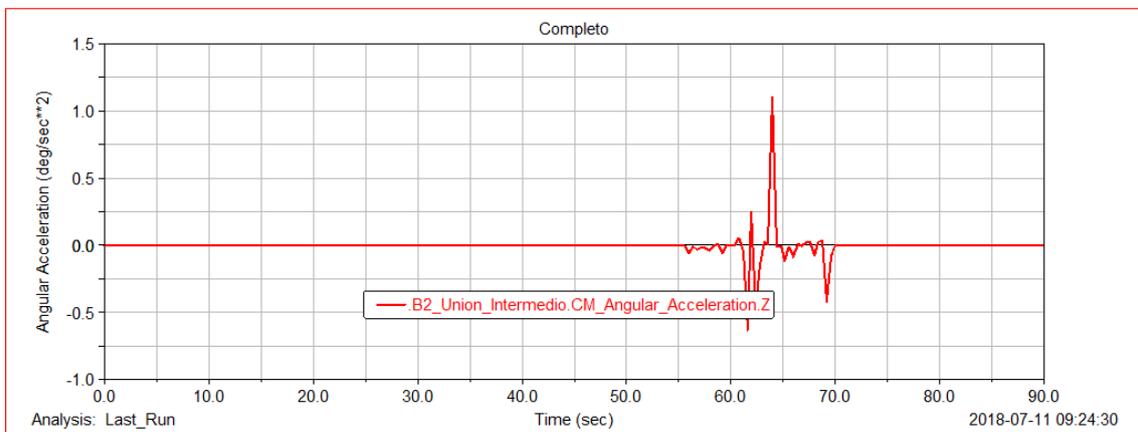


Figura 8.52 – Posición del centro de masas de la unión intermedia

- **Unión Superior:**

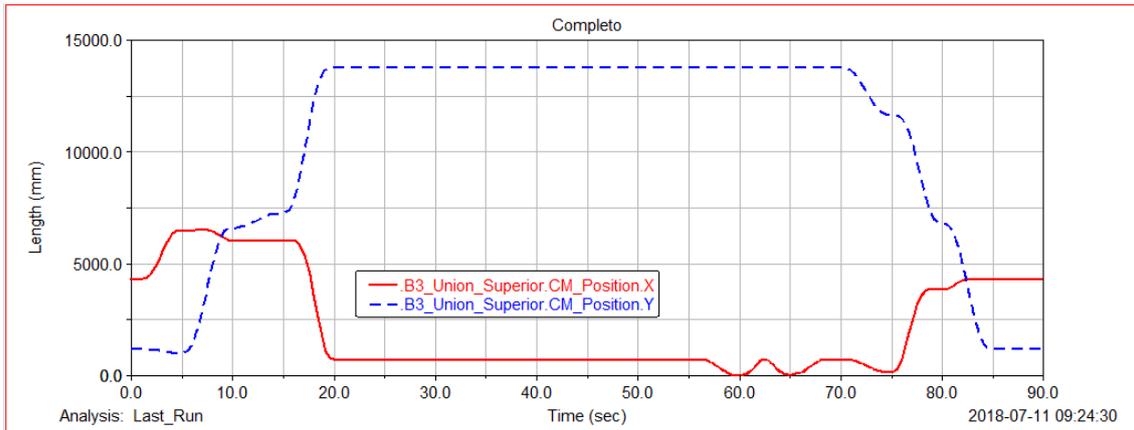


Figura 8.53 – Posición del centro de masas de la unión superior

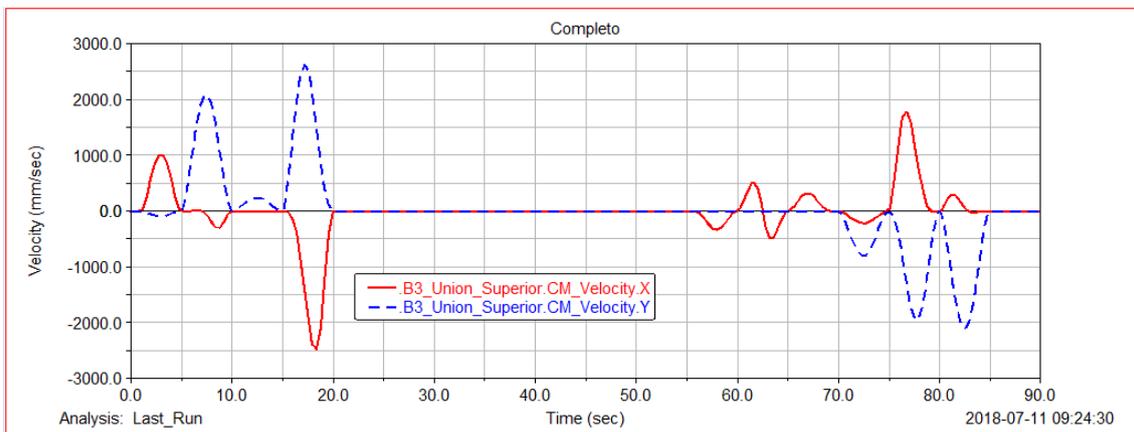


Figura 8.54 – Velocidad del centro de masas de la unión superior

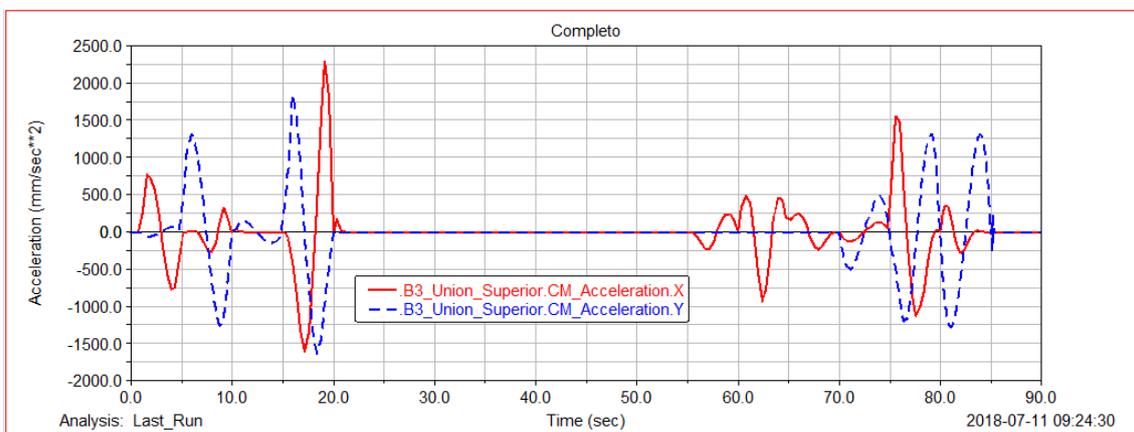


Figura 8.55 – Aceleración del centro de masas de la unión superior

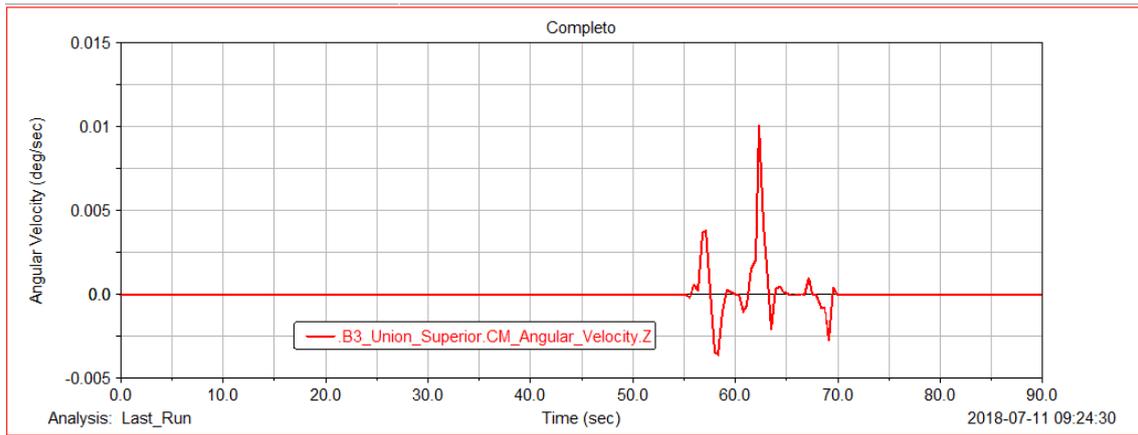


Figura 8.56 – Velocidad angular del centro de masas de la unión superior

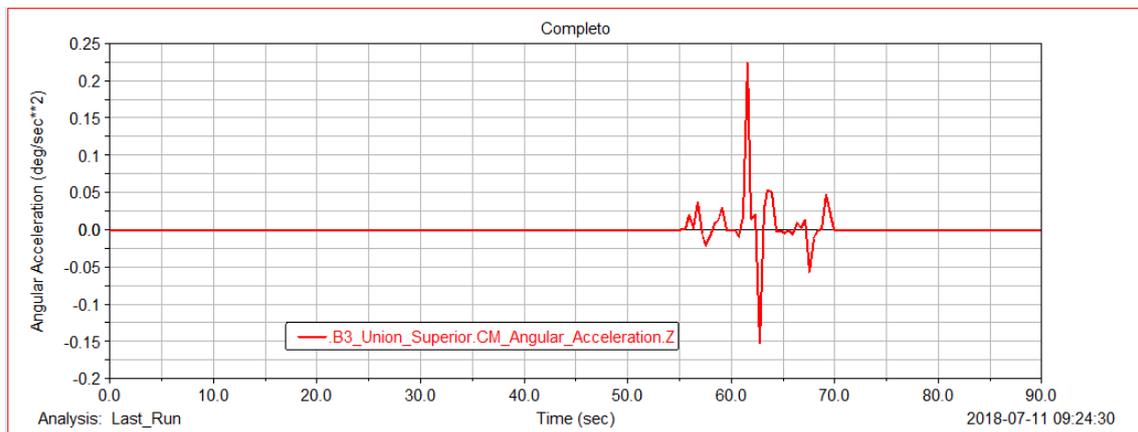


Figura 8.57 – Aceleración angular del centro de masas de la unión superior

- **Cesta y Unión Cesta:**

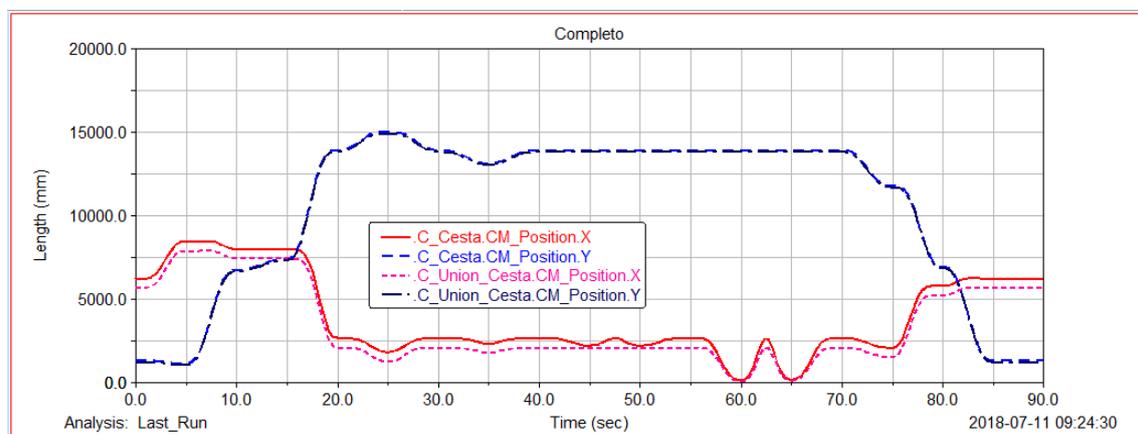


Figura 8.58 – Posición del centro de masas de la cesta y la unión superior

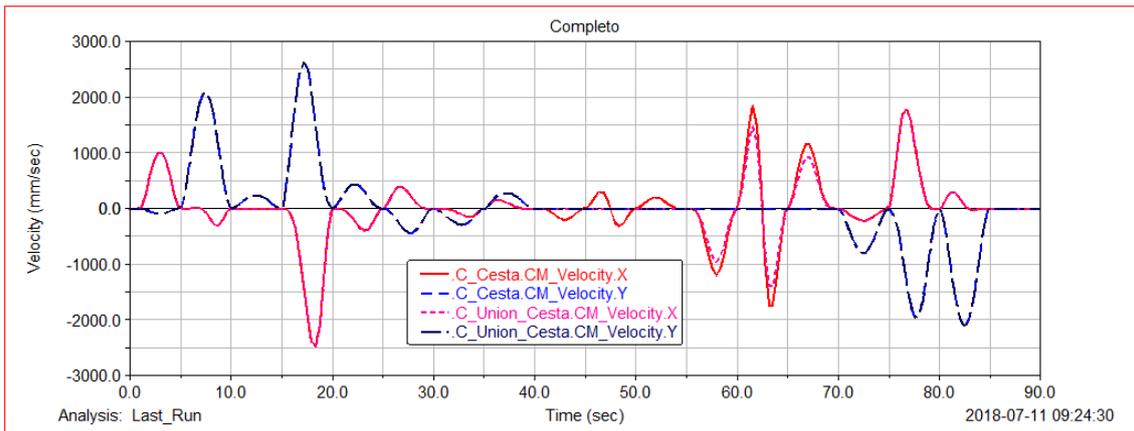


Figura 8.59 – Velocidad del centro de masas de la cesta y la unión superior

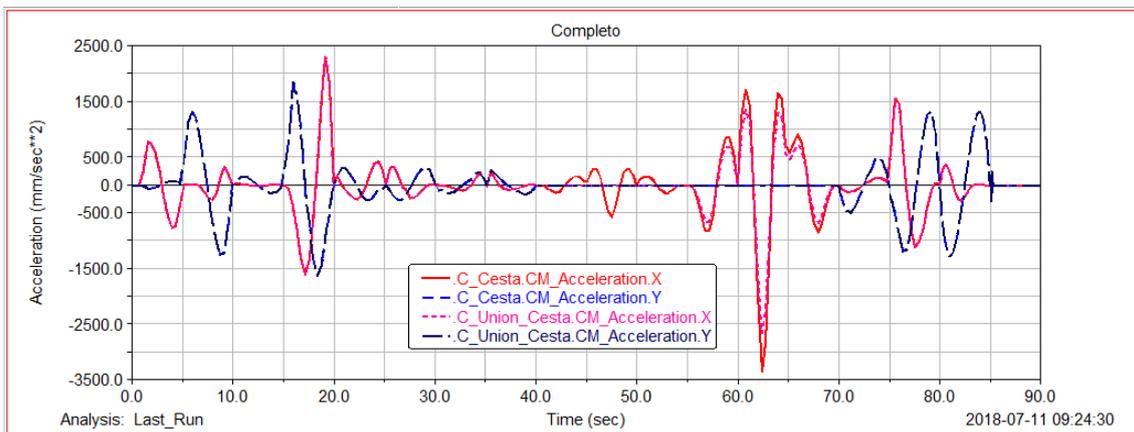


Figura 8.60 – Posición del centro de masas de la cesta y la unión superior

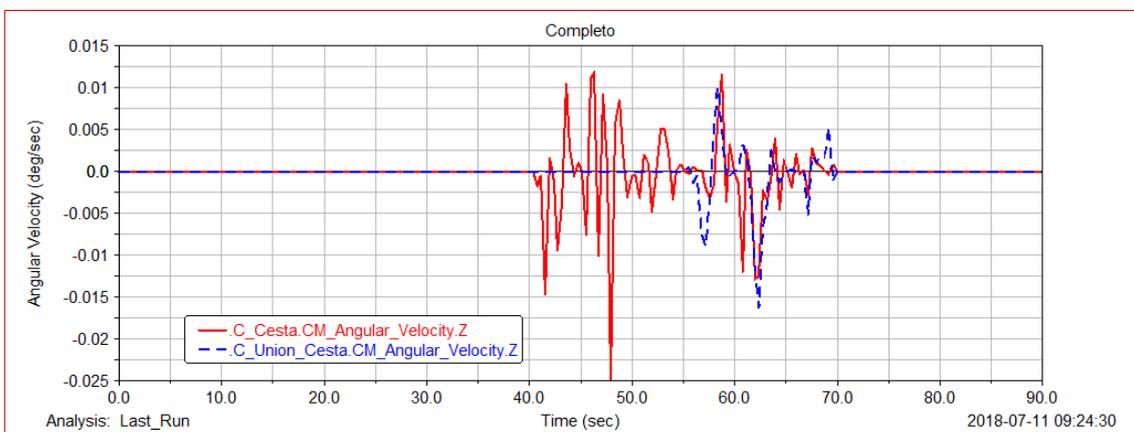


Figura 8.61 – Velocidad angular del centro de masas de la cesta y la unión superior

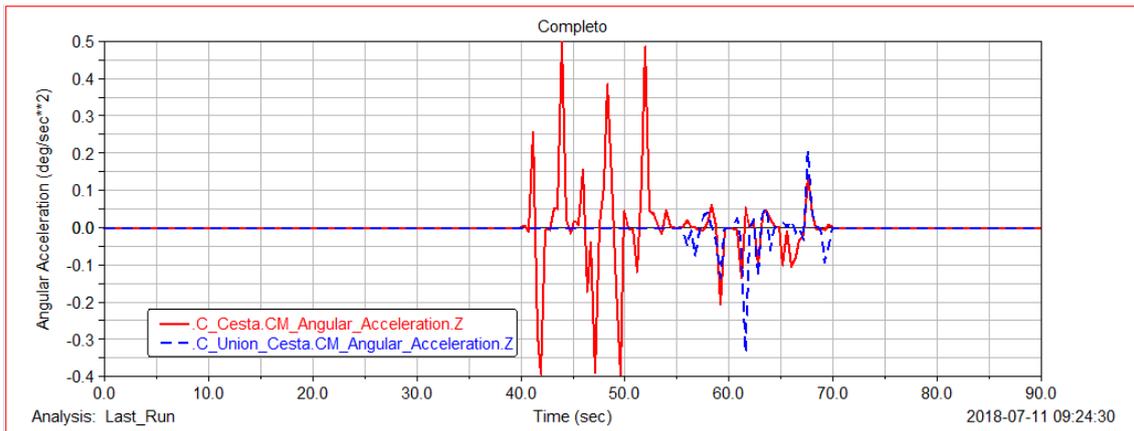


Figura 8.62 – Aceleración angular del centro de masas de la cesta y la unión superior

