



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

---

*TRABAJO FINAL DEL*

*REALIZADO POR*

*TUTORIZADO POR*

*FECHA:* Valencia,

## ÍNDICE

<b>MEMORIA</b> .....	<b>- 3 -</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>- 4 -</b>
1.1 <i>Objeto del trabajo</i> .....	- 4 -
1.2 <i>Unidad de estudio</i> .....	- 4 -
1.3 <i>Metodología</i> .....	- 4 -
1.3.1 <i>Metodología técnica y plan de trabajo</i> .....	- 4 -
<b>2. HERRAMIENTAS EMPLEADAS</b> .....	<b>- 6 -</b>
2.1 <i>Autodesk Inventor – Programa CAD</i> .....	- 6 -
2.2 <i>Adams View – Programa Simulación Dinámica</i> .....	- 6 -
<b>3. ANTECEDENTES</b> .....	<b>- 8 -</b>
3.1 <i>Concepto</i> .....	- 8 -
3.2 <i>Historia</i> .....	- 8 -
3.3 <i>Tipos y aplicaciones</i> .....	- 9 -
3.3.1 <i>Grúas fijas</i> .....	- 9 -
3.3.2 <i>Grúas móviles</i> .....	10
<b>4. NORMATIVA APLICABLE AL DISEÑO DE GRÚAS MÓVILES</b> .....	<b>- 12 -</b>
4.1 <i>Normas UNE</i> .....	- 12 -
4.2 <i>Reales Decretos</i> .....	- 13 -
<b>5. GRÚA HIDRÁULICA ARTICULADA</b> .....	<b>- 14 -</b>
5.1 <i>Definición</i> .....	- 14 -
5.2 <i>Partes</i> .....	- 14 -
5.3 <i>Materiales</i> .....	- 15 -
5.4 <i>Sistema hidráulico</i> .....	- 15 -
5.4.1 <i>Introducción</i> .....	- 15 -
5.4.2 <i>Principios y teoremas a tener en cuenta</i> .....	- 15 -
5.4.3 <i>Propiedades de los fluidos hidráulicos</i> .....	- 17 -
5.4.4 <i>Pérdidas de carga del fluido</i> .....	- 17 -
5.4.5 <i>Duración de los líquidos hidráulicos y conservación</i> .....	- 17 -
5.4.5 <i>Sistemas hidráulicos de la grúa y tipos de válvulas</i> .....	- 18 -
5.4.6 <i>Circuito hidráulico de ejemplo</i> .....	- 19 -
5.5 <i>Sistema de telescopado</i> .....	- 20 -
5.6 <i>Sistema de elevación de la pluma</i> .....	- 20 -
5.7 <i>Sistema de anclaje al camión</i> .....	- 20 -
<b>6. DISEÑO Y MODELADO CON AUTODESK INVENTOR</b> .....	<b>- 22 -</b>
<b>7. ENSAMBLAJE CON AUTODESK INVENTOR</b> .....	<b>- 28 -</b>
<b>8. MODELO DINÁMICO CON ADAMS</b> .....	<b>- 29 -</b>
8.1 <i>Partes del mecanismo</i> .....	- 29 -
8.2 <i>Pares cinemáticos, nudos rígidos y movimientos</i> .....	- 30 -
8.3 <i>Simulación</i> .....	- 33 -
8.4 <i>Medición</i> .....	- 38 -
8.5 <i>Resultados</i> .....	- 43 -
8.6 <i>Conclusiones de los resultados</i> .....	- 77 -
<b>9. MODELO MATEMÁTICO</b> .....	<b>- 78 -</b>
9.1 <i>Lazo 1</i> .....	- 79 -
9.2 <i>Lazo 2</i> .....	- 81 -

# MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES

<b>9.3 Pistón Telescopio 1.</b> ....	- 82 -
<b>9.4 Pistón Telescopio 2.</b> ....	- 82 -
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	- 83 -
<b>PLANOS</b> .....	- 85 -
<b>ÍNDICE PLANOS</b> .....	- 86 -
<b>PLIEGO DE CONDICIONES</b> .....	- 105 -
<b>10. INTRODUCCIÓN.</b> .....	- 106 -
<b>11. CONDICIONES DEL HARDWARE.</b> .....	- 106 -
<b>12. CONDICIONES DEL SOFTWARE.</b> .....	- 106 -
<b>PRESUPUESTO</b> .....	- 107 -

DOCUMENTO I

MEMORIA

## 1. INTRODUCCIÓN.

### 1.1 Objeto del trabajo.

El objeto del proyecto es el modelado y simulación dinámica de una grúa hidráulica para camiones. Desde el diseño de la grúa mediante programas CAD (Diseño Asistido por Computador), hasta el análisis de su mecanismo y movimientos, mediante programas de análisis dinámico para sistemas multicuerpo (ADAMS). Además, se proporcionarán conocimientos teóricos acerca del funcionamiento real de una grúa hidráulica, tanto del sistema de propulsión de las prolongaciones, el sistema hidráulico y los materiales usados para su construcción.

En primer lugar, como se ha dicho anteriormente, mediante el programa Autodesk Inventor, se va a diseñar un modelo simplificado de la grúa hidráulica articulada que se puede encontrar en camiones de tamaño medio. Además, para su correcta puesta en escena de un entorno industrial real, se ha tomado un diseño de un camión que servirá para realizar las simulaciones, junto con el diseño de un bloque para realizar la carga y descarga.

Seguidamente, se analizará su comportamiento, movimiento, fuerza a las que están sometidos los diferentes componentes del sistema mediante el programa ADAMS VIEW. Para realizar el análisis se hará uso de gráficas que nos proporcionen la evolución de la fuerza o el momento que se crea en la parte analizada del mecanismo.

La finalidad del trabajo es analítica y teórica, puesto que no pretende la posterior construcción de la grúa.

### 1.2 Unidad de estudio.

El trabajo estudia la grúa hidráulica articulada montada sobre camiones, en concreto, el movimiento de sus diferentes partes: brazo, extensiones y pistones.

El análisis se va a acompañar de una simulación de la carga de un bloque de cobre en el camión.

### 1.3 Metodología.

Para la redacción del siguiente Trabajo de Fin de Grado, se ha hecho uso de la normativa para la realización de TFG y TFG del 7 de marzo de 2013, 21 de enero de 2015 y 28 de mayo de 2015; regulada por la Universitat Politècnica de València.

#### 1.3.1 Metodología técnica y plan de trabajo.

Para la realización del estudio llevado a cabo sobre la grúa hidráulica articulada sobre camión, se han seguido las siguientes fases:

1. Búsqueda de información sobre la grúa hidráulica articulada, tanto en internet como en libros. Esto nos permite saber su funcionamiento, tipos y particularidades de la grúa en cuestión, lo que nos servirá de conocimiento útil para su posterior diseño.
2. Diseño del modelo CAD 3D mediante el programa Autodesk Inventor 2019.
3. Trasladar el modelo simplificado al programa de análisis de movimientos de sólidos Adams View (Versión profesional). Posteriormente, se simulará la situación de carga del bloque, para realizar el postprocesado y analizar las gráficas de fuerzas y momentos obtenidas.

4. Obtener las ecuaciones de velocidad y aceleración del mecanismo mediante el método analítico.

## 2. HERRAMIENTAS EMPLEADAS.

### 2.1 Autodesk Inventor – Programa CAD.

Se trata de un programa CAD que nos permite diseñar la grúa hidráulica desde cero. Partiendo de cada pieza individual en 2D, se le dota de profundidad extruyéndola. Mediante la combinación de esta herramienta y otras (agujeros, barridos...) se puede construir cada pieza y llevarla hasta las 3 dimensiones con la precisión deseada.

Una vez se han realizado los diferentes diseños de las piezas que conforman a la grúa, se ensamblan todos mediante restricciones (de movimiento y ángulo) lo que da forma a la grúa hidráulica final. Desde las uniones por tornillos hasta las soldaduras de las piezas se pueden realizar mediante dicho programa.

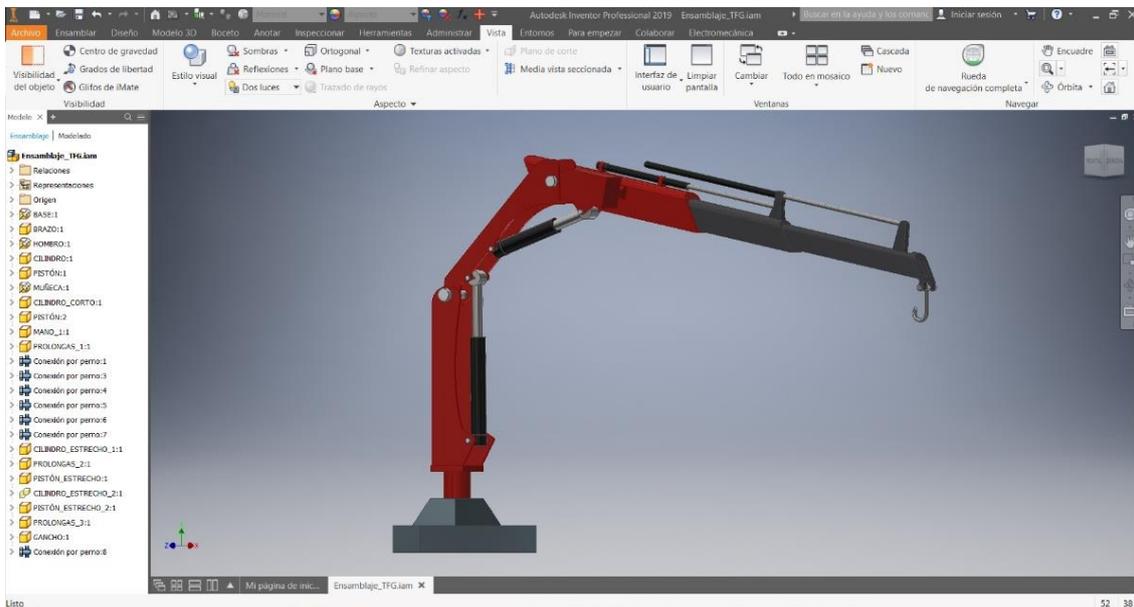


Figura 1. Interfaz Autodesk Inventor.

### 2.2 Adams View – Programa Simulación Dinámica.

Dicho programa es una herramienta informática de análisis de sistemas mecánicos dinámicos multicuerpo. Permite realizar simulaciones virtuales de proyectos y tareas ingenieriles, así como análisis de vibraciones, análisis de esfuerzos y demás.

Para la realización del proyecto que nos ocupa, se utilizará el módulo Adams View, encargado de realizar las simulaciones dinámicas del mecanismo. En concreto, se utilizará la versión profesional debido a que el número de piezas supera el límite de la versión de estudiantes. Adams nos permitirá hacer una simulación casi real, de las condiciones de trabajo, fuerzas, velocidades y aceleraciones a las que está sometida una grúa hidráulica en un entorno de trabajo real.

# TRABAJO DE FIN DE GRADO

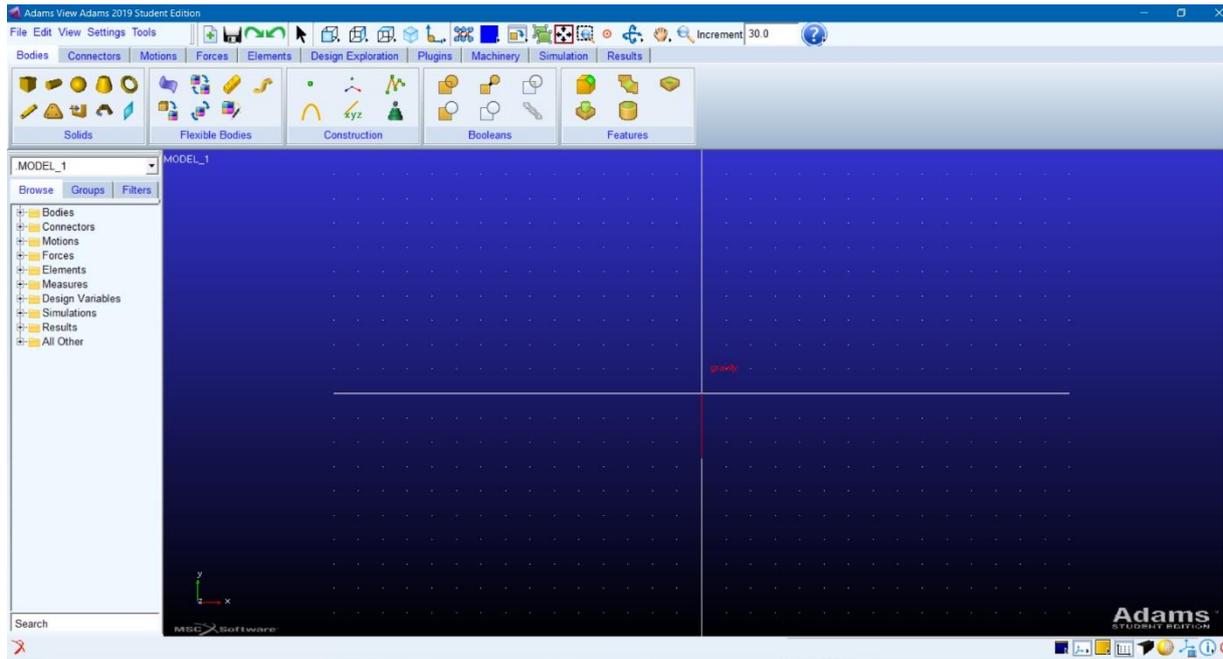


Figura 2. Interfaz Adams View.

### 3. ANTECEDENTES.

#### 3.1. Concepto.

Una grúa es una máquina electromecánica que se usa para levantar y posicionar cargas tanto verticalmente como horizontalmente. Debido a su uso extendido a todas las industrias, se han diversificado, tanto en tamaño como en funciones. Funcionan principalmente mediante un sistema hidráulico que permite mover las cargas deseadas, que pueden ser desde unos pocos kilogramos, hasta toneladas. En su final, suelen tener un gancho, pero pueden estar provistas de unas pinzas u otras soluciones.

Representan un elemento indispensable sin el cual no se podrían realizar una enorme cantidad de tareas ingenieriles. Desde la construcción de casas y edificios, carga y descarga de contenedores en los puertos, levantamiento de cargas pesadas en las obras y todo tipo de tareas que requieran levantar pesos elevados a diferentes alturas.

#### 3.2 Historia.

La humanidad siempre ha tenido la necesidad de levantar cargas. Desde que el ser humano tiene uso de razón, se han necesitado de sistemas o mecanismos para llevar objetos pesados de un sitio a otro, o levantarlos hasta el lugar preciso. En la edad antigua, se usaban los propios humanos como motor de empuje. A medida que se necesitaban levantar mayores cargas, se hizo necesario el empleo de animales (caballos, vacas, toros e incluso elefantes) y finalmente máquinas más complejas.

Con el avance de la civilización, se iniciaron construcciones más complejas, desafiantes y grandiosas. Así pues, remontándose en la época egipcia, aunque no esté claro el sistema que usaron para levantar los grandes bloques necesarios para construir las pirámides, los expertos coinciden en que se usaron sistemas formados por andamios y elementos que permitían usar las fuerzas de momentos y equilibrios para mover estos monumentales bloques. Dichos elementos representarían las grúas de la época. Pinturas de ese periodo reflejan que se usaban caballos y otros animales con arneses para levantar estas cargas pesadas, haciendo uso de polipastos más o menos complejos.

En la Edad Media, principalmente se construyeron grúas giratorias para poder levantar los grandes barcos y construir edificios y castillos. Se usaban caballos, humanos e incluso trineos tirados por animales para conseguir levantar las cargas pesadas.



*Figura 3. Grúa Edad Media.*

A medida que la humanidad desarrolló nuevas tecnologías y fuentes de energía; ya sean la máquina de vapor, la electricidad y otras fuentes, se hizo posible la construcción y diseño de elementos tecnológicos más complejos, grandes y pesados. Así pues, se hizo posible el desarrollo de grúas impulsadas por agua, vapor y electricidad. Se puede observar que todos estos avances, sumados a la evolución de los elementos de unión (remaches, tornillos, tuercas, etc.), hicieron que las grúas evolucionaron en capacidad de levantamiento de carga, tamaño y utilidad. En muy pocos años, estos mecanismos evolucionaron de manera gradual, hasta las grúas que conocemos hoy en día. Se puede observar en la Figura 2 el cambio vertiginoso de tamaños que experimentaron las grúas en el siglo XX.

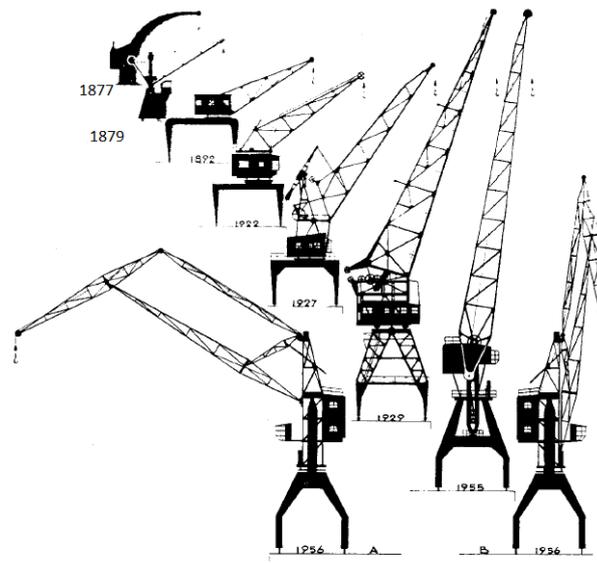


Figura 4. Evolución de las grúas portuarias desde 1877-1956.

### 3.3 Tipos y aplicaciones.

Dependiendo de la situación de la grúa, del uso al que va a estar sometida y de la carga que vaya a levantar, existen muchos tipos de ellas. Se pueden clasificar de la siguiente manera:

#### 3.3.1 Grúas fijas.

Tienen una movilidad muy limitada, pero mayor estabilidad. Esto les permite portar mayores cargas y conseguir mayores alturas. Algunos ejemplos son los siguientes:

- **Grúa torre.**

Las grúas torre son grúas tipo pluma que se pueden orientar y girar 360°. El soporte superior está montado sobre una torre vertical unida a la base.