- **Pistón Inferior:**

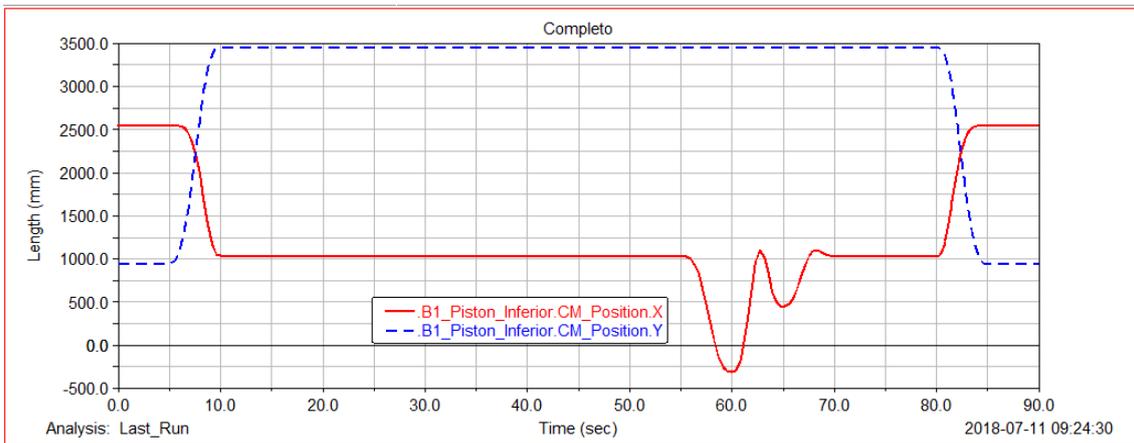


Figura 8.63 – Posición del centro de masas del pistón inferior

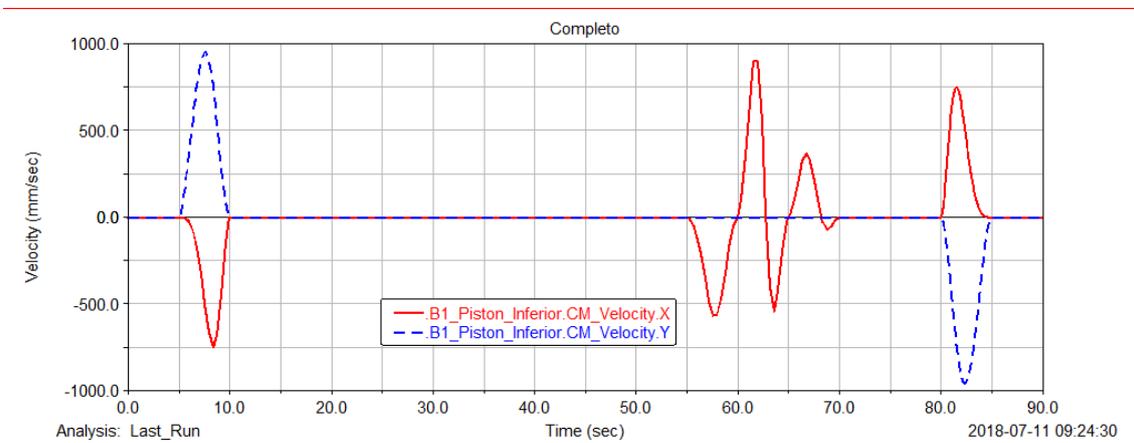


Figura 8.64 – Velocidad del centro de masas del pistón inferior

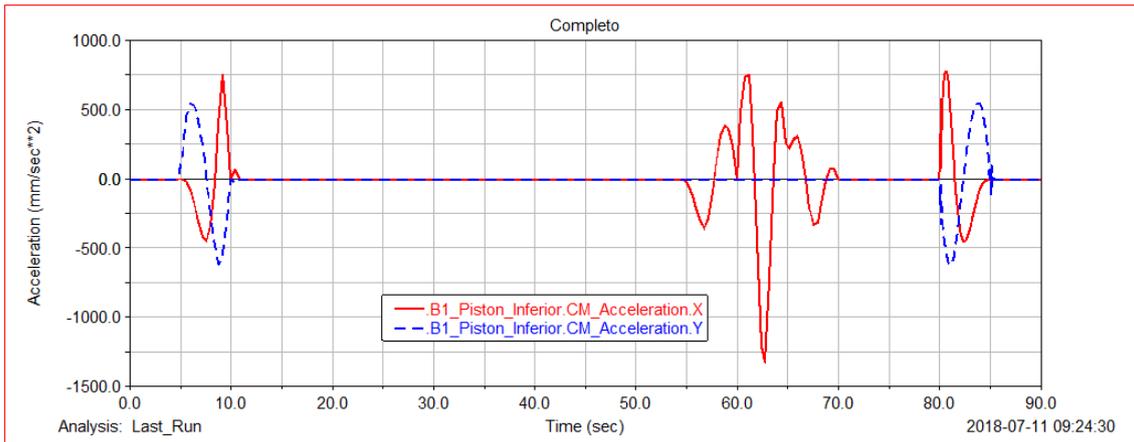


Figura 8.65 – Aceleración del centro de masas del pistón inferior

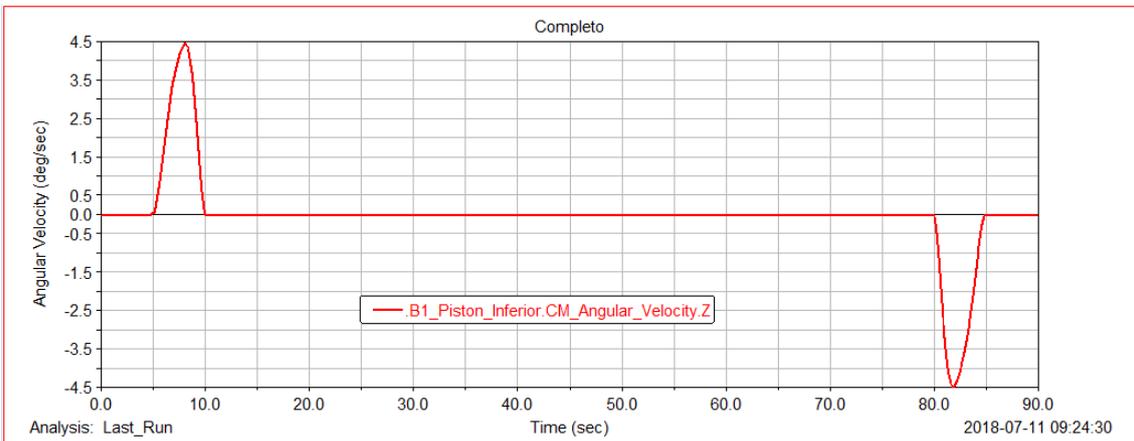


Figura 8.66 – Velocidad angular del centro de masas del pistón inferior

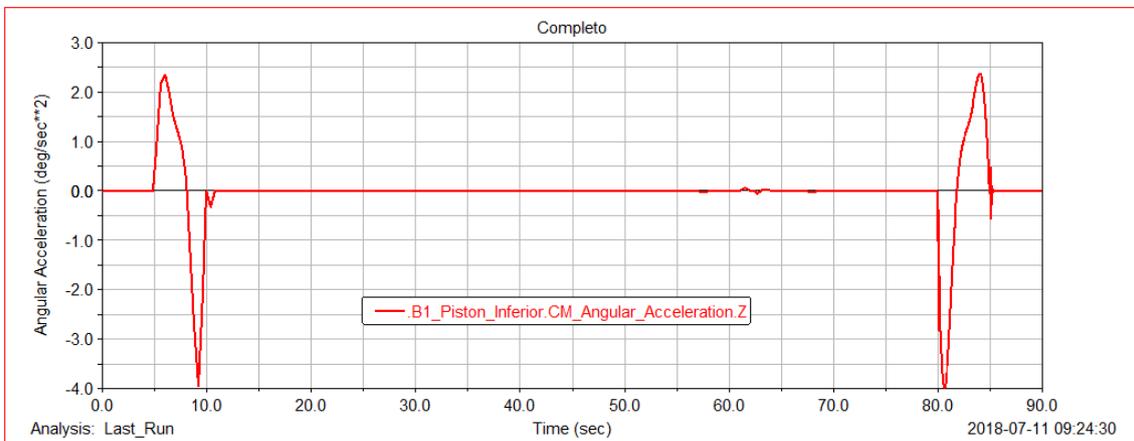


Figura 8.67 – Aceleración angular del centro de masas del pistón inferior

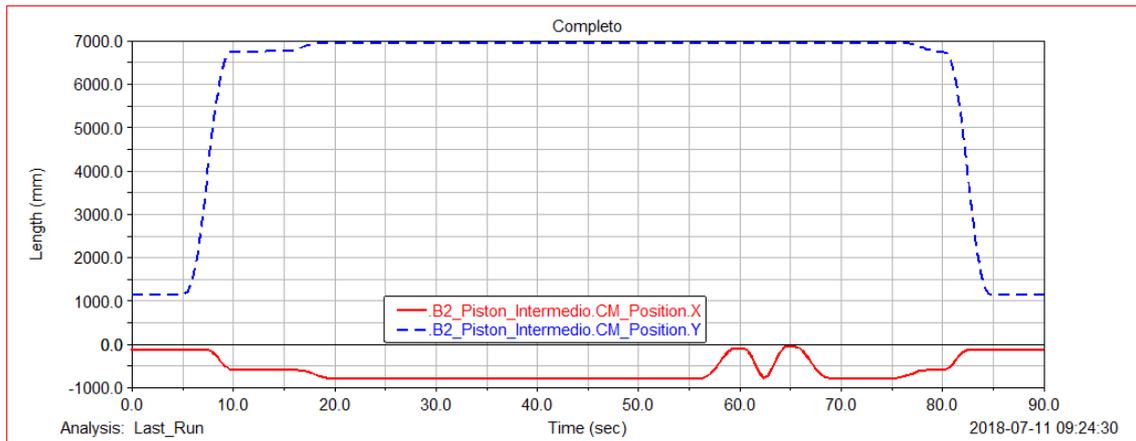
- **Pistón Intermedio:**

Figura 8.68 – Posición del centro de masas del pistón intermedio

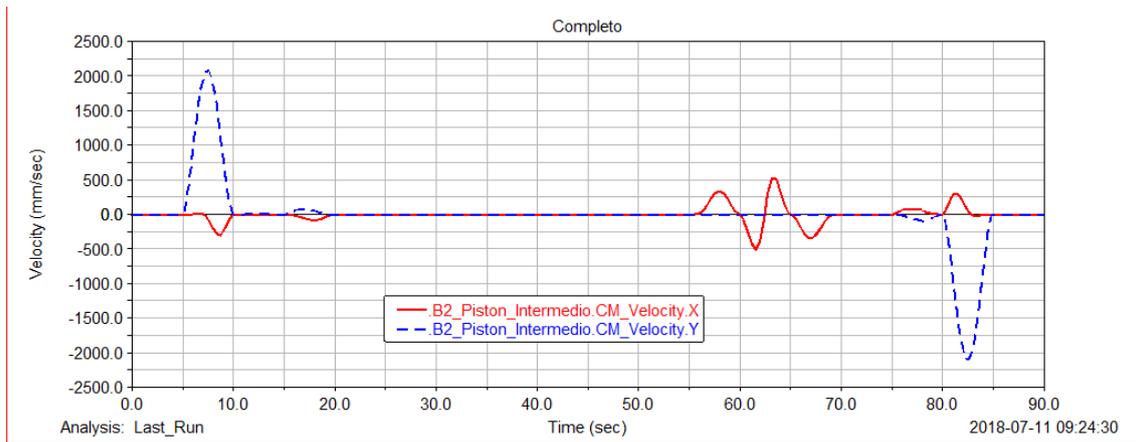


Figura 8.69 – Velocidad del centro de masas del pistón intermedio

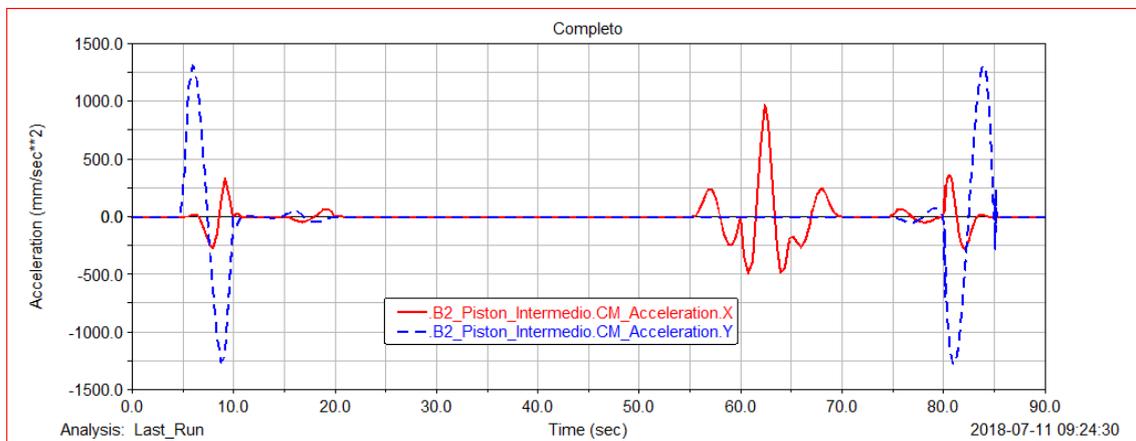


Figura 8.70 – Aceleración del centro de masas del pistón intermedio

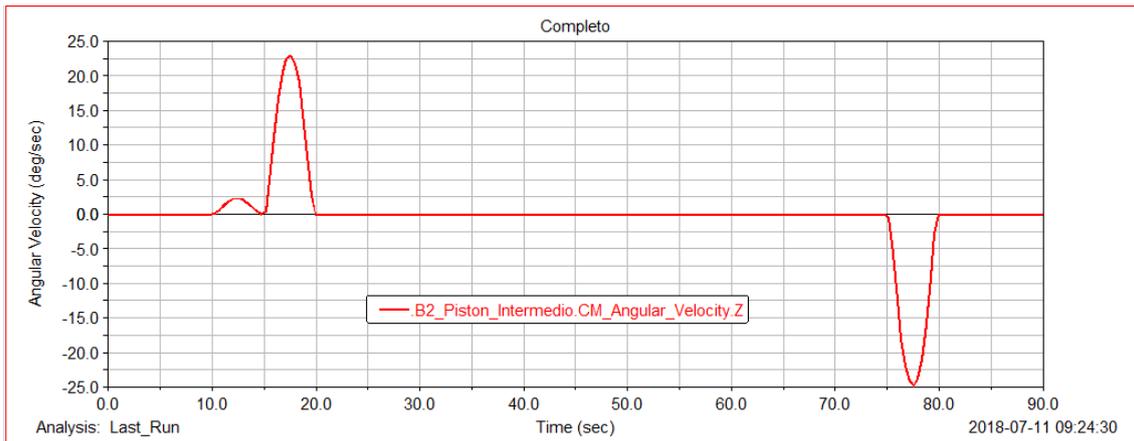


Figura 8.71 – Velocidad angular del centro de masas del pistón intermedio

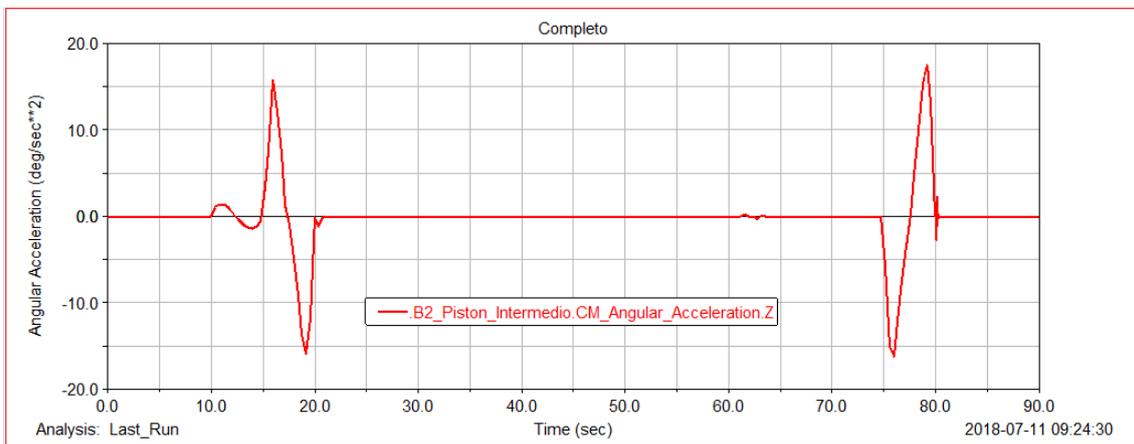


Figura 8.72 – Aceleración angular del centro de masas del pistón intermedio

- **Pistón Superior:**

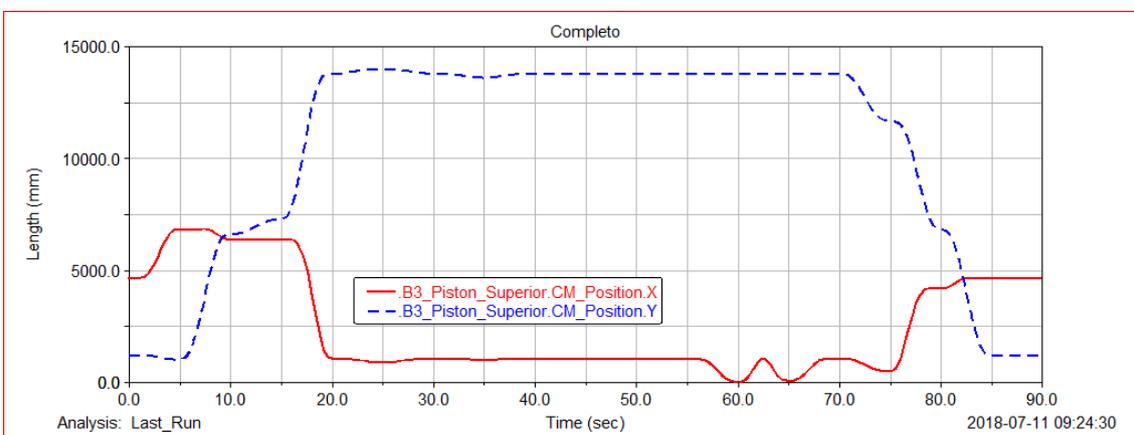


Figura 8.73 – Posición del centro de masas del pistón superior

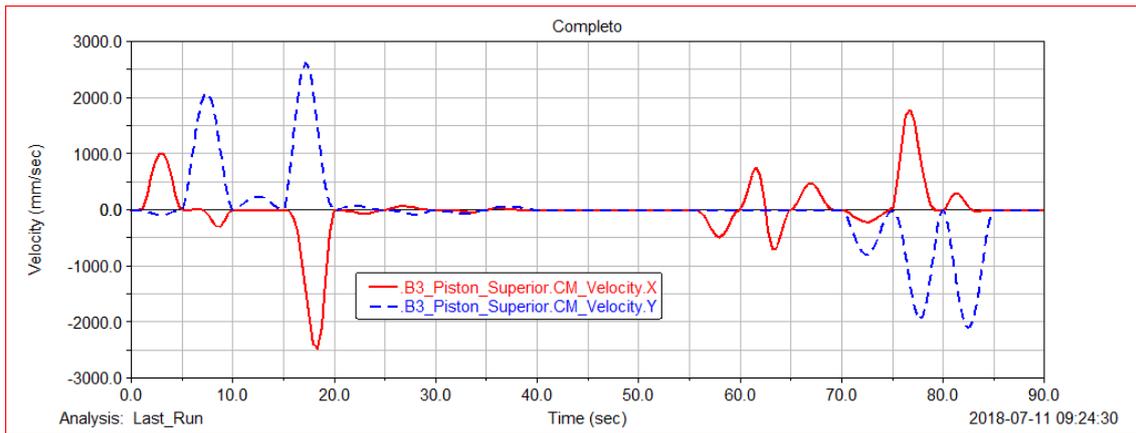


Figura 8.74 – Velocidad del centro de masas del pistón superior

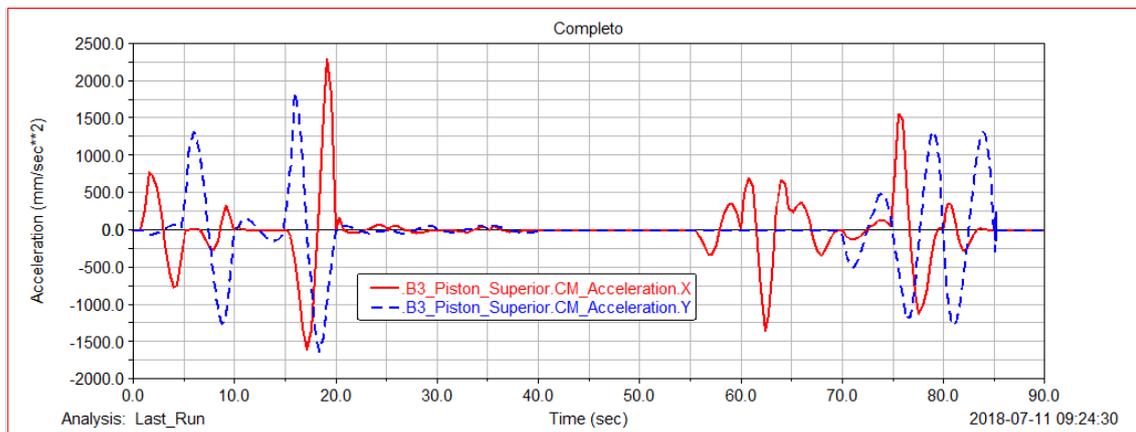


Figura 8.75 – Aceleración del centro de masas del pistón superior

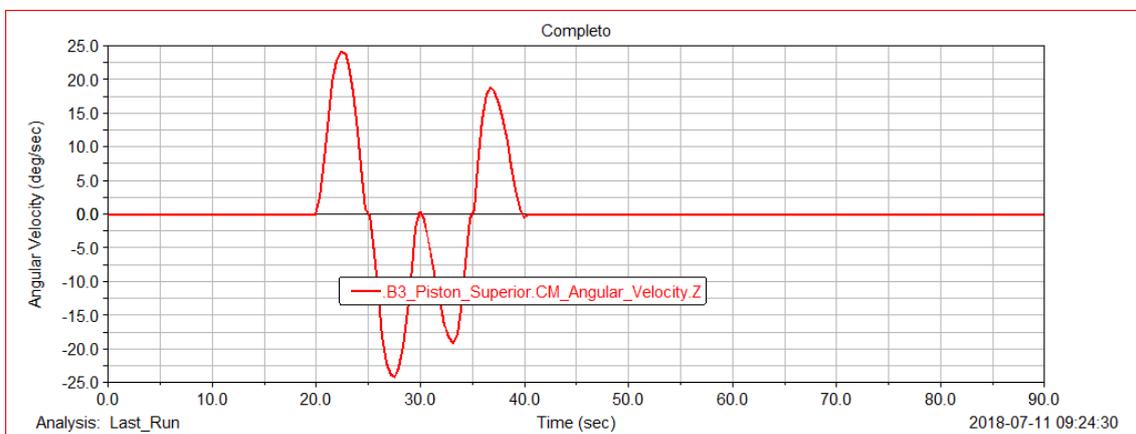


Figura 8.76 – Velocidad angular del centro de masas del pistón superior

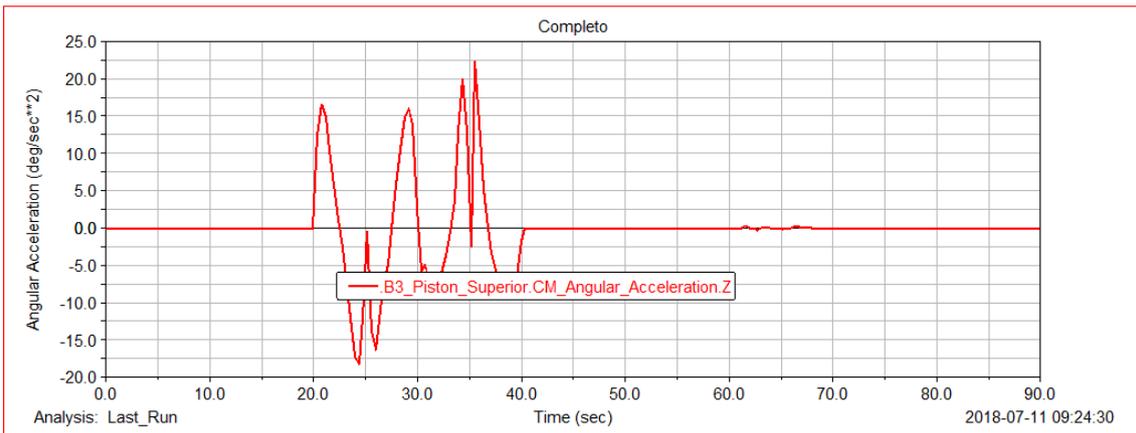


Figura 8.77 – Aceleración angular del centro de masas del pistón superior

- **Pistón Telescopio:**

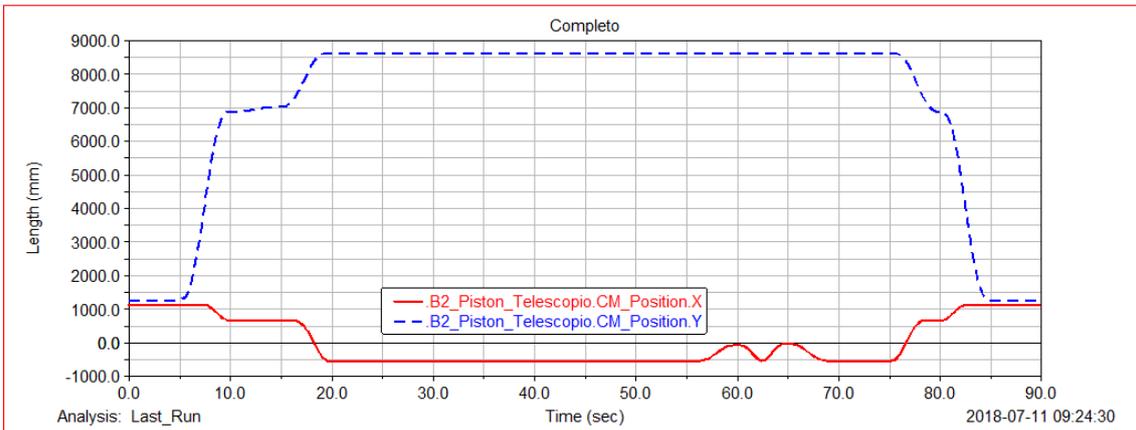


Figura 8.78 – Posición del centro de masas del pistón telescopio

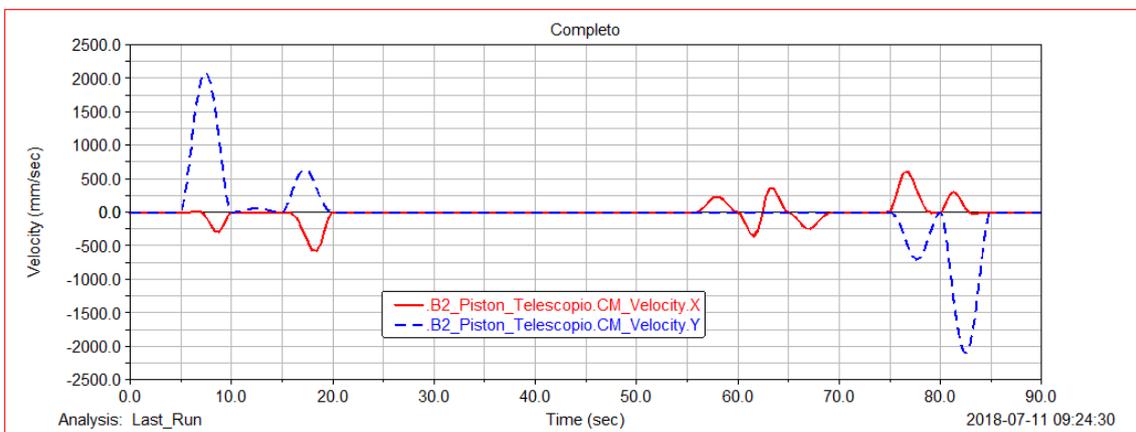


Figura 8.79 – Velocidad del centro de masas del pistón telescopio

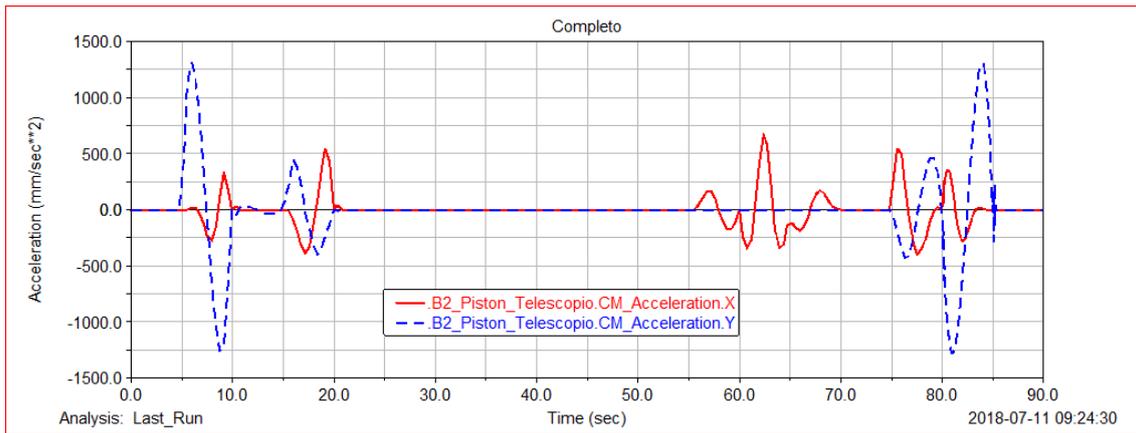


Figura 8.80 – Aceleración del centro de masas del pistón telescópico

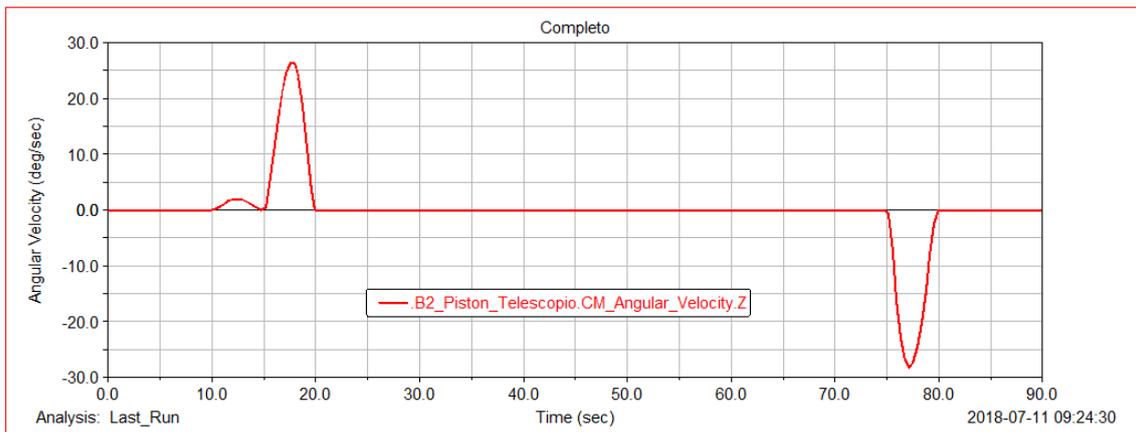


Figura 8.81 – Velocidad angular del centro de masas del pistón telescópico

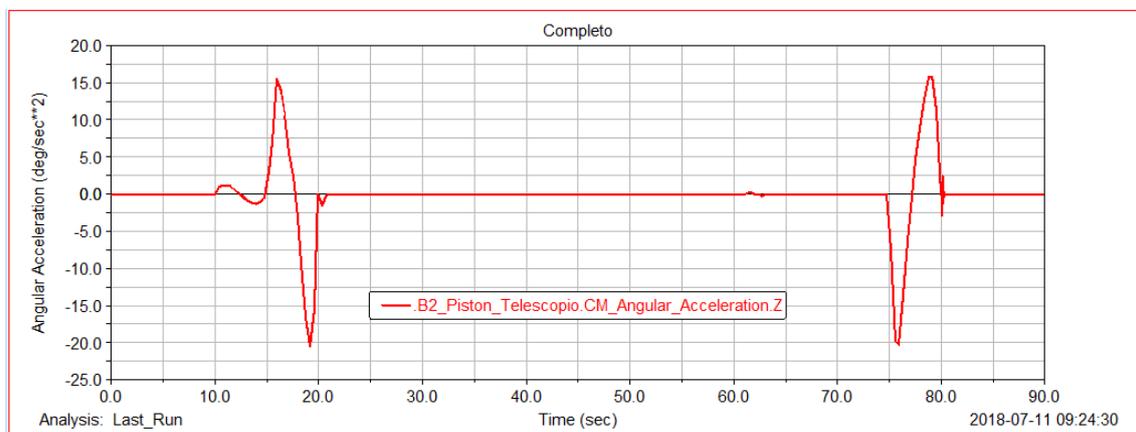


Figura 8.82 – Aceleración angular del centro de masas del pistón telescópico

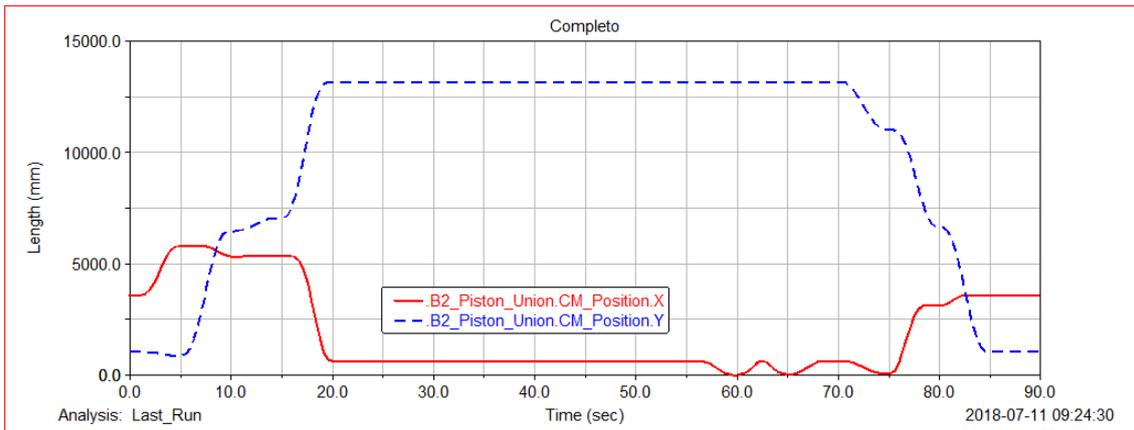
- **Pistón Unión:**

Figura 8.83 – Posición del centro de masas del pistón unión

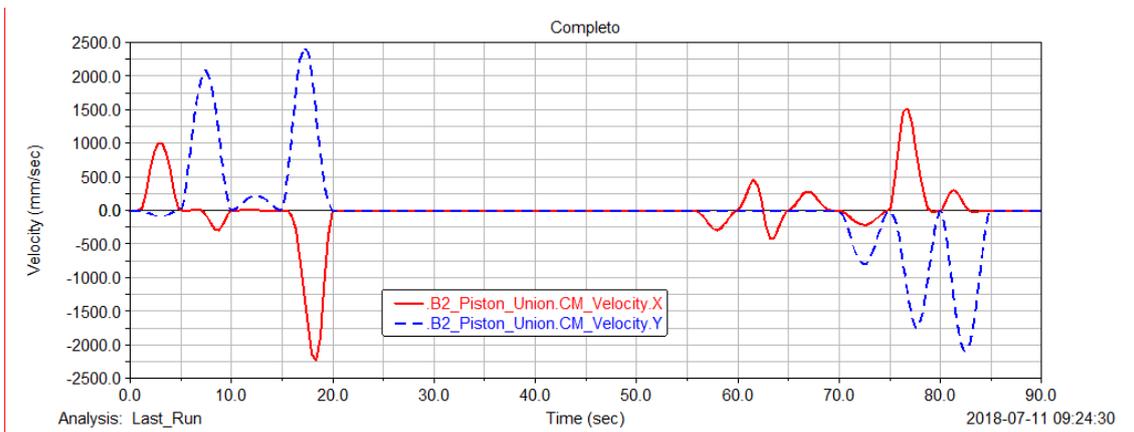


Figura 8.84 – Velocidad del centro de masas del pistón unión

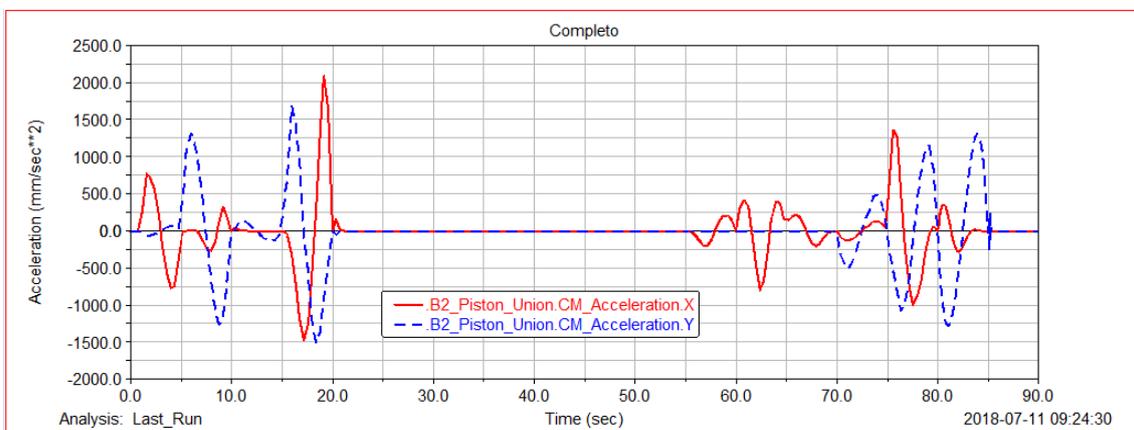


Figura 8.85 – Aceleración del centro de masas del pistón unión

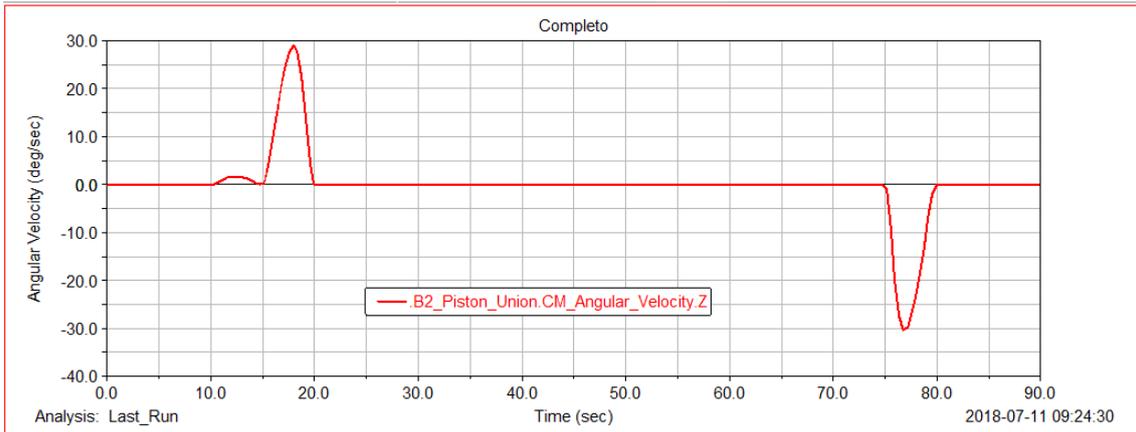


Figura 8.86 – Velocidad angular del centro de masas del pistón unión

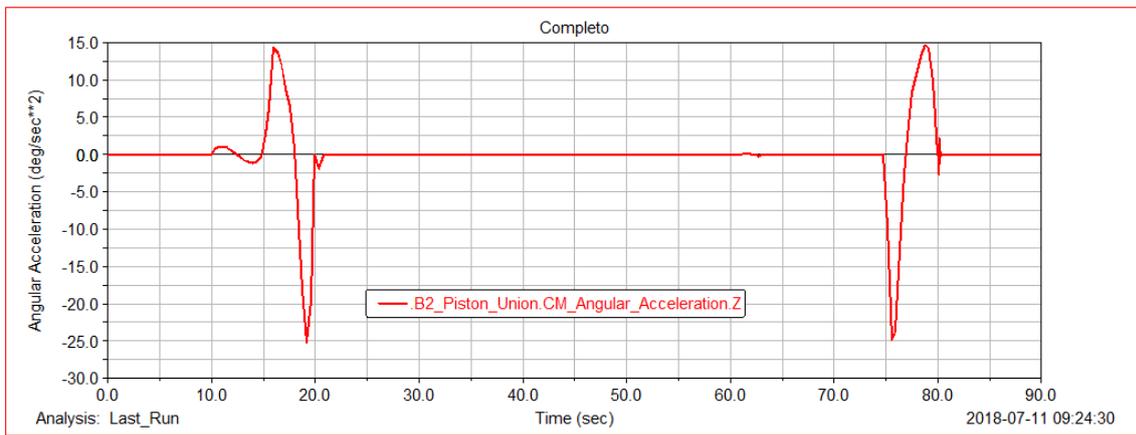


Figura 8.87 – Aceleración angular del centro de masas del pistón unión

8.2. Conclusiones

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. Desde el punto de vista de las aptitudes del diseño resulta satisfactorio comprobar cómo se alcanza una altura de plataforma máxima de 15 [m], con un alcance de 8,5 [m] y con un tiempo de plegado y extendido entorno a los 85 segundos, todos ellos valores muy próximos a los planteados como objetivos en la definición del diseño.