Las cargas son elevadas mediante un gancho que está suspendido de un cable y se puede mover tanto vertical como horizontalmente, cubriendo un rango de distancias amplias. Usadas en el ámbito de la construcción.



Figura 5. Grúa torre.

### ○ **Grúa Portuaria.**

Situada en los puertos comerciales del mundo, se encarga de trasladar los contenedores provenientes de los barcos transatlánticos hasta el suelo del puerto o sobre camiones. Está formada por unos sistemas de ganchos que se encargan de asegurar la carga y estabilizarla, para luego trasladarla sobre unos railes hasta la costa.



*Figura 6. Grúa portuaria transportadora de contenedores.*

### ○ **Grúa puente.**

Es un dispositivo para la elevación y transporte de carga mediante un carro automotor que soporta un polipasto. Se puede localizar principalmente en los muelles, fábricas o naves industriales. Pueden transportar materiales, contenedores y cargas vertical y horizontalmente.



*Figura 6. Grúa puente automática*

### ○ **Grúa de brazo nivelado.**

Situada normalmente en puertos, se encarga de levantar grandes cargas verticalmente y trasladarlas hasta la posición final. Tiene la capacidad de levantar pesos de varias toneladas.



*Figura 8. Grúa de brazo nivelado.*

### **3.3.2 Grúas móviles.**

Una grúa móvil es aquel conjunto que está formado por un vehículo portante (sobre ruedas, cadenas u orugas) y que está compuesto por un sistema de propulsión y dirección, en el que se acopla un aparato de elevación. Este aparato de elevación o suspensión está proveído de un gancho o cualquier accesorio de aprehensión que permite coger cargas elevadas. Algunos ejemplos son:

## MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES

### ○ Grúa móvil pesada.

Las grúas móviles pesadas suelen estar portadas por un vehículo con un gran número de ruedas u orugas. En cuanto al aparato de elevación, está compuesto por cilindros de elevación de gran potencia y que pueden ejercer una gran presión para mover las toneladas del mecanismo.



Figura 9. Grúa móvil pesada.

### ○ Grúa flotante.

Dichas grúas se sitúan, como se puede observar en la imagen, sobre un barco o embarcación capaz de soportar su elevado peso. Sus usos son varios: desde la carga y descarga de embarcaciones más pequeñas, e incluso la recuperación de elementos bajo el agua.



Figura 10. Grúa flotante.

### ○ Grúa móvil articulada.

Este tipo de grúa está compuesta por varios tubos de acero, unos dentro de otros; los cuales, mediante un sistema hidráulico compuesto por cilindros, retraen o extienden estas prolongaciones hasta la distancia permitida o deseada.

Para sujetar los elementos que se van a cargar, dispone de un gancho en su extremo.

La forma más común de presentarse este tipo de grúas es montada sobre camiones, cuyo uso es principalmente para construcción.



Figura 11. Grúa hidráulica articulada sobre camión.



Figura 12. Grúa móvil articulada.

#### 4. NORMATIVA APLICABLE AL DISEÑO DE GRÚAS MÓVILES.

Para el diseño de grúas móviles, es necesario el uso y cumplimiento de cierta normativa estatal obligatoria. Cabe remarcar que, a nivel nacional, la Federación Española de Manutención y AENOR son las encargadas de la redacción, revisión y publicación de dicha normativa.

##### 4.1 Normas UNE.

- UNE-EN 13155:2004+A2:2009.

Grúas. Seguridad. Equipos amovibles de elevación de carga.

- UNE-EN 13001-2:2015.

Seguridad de las grúas. Requisitos generales de diseño. Parte 2: Acciones de la carga.

- UNE-EN 13001-1:2015.

Grúas. Requisitos generales de diseño. Parte 1: Principios generales y requisitos.

- UNE-EN 13001-3-5:2017.

Grúas. Requisitos generales de diseño. Parte 3-5: Estados límite y prueba de aptitud de los ganchos forjados.

- UNE-EN 13000:2010+A1:2014.

Aparatos de elevación de carga suspendida. Grúas móviles.

- UNE 58132-2:2005.

Aparatos de elevación. Reglas de cálculo. Parte 2: Solicitaciones y casos de sollicitaciones que deben intervenir en el cálculo de las estructuras y de los mecanismos.

- UNE 58132-3:2005.

Aparatos de elevación. Reglas de cálculo. Parte 3: Cálculo de las estructuras y de las uniones.

- UNE 58132-4:2000.

Aparatos de elevación. Reglas de cálculo. Parte 4: Cálculo y elección de los elementos mecánicos.

- UNE 58132-6:1991 ERRATUM.

Aparatos de elevación. Reglas de cálculo. Parte 6: reglas de seguridad.

- UNE 58113:1985.

Grúas. Acción del viento.

- UNE-EN 13001-3-6:2018.

Grúas. Diseño general. Parte 3-6: Estados límite y prueba de aptitud de la maquinaria. Cilindros hidráulicos.

- UNE 58506:1978.

Grúas móviles. Equipo hidráulico.

- UNE 58501:1993 ERRATUM.

Grúas móviles.

- UNE 58133:1988.

Aparatos de elevación. Accionamientos. Disposición y características. Disposición y exigencias básicas para las grúas móviles.

- UNE 58504:1977.

Grúas móviles. Equipo eléctrico.

#### 4.2 Reales Decretos.

- Real Decreto 2291/1985, de 8 de noviembre por el que se aprueba el Reglamento de Aparatos de Elevación y Manutención de los mismos.
- Real Decreto 837/2003, de 27 de junio, por el que se aprueba el nuevo texto modificado y refundido de la Instrucción técnica complementaria "MIE-AEM-4" del Reglamento de aparatos de elevación y manutención, referente a grúas móviles autopropulsadas.

## 5. GRÚA HIDRÁULICA ARTICULADA.

### 5.1 Definición.

Según la norma UNE-EN 12999, una grúa hidráulica articulada es una grúa cargadora compuesta por una columna que gira sobre una base, y un sistema de brazos sujeto a la parte superior de la columna. Esta grúa está montada sobre un vehículo comercial con una capacidad residual de carga significativa. Las grúas de carga están diseñadas para cargar y descargar el vehículo, así como para otras tareas relacionadas. Dicha grúa también podría ser montada sobre una base estática.

Según el tipo de montaje de la grúa sobre el vehículo, se pueden considerar los siguientes tipos:

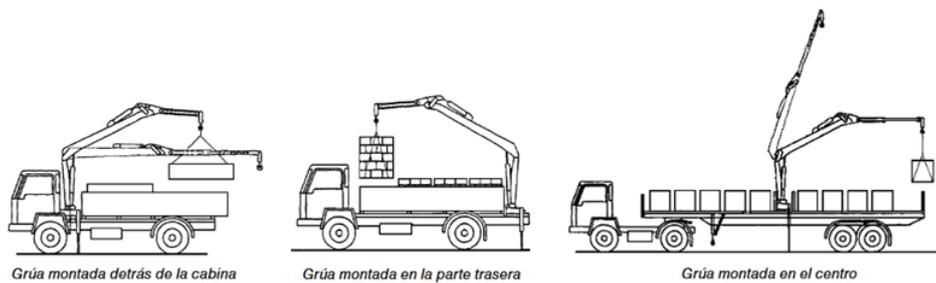


Figura 13. Tipos montaje grúa sobre vehículo.

En el proyecto actual, se va a usar la disposición de grúa montada detrás de la cabina, puesto que es la disposición más común en los camiones de uso general.

### 5.2 Partes.

En general, las grúas hidráulicas articuladas, según la norma UNE-EN 12999, disponen de los siguientes elementos principales que podemos ver en la figura.

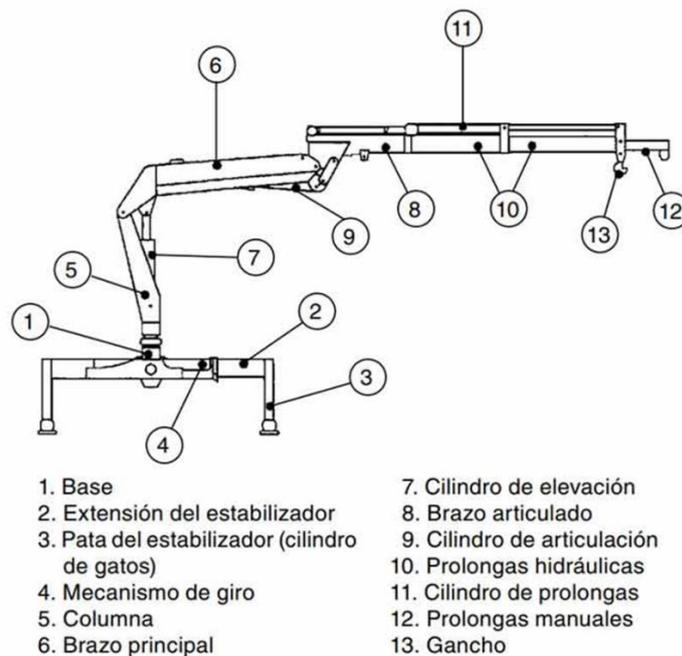


Figura 14. Principales partes grúa hidráulica articulada.

Las principales partes de la grúa cargadora son:

- Base: armazón, comprendiendo los puntos de anclaje y rodamientos para el giro de la columna.
- Columna: miembro estructural que soporta el sistema de la pluma.
- Sistema de brazos: miembro estructural en el sistema de la pluma de la grúa cargadora.
- Estabilizadores: ayuda a la estructura portante conectada al vehículo para dar la estabilidad requerida.

### 5.3 Materiales.

Mediante la observación de los diferentes catálogos de grúas de distintos fabricantes, tanto las plumas telescópicas y las grúas, son fabricadas con acero de alta resistencia S1100 QL.

Este material es utilizado debido a que es resistente a los grandes esfuerzos a los que la grúa está sometida. Así pues, está sometida a esfuerzos de flexión, que son producidos al manipular la carga situada a cierta distancia del anclaje de la pluma. Por otra parte, está sometida a esfuerzos de torsión provocados por la aceleración de la carga a cierta distancia, y añadidos a la acción del viento sobre ella.

Al usar este material resistente, se permite reducir el espesor de la lámina para la fabricación de los perfiles. Esto permite reducir su peso de manera significativa.

### 5.4 Sistema hidráulico.

#### 5.4.1 Introducción.

La Hidráulica es una parte de la física que estudia las leyes que rigen el equilibrio y movimiento de los líquidos y su aplicación industrial. En general, las presiones a las que están sometidas las máquinas en regímenes de trabajo se sitúan entre 10 y 500 bar.

Los líquidos hidráulicos son fluidos poco compresibles, que son capaces de ejercer una presión, es decir, la fuerza que dicho líquido es capaz de ejercer sobre una superficie determinada.

$$p = \frac{F}{S} \text{ (bar)}$$

#### 5.4.2 Principios y teoremas a tener en cuenta.

Para el diseño de los cilindros hidráulicos y para el funcionamiento del sistema hidráulico en general, se han de tener en cuenta una serie de principios y teoremas, sin los cuales no se podrían realizar los actuales trabajos ingenieriles con sistemas de hidráulica. Así pues, se van a exponer los principales principios o cuestiones que se han de tener en cuenta a la hora de realizar los diseños de dichos sistemas:

- Según el principio fundamental de la hidrostática, en un líquido en estado de equilibrio, la diferencia de presión entre dos puntos cualesquiera del mismo (punto A y punto B), es igual al peso de una columna líquida de  $1 \text{ cm}^2$  de base y de altura igual a la diferencia de nivel entre A y B.
- Los líquidos que se sitúan dentro de las diferentes válvulas y cilindros ejercen una serie de presiones sobre las paredes de los recipientes que los contienen.
- El principio de Bernoulli enumera que la suma de energías potencial y cinética, en los diferentes puntos del sistema, es constante, si el flujo de líquido es constante. Ahora bien, cuando el diámetro del tubo se modifica, la velocidad también se modifica.

## MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES

- Debe tenerse en cuenta la dilatación de un fluido, ya sea cuando se calienten o enfríen. Así pues, debe ser un factor para considerar cuando haya cambios de temperatura.  
Aquí mostraremos los principales líquidos con sus coeficientes de dilatación térmica:

LÍQUIDOS	COEFICIENTES DE DILATACIÓN
Agua	$1,5 \cdot 10^{-4}$
Mercurio	$1,8 \cdot 10^{-4}$
Alcohol etílico	$11,0 \cdot 10^{-4}$
Benzol	$12,4 \cdot 10^{-4}$
Glicerina	$5,0 \cdot 10^{-4}$
Aceite mineral	$6,5 \cdot 10^{-4}$
Solución glicol/agua	$8,0 \cdot 10^{-4}$
Líquidos sintéticos (ésteres fosfóricos)	$7,5 \cdot 10^{-4}$
Emulsión agua/aceite (50 % o 60 % de aceite)	$4,5 \cdot 10^{-4}$

Tabla 1. Coeficientes de dilatación de los líquidos hidráulicos principales.

- Según la ley de Poiseuille, el gasto de salida de un líquido por un tubo es directamente proporcional a la cuarta potencia del radio del tubo y a la diferencia de presiones entre los extremos del mismo, e inversamente proporcional a la longitud del tubo y al coeficiente de viscosidad.
- Finalmente, según el teorema de Torricelli, la velocidad de salida de un líquido contenido en un recipiente a través de un orificio pequeño es igual a la que alcanzaría un cuerpo cayendo libremente desde una altura igual a la diferencia de nivel entre la superficie del líquido y el orificio de salida.

Dichos principios y teoremas han de aplicarse en conjunto para un correcto diseño de los contenedores y recipientes de los fluidos hidráulicos, además de una correcta selección del líquido hidráulico según las temperaturas que ha de estar sometido, y a las situaciones de esfuerzo.

Para realizar la transmisión hidráulica de fuerzas, es decir, la prensa hidráulica, se hace a partir de la aplicación de un principio anterior. Como se puede observar en la imagen a continuación:

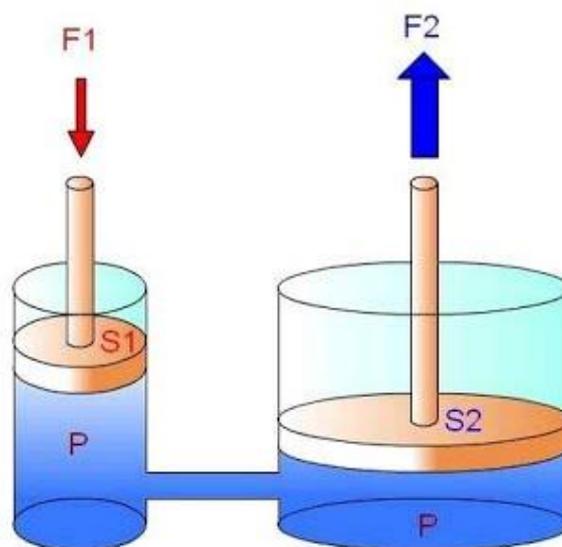


Figura 15. Principio aplicación de fuerzas en líquidos hidráulicos.

$$p1 = \frac{F1}{S1}$$

$$p2 = \frac{F2}{S2}$$

$$p1 = p2$$

Despejando, se obtiene que la fuerza resultante 2, se obtienen como consecuencia de la presión 1.

$$F2 = p1 \cdot S2$$

#### *5.4.3 Propiedades de los fluidos hidráulicos.*

Los fluidos hidráulicos usados en estos mecanismos que hacen uso de la hidráulica han de tener unas determinadas propiedades. Así pues, deben tener unas determinadas condiciones de fluidez, viscosidad, compresibilidad y régimen de flujo deseado. Pero antes se deben conocer qué implican dichas propiedades.

- Fluidez: se entiende por esta, la mayor o menor facilidad que tienen los fluidos para desplazarse libremente, es decir, fluir.
- Viscosidad: esta viene dada por la mayor o menor resistencia de las moléculas de los fluidos a desplazarse unas sobre otras. Para los líquidos, a mayor temperatura, menor viscosidad. Un nivel de viscosidad óptimo sería de entre un índice de viscosidad de 80 a 100.
- Compresibilidad de un líquido: los líquidos se comprimen debido a la presión que se ejerce sobre ellos. En general, para los líquidos, la compresibilidad es muy pequeña.
- Régimen de flujo: existen dos tipos de flujo; el laminar y el turbulento. El flujo laminar es un flujo a menor velocidad y más constante. En cambio, el régimen turbulento trabaja a mayor velocidad y crea corrientes más irregulares.

#### *5.4.4 Pérdidas de carga del fluido.*

Todo fluido, cuando circula por dentro de un conducto, ya sea una tubería, un cilindro, la bomba o el motor hidráulico, experimenta unas pérdidas o resistencias. Estas se pueden dividir en localizadas y distribuidas. Las primeras, producen pérdidas de carga locales, es decir, pérdidas debidas a curvas, codos, tubos, válvulas, uniones, etcétera. Por otra parte, las resistencias distribuidas tienen su origen en el frotamiento. En estas últimas influyen el caudal que circula por el conducto, a longitud del mismo, el diámetro de la tubería, el régimen del flujo e incluso la viscosidad del líquido hidráulico.

#### *5.4.5 Duración de los líquidos hidráulicos y conservación.*

La duración de los líquidos vendrá ligada a las condiciones de trabajo y a la temperatura a la que trabajen. De este modo, se presenta la siguiente tabla con unas pautas de duración.

CONDICIONES DE SERVICIO	TEMPERATURA DE SERVICIO (°C)	ACEITES DE BAJA CALIDAD	ACEITES DE BUENA CALIDAD	ACEITES DE ALTA CALIDAD
MUY BUENAS	< 38	2.000 a 3.000 h	10.000 a 15.000 h	> 20.000 h
BUENAS	38 a 44	1.500 a 2.500 h	8.000 a 10.000 h	12.000 a 20.000 h
REGULARES	44 a 55	1.000 a 2.000 h	4.000 a 5.000 h	8.000 a 12.000 h
MALAS	55 a 65	500 a 1.000 h	2.000 a 4.000 h	4.000 a 8.000 h
MUY MALAS	> 65	-	500 a 1.000 h	2.000 a 4.000 h

Tabla 2. Duración aceites hidráulicos según condiciones.