Para dar validez al modelo simulado, nos fijaremos en la curva de operación que nos proporciona el fabricante de la máquina. Si los movimientos son correctos, el programa *Adams View* es capaz de obtener trayectorias de muchos puntos. En este caso se facilita la amplitud que puede lograr la máquina, esta información está extraída directamente del catálogo de la Genie Z-51/30J RT. Cuando se haya simulado el modelo y la curva que describe el punto más extremo de la cesta sea similar a la información que hay en el catálogo, diremos que el modelo es correcto.

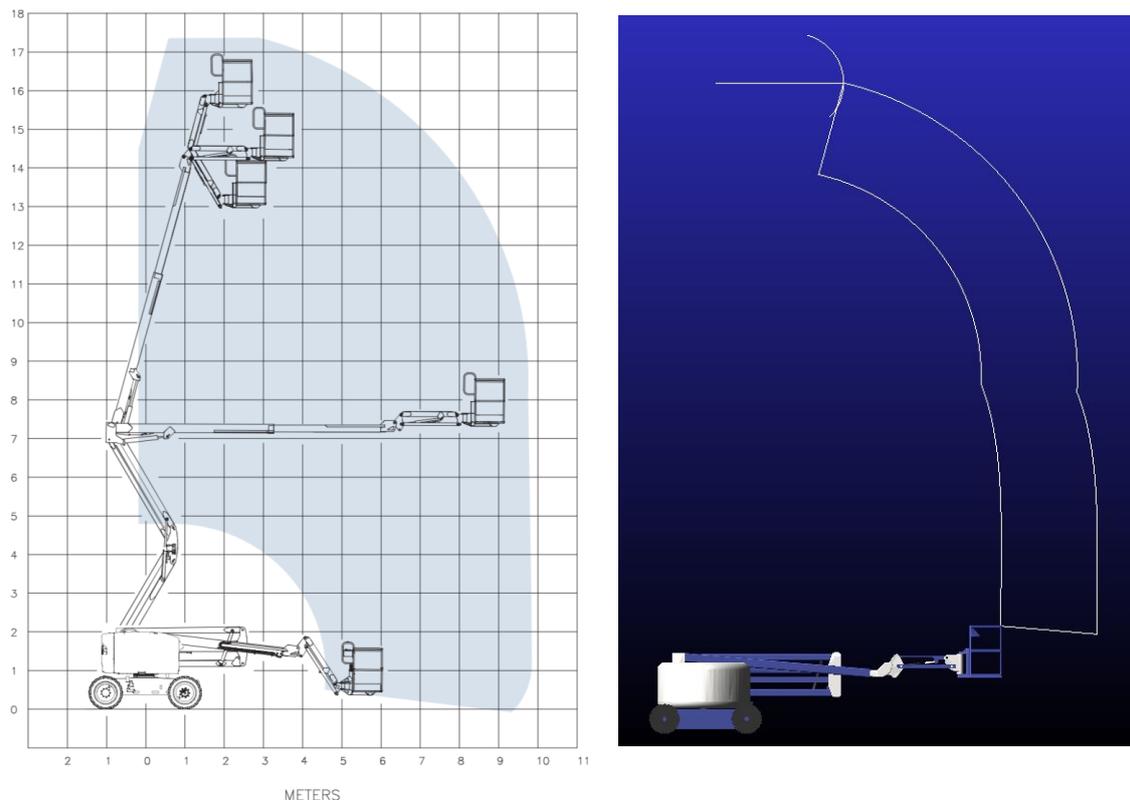


Figura 8.88 – Diagrama de trabajo de la plataforma, en la parte izquierda la proporcionada por el fabricante (a) y a la derecha la obtenida en la simulación dinámica (b).

Cómo se puede observar en las imágenes anteriores, la trayectoria descrita por el punto más extremo del modelo informático se asemeja mucho a la información que ofrece el fabricante. La zona que no está sombreada se debe a que esta realizada con el brazo telescópico cerrado, cosa que también se puede obtener en la plataforma realizada con otra simulación. Después de haber realizado esta comparación podemos decir que el modelo simulado es válido.

Este trabajo está realizado básicamente para poder ser utilizado en estudios académicos para asignaturas de modelado informático. Por otro lado, el modelo se podría introducir en programas para análisis de esfuerzos como puede ser *Ansys* o programas similares, lo que permite hacer estudios de elementos finitos para cada parte que conforma el mecanismo. Por eso queda demostrado que el modelo utilizado en este trabajo ofrece un amplio estudio para componentes, movimientos, relaciones y esfuerzos.

Por último cabe mencionar que a día de hoy los programas de diseño y simulado de componentes se utilizan mucho en la industria, puesto que permiten evaluar las aptitudes del sistema mucho antes de haberse fabricado, esto permite hacer modificaciones o mejoras en el modelo antes de ser verificado

9. BIBLIOGRAFIA

- [1] Burton, P. (1979). *Kinematics and dynamics of planar machinery*. New-Jersey 07632: Prentice-Hall.
- [2] Shigley, J., Uicker, J., Contin, H. y Pérez Castellanos, J. (1996). *Teoría de máquinas y mecanismos*. México: McGraw-Hill.
- [3] Roda Buch, A., Mata Amela, V. y Albelda Vitoria, J. (2016). *Maquinas y mecanismos*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- [4] Suñer Martínez, J., Cuadrado Iglesias, J. I. (2013). *Problemas resueltos de teoría de máquinas y mecanismos*. España: Universitat Politècnica de València.
- [5] Genielift.es/es/index.htm (2018). Modelo elevadora Genie Z-51/30J RT [online] Consultado el 05/05/18 en: <http://www.genielift.es/es/products/articulating-booms-cherry-pickers/diesel-articulating-boom-lifts-cherry-pickers/z-5130jrt/index.htm>
- [6] Manuals.gogenielift.com. (2018). *Genie Parts Manuals*. [online] Consultado el 15/05/18 en: <http://manuals.gogenielift.com/Parts%20And%20Service%20Manuals/partsZbooms5.htm>
- [7] Genieindustries.arinet.com. (2018). [online] Consultado el 17/05/18 en: <http://genieindustries.arinet.com/scripts/EmpartISAPI.dll?MF&app=GENIE&lang=EN&TF=Empartweb&loginID=genie&Loginpwd=consumer&returl=http://genieindustries.com/manuals.asp>
- [8] Previpedia.es. (2018). *Plataforma elevadora móvil de personal - Previpedia*. [online] Consultado el 10/05/18 en: http://previpedia.es/Plataforma_elevadora_móvil_de_personal#Normas_de_seguridad_en_la_utilizaci.C3.B3n_de_PEMP
- [9] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) - Insht.es. (2018). Condiciones de seguridad y salud exigibles a la maquinaria de obra: plataformas elevadoras móviles de personal [online] Consultado el 18/05/18 en: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FICHAS%20DE%20PUBLICACIONES/EN%20CATALOGO/SEGURIDAD/Condiciones%20exigibles%20PEMP.pdf>
- [10] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) - Insht.es. (2018). Plataformas elevadoras móviles de personal [online] Consultado el 18/05/18 en: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp_634.pdf
- [11] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) - Insht.es. (2018). Plataformas elevadoras móviles de personal (I): gestión preventiva para su uso seguro [online] Consultado el 18/05/18 en: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/NTP/NTP/Ficheros/1031a1042/NTP%201039.pdf>

10. LISTA DE FIGURAS

Figura 2.3 – Ejemplo proyecto en MSC Adams. (Fuente - http://media.mscsoftware.com/cdn/farfuture/zZHDjmRz34wiM-DKZ-hXplup39OmnPbXt39hlyzcgss/mtime:1487365106/sites/default/files/inline-images/adams_view-2012.jpg)

Figura 3.1 – Tipos de PEMP según norma UNE 58923. (Fuente - <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FICHAS%20DE%20PUBLICACIONES/EN%20CATALOGO/SEGURIDAD/Condiciones%20exigibles%20PEMP.pdf>)

Figura 3.2 – Partes de una plataforma elevadora móvil de personal. (Fuente - <https://www.gignere.com.mx/industria-4/>)

Figura 3.3 – PEMP sobre camión articulada o telescópica. (Fuente - <http://www.lineaprevencion.com/ProjectMiniSites/IS41/images/capitulos/3/pemp.jp>)

Figura 3.4 – PEMP de tijera autopropulsada. (Fuente - <http://www.lineaprevencion.com/ProjectMiniSites/IS41/images/capitulos/3/tijera.jpg>)

Figura 3.5 – PEMP articulada o telescópica autopropulsada. (Fuente - <http://www.lineaprevencion.com/ProjectMiniSites/IS41/images/capitulos/3/articulada.jpg>)

Figura 4.1 – Partes generales PEMP articulada Genie Z51/30J – RT. (Fuente - <https://www.platformsales.com.au/products/boom-lifts/genie-z-4023-nrj/>)

Figura 4.2 – Dimensiones generales PEMP proporcionada en el catálogo. (Fuente - http://www.genielift.es/es/cs/groups/webcontent/@web/@awp/documents/web_content/mdaw/mjc5/~edisp/ucm03_279843.pdf)

Figura 4.3 – Características técnicas de la PEMP proporcionadas en el catálogo. (Fuente - http://www.genielift.es/es/cs/groups/webcontent/@web/@awp/documents/web_content/mdaw/mjc5/~edisp/ucm03_279843.pdf)

Figura 5.19 – Cuadrilátero articulado. (Fuente - Roda Buch, A., Mata Amela, V. y Albelda Vitoria, J. (2016). *Maquinas y mecanismos*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Página 20)

Figura 5.20 – Tipos de cuadrilátero articulado. (Fuente – García Prada, J. C. , Castejón Sisamón, C., Rubio Alonso, H.(2003). Problemas resueltos de *maquinas y mecanismos*. Página 17)

Figura 5.25 – Mecanismo Biela – Manivela - Deslizadera. (Fuente - Roda Buch, A., Mata Amela, V. y Albelda Vitoria, J. (2016). *Maquinas y mecanismos*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.)

Figura 5.26 – Las cuatro inversiones del mecanismo Biela – Manivela – Deslizadera. (Fuente - <http://proyeciner.blogspot.com/2014/12/proyecto-integrador-integrantes-del.html>)

Figura 5.27 – Esquema del mecanismo. (Fuente - Roda Buch, A., Mata Amela, V. y Albelda Vitoria, J. (2016). *Maquinas y mecanismos*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Página 95)

Figura 8.88 (a) – Diagrama de trabajo de la plataforma, en la parte izquierda la proporcionada por el fabricante en catálogo. (Fuente - http://www.genielift.es/es/cs/groups/webcontent/@web/@awp/documents/web_content/mdaw/mjc5/~edisp/ucm03_279843.pdf)

- * Cabe comentar que todas las figuras que no aparecen en este listado han sido obtenidas directamente desde los programas utilizados o realizadas manualmente por el alumno.

DOCUMENTO II:

PLIEGO DE CONDICIONES Y PRESUPUESTO

ÍNDICE

<u>1.</u>	<u>PLIEGO DE CONDICIONES</u>	1
1.1	INTRODUCCIÓN	1
1.2	CONDICIONES DE HARDWARE	1
1.3	CONDICIONES DE SOFTWARE	2
<u>2.</u>	<u>PRESUPUESTO</u>	3
2.1	PARTIDA DE ELABORACIÓN Y DESARROLLO DEL TRABAJO	3
2.2	PARTIDA DE MATERIALES Y RECURSOS EMPLEADOS	5
2.3	PRESUPUESTO TOTAL	7

1. PLIEGO DE CONDICIONES

1.1 Introducción

En este documento se tienen que incluir recomendaciones, normas e instrucciones que se tienen que llevar a cabo para poder realizar el proyecto de manera correcta.

Cómo se trata de un estudio completamente realizado a ordenador, no hay que tener en cuenta especificaciones en cuanto a materiales o procesos de montaje. Al ser un modelo computacional no se tendrá en cuenta el impacto ambiental.

Para poder realizar este proyecto es necesario el uso de recursos informáticos. Estos recursos se pueden clasificar en dos campos conocidos como: hardware y software. Cuando se habla de hardware se hace referencia a todos los dispositivos informáticos que han sido requeridos para la realización del trabajo. No obstante, cuando se habla de software, se hace referencia a los programas utilizados en el trabajo que integran los dispositivos informáticos utilizados. Para poder realizar este proyecto es necesario unas condiciones iguales o superiores a las descritas a continuación.

1.2 Condiciones de Hardware

Como hardware se ha utilizado dos equipos: un ordenador portátil con el cual se ha realizado el diseño, el modelado de la plataforma y la redacción del proyecto, y un equipo fijo con el cual se ha realizado la simulación dinámica de la máquina.

➤ Ordenador portátil: MacBook Pro (Retina, 13 pulgadas, finales 2013)

- Procesador: 2,4 GHz Intel Core i5
- Memoria RAM: 8GB 1600 MHz DDR3
- Tarjeta gráfica: Intel Iris 1536 MB
- Memoria interna: 120 GB
- Sistema operativo: macOS High Sierra 10.13.5

➤ Equipo fijo:

- Procesador: 2,93 GHz Intel Core i3
- Memoria RAM: 8GB
- Tarjeta gráfica: Intel HD Graphics 1696 MB
- Memoria interna: 298 GB
- Sistema operativo: Windows 10 Enterprise 64 bits

1.3 Condiciones de Software

Los softwares utilizados en el presente trabajo se corresponde con software de uso comercial los cuales se han obtenido a través de su página web mediante la versión de estudiante y mediante la licencia de programa facilitada por la universidad . Los programas utilizados son:

➤ AutoCad:

En el caso de este trabajo final de grado, AutoCAD permite visualizar los planos de la plataforma elevadora móvil de personal articulada “Genie Z-51/30J-RT” en 2D. A partir de estos se obtienen las medidas de la plataforma mediante la herramienta *Acotar*. Se utiliza la versión estudiante.

➤ Fusion 360:

Se utiliza para la creación del modelo 3D CAD que se exporta posteriormente a MSC Adams para el análisis dinámico. Así como para la obtención de los planos de cada componente de la plataforma. Se utiliza la versión estudiante.

➤ MSC Adams:

Este software será utilizado, en su versión completa, para la simulación dinámica de la plataforma, analizando las diferentes condiciones de funcionamiento de esta para crear un mapa de trabajo y compararlo con el de la máquina real.

➤ Otros programas:

En este apartado se recogen todos aquellos programas que han servido de ayuda para realizar cálculos matemáticos sencillos como es el caso del *programa Microsoft Office Excel*, así como *Microsoft Office Word* que se ha utilizado para la redacción de este documento.

2. PRESUPUESTO

2.1 Partida de elaboración y desarrollo del trabajo

Para realizar el trabajo de fin de grado presentado se han utilizado un total de 315 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, a pesar de ello como todas se han realizado por la misma persona el precio de trabajo será el mismo para todas:

- 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 30 horas de trabajo y se ha asignado un precio de 20 euros /h ya que se trata de un proyecto puntual y se requiere de un titulado con suficientes 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, ha sido asignado el mismo precio de 20 euros/hora y se han empleado para ello un total de 210 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. Se asigna un precio de 20 euros/h y se han empleado un total de 30 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 45 horas asignando un precio de 20 euros/h.

Partida de elaboración y desarrollo del trabajo

Concepto	Unidad Básica	Cantidad	Precio unitario (€/h)	Total (€)
Búsqueda y recopilación de información	h (horas)	30	20	600
Diseño, modelado y simulación.	h (horas)	210	20	4200
Generación de planos de detalle	h (horas)	30	20	600
Redacción del documento escrito.	h (horas)	45	20	900
			Subtotal 1	6.300
			Costes indirectos	2% 126
			TOTAL PARTIDA 1	6.426

2.2 Partida de materiales y recursos empleados

Es preciso incluir en el presupuesto todos aquellos recursos y materiales utilizados para la confección del proyecto. Como simplificación sólo se van a tener en cuenta aquellos utilizados con mayor frecuencia, evitando así la introducción de aquellos utilizados puntualmente.

- Software Autodesk Fusion 360 (2018): En este proyecto tanto el programa como la licencia han sido gratuitos debido a ser estudiante. Cabe mencionar que en caso de no obtener la versión estudiante. 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 la licencia a modo de presupuesto real. La licencia supone un coste de 1900 euros. Dicho Software ha sido utilizado tanto para la parte simulación dinámica suponiendo un total de 155h.
- Software MSC Adams View (2017.1): En este caso se obtiene la versión completa de manera gratuita gracias a la universidad. Al igual que en el caso anterior, 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 la licencia a modo de presupuesto real. La licencia anual supone un coste de 326,70 euros. Dicho Software ha sido utilizado tanto para la parte de *Diseño y modelado* como para la parte de *Generación de los planos de detalle* suponiendo un total de 55h.
- Ordenador portátil: Precio de compra 1505,59 euros. Se trata del dispositivo que ha sido utilizado a tiempo completo durante la realización del proyecto, incluyendo todas las etapas del mismo, por lo que su uso asciende a 315h. Se trata de un portátil de la marca Mac con el sistema operativo macOS High Sierra 10.13.5, el cual incorpora un procesador Intel Core i5, una memoria RAM de 8GB 1600 MHz DDR3, una tarjeta grafica Intel Iris 1536 MB con una memoria interna de 120GB.
- Material de reprografía: Se incluyen todos los procesos de impresión, fotocopias y encuadernación del escrito. Se destina un precio aproximado de 80 €.

Partida de materiales y recursos empleados

Concepto	Unidad Básica	Cantidad	Precio unitario (€/Ud.)	Total (€)
Software Autodesk Fusion 360 (2018)	Ud. (unidad)	1	326,7	326,7
MSC Adams View (2017.1)	Ud. (unidad)	1	1900	1900
Ordenador portátil	Ud. (unidad)	1	1.505,59	1.505,59
Material de reprografía	Ud. (unidad)	1	60	60
Subtotal				3.792,29
Costes indirectos			2%	75,85
TOTAL PARTIDA 2				3.868,14

2.3 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.

PRESUPUESTO TOTAL		
Partida		Total (€)
Partida de elaboración y desarrollo del trabajo		6.426
Partida de materiales y recursos empleados		3.868,14
	Coste total sin IVA	10.294,14
	IVA	21% 2.161,77
	PRESUPUESTO TOTAL	12.455,90

El coste total asciende a:

DOCE MIL CUATROCIENTOS CINCUENTA Y CINCO EUROS CON NOVENTA CENTIMOS

DOCUMENTO III:

ANEXO PLANOS

ÍNDICE

- 1. ENSAMBLAJE CHASIS**
- 2. ENSAMBLAJE ESTRUCTURAS EXTENSIBLES**
 - 2.1. ENSAMBLAJE ESTRUCTURA INFERIOR**
 - 2.1.1. ENSAMBLAJE PISTÓN INFERIOR
 - 2.2. ENSAMBLAJE ESTRUCTURA INTERMEDIA**
 - 2.2.1. ENSAMBLAJE PISTÓN INTERMEDIO
 - 2.3. ENSAMBLAJE ESTRUCTURA SUPERIOR**
 - 2.3.1. ENSAMBLAJE TELESCOPIO
 - 2.3.1.1. ENSAMBLAJE PISTÓN TELESCOPIO
 - 2.3.1.2. ENSAMBLAJE PISTÓN UNIÓN
 - 2.3.2. ENSAMBLAJE BRAZOS SUPERIORES
 - 2.3.2.1. ENSAMBLAJE PISTÓN SUPERIOR
- 3. ENSAMBLAJE PLATAFORMA DE TRABAJO**
- 4. ENSAMBLAJE PEMP**
- 5. RUEDA**
- 6. PASADOR CHASIS**
- 7. CHASIS**
- 8. BASE**
- 9. PASADOR CESTA**
- 10. UNIÓN CESTA**
- 11. CESTA**
- 12. CAMISA INFERIOR**
- 13. VASTAGO INFERIOR**
- 14. CAMISA INTERMEDIO**
- 15. VASTAGO INTERMEDIO**
- 16. CAMISA SUPERIOR**
- 17. VASTAGO SUPERIOR**
- 18. CAMISA TELESCOPIO**
- 19. VASTAGO TELESCOPIO**
- 20. CAMISA UNIÓN**
- 21. VASTAGO UNIÓN**

22. BRAZOS A Y B

23. UNIÓN INFERIOR

24. BRAZO INFERIOR (1)

25. BRAZO INFERIOR (2)

26. UNIÓN INTERMEDIA

27. BRAZO INTERMEDIO (1)

28. BRAZO INTERMEDIO (2)

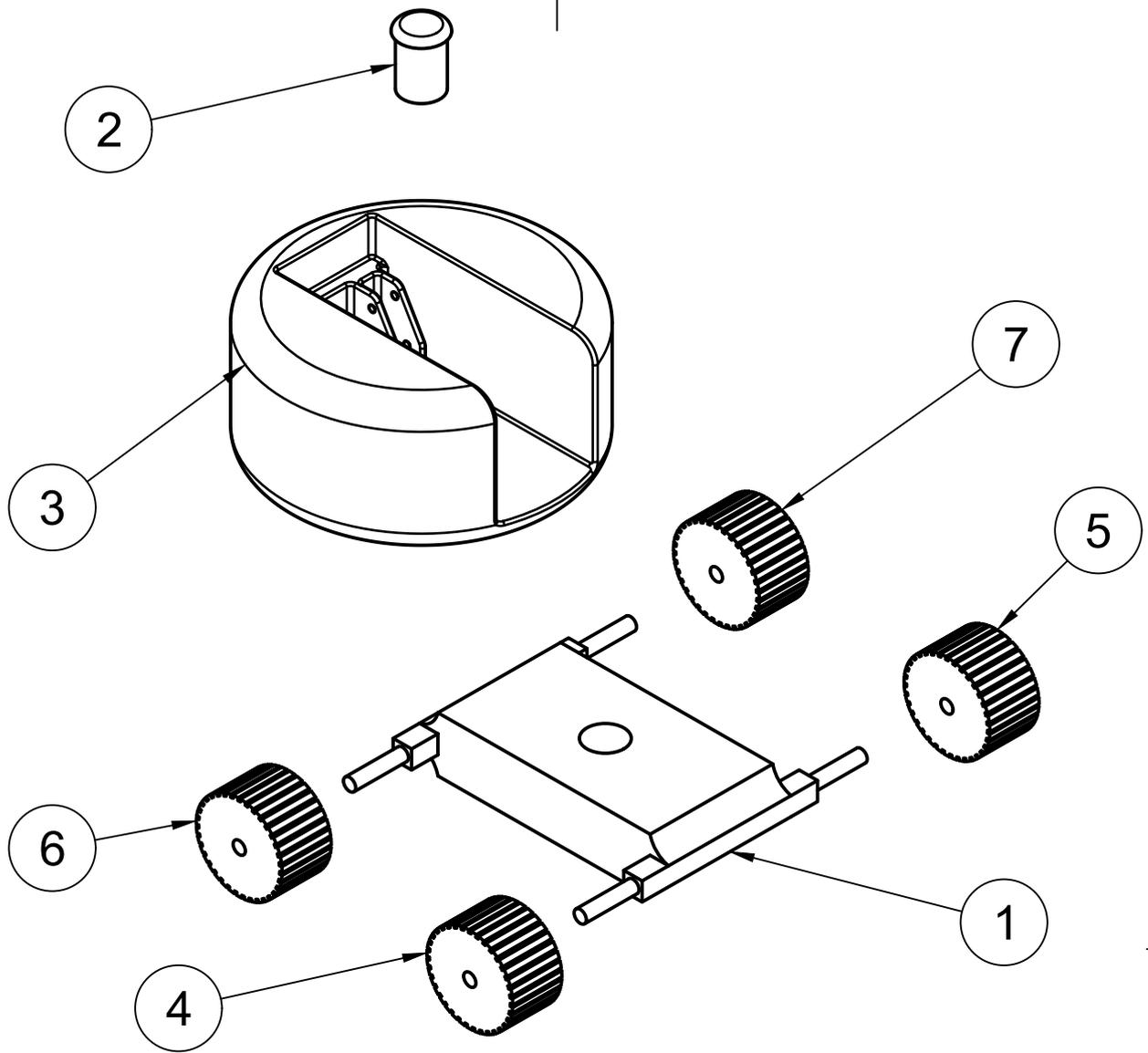
29. BRAZO TELESCÓPICO

30. TELESCOPIO

31. UNIÓN SUPERIOR

32. BRAZO SUPERIOR (1)

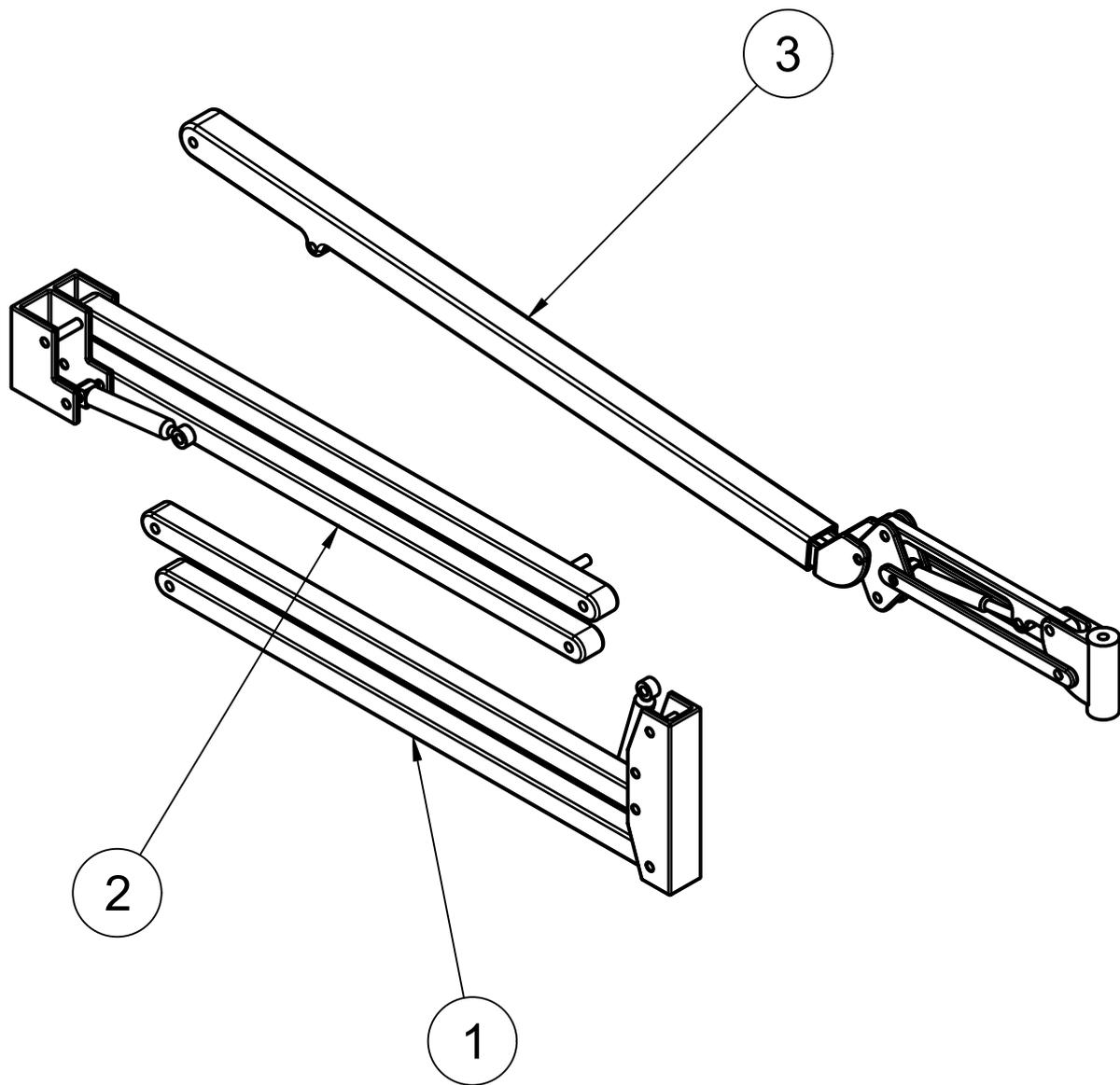
33. BRAZO SUPERIOR (2)



7	1	Rueda (4)		Steel
6	1	Rueda (3)		Steel
5	1	Rueda (2)		Steel
4	1	Rueda (1)		Steel
3	1	Base		Steel
2	1	Pasador Chasis		Steel
1	1	Chasis		Steel
Item	Qty	Part Number	Description	Material

Parts List

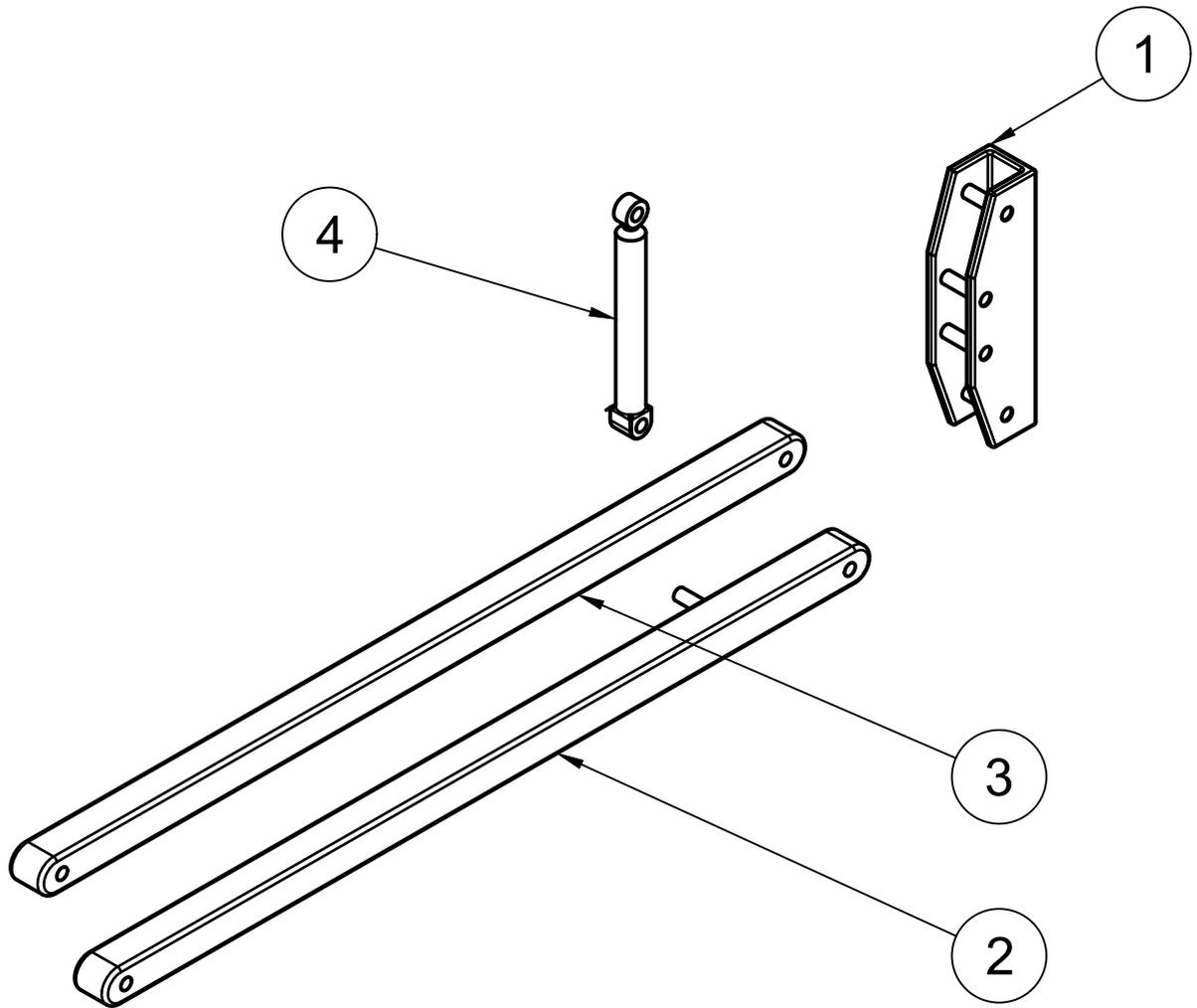
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 30/05/2018	Approved by	
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Despiece	Document status	
		Title Ensmablaje Chasis	DWG No. 1	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



3	1	Ensamblaje Superior		Steel
2	1	Ensamblaje Intermedio		Steel
1	1	Ensamblaje Inferior		Steel
Item	Qty	Part Number	Description	Material

Parts List

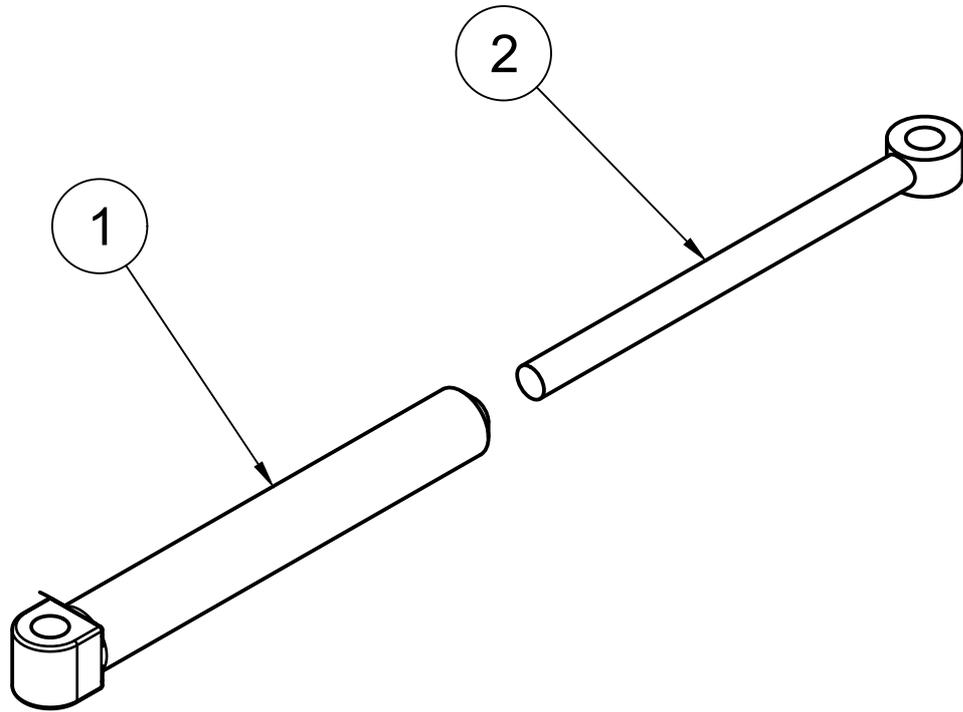
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 30/05/2018	Approved by	
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Despiece	Document status	
		Title Ensamblaje Estructuras Extensibles	DWG No. 2	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



4	1	Piston Inferior Ensamblaje		Steel
3	1	Brazo Inferior (2)		Steel
2	1	Brazo Inferior (1)		Steel
1	1	Unión Inferior		Steel
Item	Qty	Part Number	Description	Material

Parts List

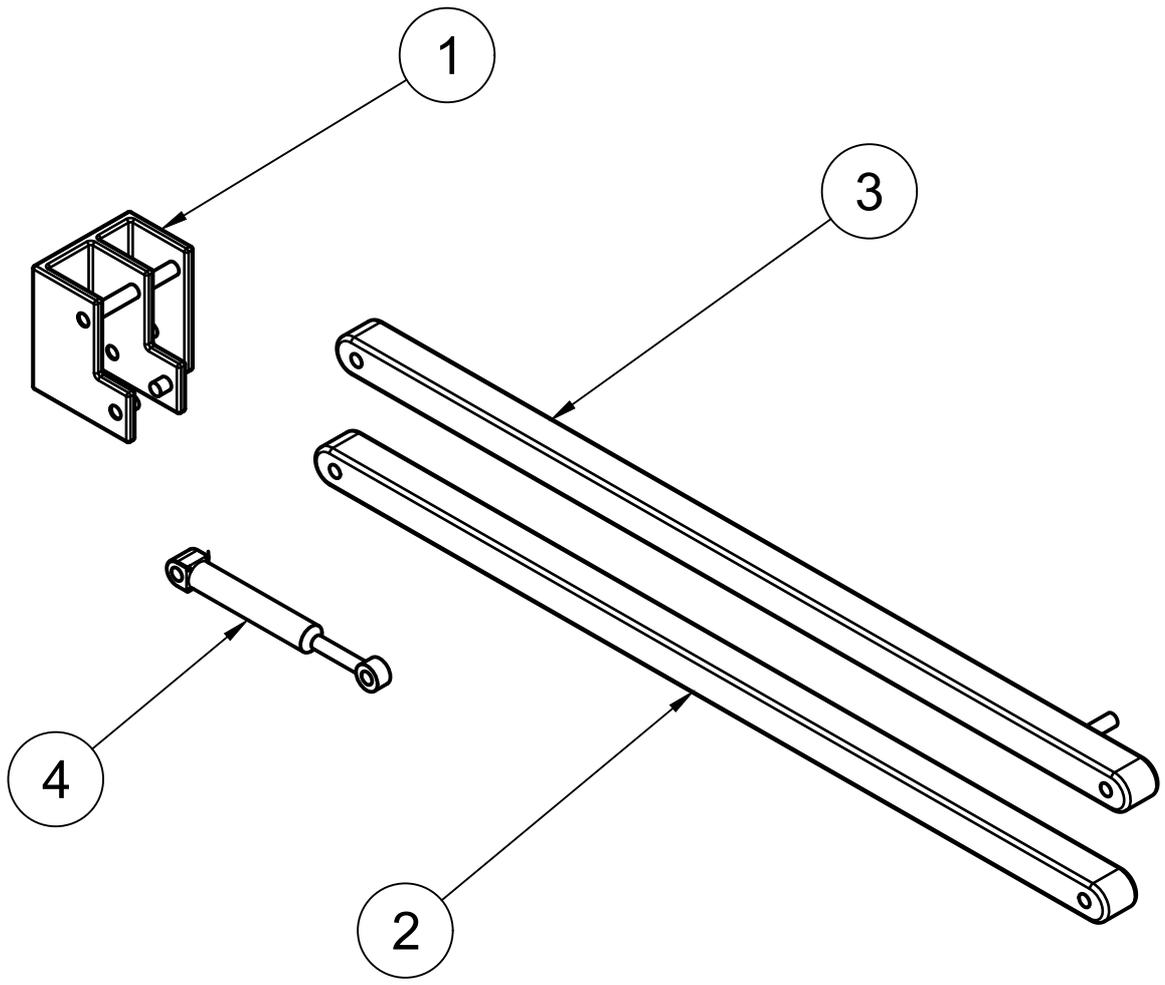
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 30/05/2018	Approved by	
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Despiece	Document status	
		Title Ensamblaje Estructura Inferior	DWG No. 2.1	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



2	1	Extension Inferior		Steel
1	1	Piston Inferior		Steel
Item	Qty	Part Number	Description	Material

Parts List

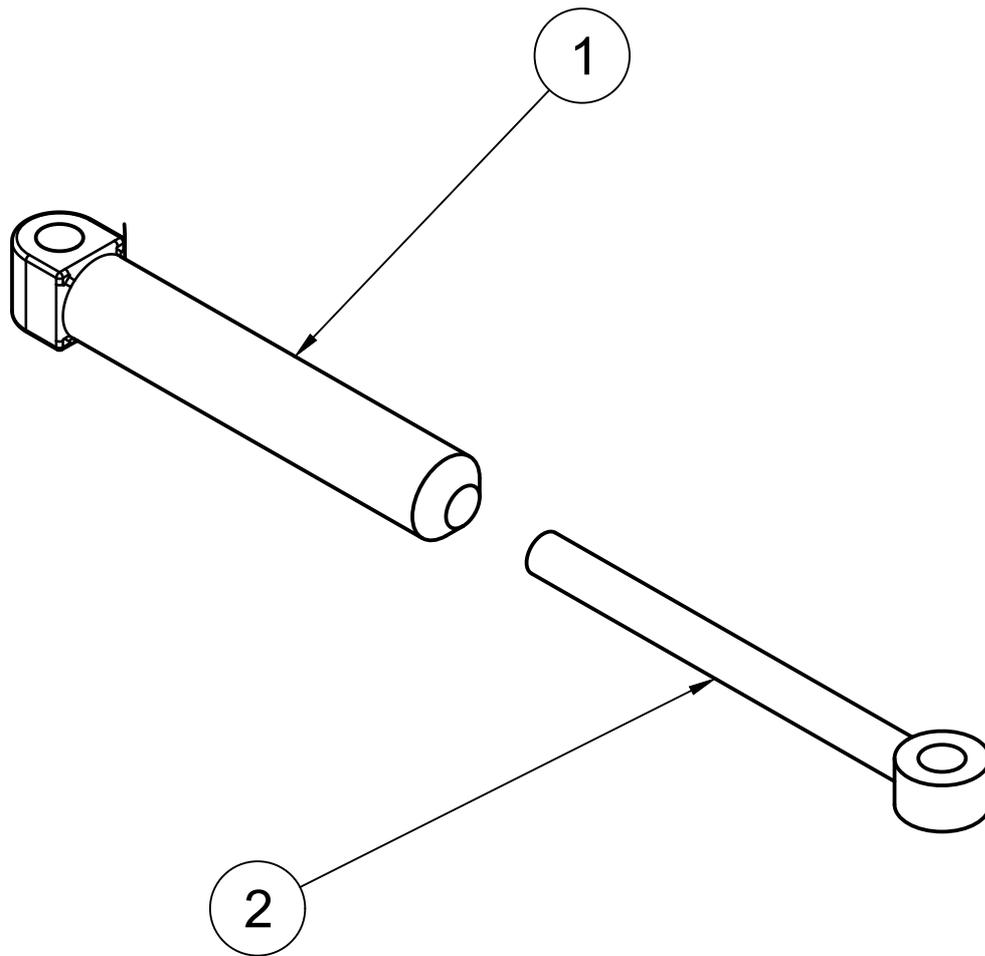
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 30/05/2018	Approved by	
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Despiece	Document status	
		Title Ensamblaje Piston Inferior	2.1.1	
		Rev.		



4	1	Ensamblaje Piston Intermedio		Steel
3	1	Brazo Intermedio (2)		Steel
2	1	Brazo Intermedio (1)		Steel
1	1	Union Intermedio		Steel
Item	Qty	Part Number	Description	Material

Parts List

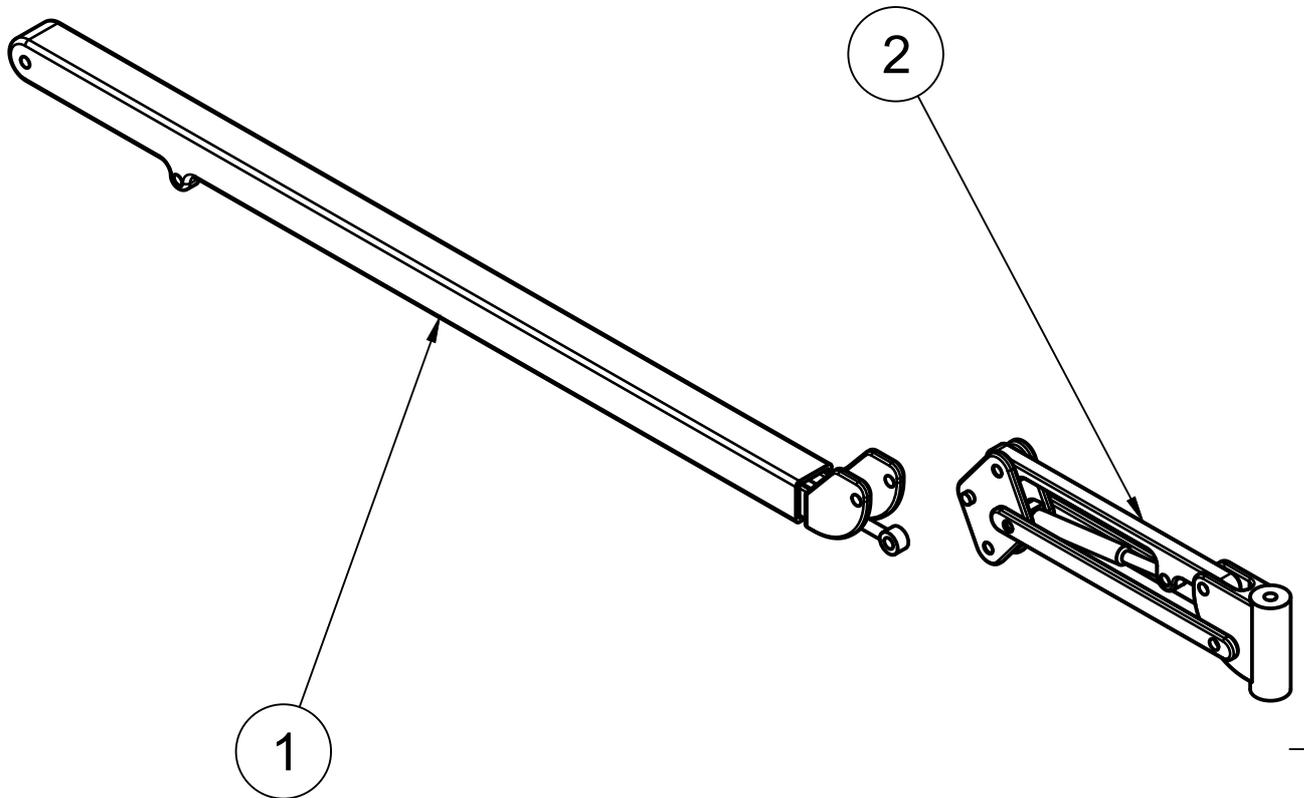
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 30/05/2018	Approved by	
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Despiece	Document status	
		Title Ensamblaje Estructura Extensible Intermedia	DWG No. 2.2	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



2	1	Extension Intermedio		Steel
1	1	Piston Intermedio		Steel
Item	Qty	Part Number	Description	Material

Parts List

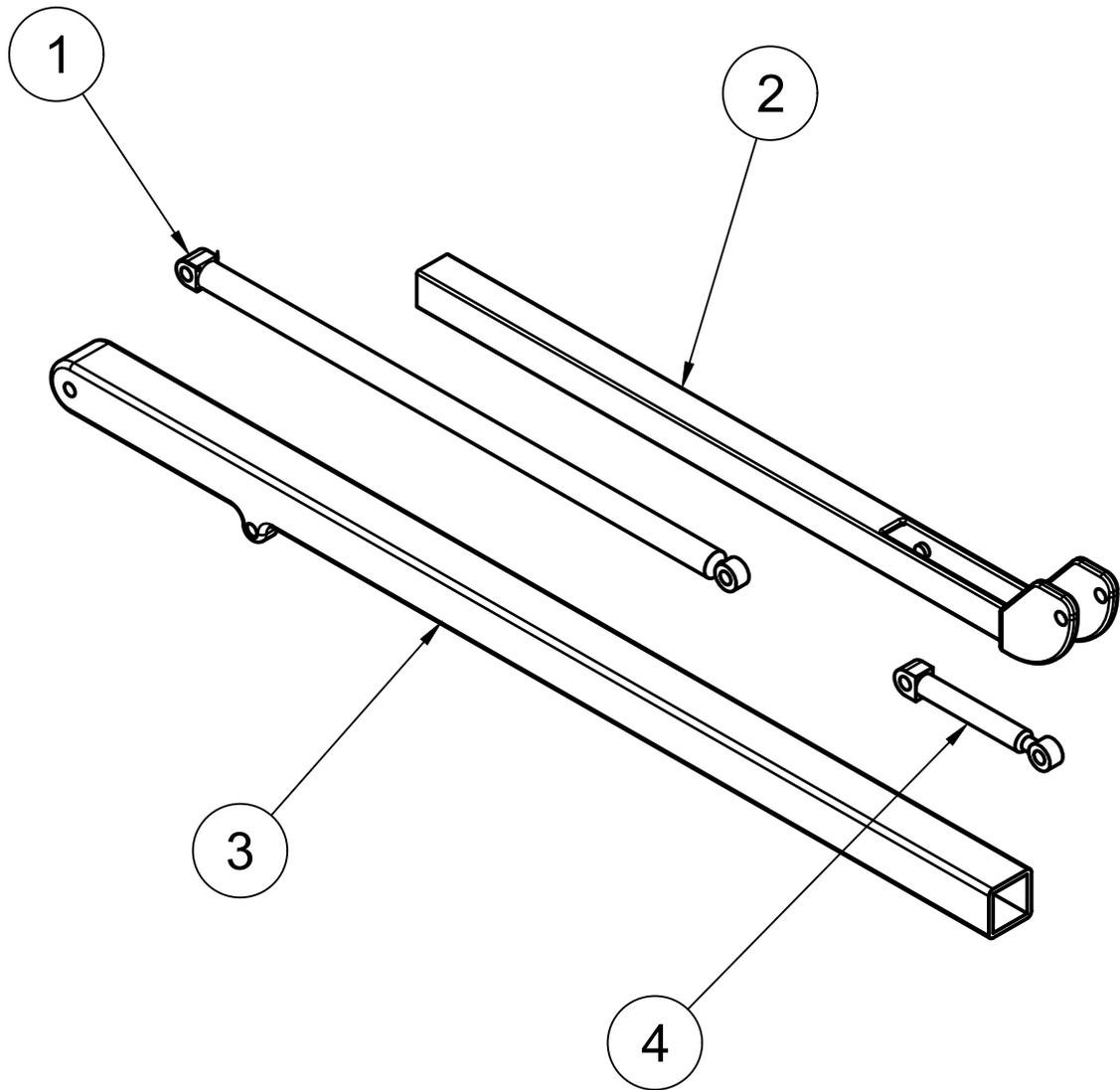
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira	6/6/18	Approved by	
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type	Document status		
		Title Ensamblaje Piston Intermedio	DWG No. 2.2.1		
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1	



2	1	Ensamblaje Brazos Superiores		Steel
1	1	Ensamblaje Telescopio		Steel
Item	Qty	Part Number	Description	Material

Parts List

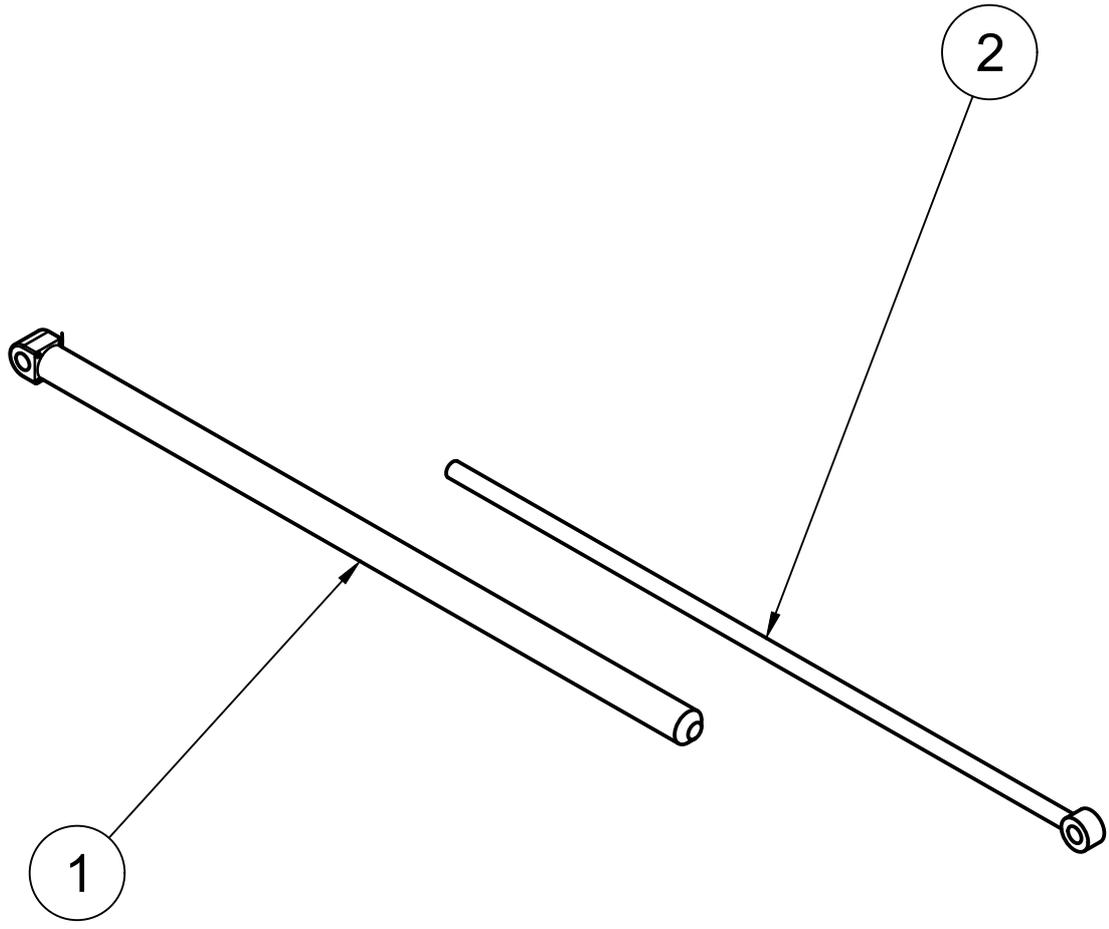
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 30/05/2018	Approved by	
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Despiece	Document status	
		Title Ensamblaje Estructuras Extensibles Superiores	DWG No. 2.3	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



4	1	Ensamblaje Pistón Unión		Steel
3	1	Brazo Telescopico		Steel
2	1	Telescopio		Steel
1	1	Piston Telescópico		Steel
Item	Qty	Part Number	Description	Material

Parts List

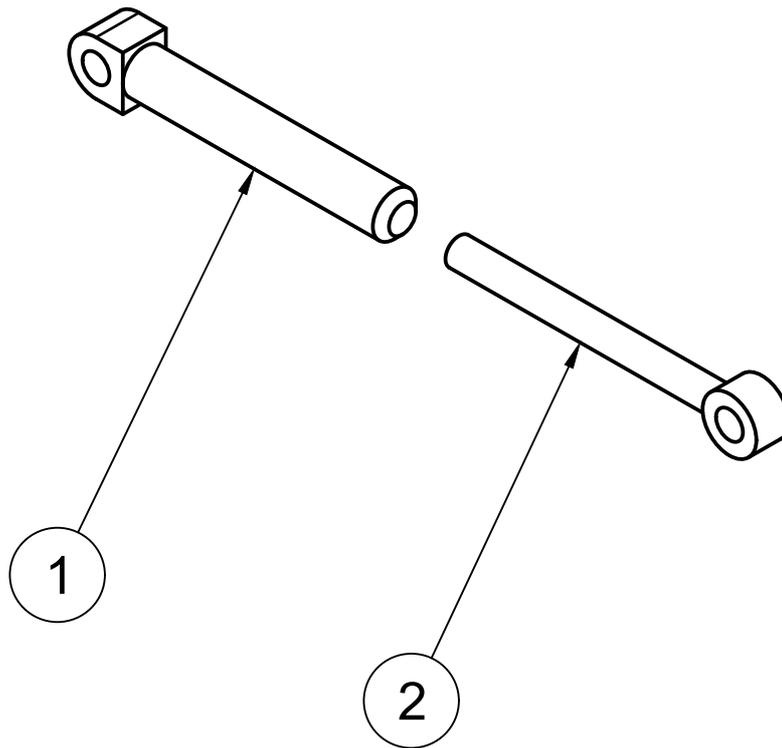
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 30/05/2018	Approved by	
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Despiece	Document status	
		Title Ensamblaje Telescopio	DWG No. 2.3.1	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



2	1	Extension Telescopio		Steel
1	1	Piston Telescopio		Steel
Item	Qty	Part Number	Description	Material

Parts List

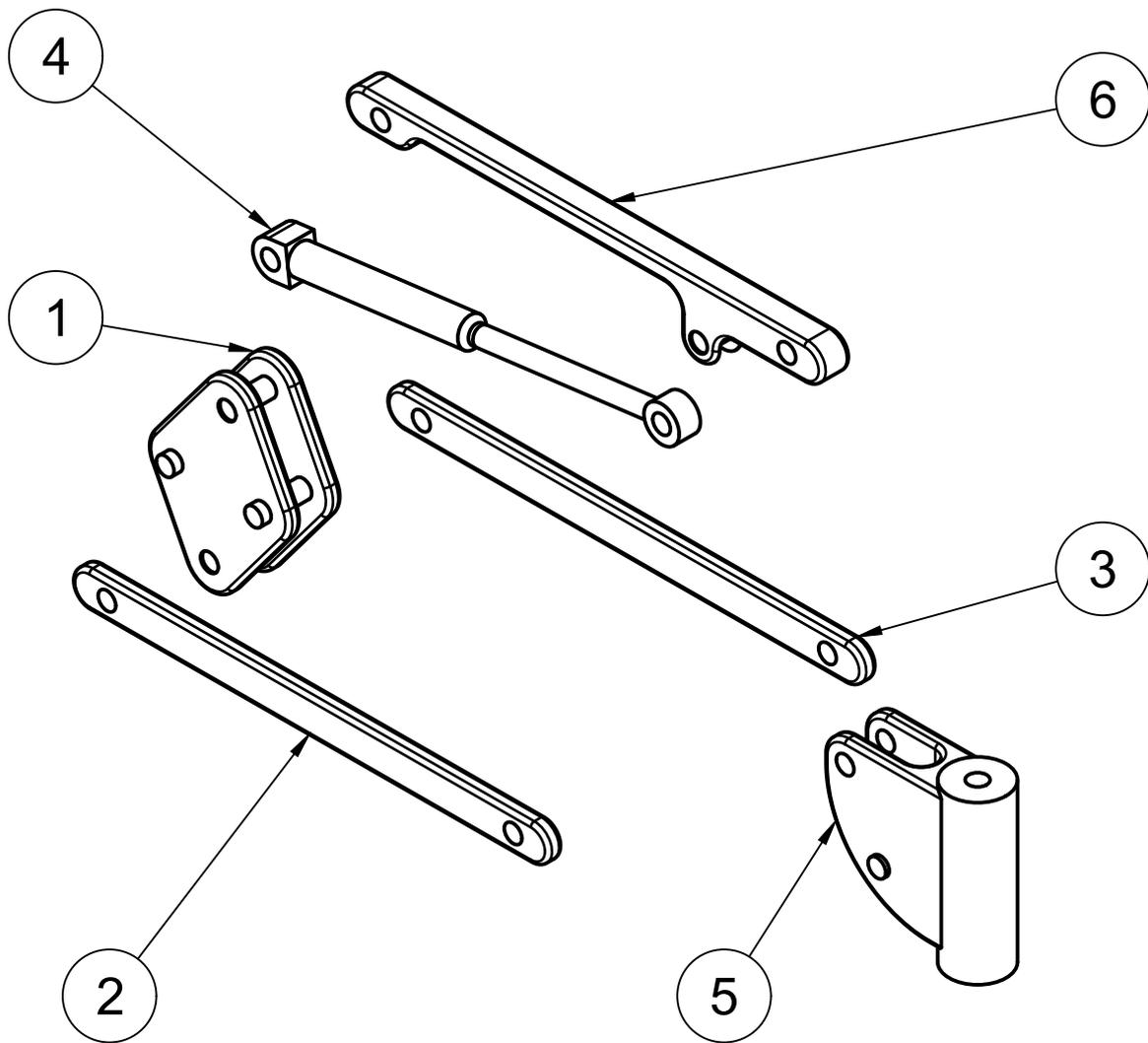
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 30/05/2018	Approved by	
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Despiece	Document status	
		Title Ensamblaje Pistón Telescópico	DWG No. 2.3.1.1	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