Para que el líquido hidráulico tenga una buena duración, debe tener un buen estado de conservación. Esto depende del correcto funcionamiento de la instalación en general, de las revisiones periódicas realizadas, de las averías, etcétera. Se van a presentar unos consejos y cuestiones a tener en cuenta cuando se tiene una instalación de fluido hidráulica:

- Realizar análisis periódicos.
- Verificar el estado de los filtros. Limpiarlos y cambiarlos cuando sea conveniente y estén en un estado deteriorado.
- Evitar que se produzcan temperaturas muy elevadas en el circuito.
- Controlar los niveles de líquido en el depósito.
- Evitar la contaminación del fluido con sustancias provenientes del exterior.
- Evitar la entrada de agua o de aire. Si sucede, se debe purgar cuanto antes posible.

#### 5.4.5 Sistemas hidráulicos de la grúa y tipos de válvulas.

Las grúas son sistemas pesados que usan un potente sistema hidráulico para realizar el trabajo. El fluido hidráulico es transmitido a una alta presión hasta las cámaras cilíndricas. Entonces, esta presión actúa sobre el pistón del cilindro para ejercer la fuerza sobre la parte deseada de la grúa.

La válvula principal del sistema hidráulico es una parte esencial. Hay una relación directa entre el rendimiento de la grúa, y el caudal de aceite necesario. Así pues, cuanto mayor rendimiento se necesita, mayor es el caudal de aceite.

El sistema hidráulico, para su funcionamiento está provisto de diferentes válvulas. Dichas válvulas son mecanismos que sirven para regular el flujo de fluidos. Pueden tener distintas funciones en el sistema. Las diferentes válvulas que se presentan en el sistema de la grúa son las siguientes:

- Válvulas distribuidoras: su función es dirigir el flujo por el circuito según convenga. Alimentan a los actuadores y a otras válvulas.
- Válvulas de cierre: Impiden el paso del fluido en un sentido; permitiendo su paso por el sentido contrario.
- Válvulas de flujo: permiten modificar la velocidad del actuador.
- Válvulas de presión: limitan la presión de trabajo en el circuito. Actúan como un elemento de seguridad.
- Válvulas secuenciadoras: si se tiene la intención de accionar 2 o más cilindros a la vez, esta válvula se encarga de realizar la secuenciación deseada.

- Válvulas de frenado: son usadas para el retorno de los motores hidráulicos, ya que evitan excesos de velocidad cuando el motor recibe una sobrecarga. Además, evitan que se produzcan sobrepresiones.

#### 5.4.6 Circuito hidráulico de ejemplo.

Un ejemplo de un circuito hidráulico para la carga de tracción sería el siguiente:

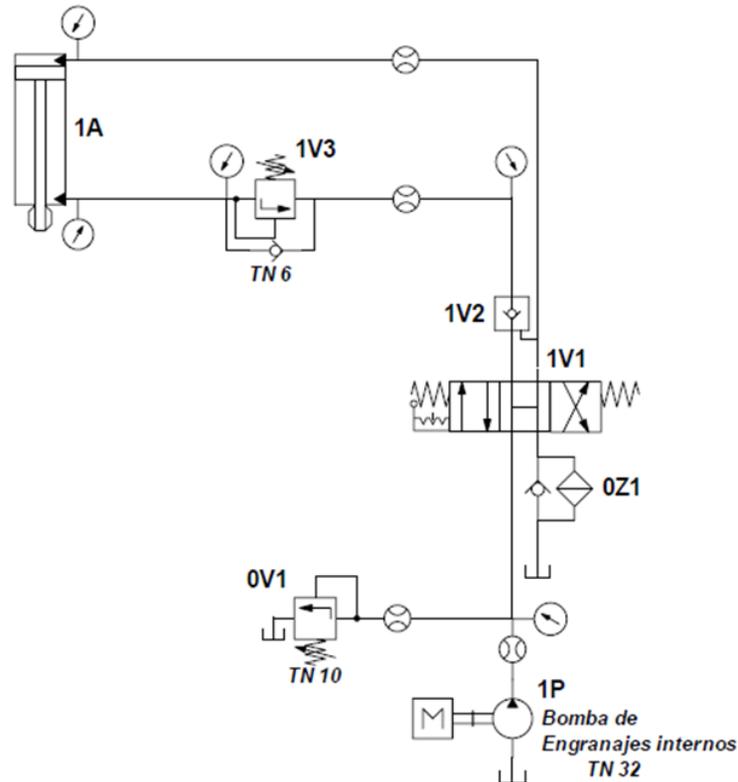


Figura 16. Ejemplo circuito hidráulico.

El circuito permite controlar la velocidad de desplazamiento del vástago. Este funciona con un aceite HLP46 alimentado por una bomba de engranajes internos (1P) que es accionada por el motor de explosión de la grúa. A la salida de la bomba se sitúa la válvula de seguridad (0V1). El control del movimiento del cilindro se realiza por medio de una válvula distribuidora 4/3 accionada por una palanca (1V1). La válvula antirretorno con apertura hidráulica (1V2) permite mantener la posición del vástago en cualquier posición intermedia. La válvula de secuencia (1V3) produce una contrapresión suficiente para sujetar las cargas exteriores en el movimiento de salida del vástago.

La válvula distribuidora 1V1 tiene una posición central en la que los 4 puertos están conectados. En esta posición el aceite se recircula al tanque con una presión muy pequeña y las dos vías de trabajo se despresurizan, asegurando de esta forma que la válvula antirretorno pilotada 1V2 esté cerrada y evite el movimiento de la carga.

### 5.5 Sistema de telescopado.

Según el funcionamiento del sistema de telescopado de una grúa hidráulica real, funcionaría de la siguiente manera:

1. Se parte de una posición inicial con el cilindro hidráulico recogido. Una vez se realiza la activación del sistema hidráulico, se extenderá el vástago del cilindro hasta que el primer cuerpo de telescopado se sitúe alineado con la tapa trasera del tramo que se desea telescopar. En el caso del proyecto actual, se han realizado unas restricciones, sustituyendo dicha tapa trasera, para una mayor simplificación.
2. Una vez se llega a esta posición, los cilindros hidráulicos siguientes realizan un movimiento vertical que desplaza las pinzas en dirección al bulón de anclaje, para que puedan agarrar el bulón.
3. Seguidamente, los cilindros hidráulicos situados en el lateral del cuerpo de telescopado, se expanden permitiendo que los bulones de arrastre penetren la cavidad existente en la tapa trasera del tramo.
4. Una vez anclados los bulones de arrastre, se procede al proceso de desenclavar los tramos. Los cilindros hidráulicos de la parte superior realizan un movimiento de retroceso, lo que desplaza las pinzas hacia abajo, arrastrando el bulón. Así, el tramo que se desea telescopar queda libre.
5. Cuando se alimenta este cilindro hidráulico, el otro cuerpo de telescopado se extenderá.
6. Una vez este tramo ha alcanzado la longitud deseada, se procede a que el bulón lo aprisione, para anclarlo al tramo contiguo en la nueva posición. Para esto, se desplazan los cilindros hidráulicos verticales hacia arriba, colocando el bulón de anclaje.
7. Seguidamente, se desenclavan los bulones de arrastre. Esto se lleva a cabo mediante la retirada de los cilindros laterales del cuerpo de telescopado, lo que arrastra los bulones de arrastre laterales.
8. Si se quiere telescopar otro tramo, se repetiría el proceso.

### 5.6 Sistema de elevación de la pluma.

Este sistema es el que se encarga de permitir el movimiento de inclinación de la pluma, haciéndola variar desde la posición horizontal, hasta la inclinación máxima permitida.

El funcionamiento se basa en un cilindro hidráulico de simple efecto unido a la estructura (por su extremo superior) y a la pluma (por su extremo inferior). La unión es articulada mediante bulones, lo cual permite la rotación.

Una vez se alimenta el cilindro hidráulico, se desplaza linealmente el vástago, que transmite el esfuerzo al primer tramo de la pluma, haciendo variar su inclinación. Cuando se deje de alimentar el cilindro, el peso de la pluma hará que retroceda el mismo.

### 5.7 Sistema de anclaje al camión.

Los anclajes tienen la finalidad de fijar máquinas, perfiles, estructuras y demás a superficies o perfiles que tengan una dureza apropiada a la carga a soportar. En general, el anclaje se realiza mediante bulones específicos para cada caso, dentro de la gran variedad que hay en el mercado.

Hay varios tipos de bulones de anclaje, pero en este caso, para la fijación de la grúa al camión, se usarán los anclajes metálicos de expansión, al ser el más adecuado para el caso.



*Figura 17. Bulón de anclaje.*

Aun así, existen otros tipos de soporte y anclajes que también serían adecuados para la fijación de la grúa. Estas diferentes soluciones serían las placas y zarpas de anclaje para postes y estructuras metálicas; sirven para fijar estructuras y máquinas que se sitúan sobre placas metálicas, de hormigón, etcétera.



*Figura 18. Placa de anclaje.*

Otra solución sería usar la tornillería para fijar piezas mecánicas, que es una solución similar a la utilización de bulones de anclaje.



*Figura 19. Tornillo de fijación.*

## 6. DISEÑO Y MODELADO CON AUTODESK INVENTOR.

En cuanto al diseño de la grúa hidráulica, se ha tomado como referencia modelos ligeros de grúas, lo que simplifica su representación y análisis. Se van a detallar los diferentes componentes que se han diseñado para dar forma al proyecto (posteriormente, se detallarán las dimensiones de cada uno en los planos):

### ○ Base.

Se ha diseñado una base genérica para poder anclarla posteriormente al camión. Es de gran importancia que sea de un material pesado y resistente para poder soportar las tensiones ejercidas por el levantamiento de la carga. Cabe remarcar, que posteriormente se han acortado algunas secciones de la misma con el programa ADAMS, para que pueda ser correctamente anclada al camión.

Para el diseño de esta pieza, se han usado las herramientas de extrusión, tanto para darle forma como para realizar el agujero interno.

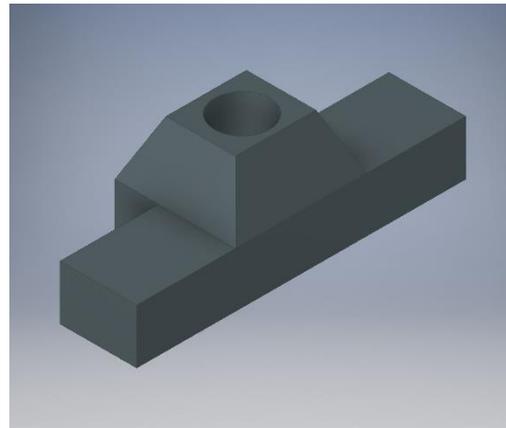


Figura 20. Base diseñada en Autodesk Inventor.

Aquí se pueden observar los menús de Autodesk Inventor que se han usado tanto para realizar el modelo 3D, como para realizar los bocetos en 2D.



Figura 21. Menú de Autodesk Inventor para realizar modelos 3D.



Figura 22. Menú Autodesk Inventor para realizar bocetos.

### ○ **Columna.**

Es un miembro estructural que soporta todo el peso y momentos ejercidos por el resto de las piezas. Está formada por un soporte que se dispondrá dentro de la base. Esto permitirá su rotación mediante un motor de corriente eléctrica de gran potencia. Además, dispone de agujeros, los cuales permitirán la unión de dicha pieza con la siguiente.

Esta pieza es de mayor complejidad que la anterior; las líneas curvas están creadas con “Splines”, lo que dota al diseñador de una mayor libertad y hace que se ajusten más al diseño real del producto. Las demás operaciones están realizadas mediante extrusiones y agujereados. Mención especial a la herramienta simetría, lo que facilita la duplicación de una parte del brazo.

Cabe remarcar que en el programa ADAMS, se le ha dotado de otro nombre para simplificar su trato con la pieza (Brazo).



Figura 23. Columna diseñada en Autodesk Inventor.

### ○ **Cilindro y pistón de elevación.**

Se trata de la parte encargada de elevar el brazo principal. En primer lugar, se diseñó el cilindro para después diseñar y modelar el pistón. Para su diseño, se han usado herramientas como la extrusión y el agujereado.

Se trata del Pistón 1 y Cilindro 1, en el programa ADAMS.



Figura 24. Cilindro y pistón de elevación diseñados con Autodesk Inventor.

○ **Brazo principal.**

Junto con la columna estabilizadora, es una de las partes más importantes de la grúa hidráulica articulada. Debe de tener un grosor considerable para que la grúa pueda aguantar las tensiones a las que va a estar sometida. Se ha diseñado usando las herramientas extrusión, "Splines", agujereado y simetría.

Se trata del Hombro en ADAMS.



Figura 25. Brazo principal diseñado con Autodesk Inventor.

○ **Cilindro y pistón de articulación.**

Es el cilindro y pistón encargado de mover el brazo articulado. Su diseño es similar al cilindro y pistón anteriores. El pistón, en el programa ADAMS, será acortado para una correcta retracción de la grúa a su posición inicial.

Se trata del Pistón y cilindro cortos, en el programa ADAMS.

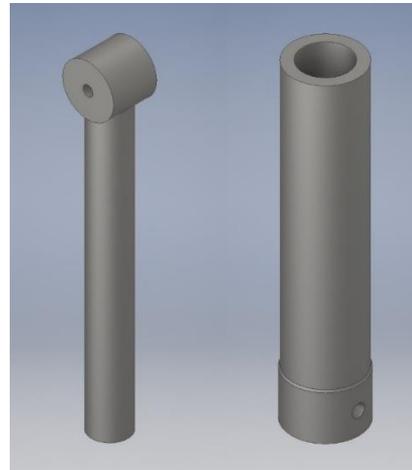


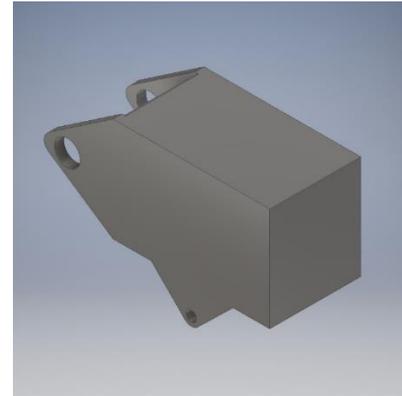
Figura 26. Cilindro y pistón de articulación diseñados con Autodesk Inventor.

### ○ **Brazo de articulación.**

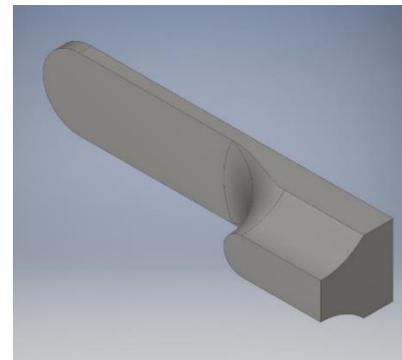
Es la unión de las prolongas con el resto de la grúa. Este brazo es movido por el pistón de articulación, y al estar unido a las prolongas, transmite su variación de ángulo a estas. Está dividido en dos partes; el brazo de articulación en sí, y la unión del brazo y de la prolonga, lo que se ha llamado “Muñeca”.

En cuanto a las herramientas de diseño usadas en su modelado, no difieren de las anteriores: extrusiones, agujereados y simetrías.

En el programa ADAMS, forma parte de la Prolonga 1.



*Figura 27. Brazo de articulación parte I, diseñado con Autodesk Inventor.*



*Figura 28. Brazo de articulación parte II, diseñado con Autodesk Inventor.*

### ○ **Prolongas 1, 2 y 3.**

La primera prolonga es la que está unida al brazo articulado; esto es por lo que comparte la variación de ángulo de la pieza anterior. No sufre ningún alargamiento. En cambio, las prolongas 2 y 3, sí se desplazan mediante un par prismático. De este modo, la prolongación 2 se desplaza respecto a la primera; y la prolongación 3 se desplaza respecto a la segunda. Se han realizado mediante operaciones de extrusión, simetría y agujereado.



Figura 29. Prolongación 1 diseñada con Autodesk Inventor.

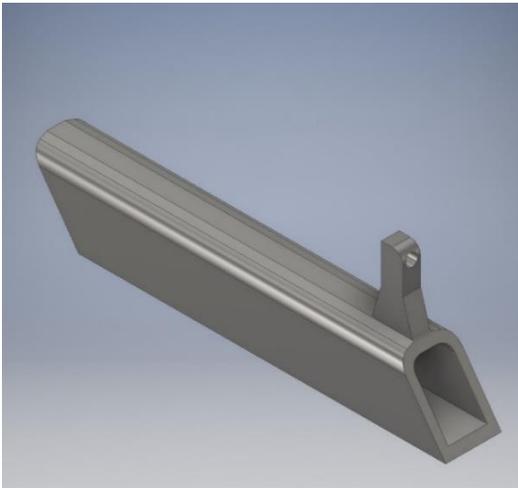


Figura 30. Prolongación 2 diseñada con Autodesk Inventor.



Figura 31. Prolongación 3 diseñada con Autodesk Inventor.

- **Cilindro y pistón hidráulico propulsión prolonga 2.**

Su uso es para desplegar solamente la prolongación 2. Para su diseño, se ha utilizado un modelo similar al primer cilindro y pistón usados en este proyecto, pero más estrechos, debido a las demandas del diseño.

En el programa ADAMS, el cilindro forma parte de la prolonga 1, y el pistón forma parte de la prolonga 2.

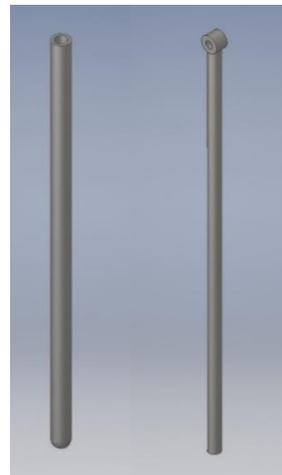


*Figura 32. Cilindro y pistón hidráulico propulsión prolonga 2 diseñados con Autodesk Inventor.*

- **Cilindro y pistón hidráulicos propulsión prolonga 3.**

Para desplegar la prolongación 3. Ambos son más estrechos que los cilindros y pistones anteriores. Para su diseño, se han usado las herramientas extrusión y agujereado.

En el programa ADAMS, el cilindro forma parte de la prolonga 2, y el pistón forma parte de la prolonga 3.