2	1	Extension Unión		Steel
1	1	Piston Unión		Steel
Item	Qty	Part Number	Description	Material

Parts List

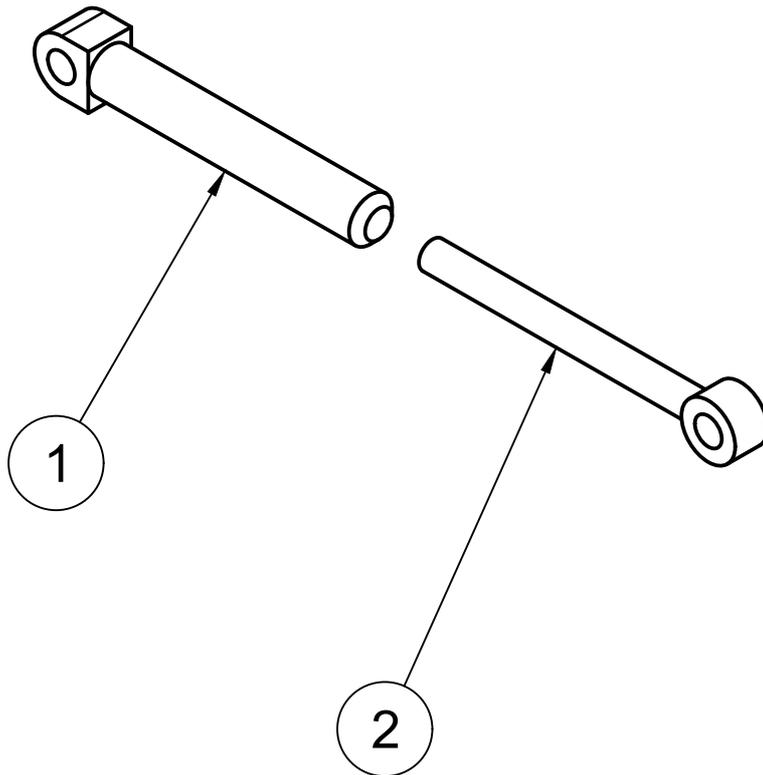
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 30/05/2018	Approved by	
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Despiece	Document status	
		Title Ensamblaje Pistón Unión	DWG No. 2.3.1.2	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



6	1	Brazo Superior (2)		Steel
5	1	Unión Cesta		Steel
4	1	Ensamblaje Pistón Superior		Steel
3	1	Brazo Superior (11)		Steel
2	1	Brazo Superior (1)		Steel
1	1	Unión Superior		Steel
Item	Qty	Part Number	Description	Material

Parts List

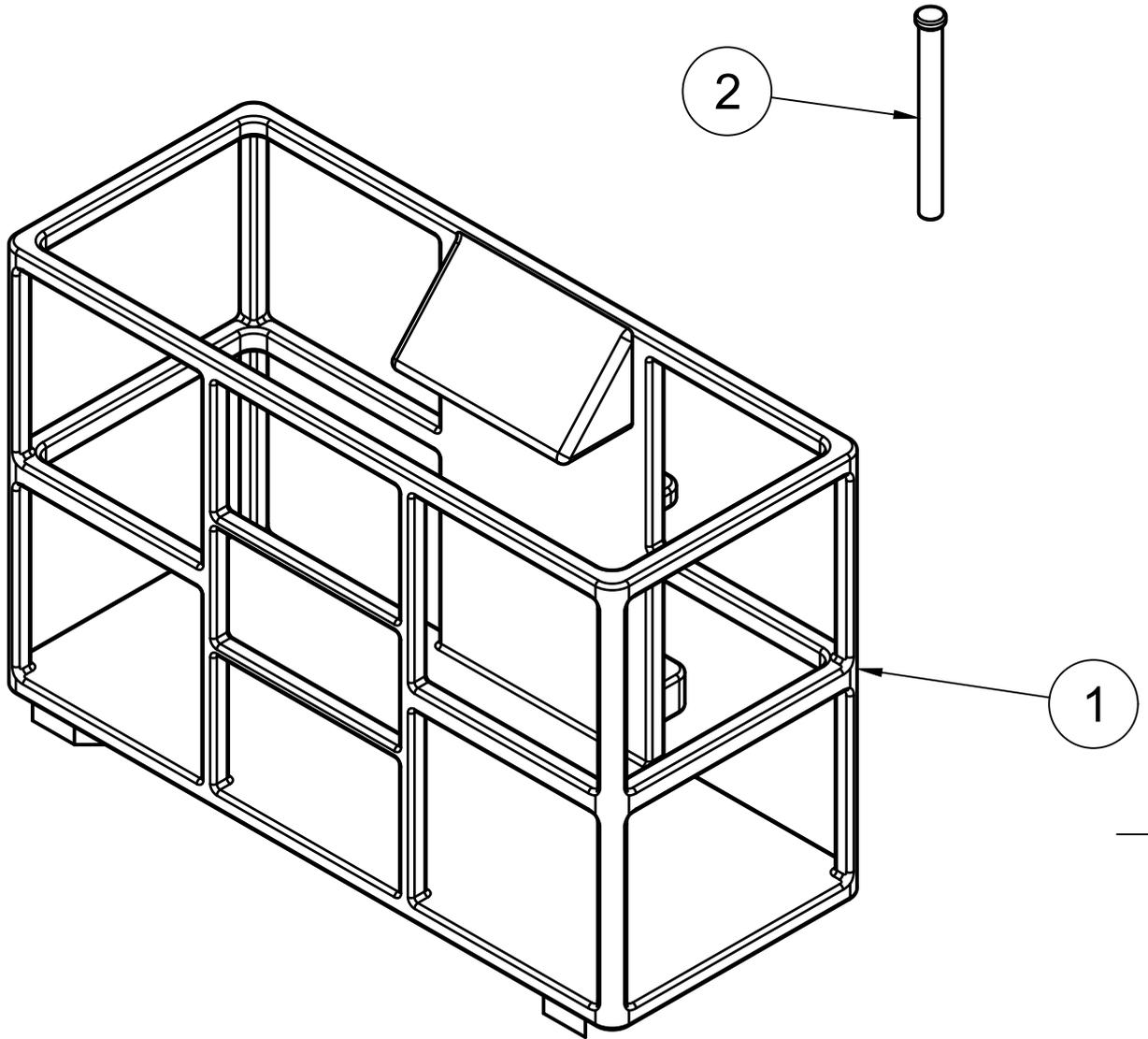
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 30/05/2018	Approved by	
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Despiece	Document status	
		Title Ensamblaje Brazos Superiores	DWG No. 2.3.2	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



2	1	Extension Superior		Steel
1	1	Piston Superior		Steel
Item	Qty	Part Number	Description	Material

Parts List

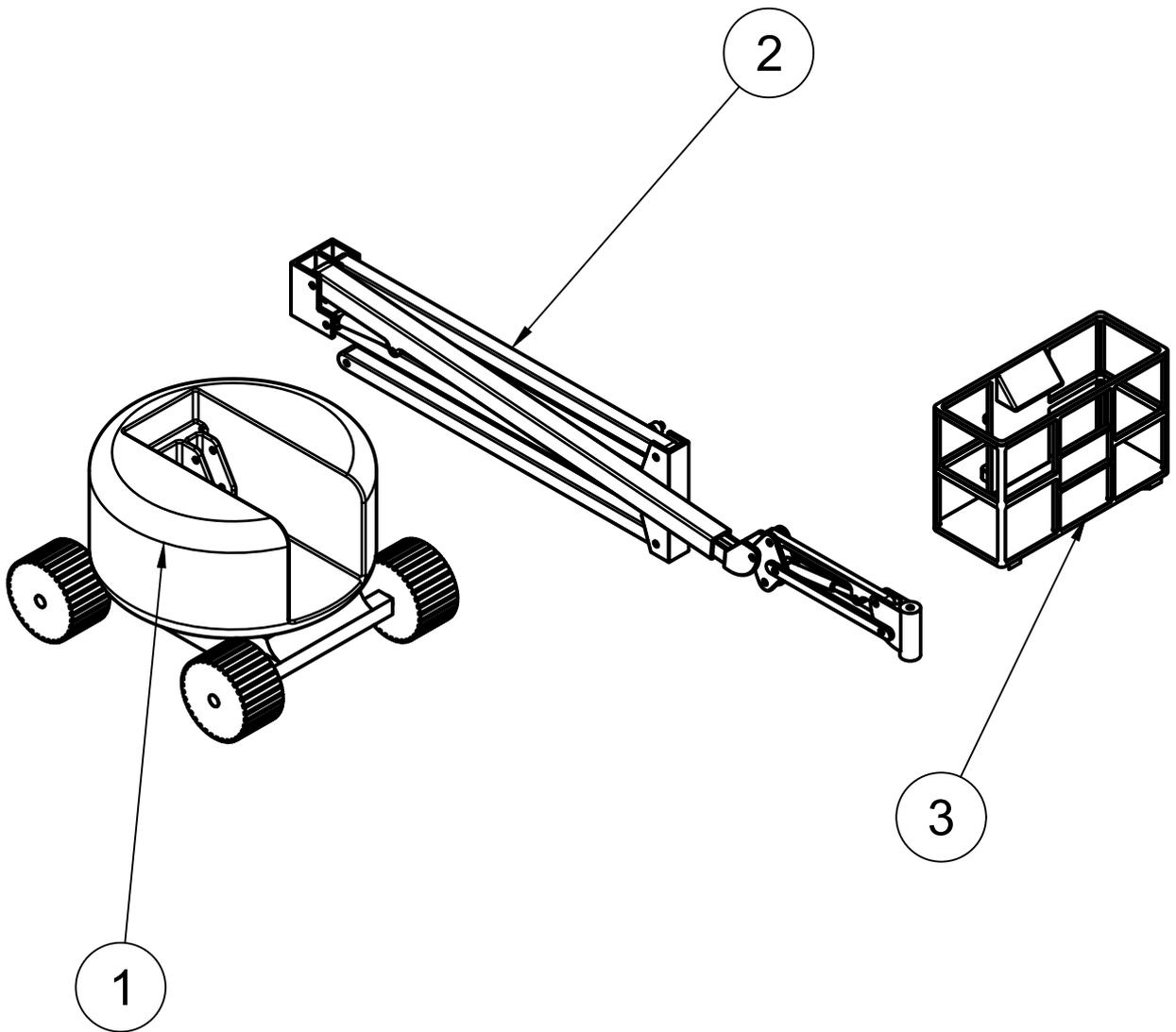
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 30/05/2018	Approved by	
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Despiece	Document status	
		Title Ensamblaje Pistón Superior	DWG No. 2.3.2.1	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



2	1	Pasador Cesta		Steel
1	1	Cesta		Steel
Item	Qty	Part Number	Description	Material

Parts List

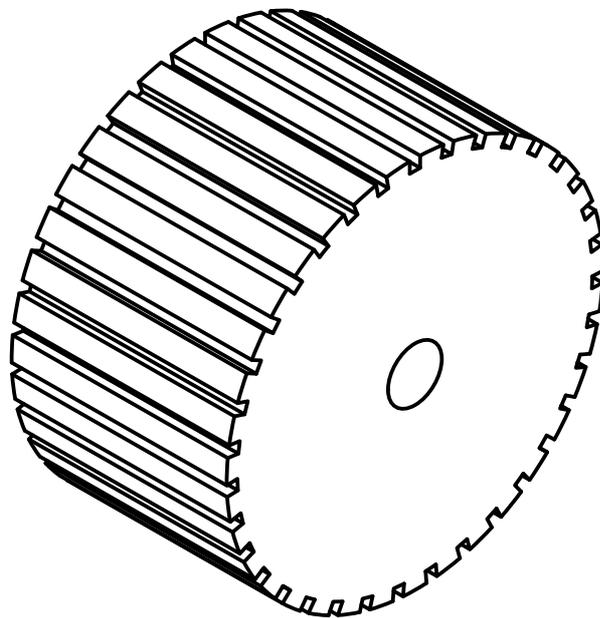
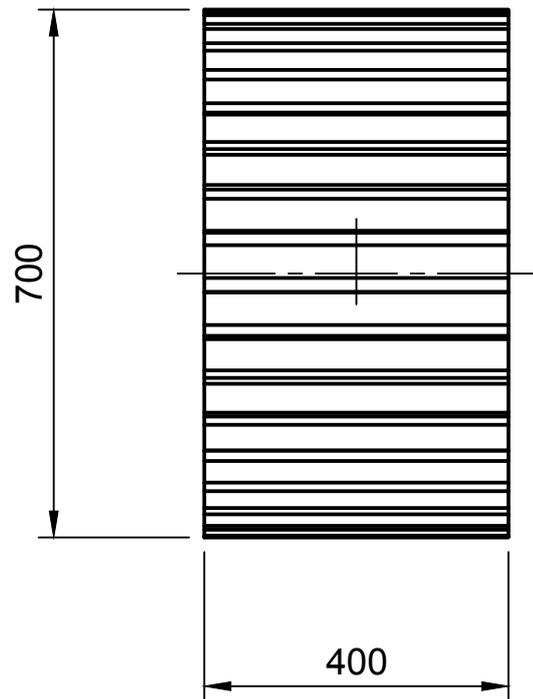
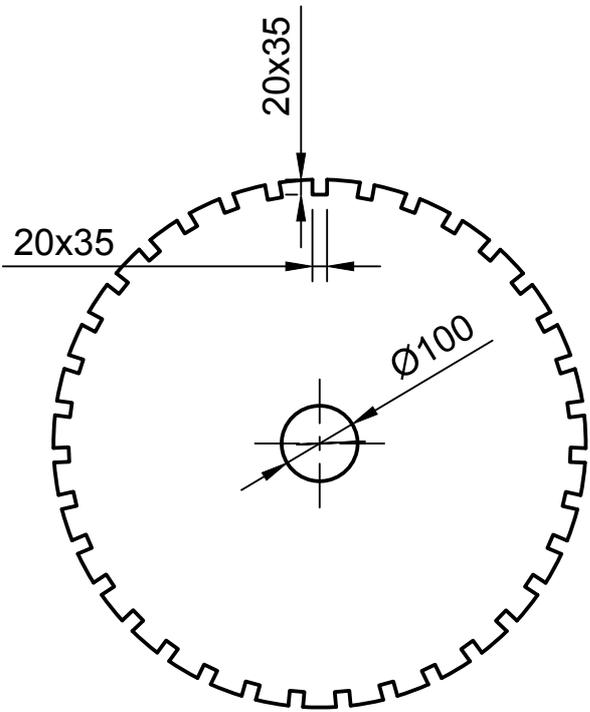
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 30/05/2018	Approved by	
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Despiece	Document status	
		Title Ensamblaje Plataforma de Trabajo	DWG No. 3	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



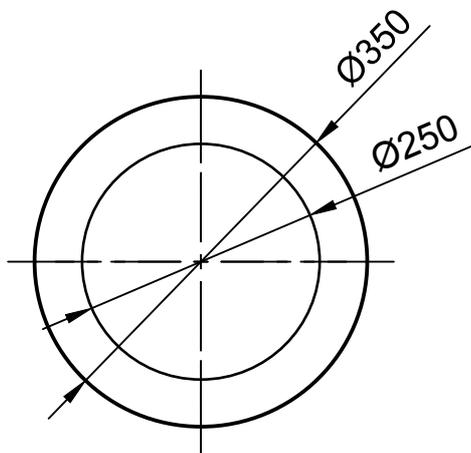
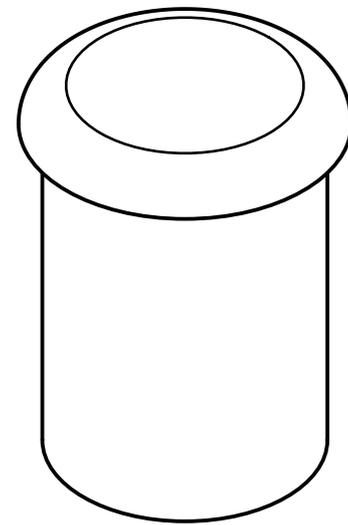
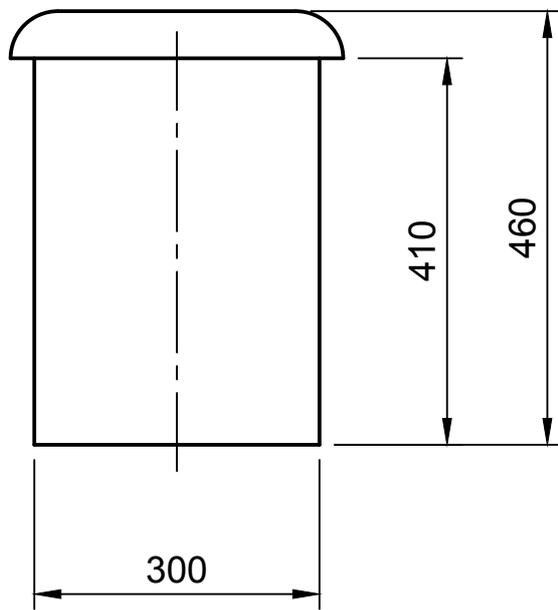
3	1	Ensamblaje Cesta		Steel
2	1	Ensamblaje Estructuras Extensibles		Steel
1	1	Ensamblaje Chasis		Steel
Item	Qty	Part Number	Description	Material

Parts List

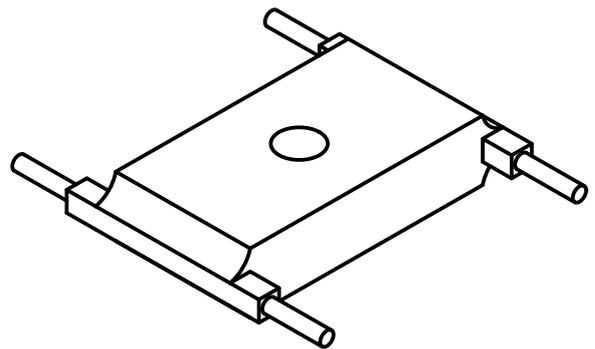
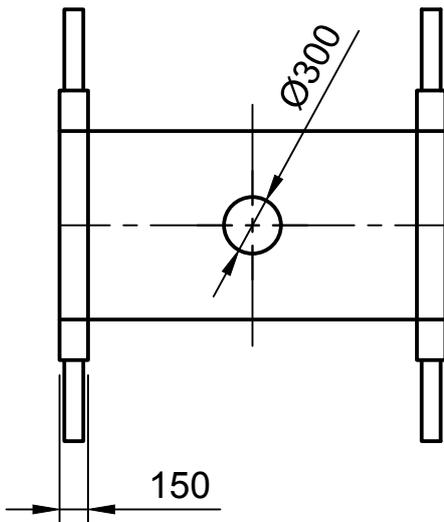
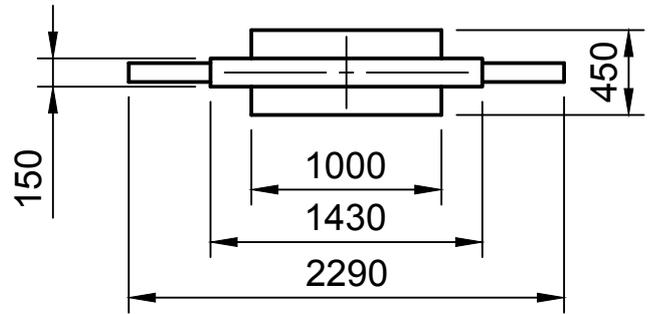
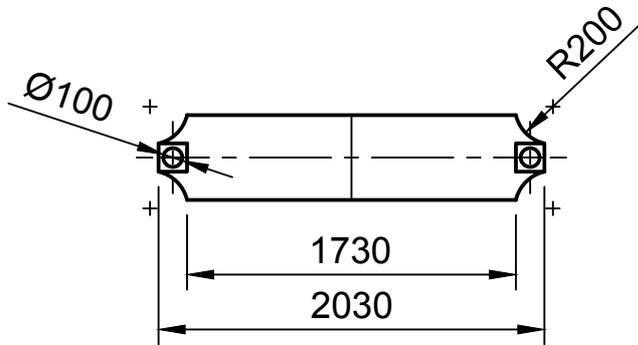
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 30/05/2018	Approved by	
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Despiece	Document status	
		Title Ensamblaje PEMP	DWG No. 4	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



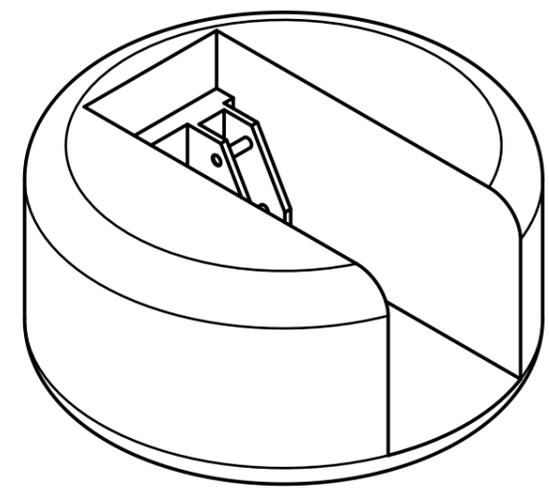
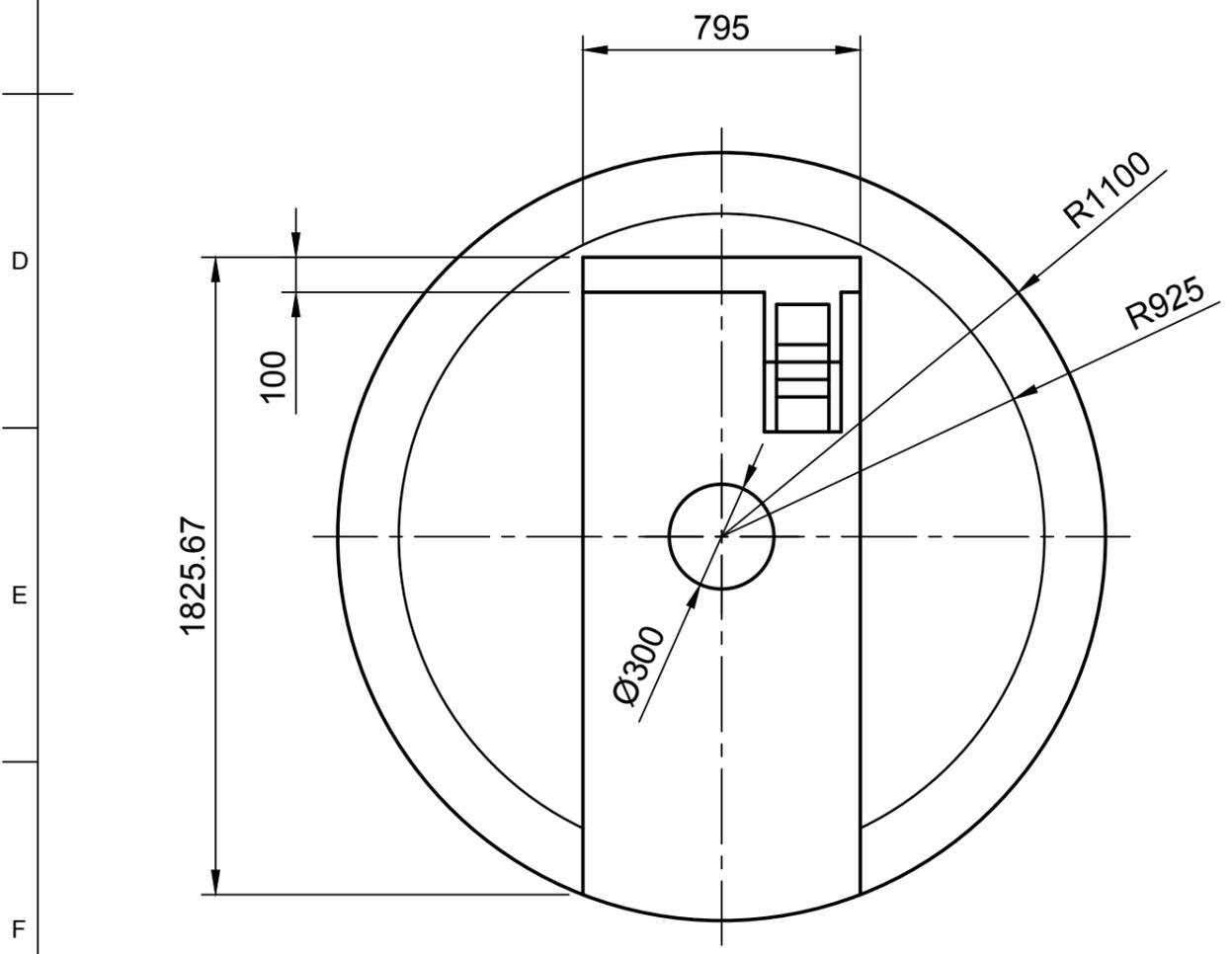
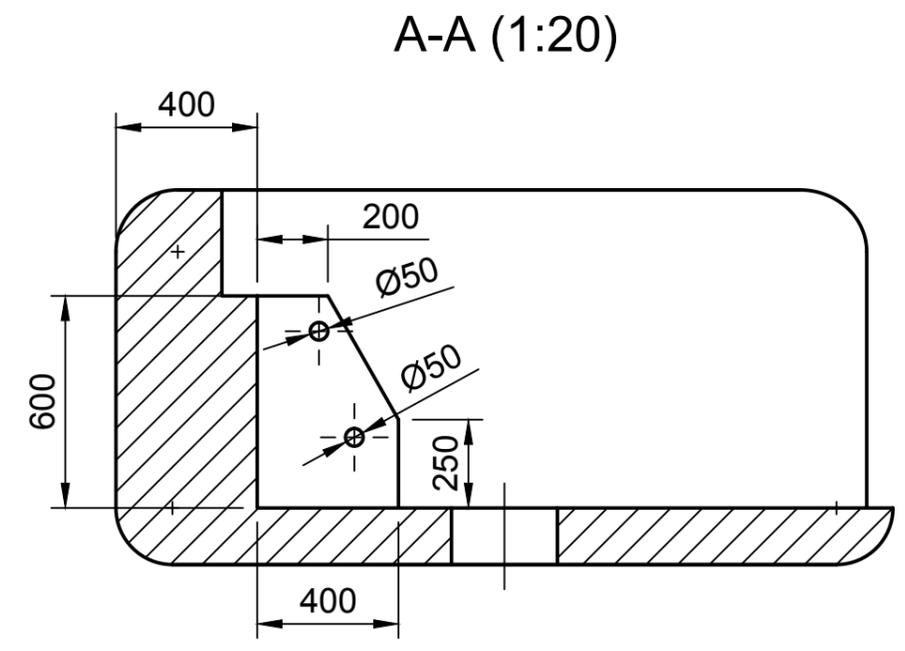
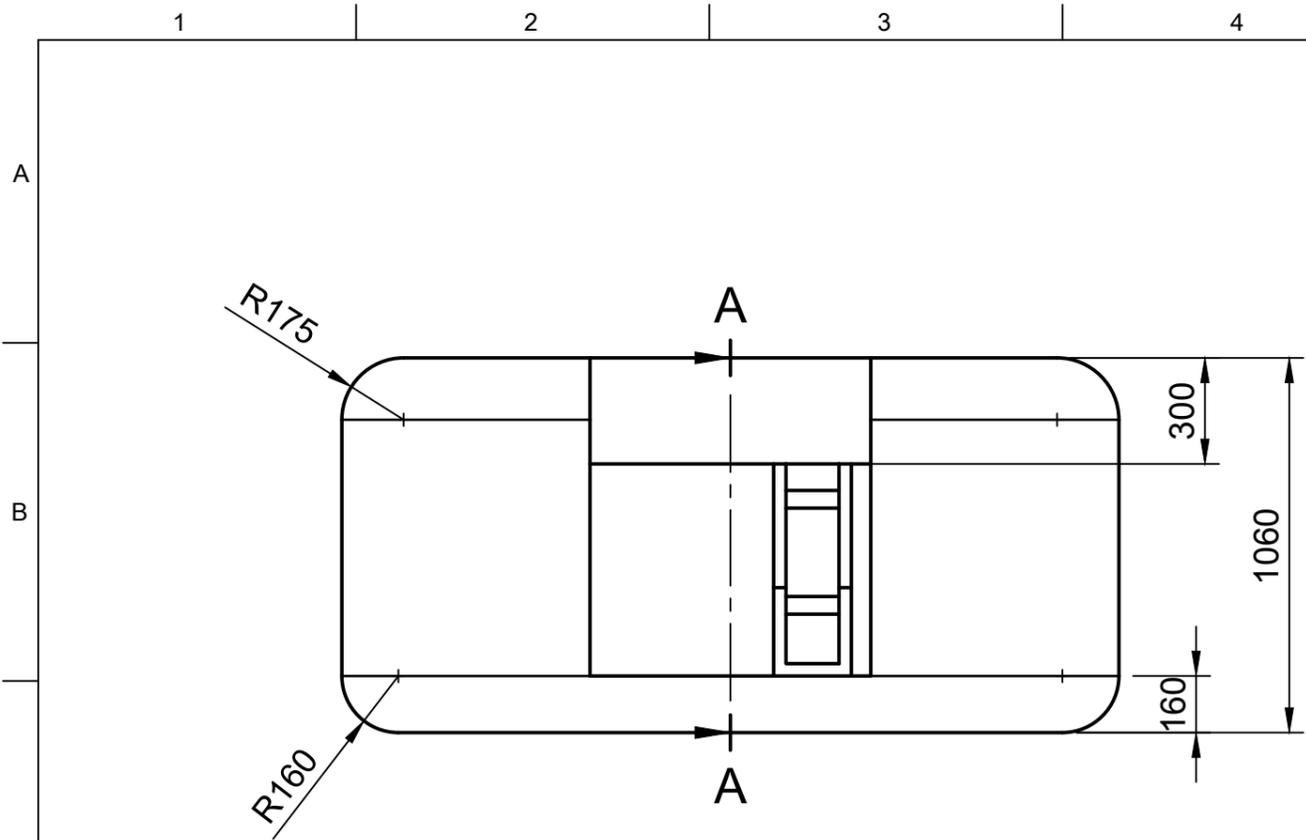
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 06/06/2018	Approved by	
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Pieza	Escala 1:10	
		Title Rueda	DWG No. 5	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