*Figura 33. Cilindro y pistón hidráulicos propulsión prolonga 3 diseñados con Autodesk Inventor.*

- **Gancho.**

Se ha diseñado un gancho que sea capaz de coger las cargas y moverlas hasta la posición deseada. Es una simplificación de un gancho usado en construcción convencional. Se han usado las herramientas de extrusión y agujereado, sumado al barrido, que ha simplificado su diseño.



*Figura 34. Gancho diseñado con Autodesk Inventor.*

## 7. ENSAMBLAJE CON AUTODESK INVENTOR.

Para poder usar el modelo en la simulación realizada por el programa de análisis ADAMS, se han de ensamblar todas las piezas presentes en el proceso de diseño. Además, se han unido aquellas piezas que disponían de agujeros, mediante tornillos, tuercas y arandelas.

Se han usado restricciones de movimiento, de ángulo y de posición; dependiendo del elemento del que se trataba.



Figura 35. Grúa hidráulica articulada ensamblada.

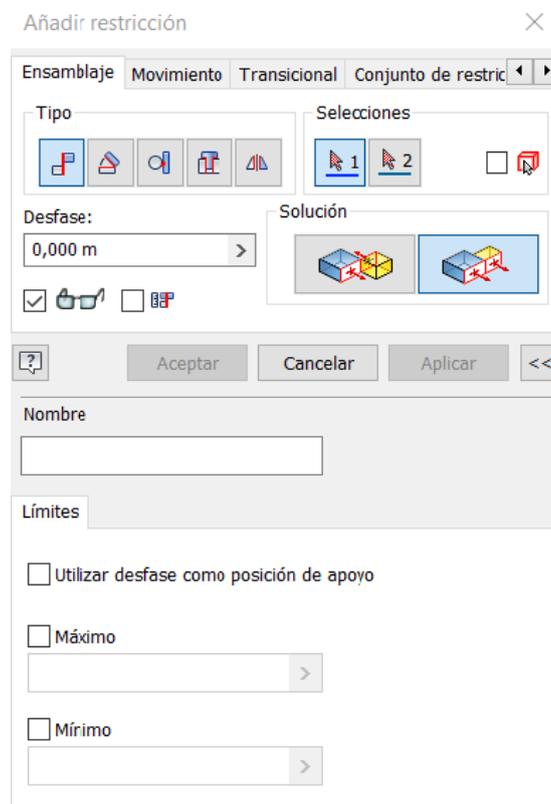


Figura 36. Menú restricciones durante el ensamblaje.

## 8. MODELO DINÁMICO CON ADAMS.

Una vez se ha realizado el diseño en el programa Autodesk Inventor, se exporta al programa de análisis de la dinámica de sistemas multicuerpo Adams.

### 8.1 Partes del mecanismo.

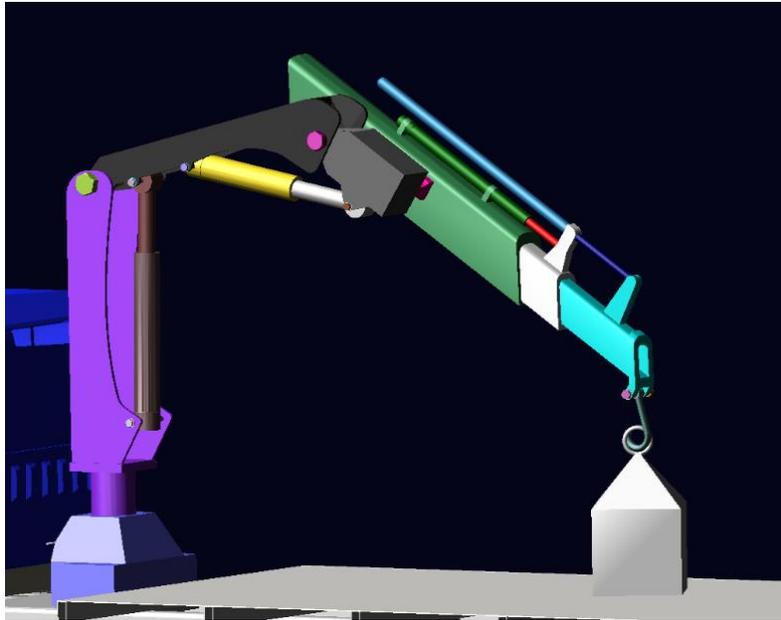


Figura 37. Grúa hidráulica articulada con Adams View.

En nuestro caso disponemos de las siguientes:

1. Base.
2. Brazo.
3. Cilindro 1.
4. Pistón 1.
5. Hombro.
6. Cilindro 2.
7. Pistón 2.
8. Mano parte 1.
9. Mano parte 2.
10. Prolongación 1
11. Prolongación 2.
12. Prolongación 3.
13. Cilindro 3.
14. Pistón 3.
15. Cilindro 4.
16. Pistón 4.
17. Tornillos, arandelas y tuercas.
18. Gancho.

Cabe remarcar que los nombres se han cambiado respecto a los nombres propuestos en el programa Autodesk Inventor, porque se ha creído conveniente su simplificación para tratar más fácilmente con ellos.

Para la correcta simulación, se han tenido que formar grupos de piezas. De este modo, se puede observar que se han unido diversas piezas de este modo:

1. **Base.**
2. **Brazo.**
  - a. **Tornillo, tuerca y arandela 1.**
  - b. **Tornillo, tuerca y arandela 2.**
3. **Cilindro 1.**
4. **Pistón 1.**
5. **Hombro.**
  - a. **Tornillo, tuerca y arandela 3.**
  - b. **Tornillo, tuerca y arandela 4.**
  - c. **Tornillo, tuerca y arandela 5.**
6. **Prolongación 1.**
  - a. **Mano parte 1.**
  - b. **Mano parte 2.**
  - c. **Tornillo, tuerca y arandela 6.**
  - d. **Cilindro 3.**
7. **Prolongación 2.**
  - a. **Pistón 3.**
  - b. **Cilindro 4.**
8. **Prolongación 3.**
  - a. **Pistón 4.**
  - b. **Tornillo, tuerca y arandela 7.**
9. **Gancho.**

Una vez se han nombrado las partes de la grúa y se han creado los grupos para la simulación; se establecen los materiales para las piezas. En el caso que nos ocupa, se ha elegido acero para todas las partes de la grúa. Además, se establece un color para cada parte para una correcta diferenciación.

### 8.2 Pares cinemáticos, nudos rígidos y movimientos.

#### ○ **Pares Cinemáticos y Nudos Rígidos:**

Se han creado pares cinemáticos en las uniones tornillo-pieza. Pares Cilíndricos entre los cilindros y pistones 1 y 2. Y pares prismáticos en los restantes cilindros y pistones. Además de un par esférico para la unión del gancho con la caja que hay que cargar.

#### ● **Pares R:**

- Par\_R\_Brazo\_Base.
- Par\_R\_Brazo\_Cilindro1.
- Par\_R\_Brazo\_Hombro.
- Par\_R\_Hombro\_Piston1.
- Par\_R\_Hombro\_Cilindro2.
- Par\_R\_Hombro\_Prolonga1.
- Par\_R\_Prolonga1\_Prolonga2.
- Par\_R\_Gancho\_Prolonga3.

- **Pares Cilíndricos:**
  - Par\_C\_Cilindro1\_Piston1.
  - Par\_C\_Cilindro2\_Piston2.
- **Pares Prismáticos:**
  - Par\_P\_Prolonga1\_Prolonga2.
  - Par\_P\_Prolonga2\_Prolonga3.
- **Pares Esféricos:**
  - Par\_E\_Gancho\_Caja.

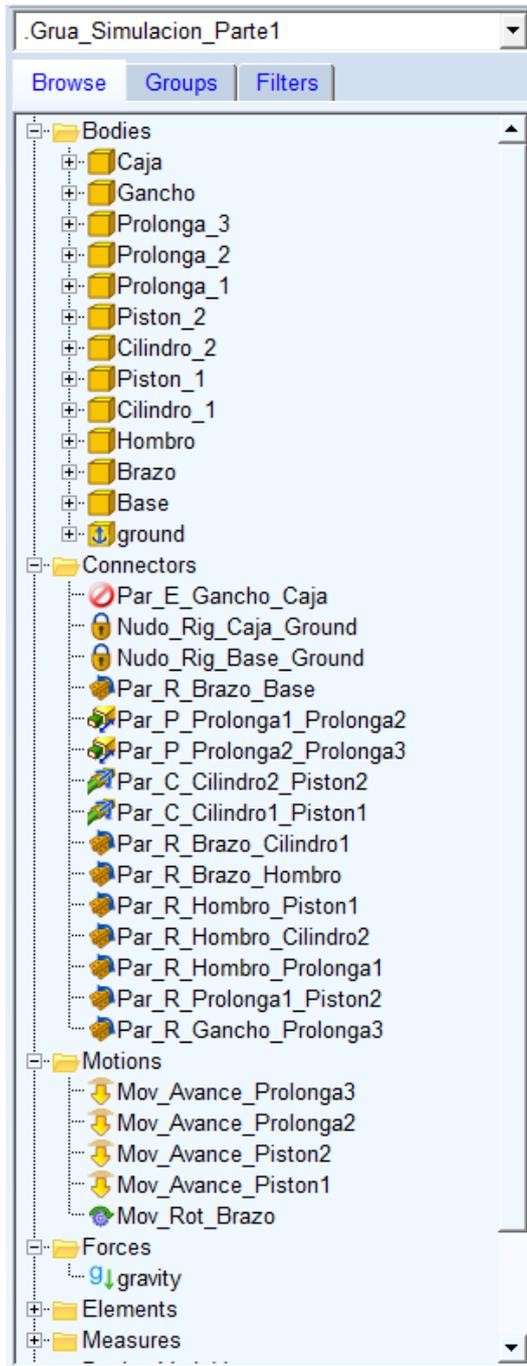


Figura 38. Cuerpos, pares, movimientos en Adams View.

Se han creado nudos rígidos para que diferentes cuerpos no estén sometidos a ningún movimiento, sino que se mantengan en el sitio deseado. En concreto, se ha creado un nudo rígido entre la base de la grúa y el suelo (ground), y también entre el bloque de cobre con el ground. Aún así, para realizar la operación de carga y descarga del bloque, se desactiva el nudo rígido. Una vez se ha descargado el bloque, se vuelve a activar.

- **Nudos:**
  - Nudo\_Rig\_Caja\_Ground.
  - Nudo\_Rig\_Base\_Ground.

○ **Movimientos.**

Una vez se han aplicado las siguientes restricciones cinemáticas, se da movimiento al sistema en completo, mediante la herramienta “Motions”. Se le asignan movimientos a los siguientes elementos:

- Mov\_Avance\_Prolonga3.
- Mov\_Avance\_Prolonga2.
- Mov\_Avance\_Piston2.
- Mov\_Avance\_Piston1.
- Mov\_Rot\_Brazo.

Como se puede observar, se otorgan movimientos de rotación (al brazo) y de desplazamiento (al pistón 1, pistón 2, prolonga 2 y prolonga 3). Las prolongas se mueven debido a los pistones de accionamiento de cada una de ellas.

Esto se consigue mediante este comando:

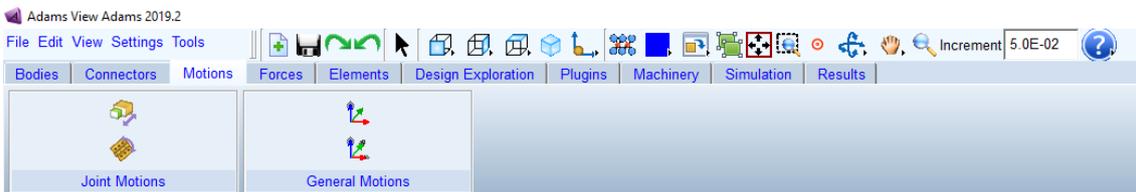


Figura 39. Menú movimientos en Adams View.

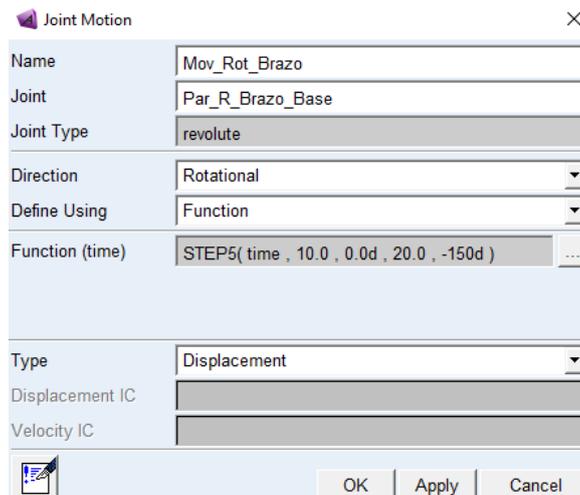


Figura 40. Menú movimientos.

Usando la función STEP5, se le otorga el movimiento de desplazamiento deseado. Así pues, la función se usa del siguiente modo:

**STEP5 (variable tiempo, tiempo de inicio de movimiento, posición inicial movimiento, tiempo de final de movimiento, posición final del movimiento).**

Con esta función, otorgamos el movimiento a las diferentes partes de la grúa para que se realicen las tareas deseadas.

Los movimientos máximos y rangos de movimiento que pueden realizar cada parte del sistema son los siguientes:

- Mov\_Avance\_Prolonga3 → [0, 1.25] m.
- Mov\_Avance\_Prolonga2 → [0, 0.85] m.
- Mov\_Avance\_Piston2 → [0, 0.5] m.
- Mov\_Avance\_Piston1 → [0, 0.5] m.
- Mov\_Rot\_Brazo → [0, -360] °.

### 8.3 Simulación.

Para realizar la simulación de los movimientos de la grúa, se añade un camión como archivo CAD. Dicho camión ha sido obtenido del portal de CAD gratuito GRABCAD.

Establecemos el material del camión como acero, y lo unimos al Ground, para evitar cualquier movimiento de este, ya que trabajará como una pieza maciza. Además, se añade un bloque o caja de cobre para que la grúa pueda cargarla y realizar la simulación más fehacientemente.

#### ○ Primera parte de la simulación:

Se realiza el movimiento de llegar hasta el bloque de cobre.

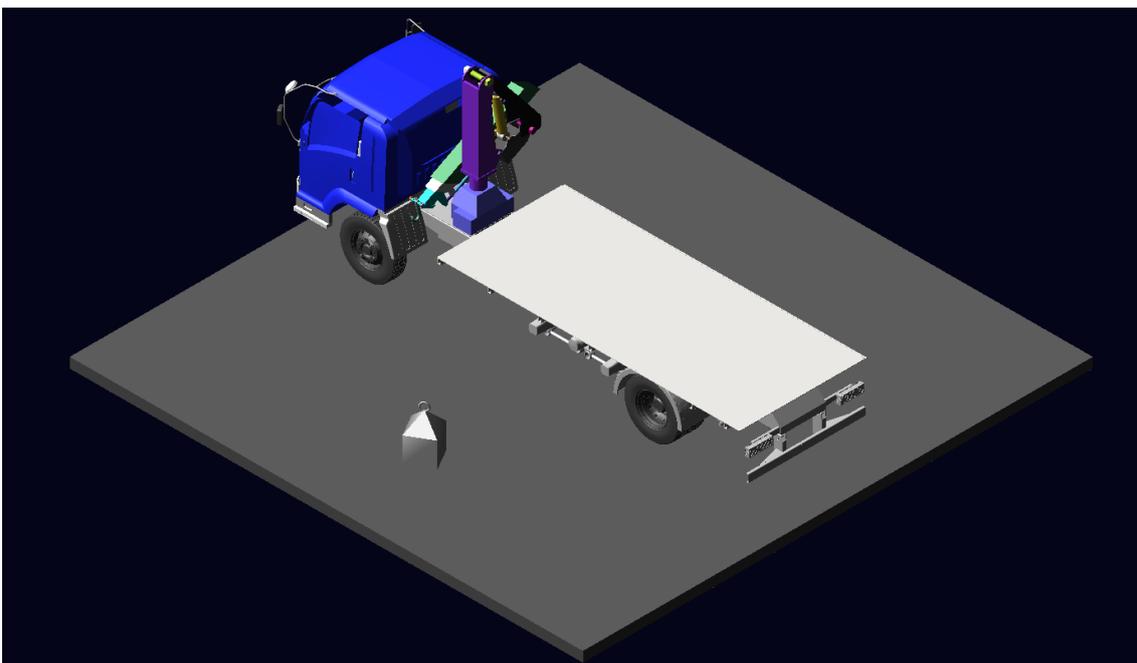


Figura 41. Grúa posición inicial. Vista isométrica.

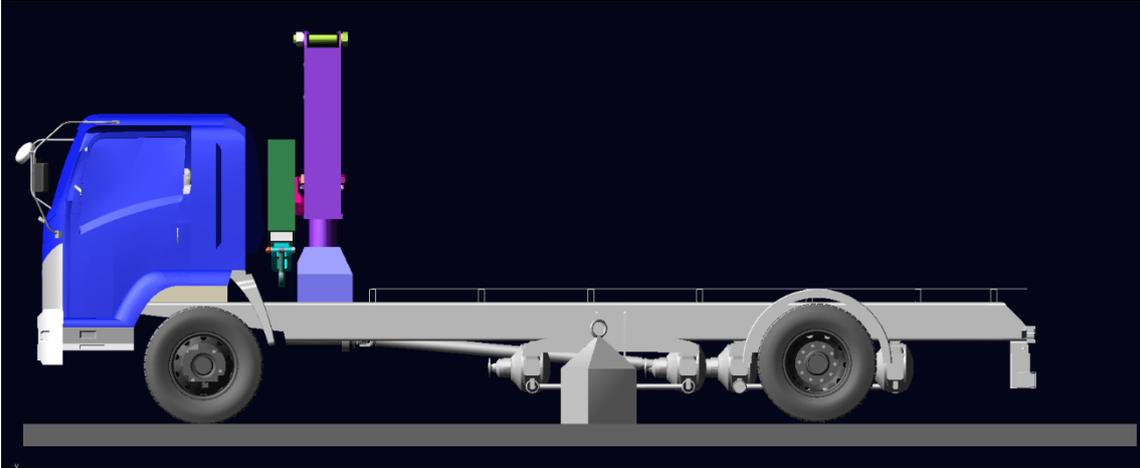


Figura 42. Grúa posición inicial. Vista lateral.

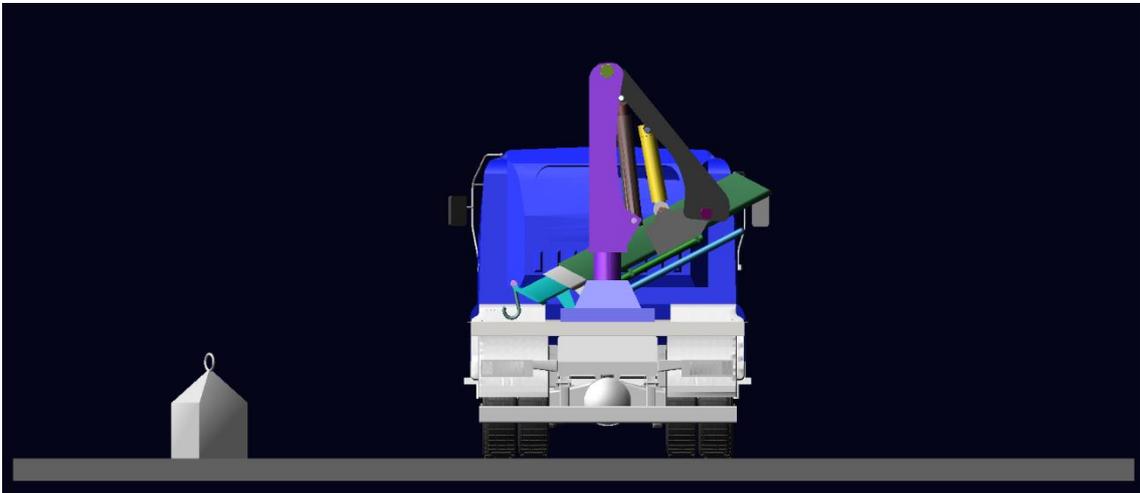
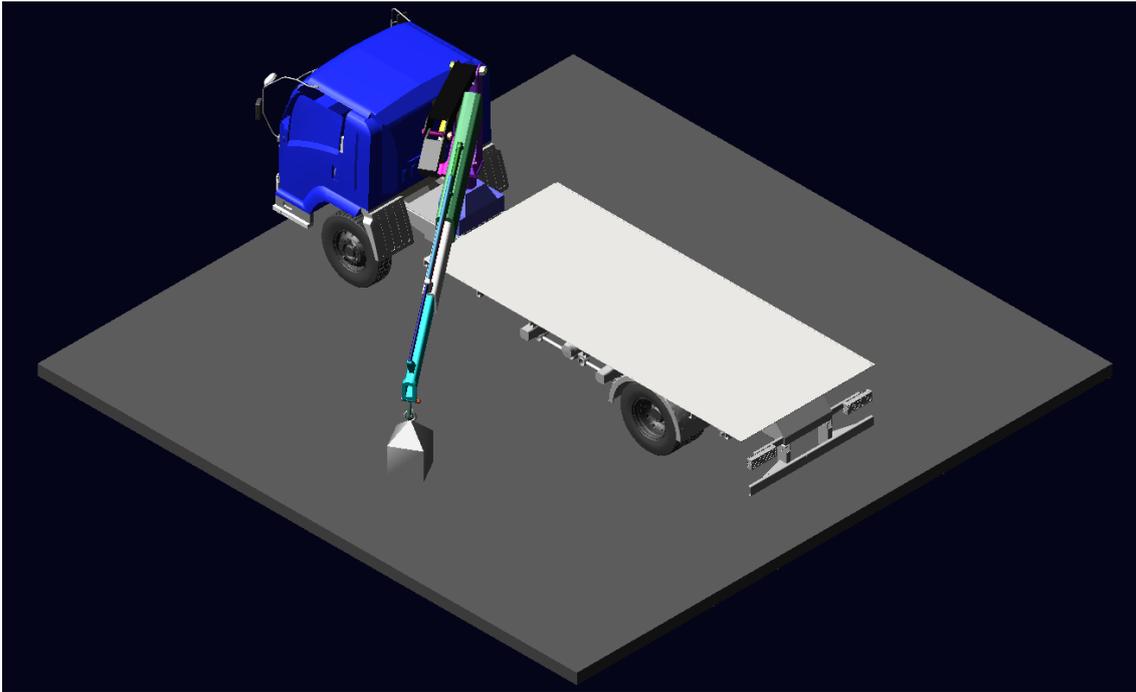


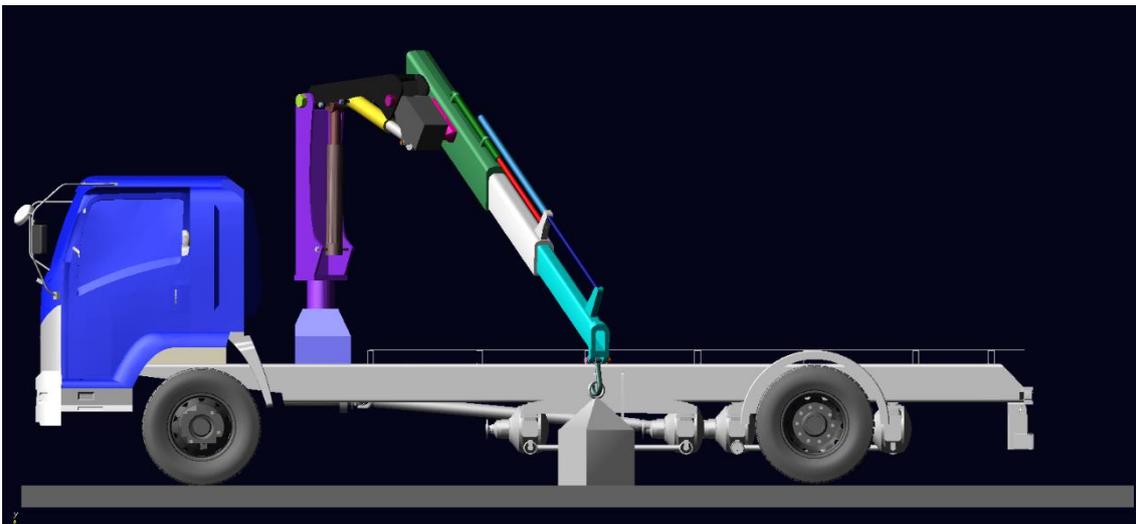
Figura 43. Grúa posición inicial. Vista trasera.

○ **Segunda parte de la simulación:**

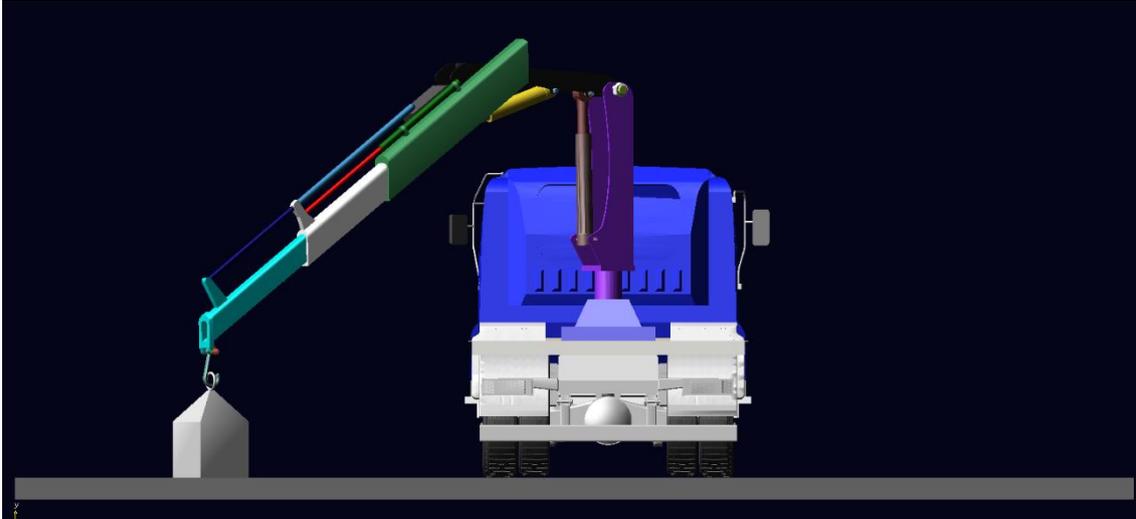
Se realiza el movimiento de carga y descarga del bloque de cobre.



*Figura 44. Grúa posición de carga. Vista isométrica.*



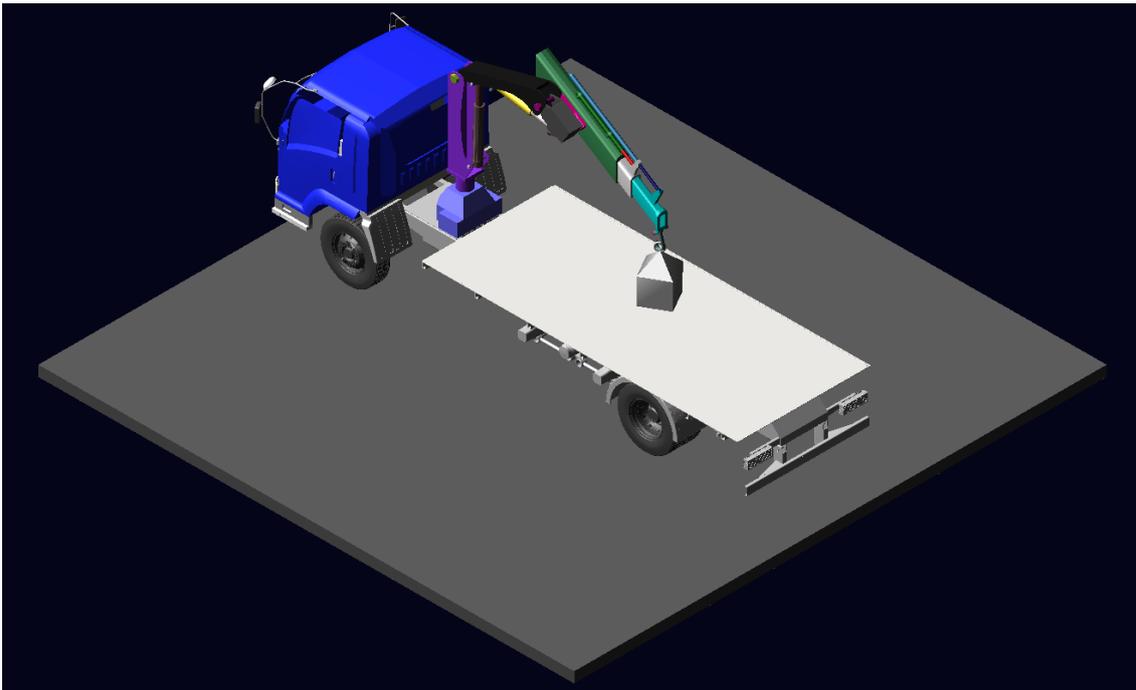
*Figura 45. Grúa posición de carga. Vista lateral.*



*Figura 46. Grúa posición de carga. Vista trasera.*

○ **Tercera parte de la simulación:**

Se realiza la vuelta de la grúa a su posición inicial.



*Figura 47. Grúa estado descarga. Vista isométrica.*

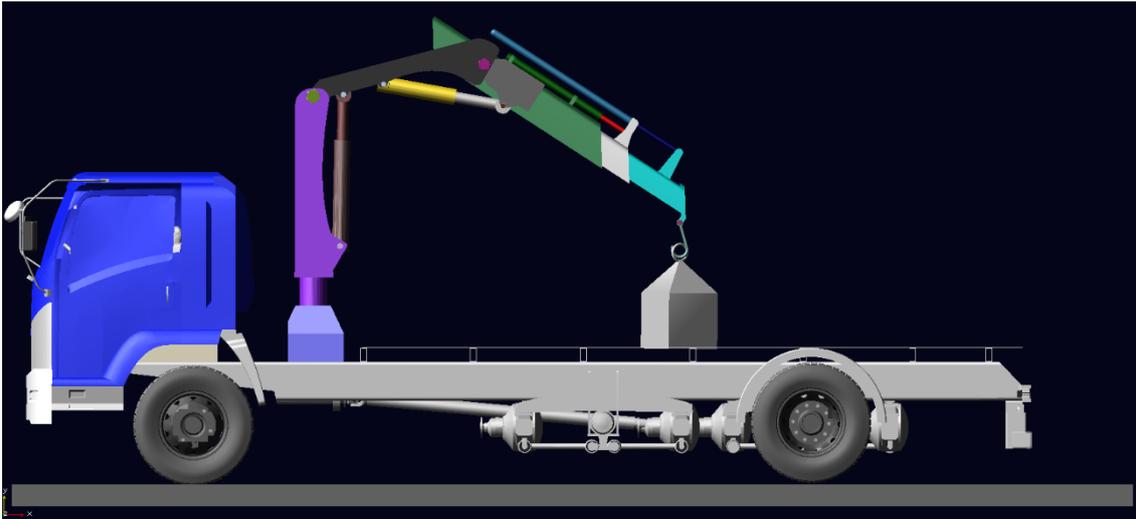


Figura 48. Grúa estado descarga. Vista lateral.

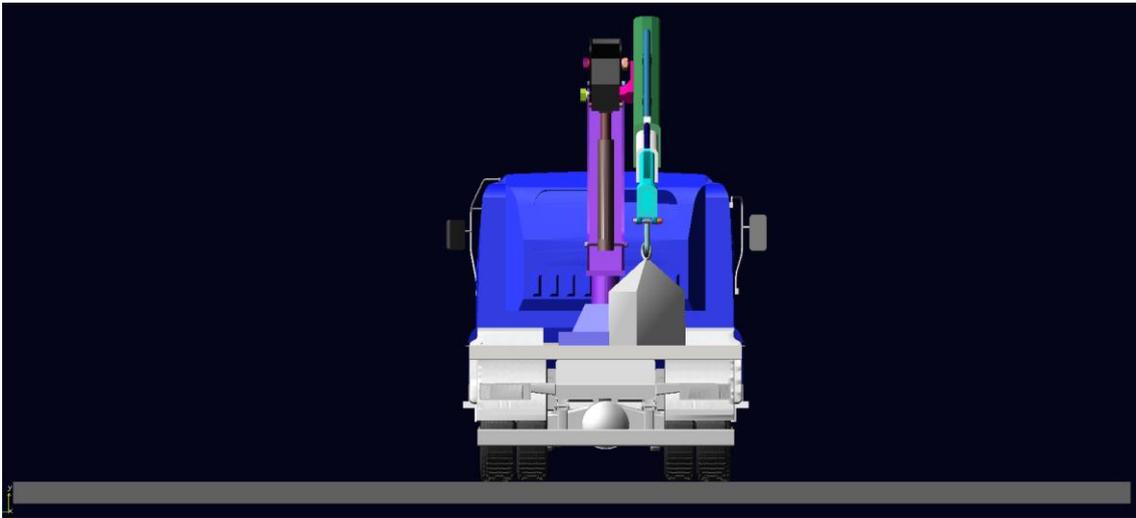


Figura 49. Grúa estado descarga. Vista trasera.

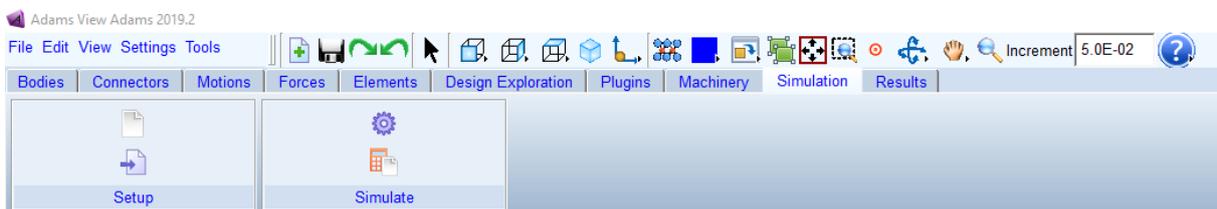


Figura 50. Menú simulación.

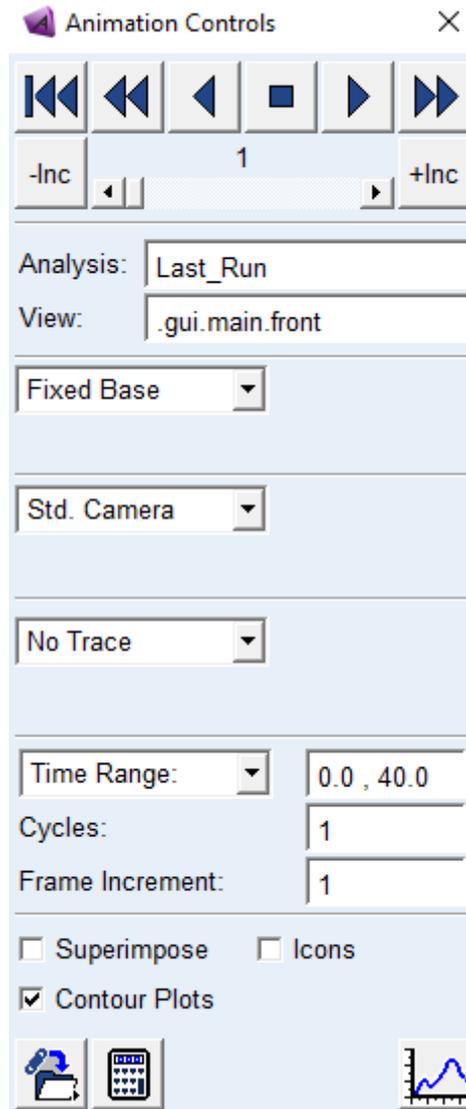


Figura 51. Menú control de animaciones.

#### 8.4 Medición.

Para medir las fuerzas a las que están sometidas las piezas al realizar la carga y descarga del bloque, se han colocado unos marcadores en los puntos medios de los pares cinemáticos mencionados anteriormente. Se han debido colocar con una orientación y dirección con sentido, dependiendo de la pieza. Así pues, a continuación, se presentan las diferentes piezas sobre las que se han analizado las fuerzas y momentos, y su sistema de referencia de medida elegido:

# MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES

## ○ Brazo.



Figura 52. Dirección fuerzas Brazo.