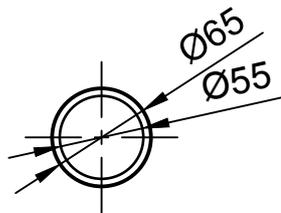
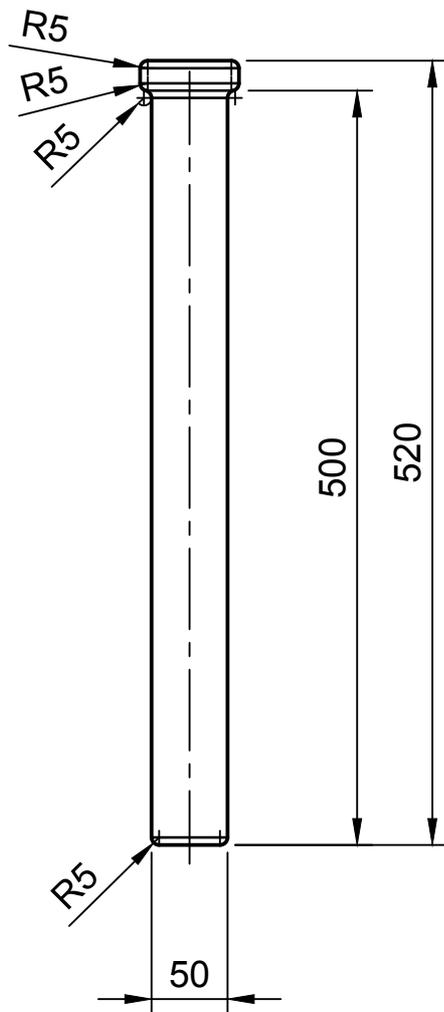
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 06/06/2018	Approved by	
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Pieza	Escala 1:8	
		Title Pasador Chasis	DWG No. 6	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



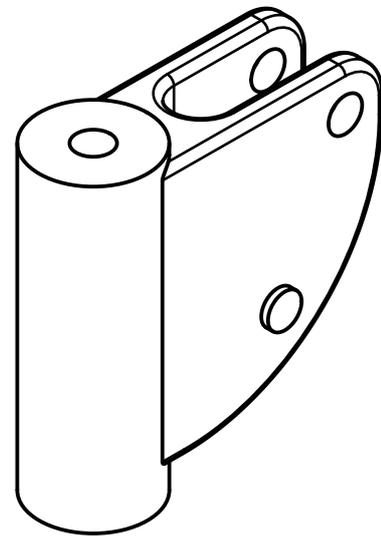
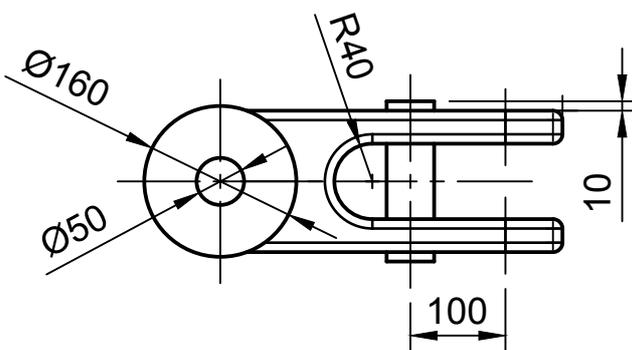
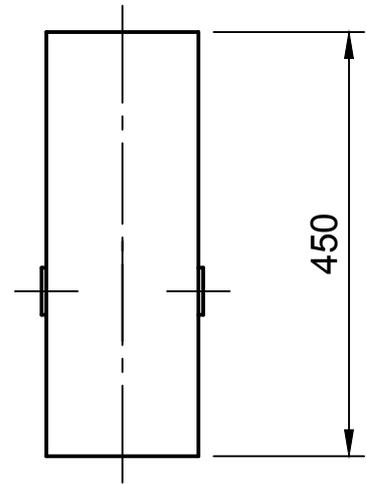
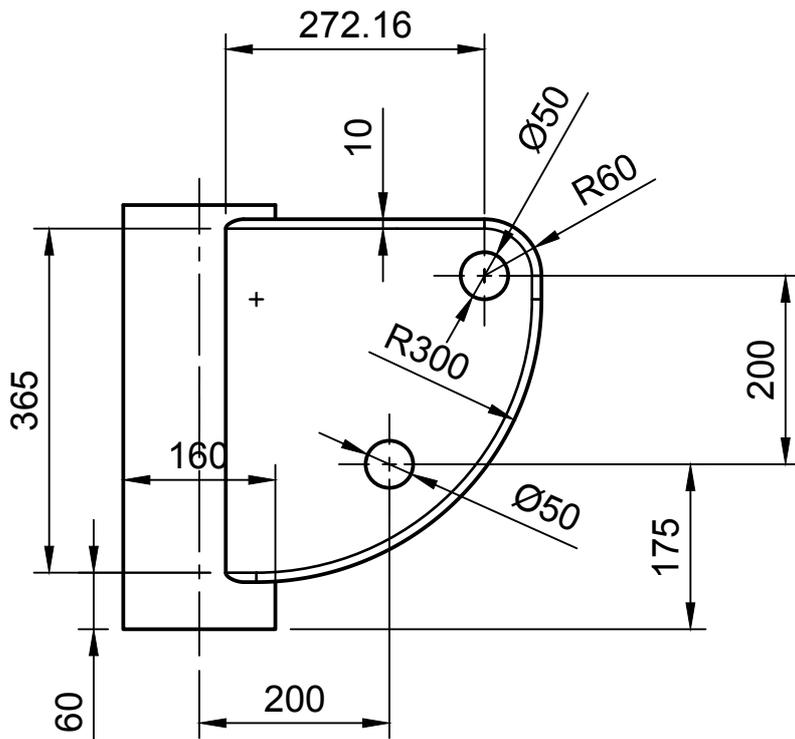
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 06/06/2018	Approved by	
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Pieza	Escala 1:40	
		Title Chasis	DWG No. 7	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



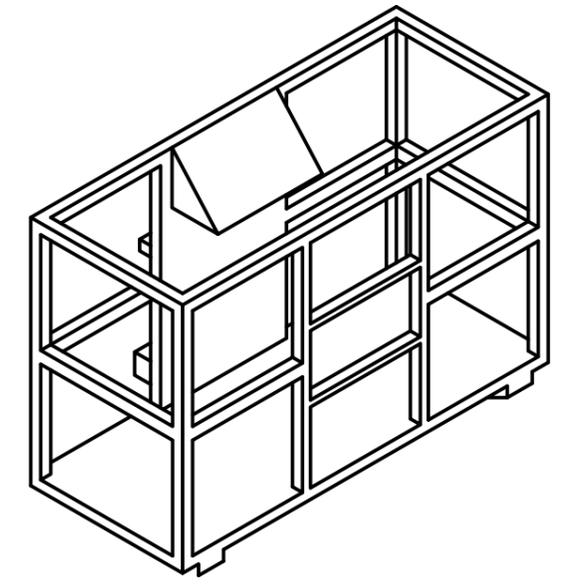
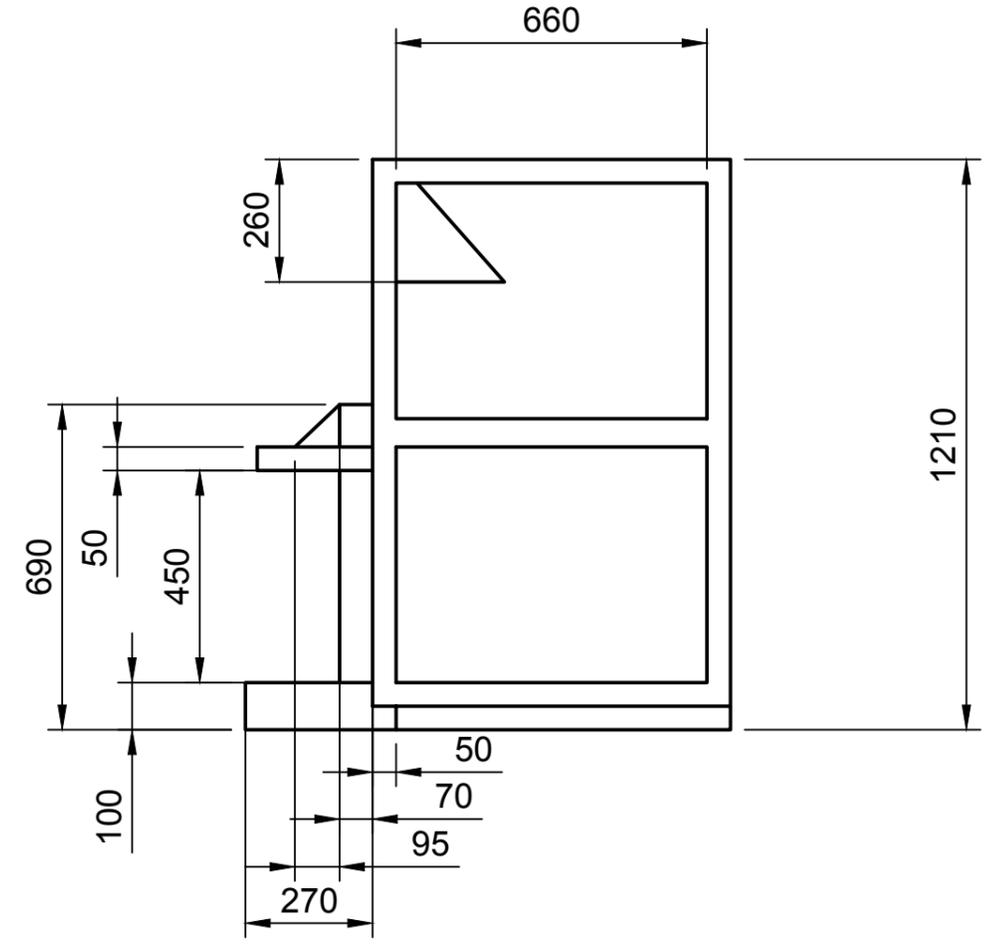
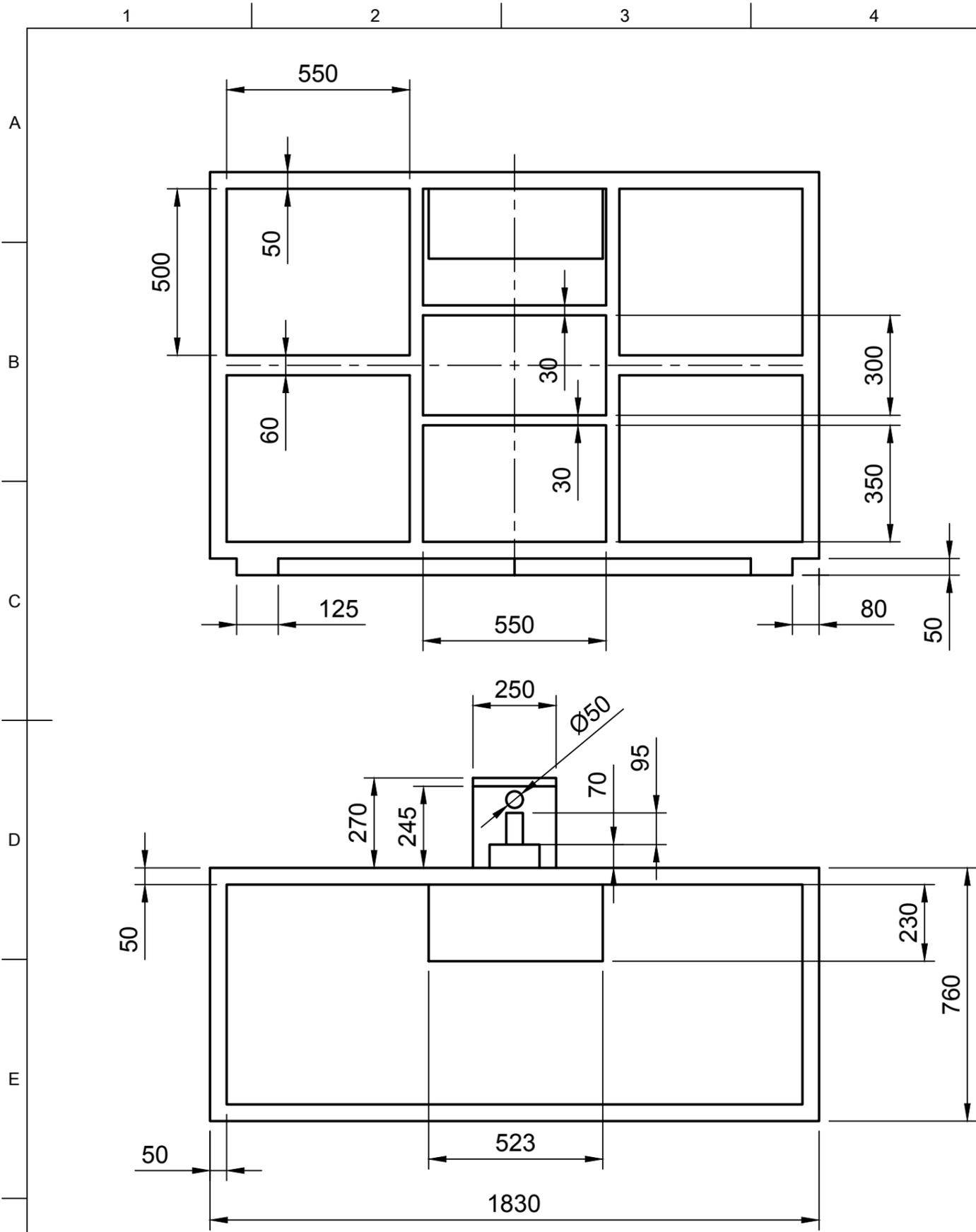
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 06/06/2018	Approved by
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Pieza	Escala 1:20
		Title Base	DWG No. 8
Rev.	Date of issue	Sheet 1/1	



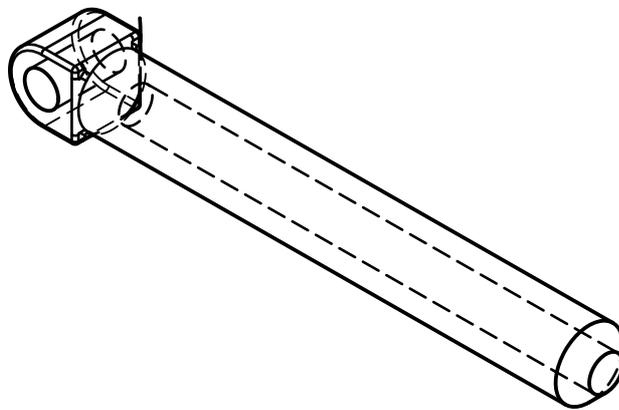
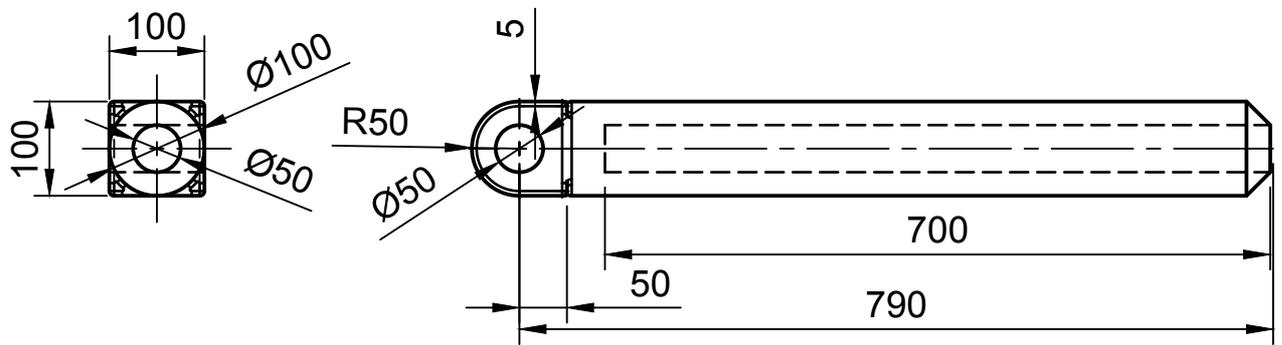
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 06/06/2018	Approved by	
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Pieza	Escala 1:5	
		Title Pasador Cesta	DWG No. 9	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



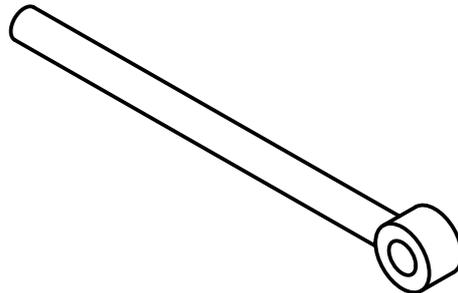
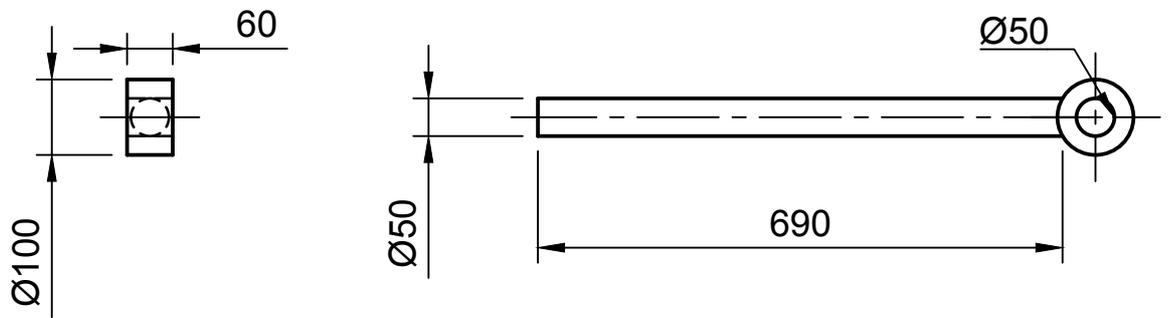
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 06/06/2018	Approved by	
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Pieza	Escala 1:8	
		Title Unión Cesta	DWG No. 10	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



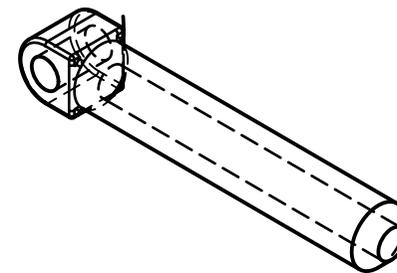
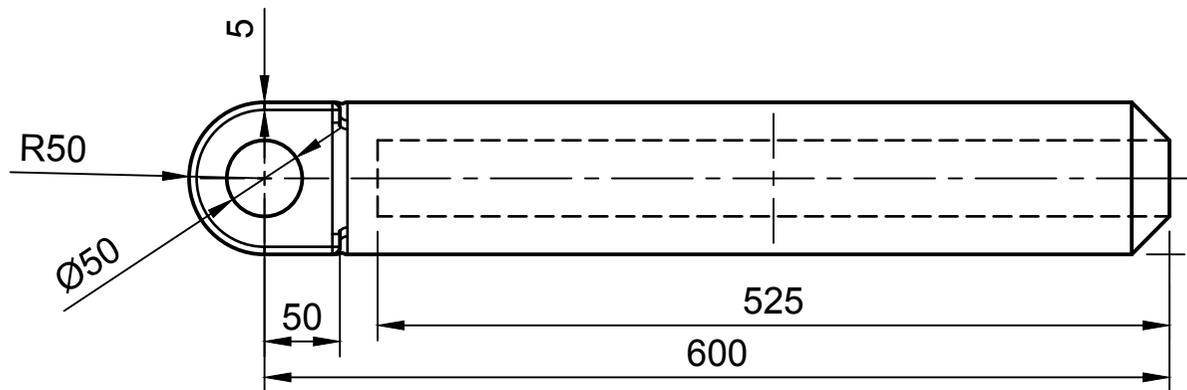
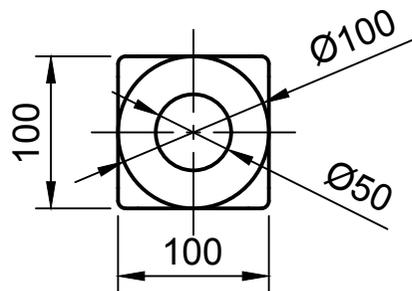
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 06/06/2018	Approved by
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Pieza	Escala 1:15
		Title Cesta	DWG No. 11
		Rev.	Date of issue
		Sheet 1/1	



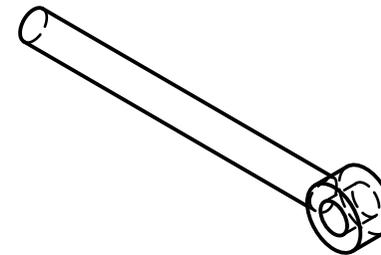
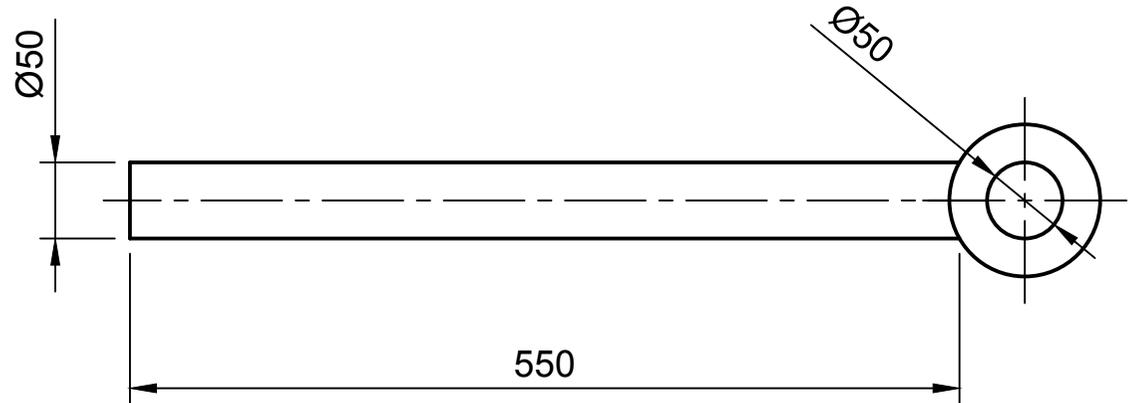
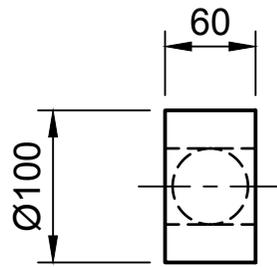
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 06/06/2018	Approved by	
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Pieza	Escala 1:8	
		Title Camisa Inferior	DWG No. 12	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



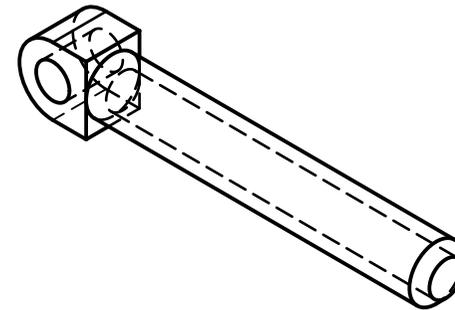
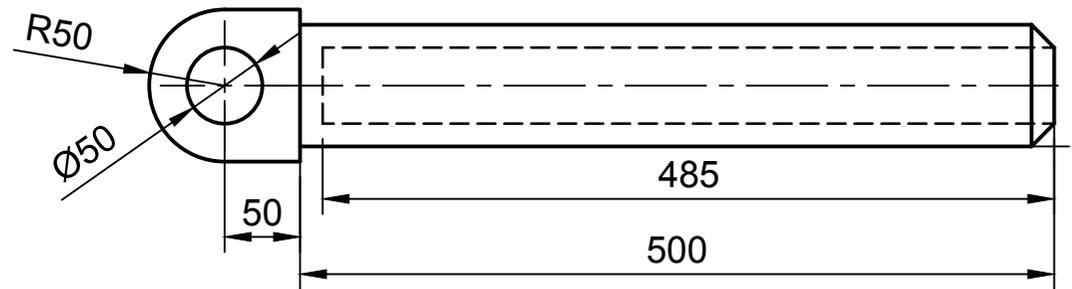
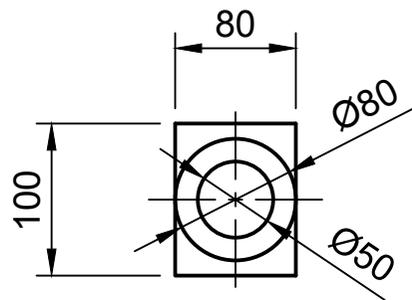
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 06/06/2018	Approved by	
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Pieza	Escala 1:10	
		Title Vástago Inferior	DWG No. 13	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



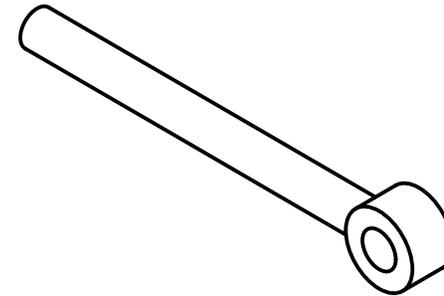
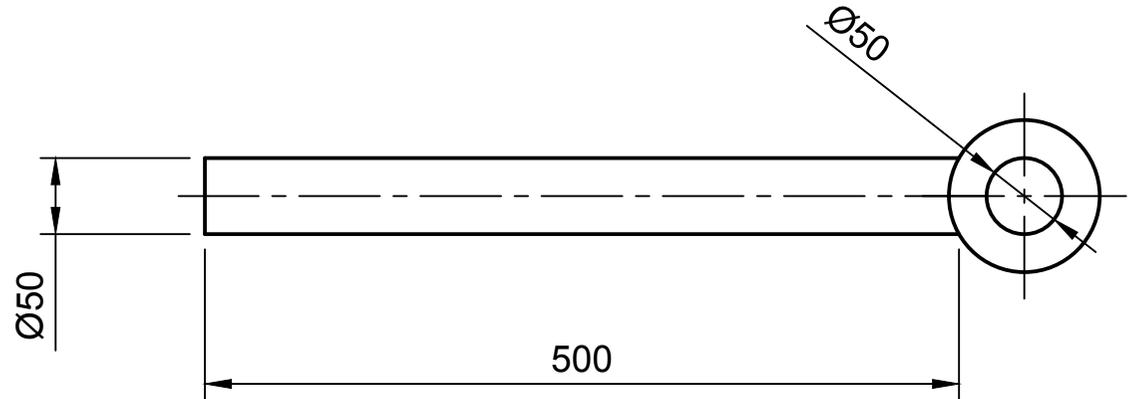
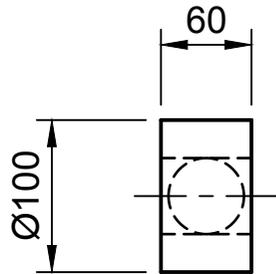
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 06/06/2018	Approved by	
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Pieza	Escala 1:5	
		Title Camisa Intermedio	DWG No. 14	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



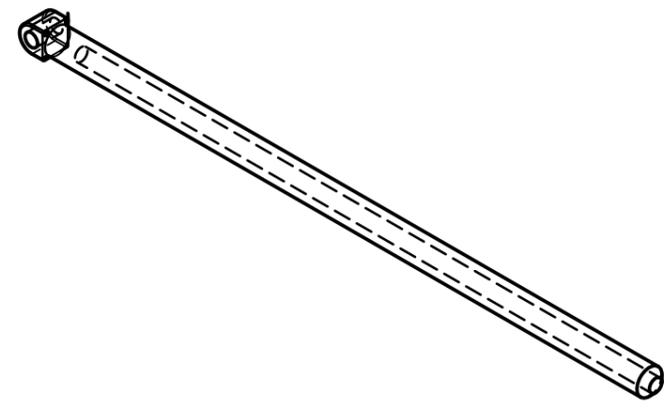
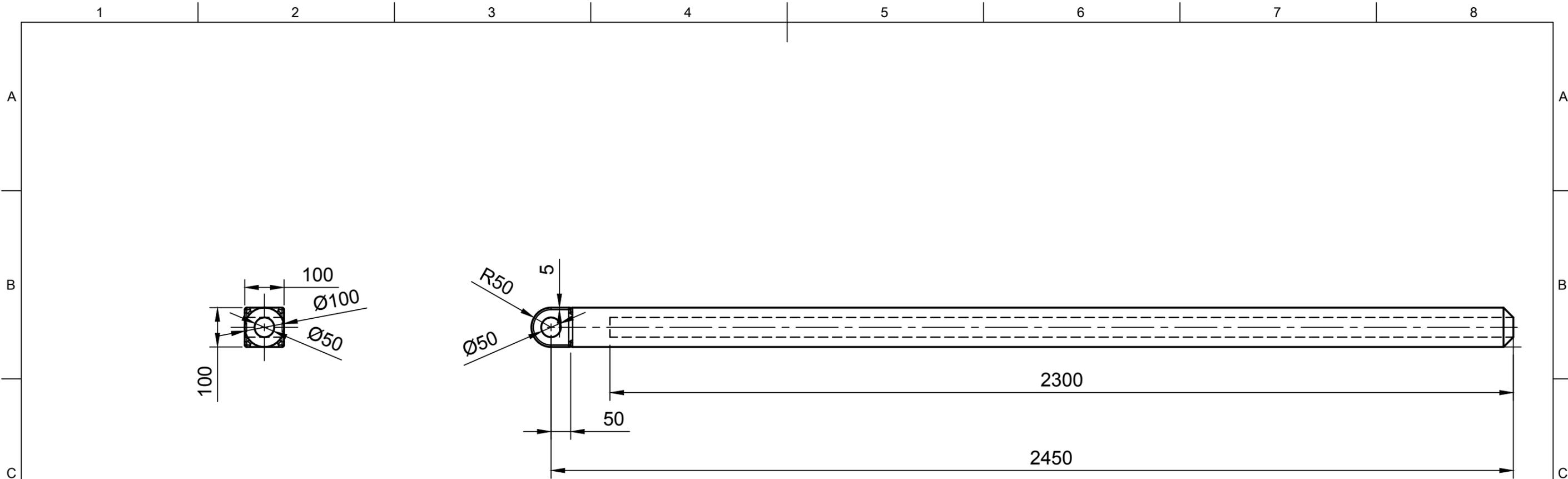
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 06/06/2018	Approved by	
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Pieza	Escala 1:5	
		Title Vastago Intermedio	DWG No. 15	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