## ○ Cilindro 1.

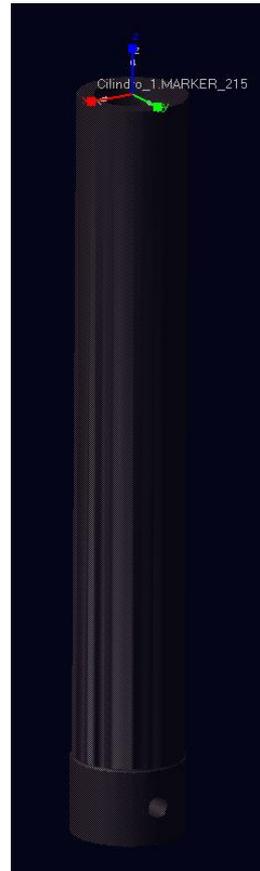


Figura 53. Dirección fuerzas Cilindro 1.

## ○ Pistón 1:



Figura 54. Dirección fuerzas Pistón 1.

○ **Hombro:**

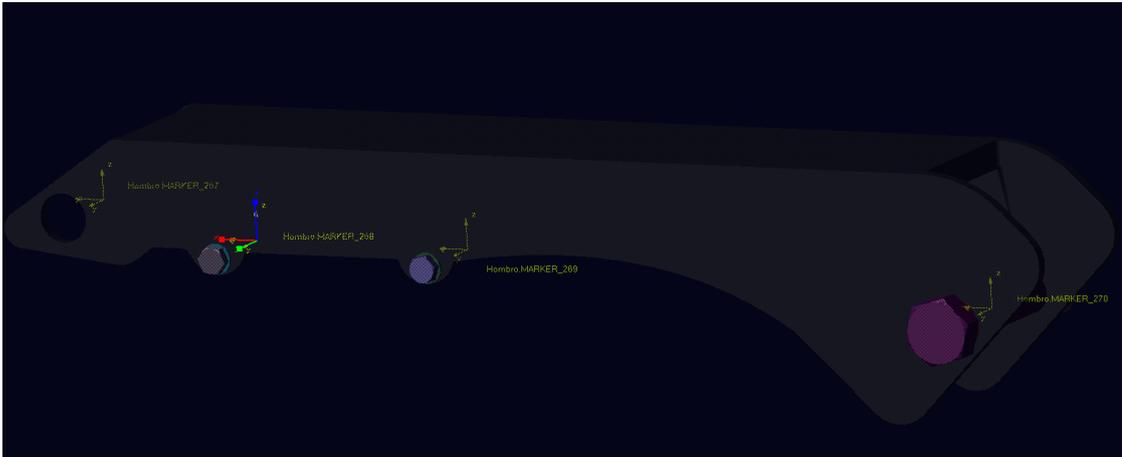


Figura 55. Dirección fuerzas Hombro.

○ **Prolonga 1.**

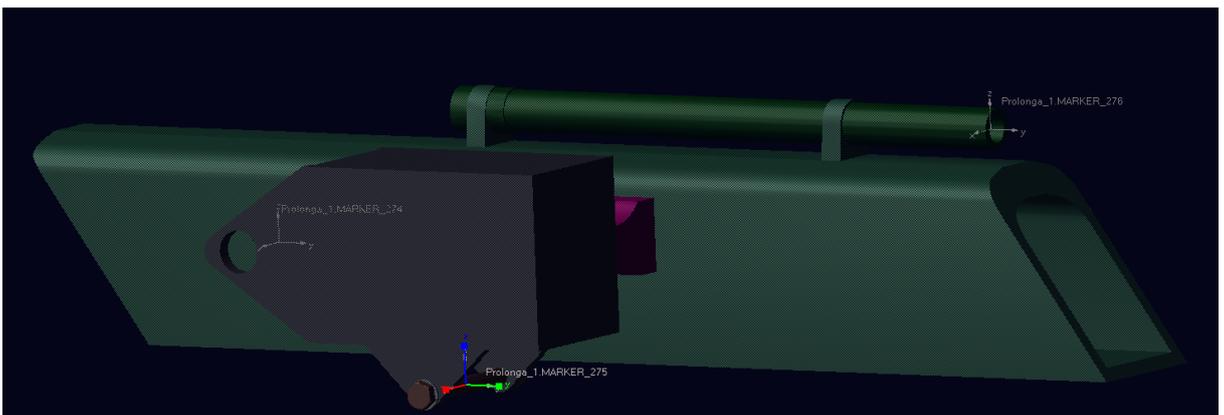


Figura 56. Dirección fuerzas Prolonga 1.

○ **Prolonga 3.**

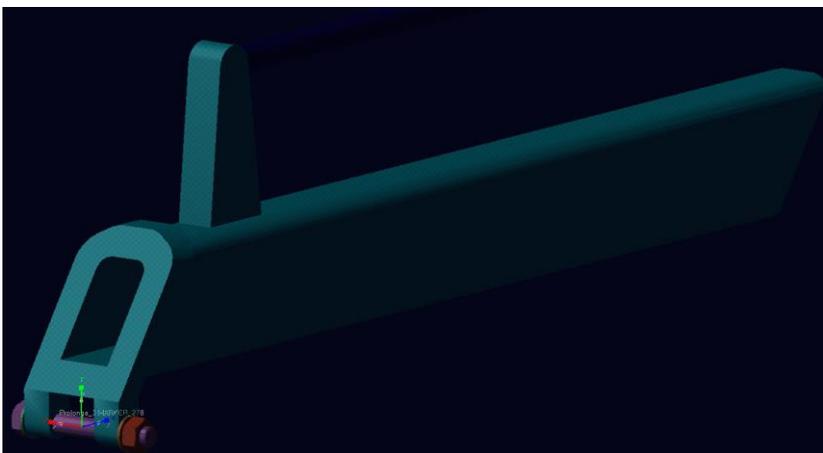


Figura 57. Dirección fuerzas Prolonga 3.

○ Pistón 2.

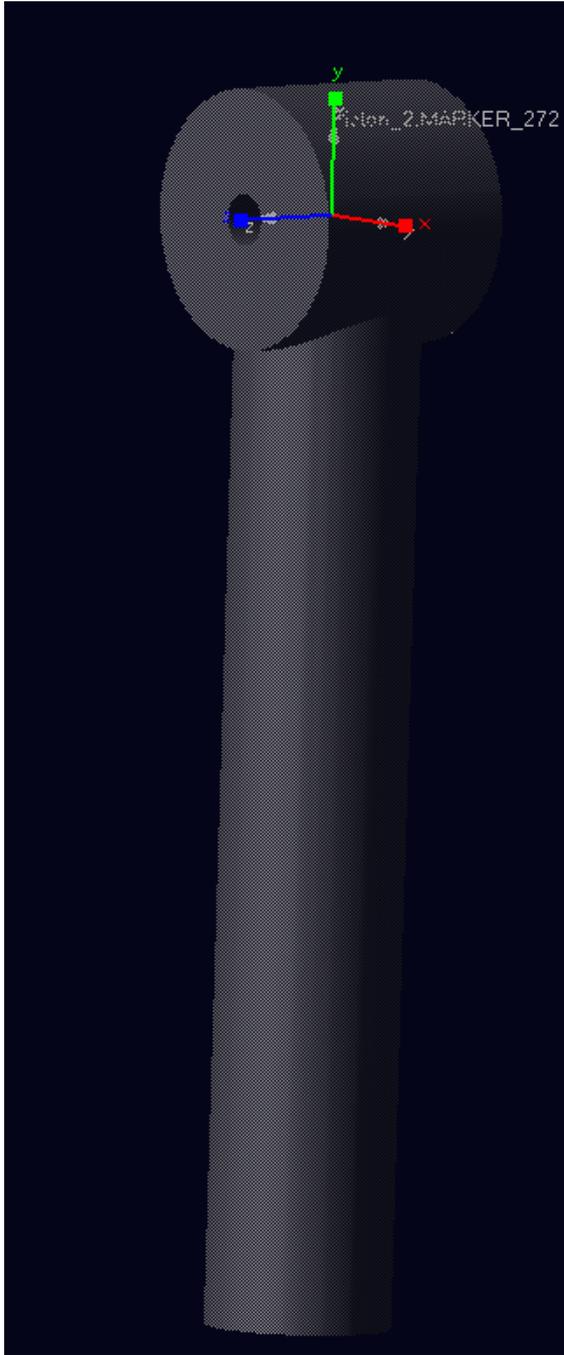


Figura 58. Dirección fuerzas Pistón 2.

○ Cilindro 2.

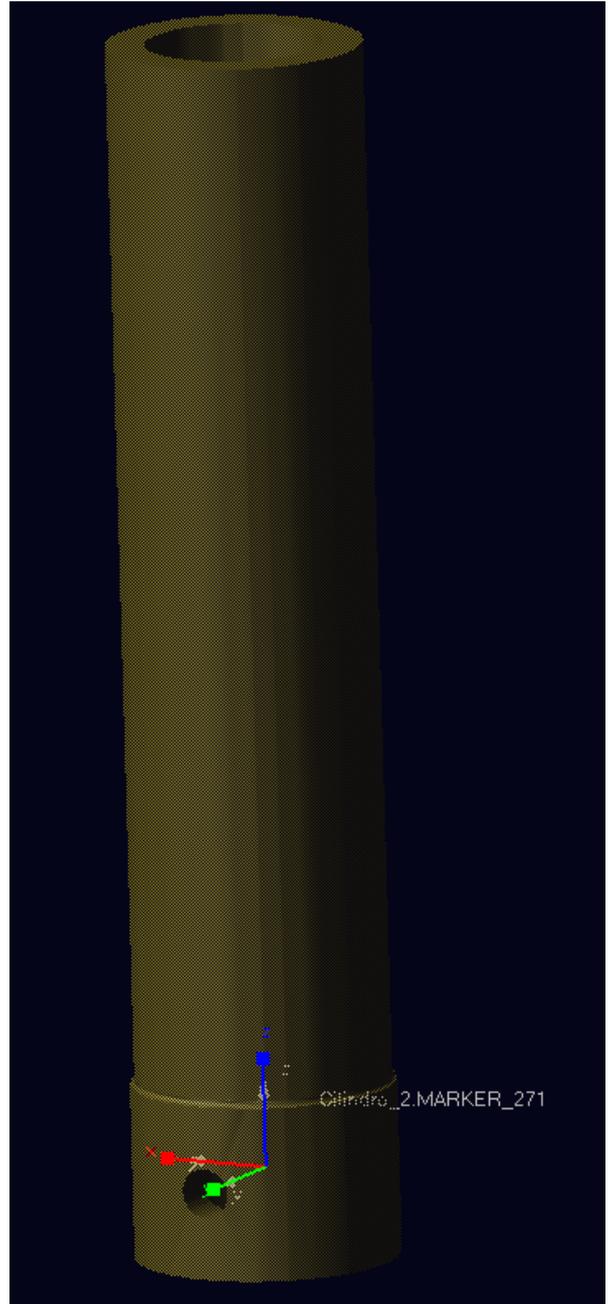


Figura 59. Dirección fuerzas Cilindro 2.

○ **Gancho.**

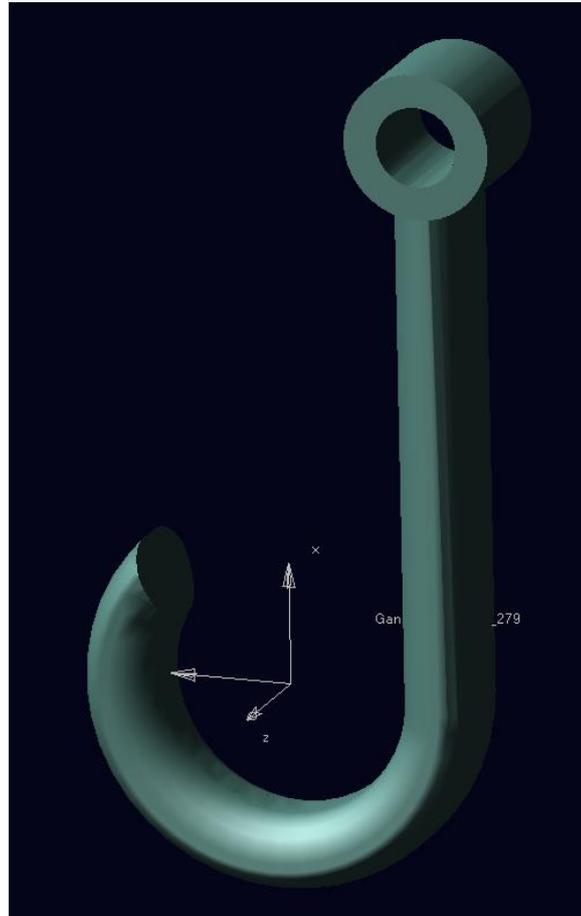


Figura 60. Dirección fuerzas Gancho.

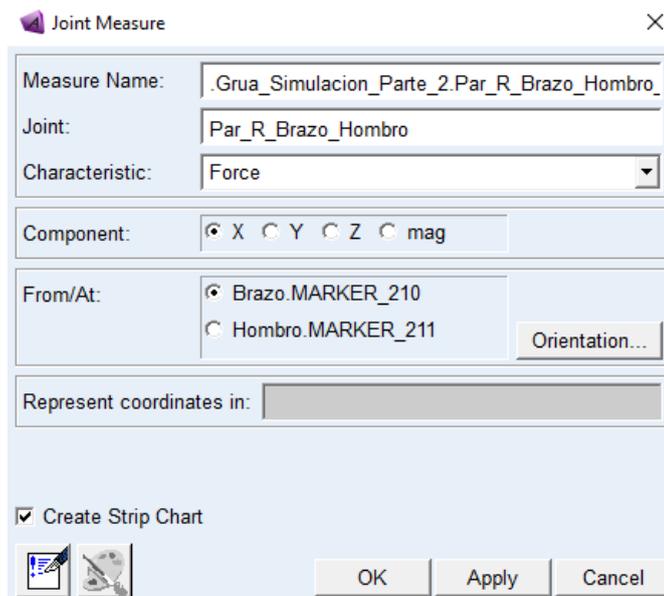


Figura 61. Menú medición.

Para realizar la medición, se selecciona el par cinemático deseado, y que se representen las coordenadas en los marcadores creados en los pares cinemáticos, que tengan la orientación y dirección antes mostradas en las imágenes.

### 8.5 Resultados.

Una vez se han realizado las mediciones tanto de las fuerzas, como de los momentos a los que están sometidos las diferentes piezas anteriores; se abre el postprocesador para poder ver las diferentes gráficas que se obtienen como resultado.

Cabe remarcar que todas las fuerzas y momentos que se dan en las diferentes partes del mecanismo, tienden a tener un componente oscilatorio. Esto es debido a que cuando se produce la carga del bloque, este tiende a oscilar de un lado a otro. Este movimiento es transmitido al gancho principalmente, y en menor medida al resto de los componentes del sistema.

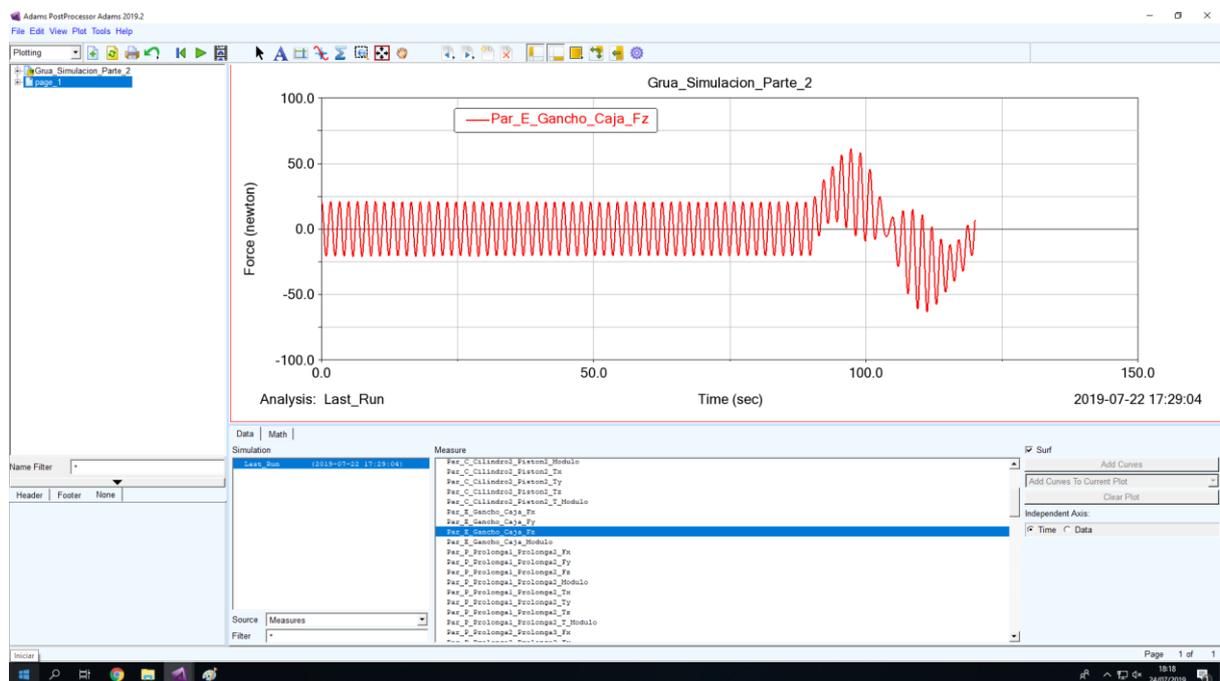


Figura 62. Interfaz postprocesador.