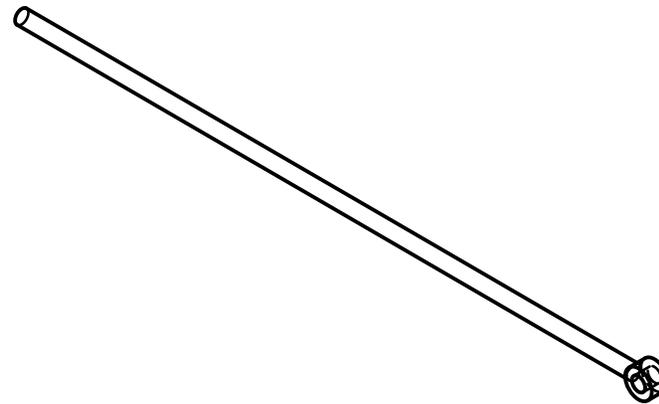
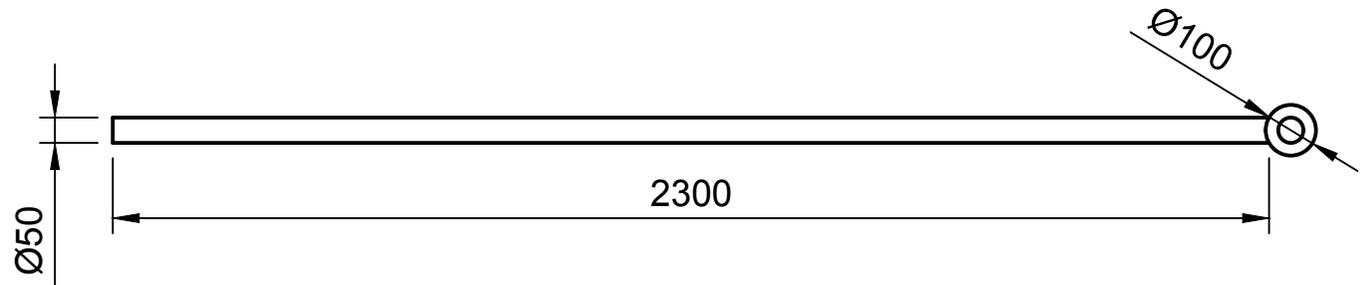
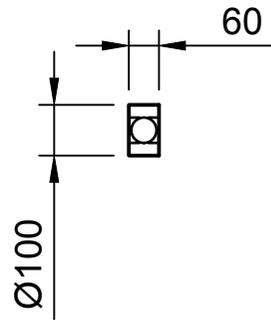
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 06/06/2018	Approved by	
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Pieza	Escala 1:5	
		Title Camisa Superior	DWG No. 16	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



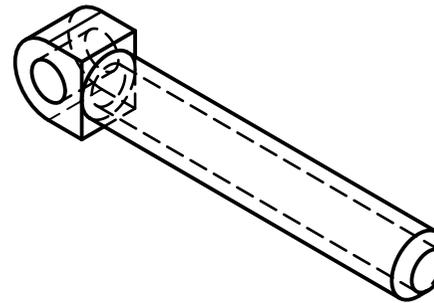
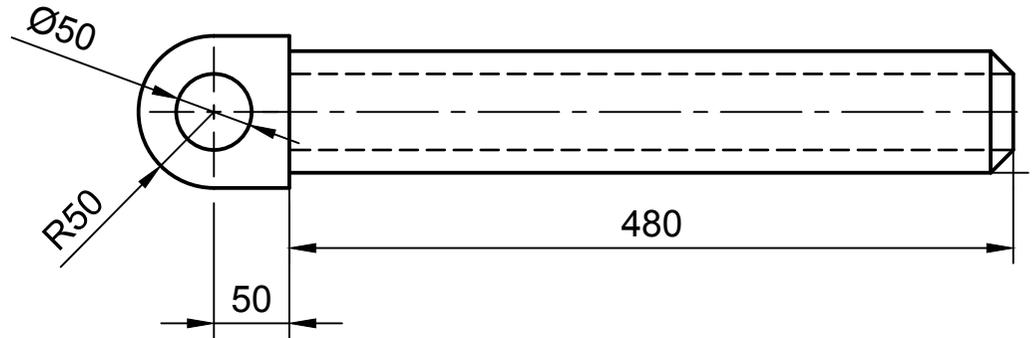
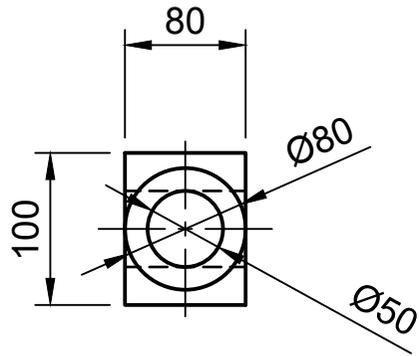
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 06/06/2018	Approved by	
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Pieza	Escala 1:5	
		Title Vástago Superior	DWG No. 17	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



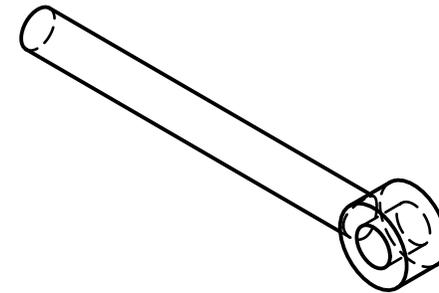
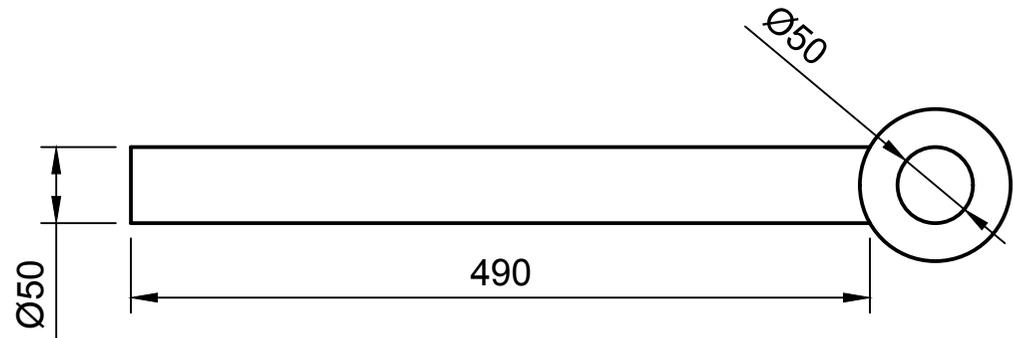
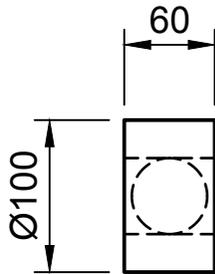
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 06/06/2018	Approved by
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Pieza	Escala 1:10
		Title Camisa Telescópico	DWG No. 18
	Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 06/06/2018	Approved by	
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Pieza	Escala 1:15	
		Title Vástago Telescópico	DWG No. 19	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 06/06/2018	Approved by	
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Pieza	Escala 1:5	
		Title Camisa Unión	DWG No. 20	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 06/06/2018	Approved by	
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Pieza	Escala 1:5	
		Title Vástago Unión	DWG No. 21	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1

1 2 3 4 5 6 7 8

A

A

B

B

C

C

D

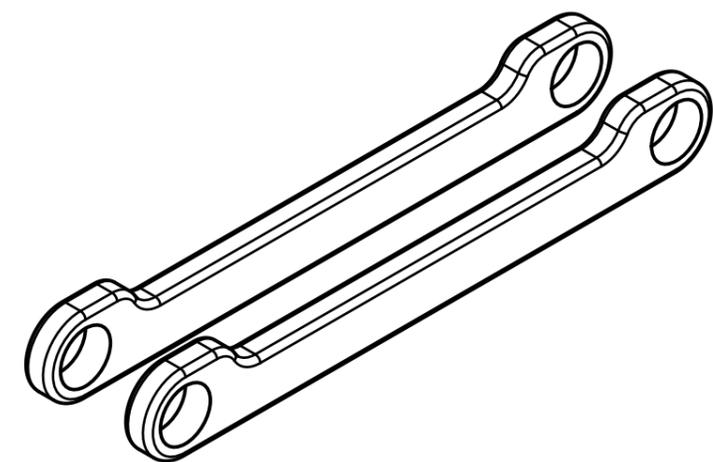
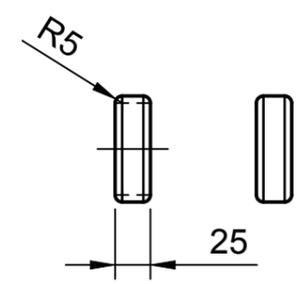
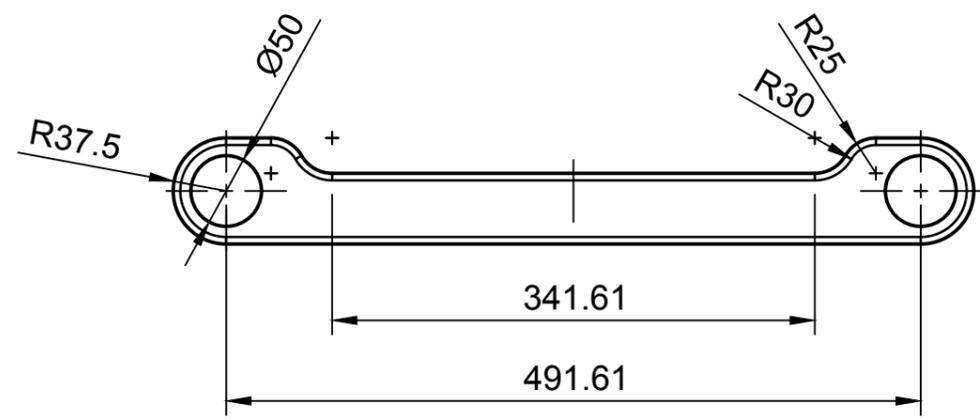
D

E

E

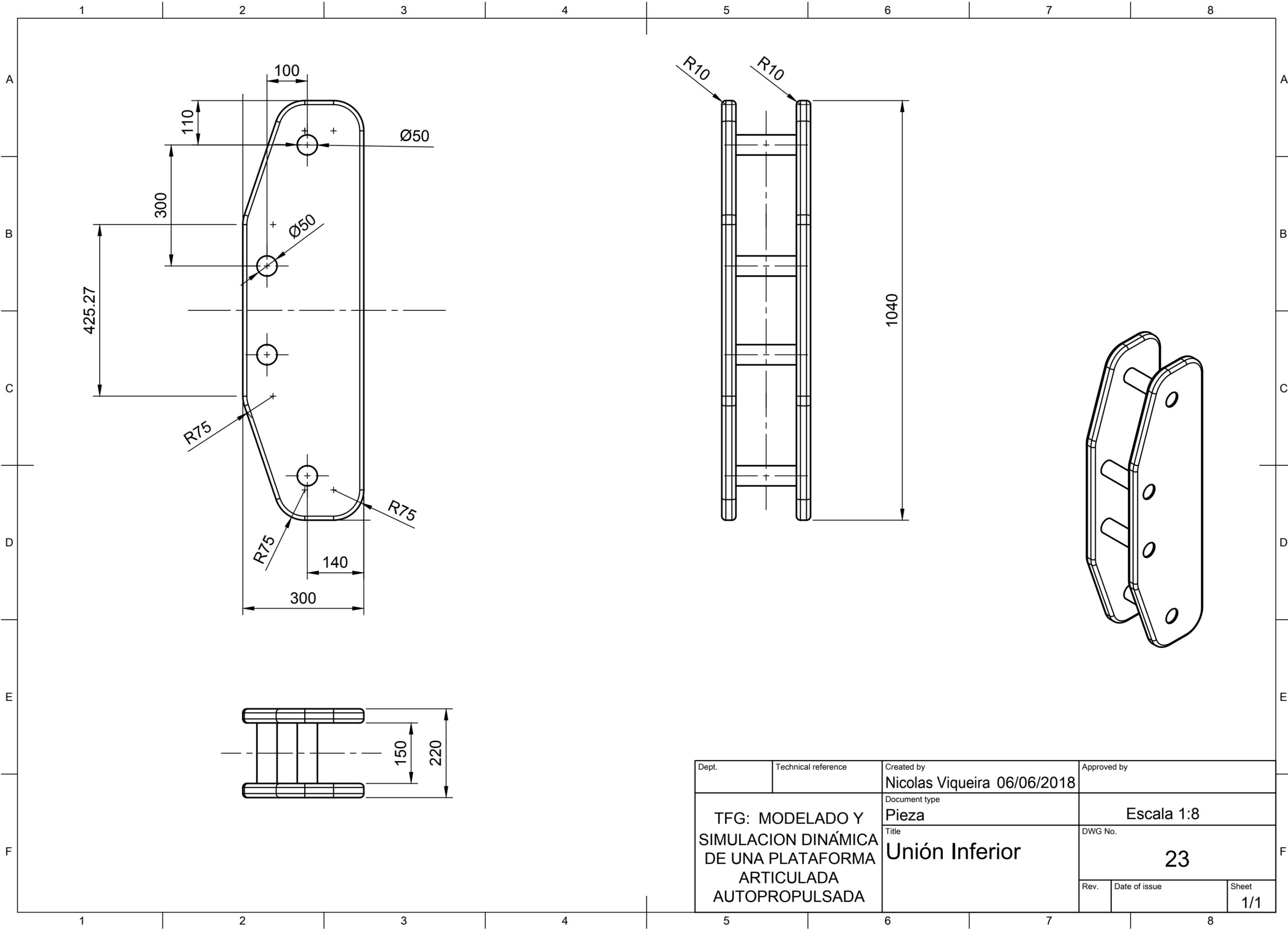
F

F



Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 06/06/2018	Approved by
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Pieza	Escala 1:5
		Title Brazos A y B	DWG No. 22
	Rev.	Date of issue	Sheet 1/1

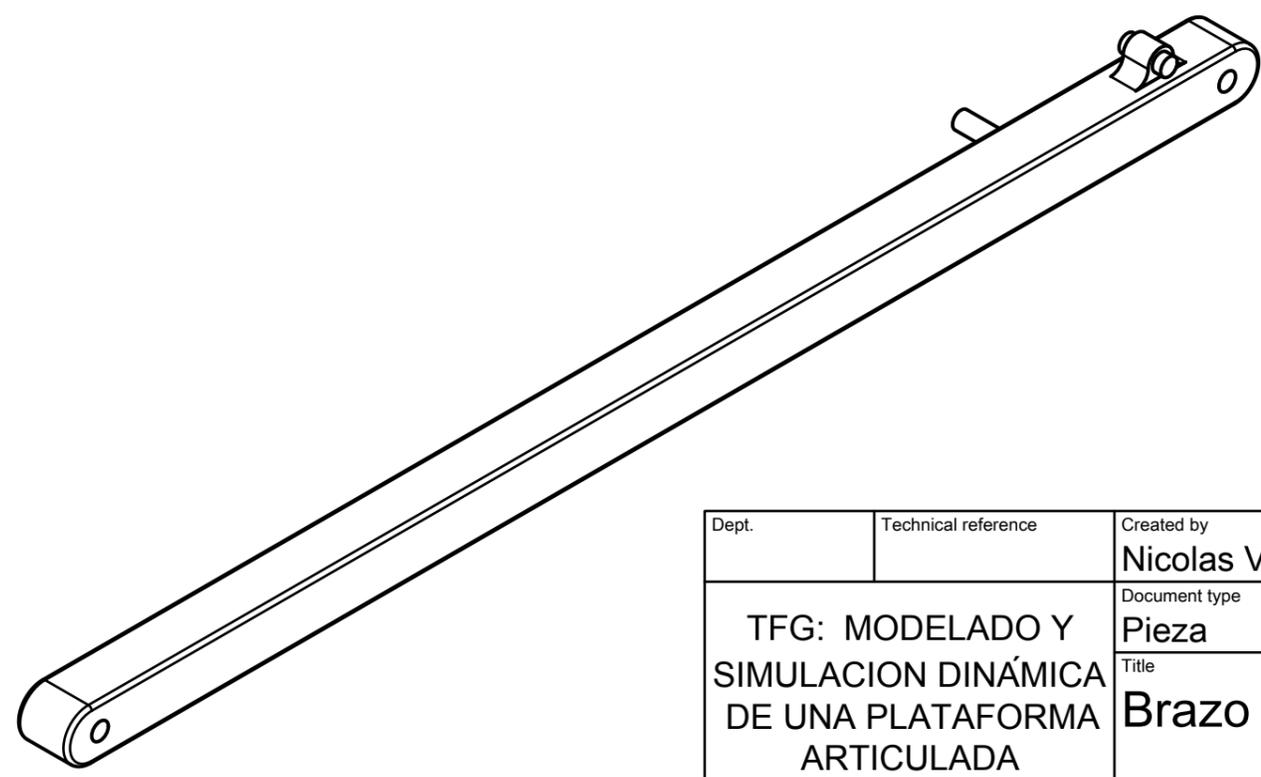
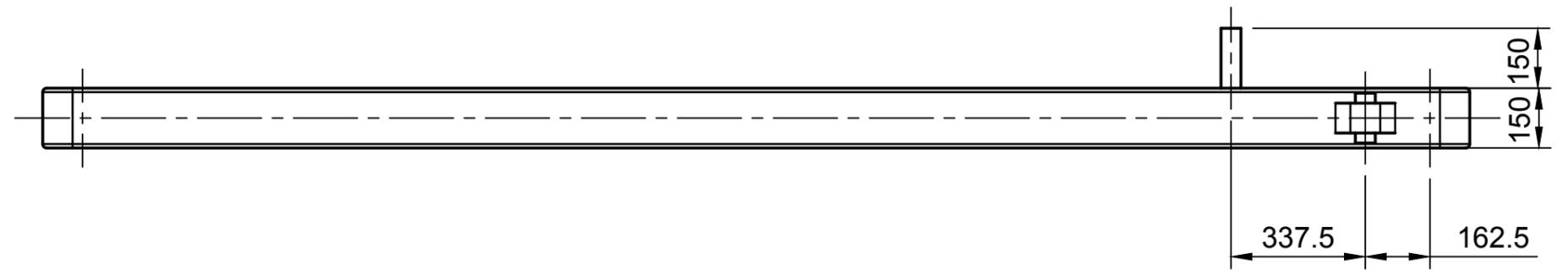
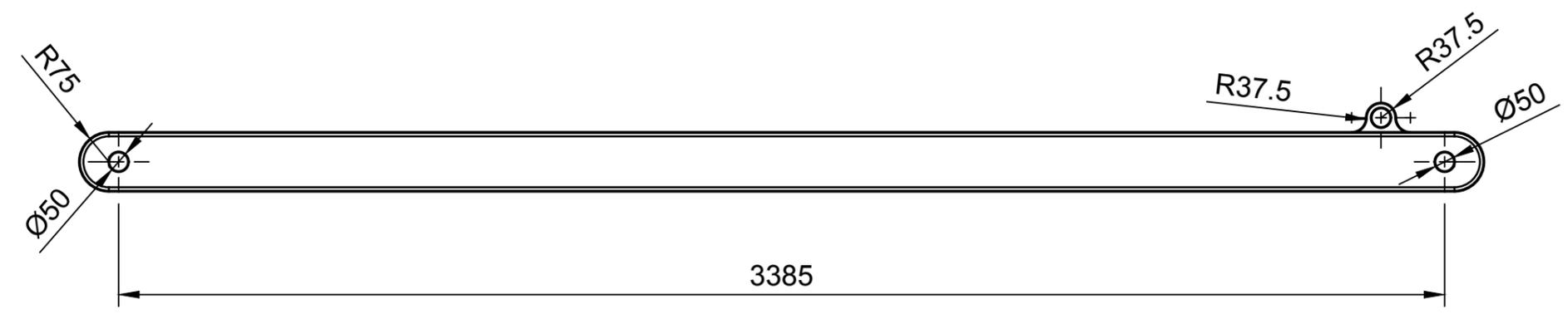
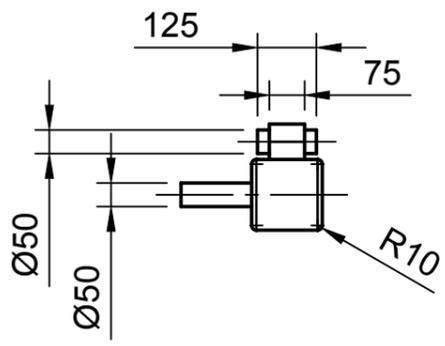
1 2 3 4 5 6 7 8



Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 06/06/2018	Approved by
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Pieza	Escala 1:8
		Title Unión Inferior	DWG No. 23
	Rev.	Date of issue	Sheet 1/1

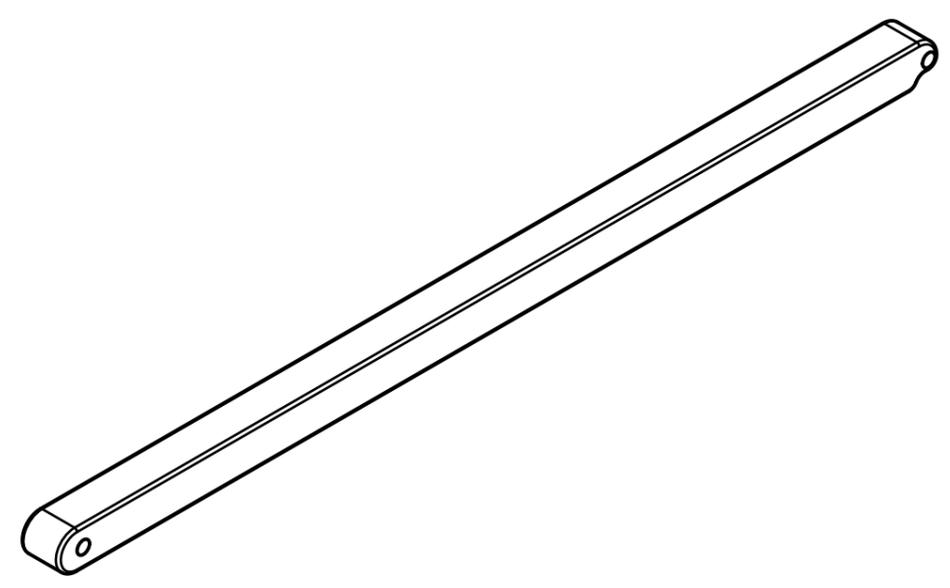
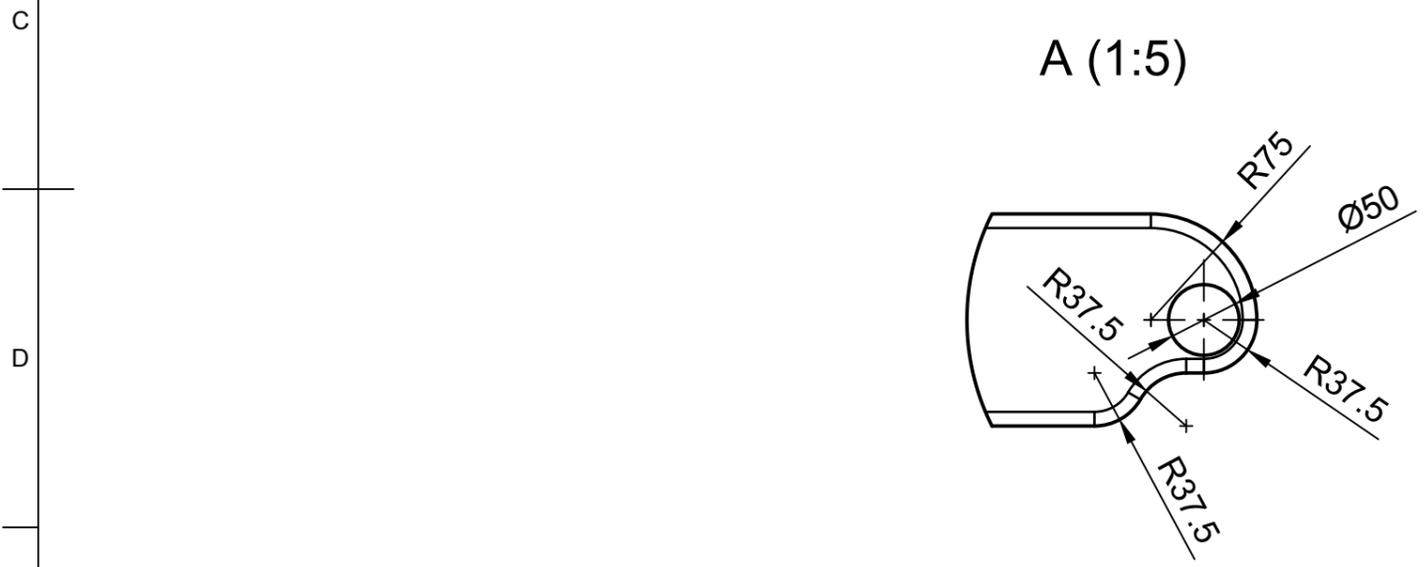
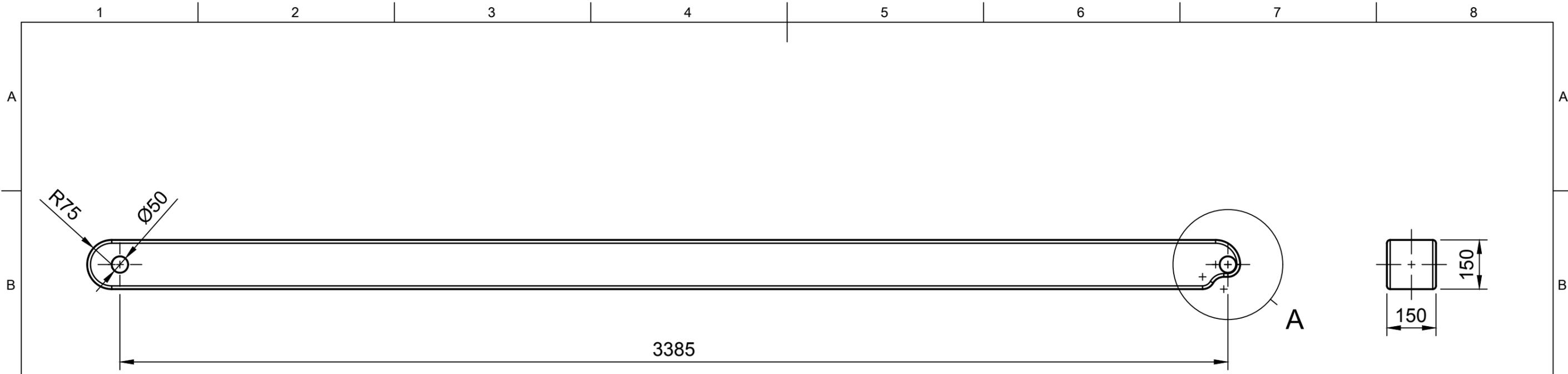
1 2 3 4 5 6 7 8

A
B
C
D
E
F

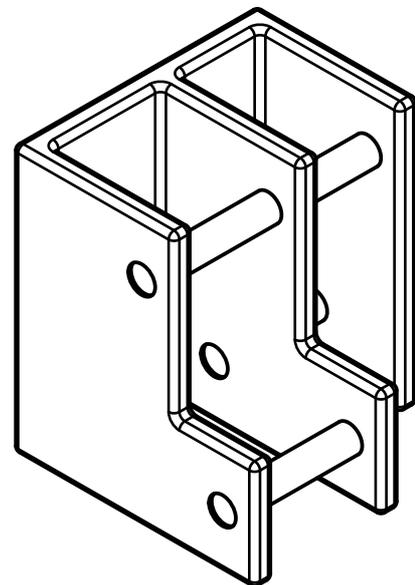
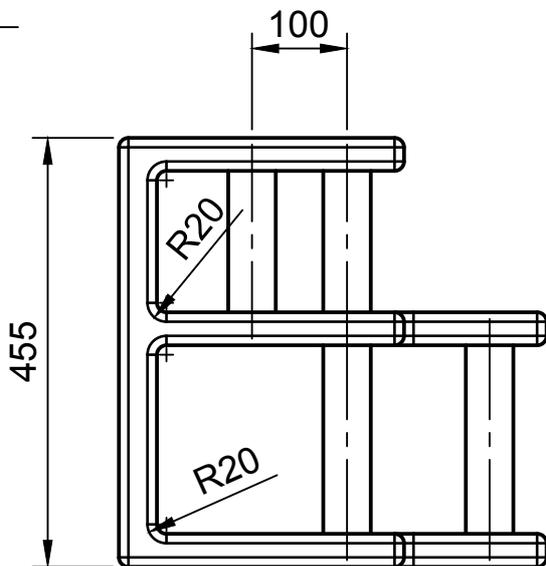
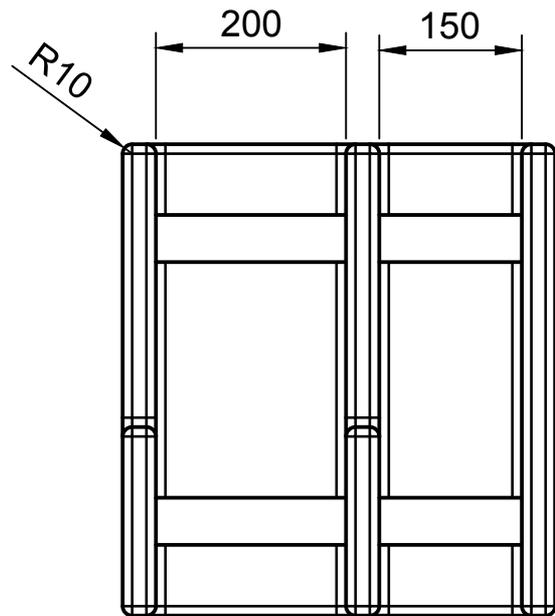
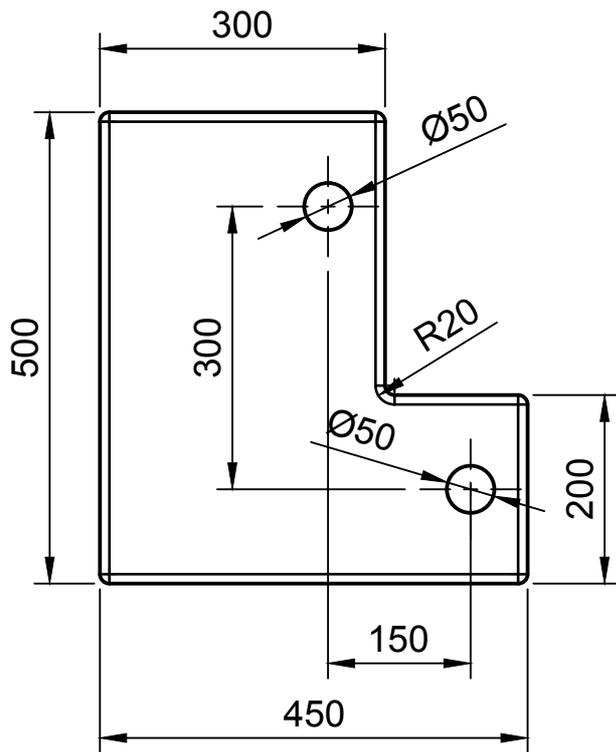


Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 17/6/18	Approved by
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Pieza	Escala 1:12
		Title Brazo Inferior (1)	DWG No. 24
Rev.	Date of issue	Sheet 1/1	

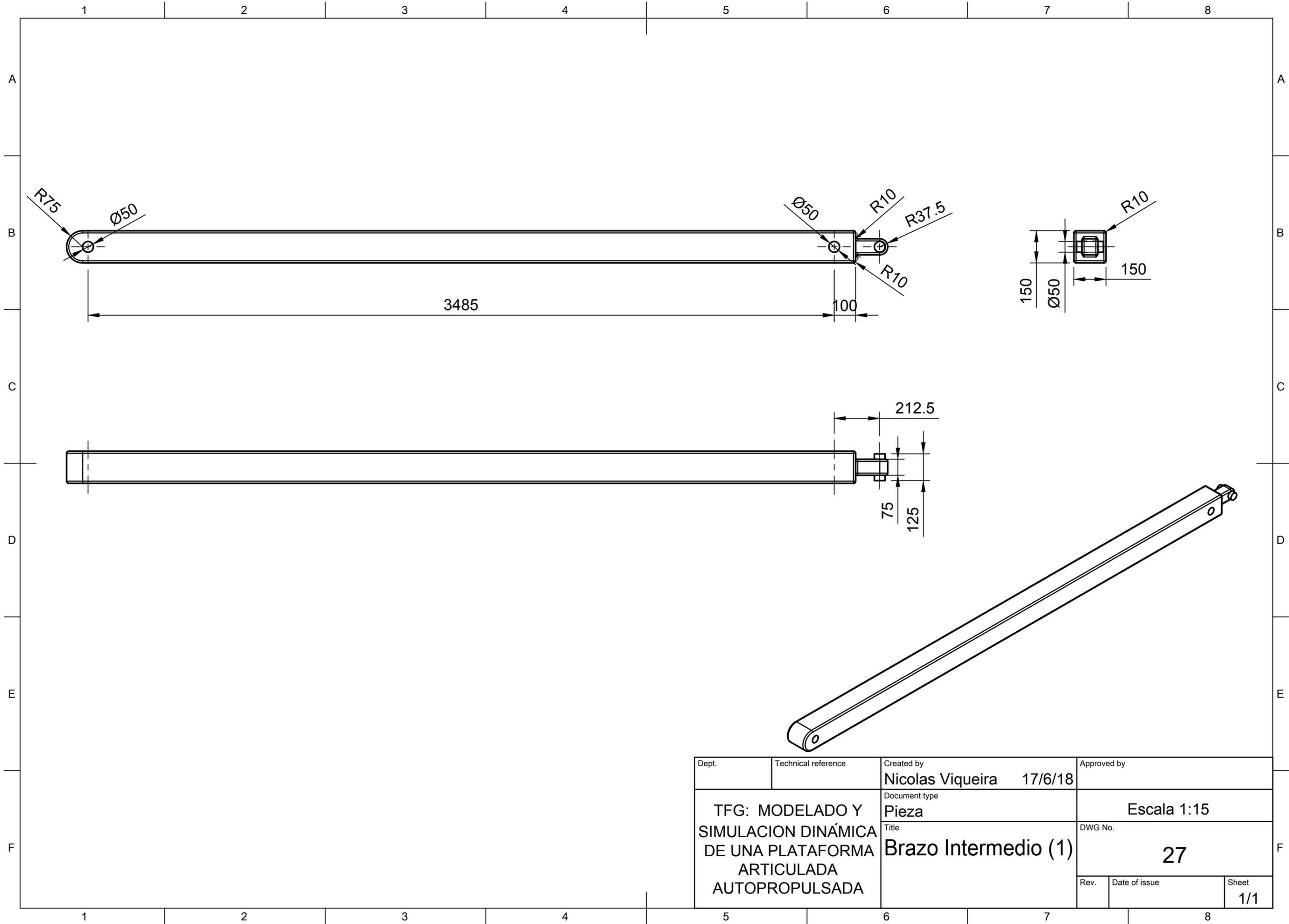
1 2 3 4 5 6 7 8



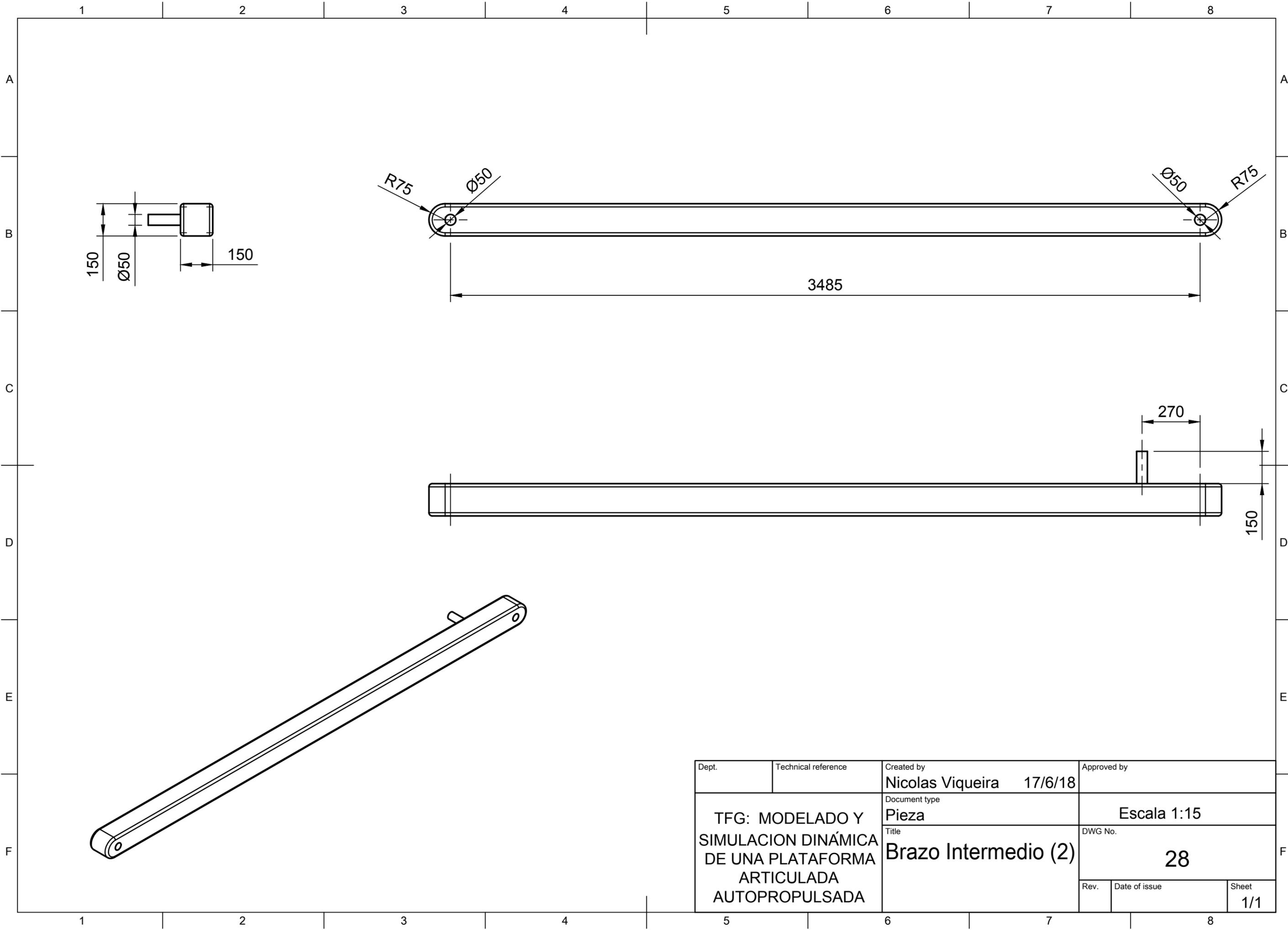
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 17/6/18	Approved by
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Pieza	Escala 1:12
		Title Brazo Inferior (2)	DWG No. 25
	Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



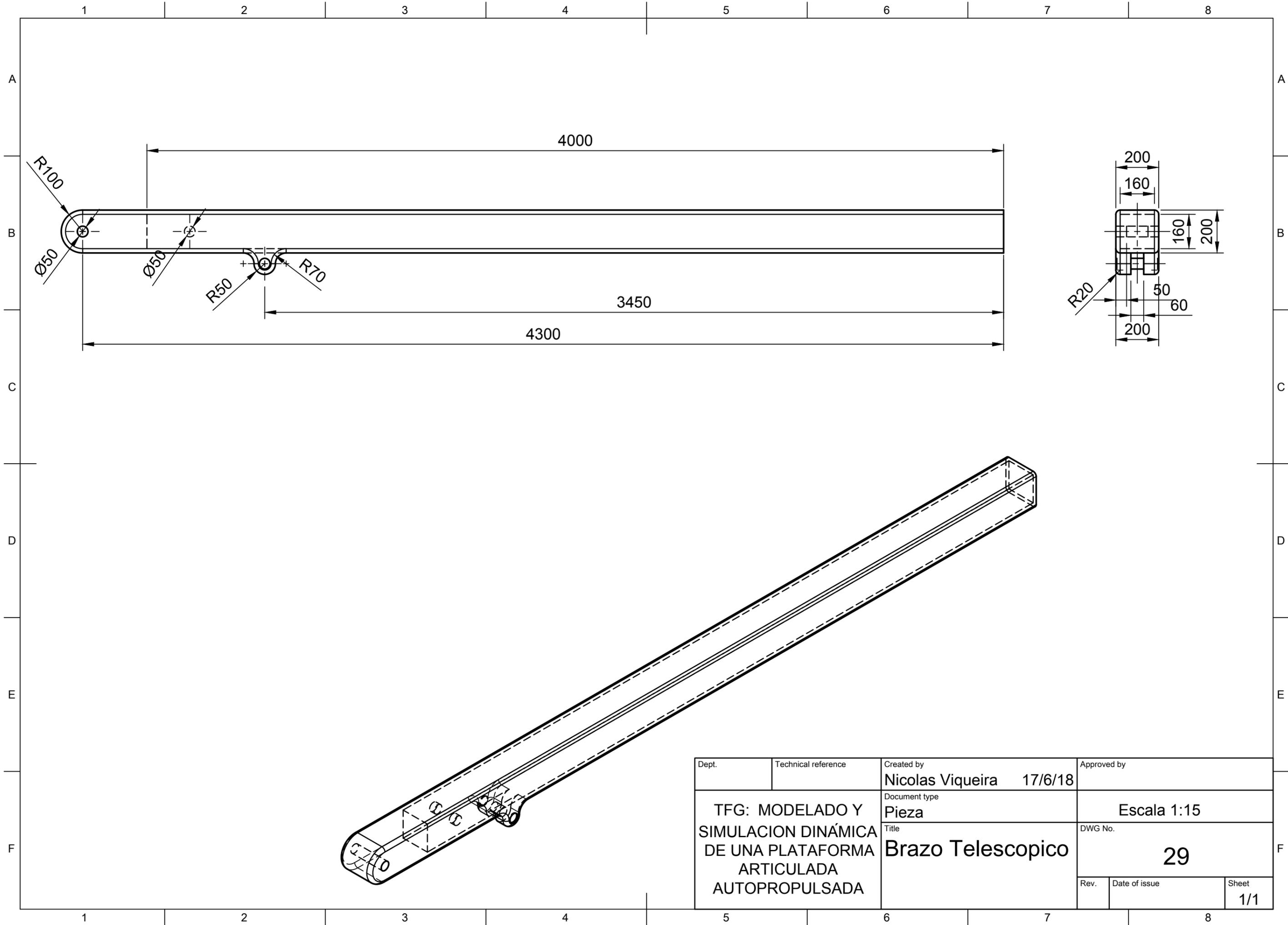
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 17/6/18	Approved by	
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Pieza	Escala 1:8	
		Title Union Intermedio	DWG No. 26	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



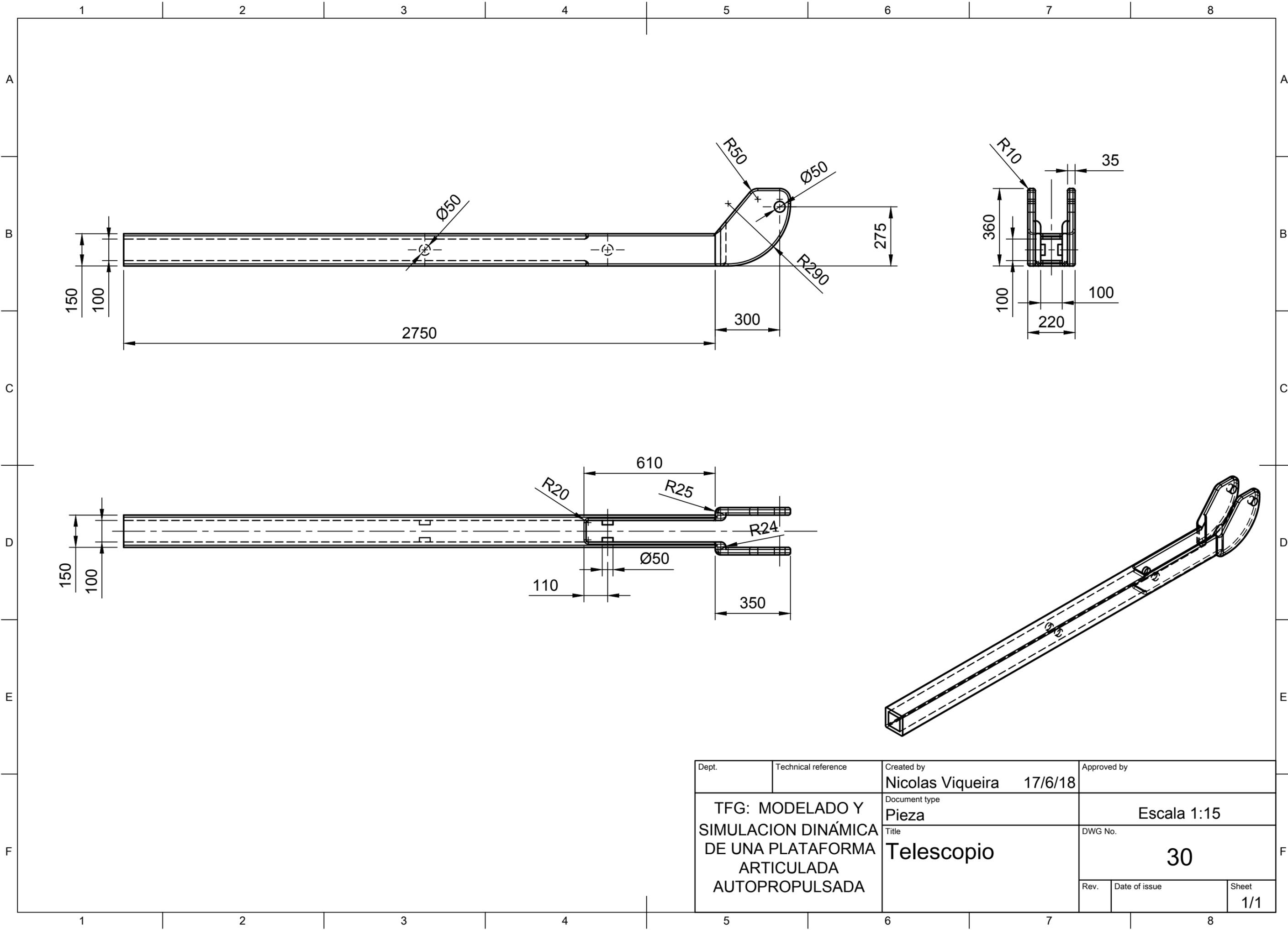
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 17/6/18	Approved by
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Pieza	Escala 1:15
		Title Brazo Intermedio (1)	DWG No. 27
	Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



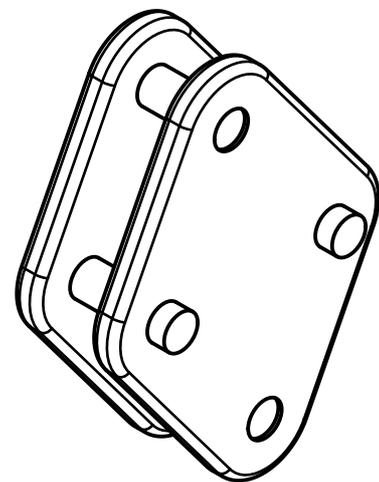
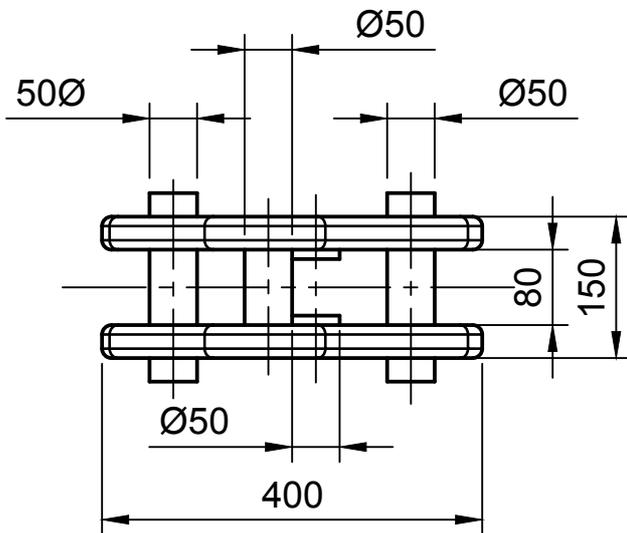
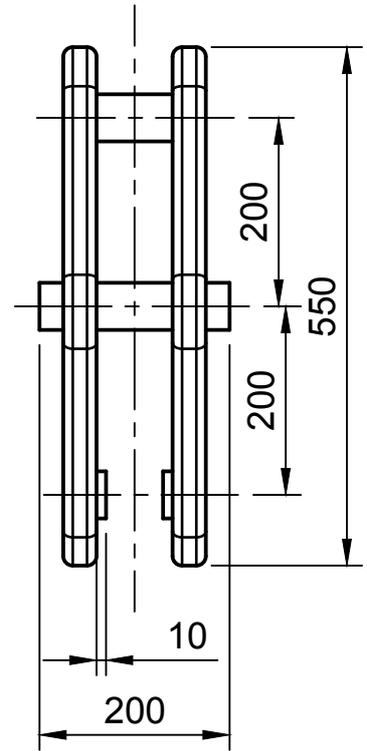
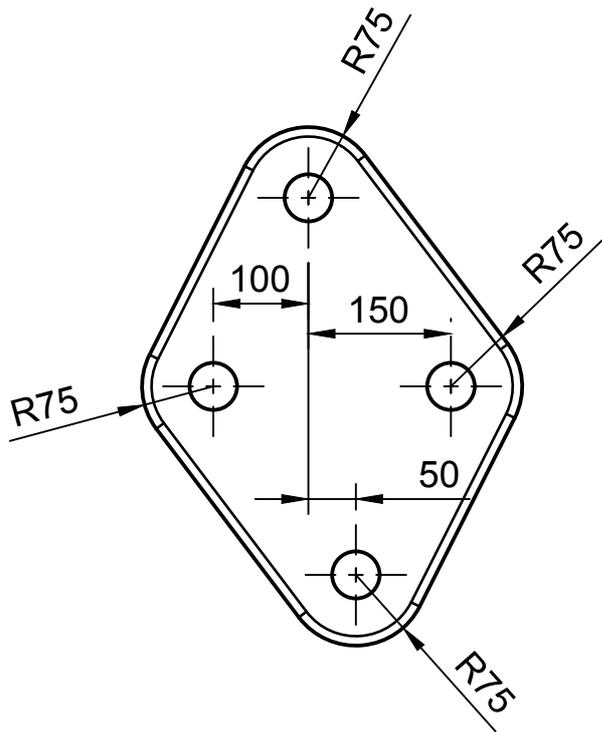
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 17/6/18	Approved by
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Pieza	Escala 1:15
		Title Brazo Intermedio (2)	DWG No. 28
	Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



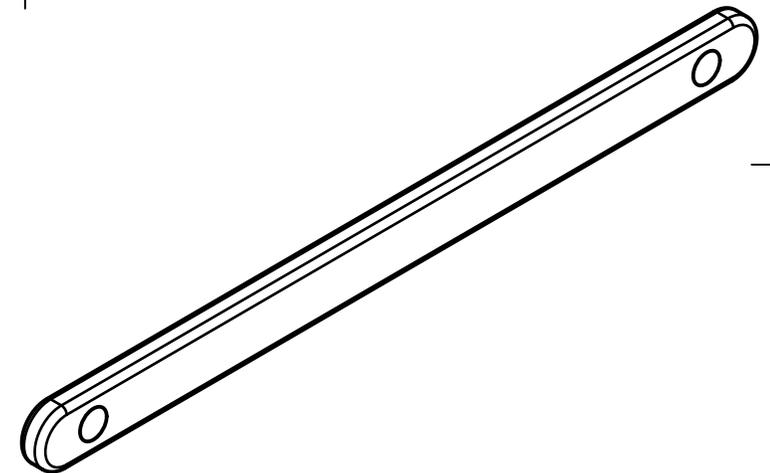
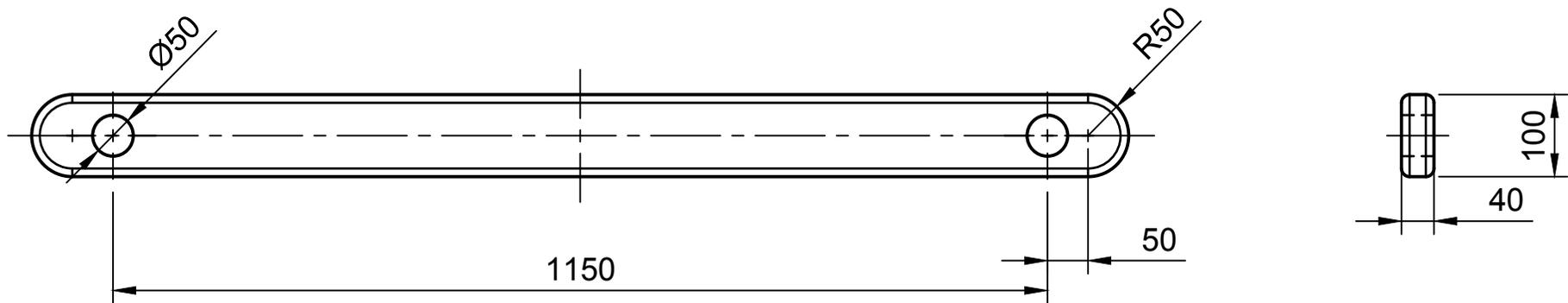
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 17/6/18	Approved by
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Pieza	Escala 1:15
		Title Brazo Telescopico	DWG No. 29
	Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



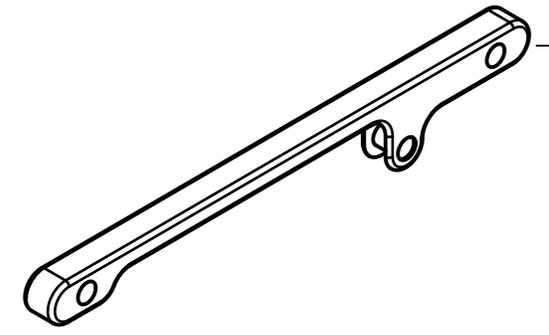
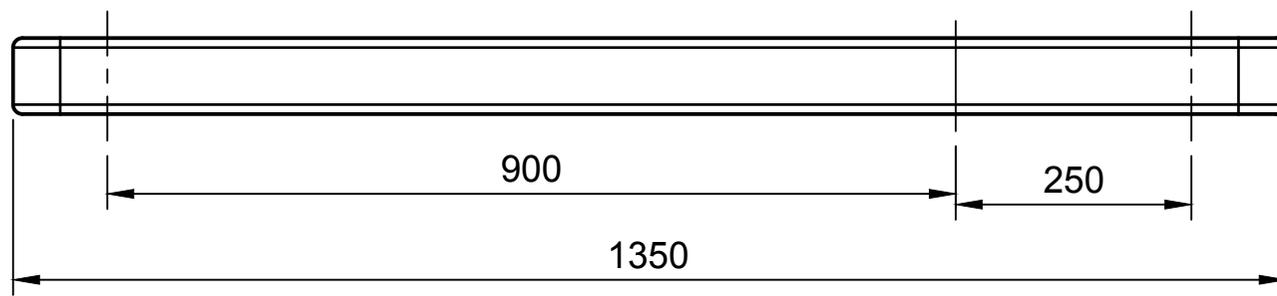
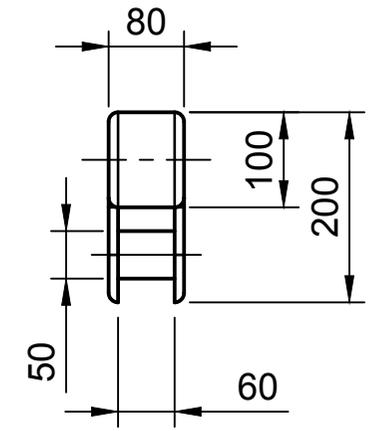
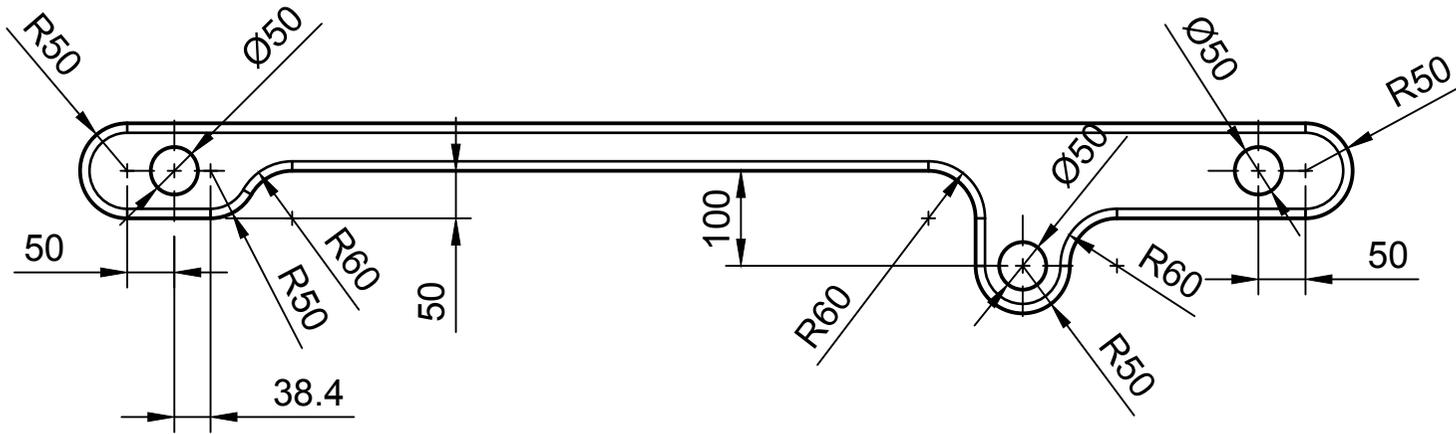
Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 17/6/18	Approved by
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Pieza	Escala 1:15
		Title Telescopio	DWG No. 30
		Rev.	Date of issue
			Sheet 1/1



Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira 17/6/18	Approved by	
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Pieza	Escala 1:8	
		Title Unión Superior	DWG No. 31	
		Rev.	Date of issue	Sheet 1/1



Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira	17/6/18	Approved by	
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Pieza	Escala 1:8		
		Title Brazo Superior (1)	DWG No. 32		
Rev.	Date of issue	Sheet		1/1	



Dept.	Technical reference	Created by Nicolas Viqueira	17/6/18	Approved by
TFG: MODELADO Y SIMULACION DINÁMICA DE UNA PLATAFORMA ARTICULADA AUTOPROPULSADA		Document type Pieza	Escala 1:8	
		Title Brazo Superior (2)	DWG No. 33	
Rev.	Date of issue	Sheet 1/1		