Así pues, las fuerzas y momentos a los que están sometidas las distintas partes del sistema son las siguientes:

- **Brazo – Fuerzas y momentos en el par de rotación entre el brazo y la base.**

# MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES

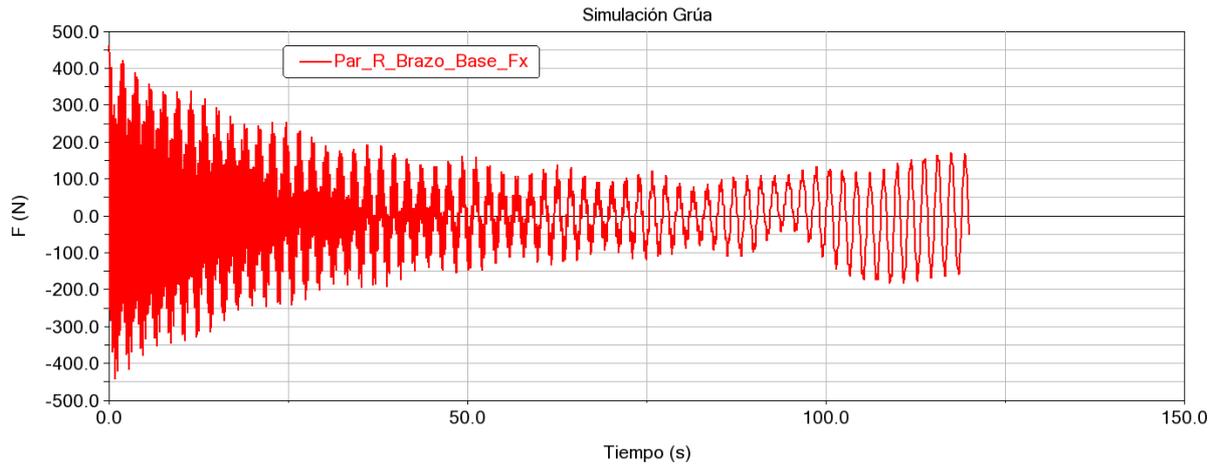


Figura 63. Fuerza X en el par de rotación entre el brazo y la base.

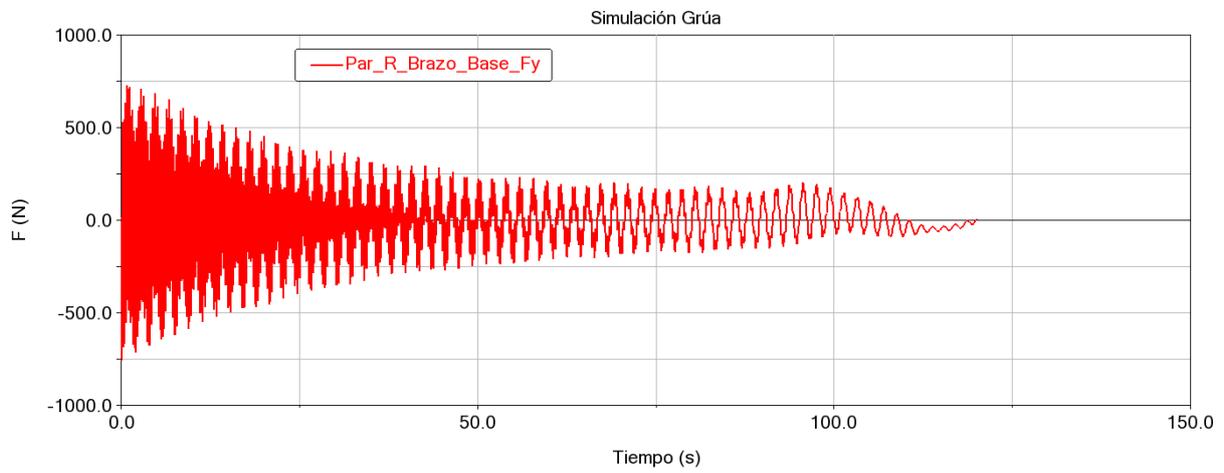


Figura 64. Fuerza Y en el par de rotación entre el brazo y la base.

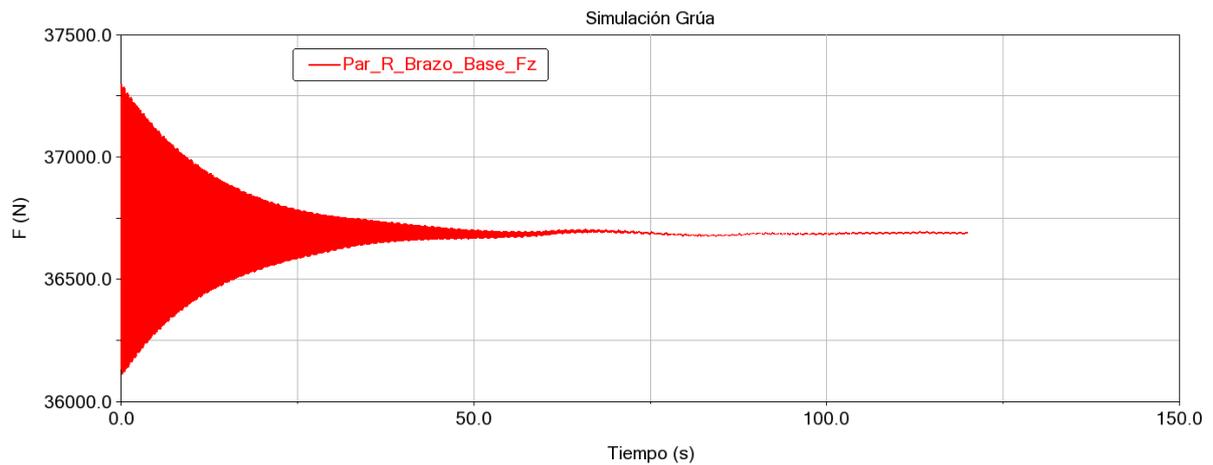


Figura 65. Fuerza Z en el par de rotación entre el brazo y la base.

# TRABAJO DE FIN DE GRADO

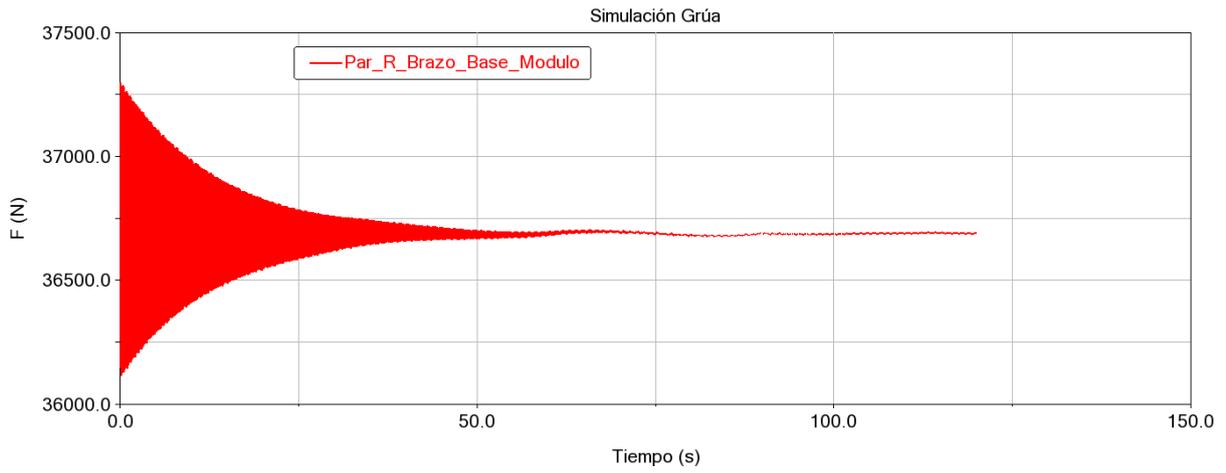


Figura 66. Módulo de la Fuerza en el par de rotación entre el brazo y la base.

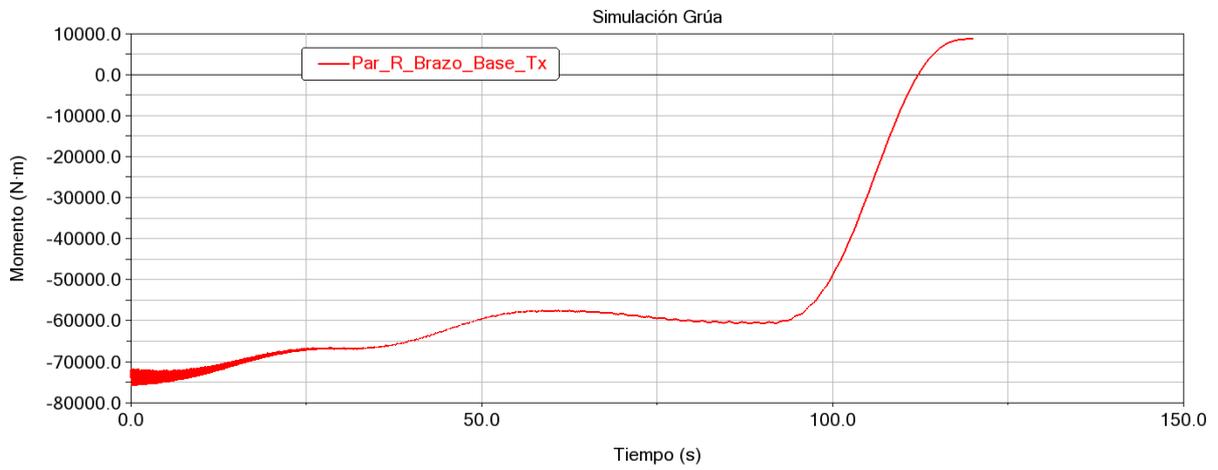


Figura 67. Torsor X en el par de rotación entre el Brazo y la Base.

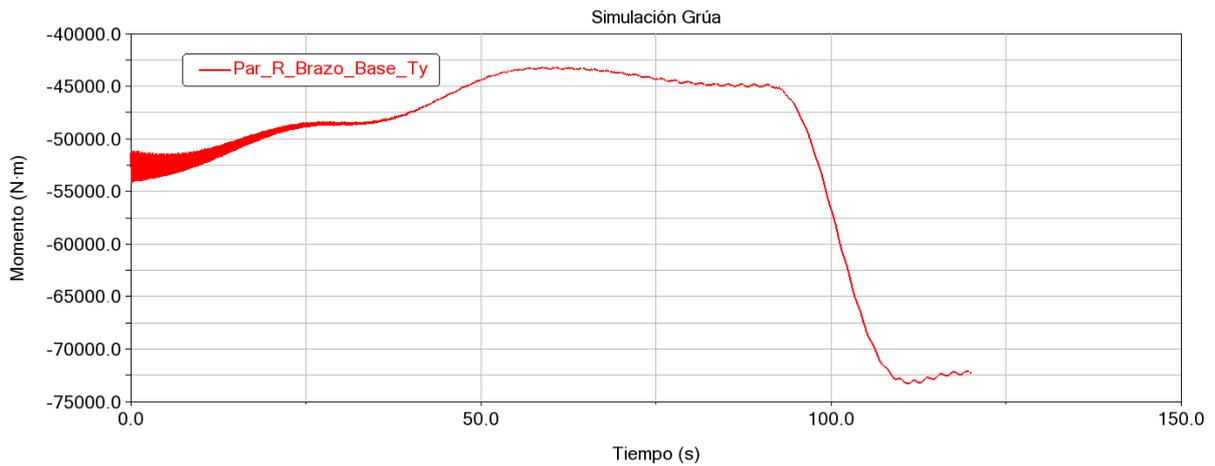


Figura 68. Torsor Y en el par de rotación entre el Brazo y la Base.

# MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES

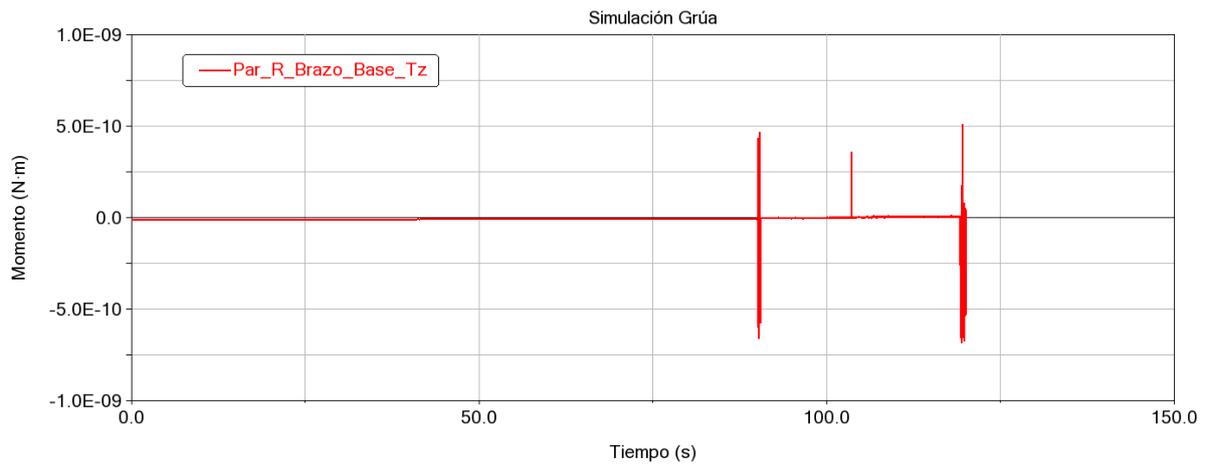


Figura 69. Torsor Z en el par de rotación entre el Brazo y la Base.

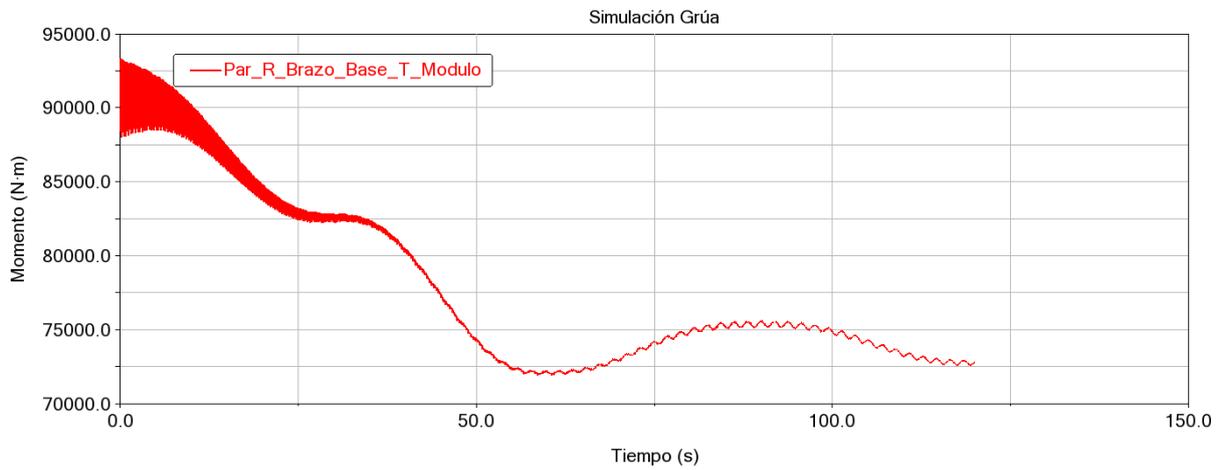


Figura 70. Módulo Torsor en el par de rotación entre el Brazo y la Base.

- **Brazo – Fuerzas y momentos sobre el brazo en el punto de unión entre el par de rotación entre el brazo y el cilindro 1.**

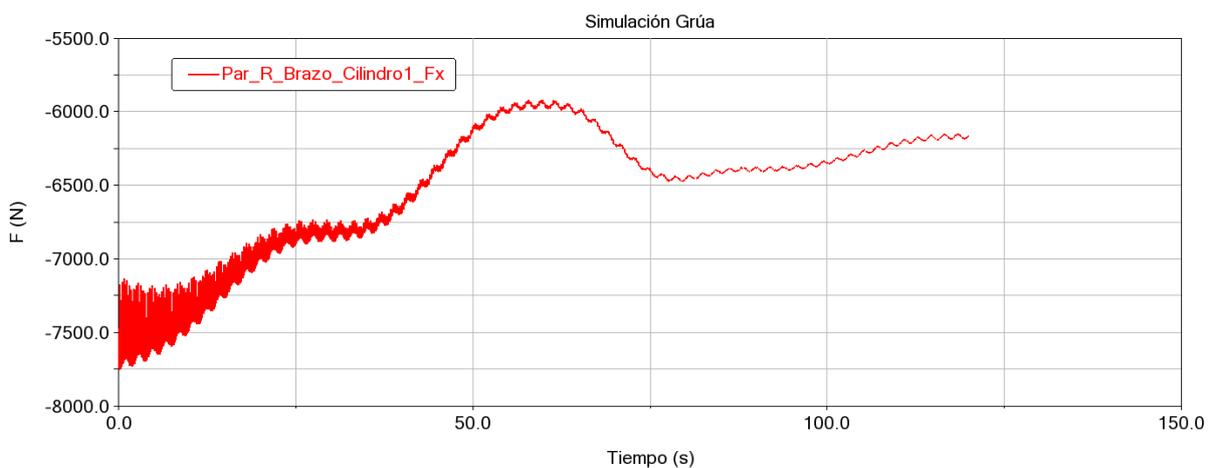


Figura 71. Fuerza X en el par de rotación entre el Brazo y el Cilindro 1.

# TRABAJO DE FIN DE GRADO

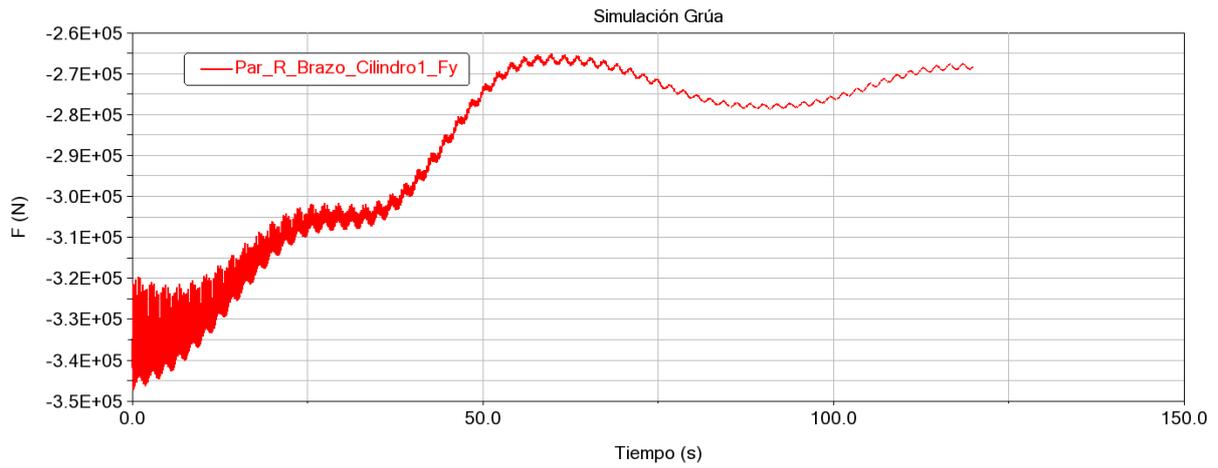


Figura 72. Fuerza Y en el par de rotación entre el Brazo y el Cilindro 1.

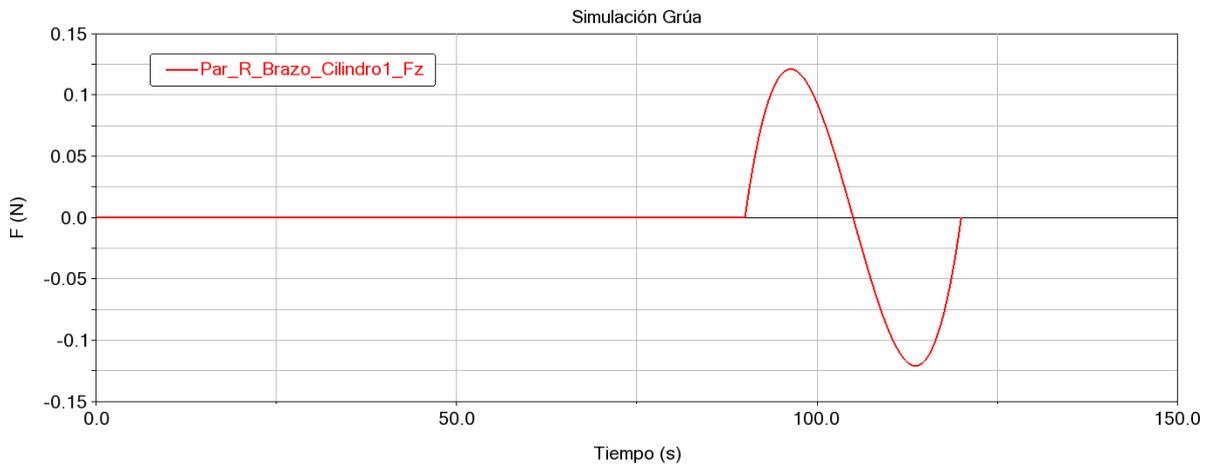


Figura 73. Fuerza Z en el par de rotación entre el Brazo y el Cilindro 1.

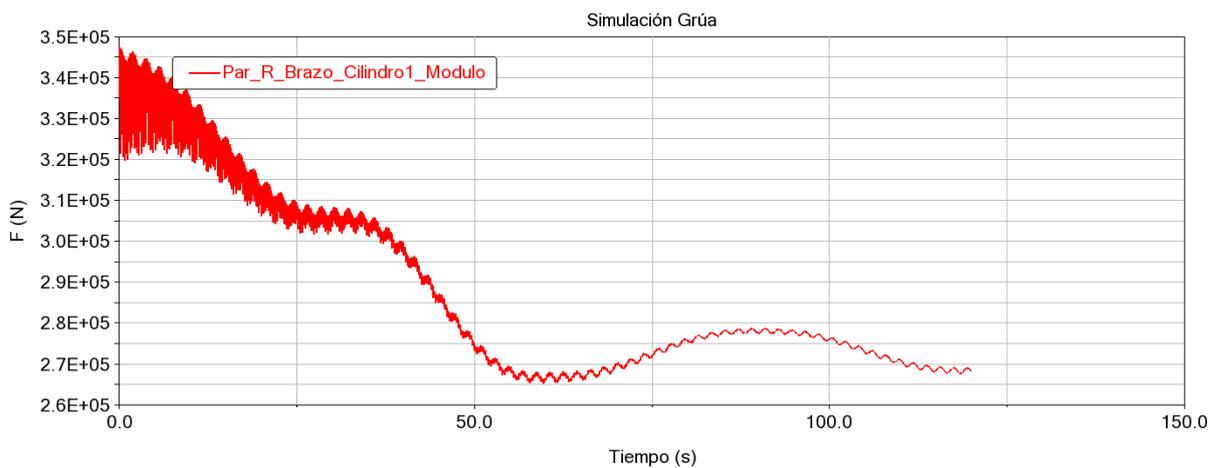


Figura 74. Módulo Fuerza en el par de rotación entre el Brazo y el Cilindro 1.

# MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES

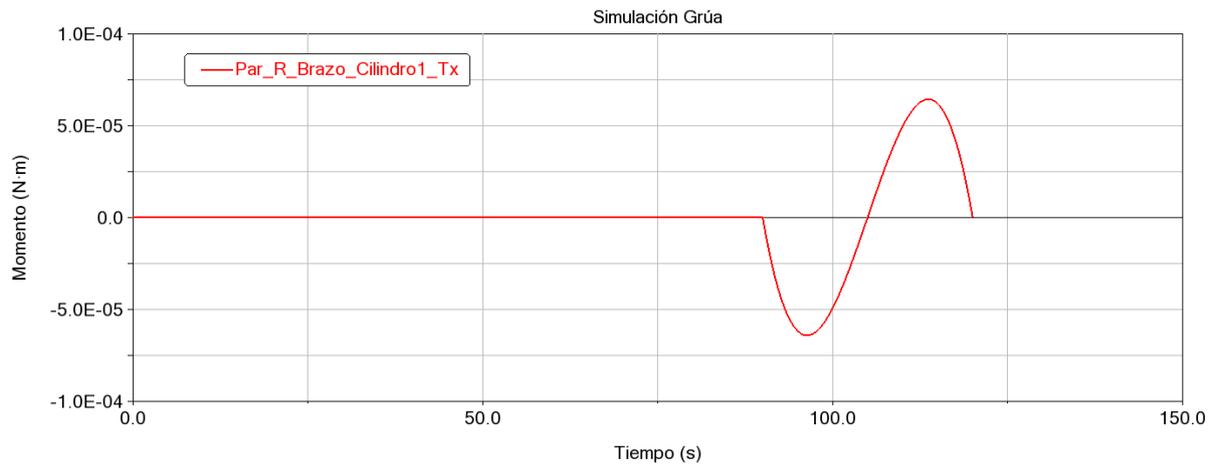


Figura 75. Torsor X en el par de rotación entre el Brazo y el Cilindro 1.

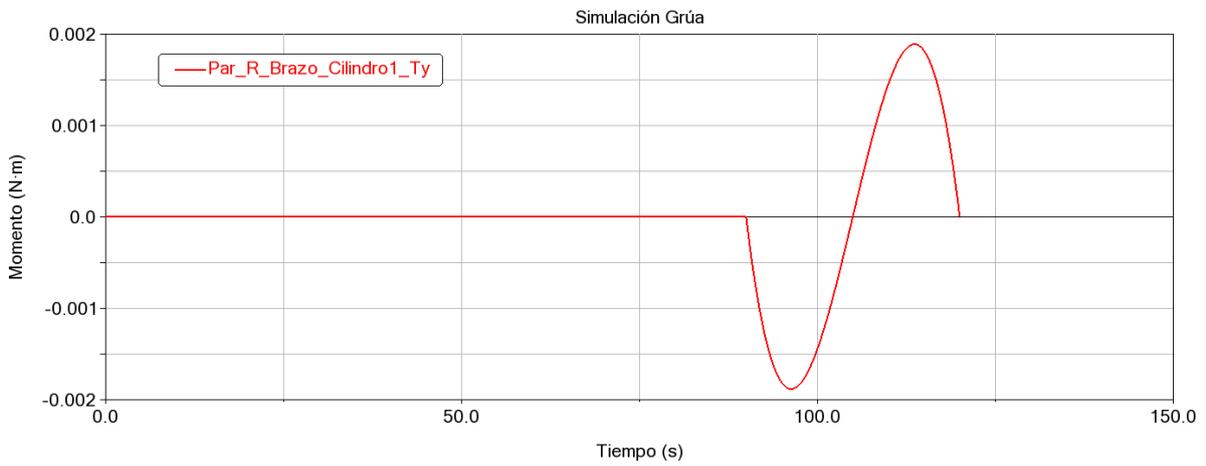


Figura 76. Torsor Y en el par de rotación entre el Brazo y el Cilindro 1.

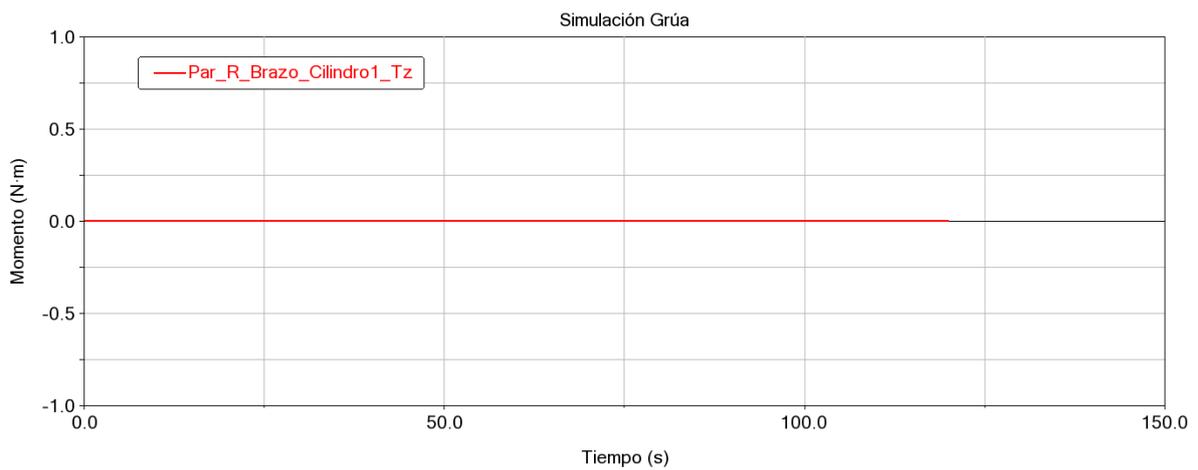


Figura 77. Torsor Z en el par de rotación entre el Brazo y el Cilindro 1.

# TRABAJO DE FIN DE GRADO

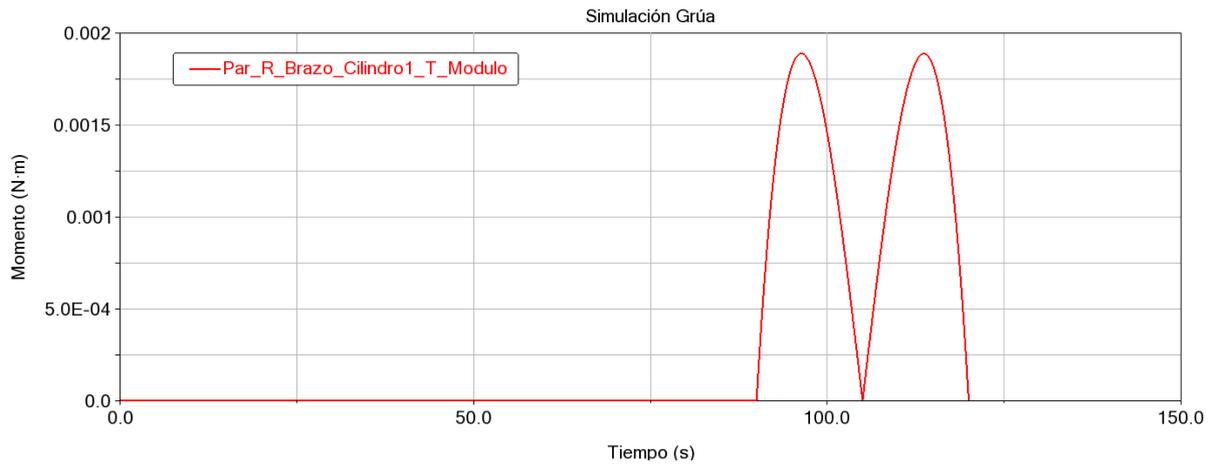


Figura 78. Módulo Torsor en el par de rotación entre el Brazo y el Cilindro 1.

- **Brazo – Fuerzas y momentos que soporta el brazo en el punto en el que se sitúa el par de rotación entre el brazo y el hombro.**

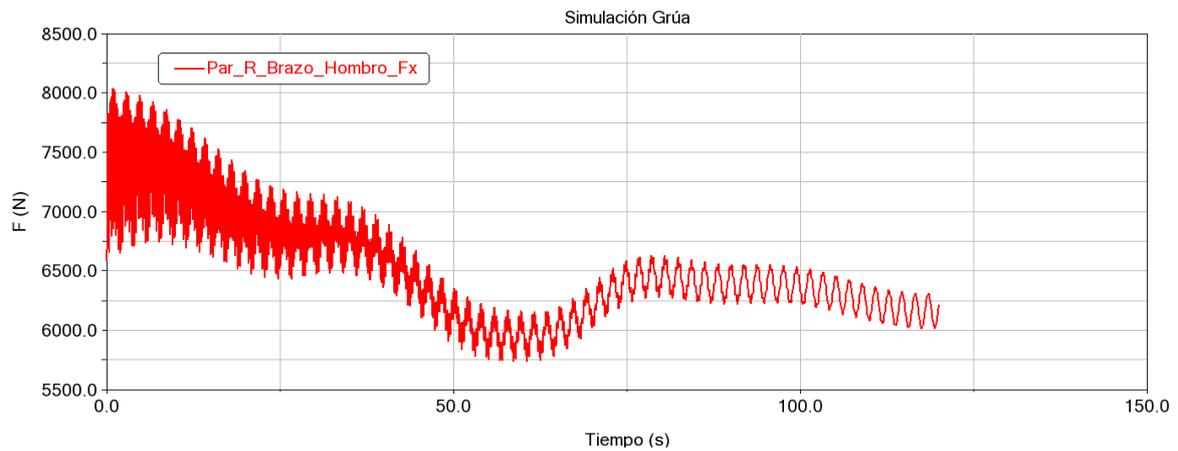


Figura 79. Fuerza X en el par de rotación entre el Brazo y el Hombro.

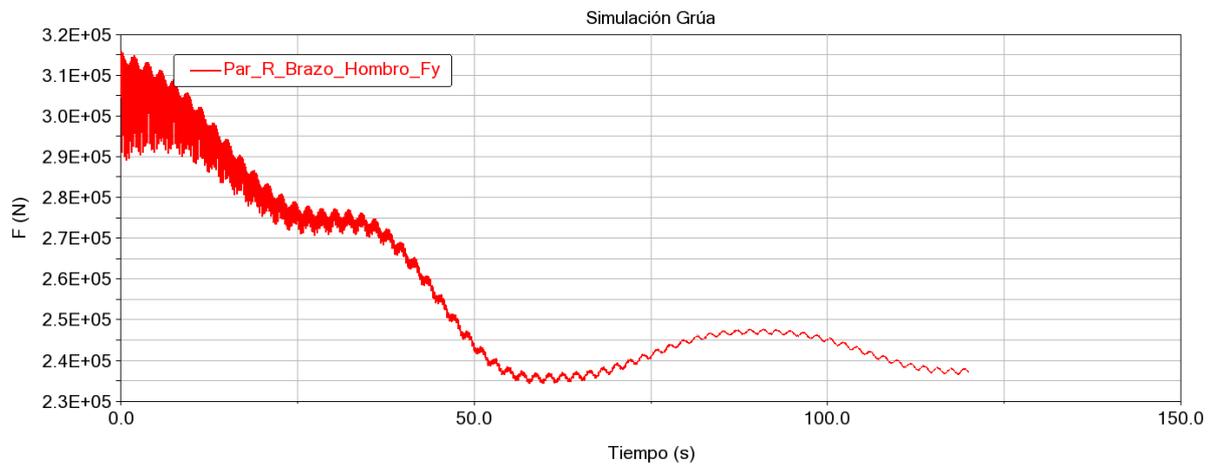


Figura 80. Fuerza Y en el par de rotación entre el Brazo y el Hombro.

# MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES

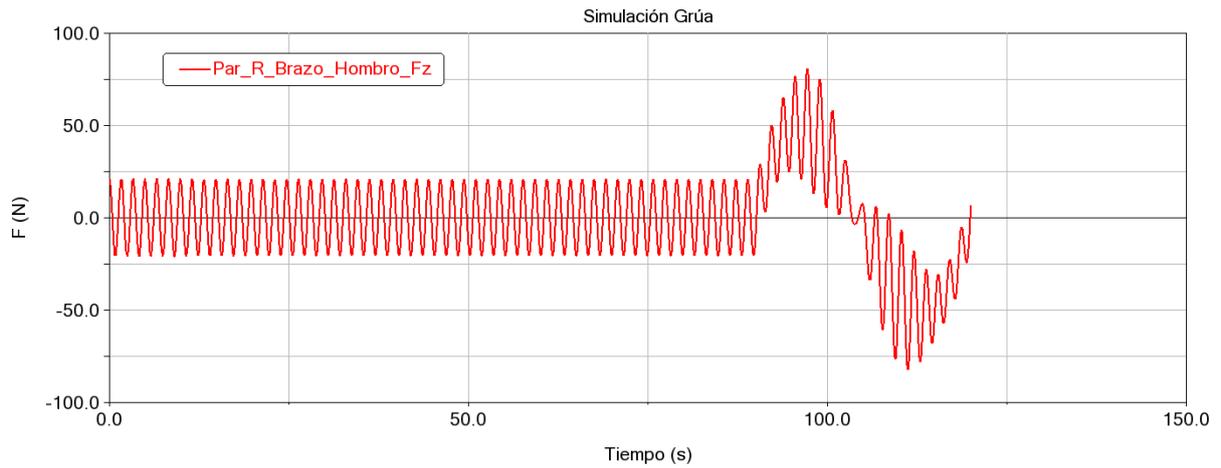


Figura 81. Fuerza Z en el par de rotación entre el Brazo y el Hombro.

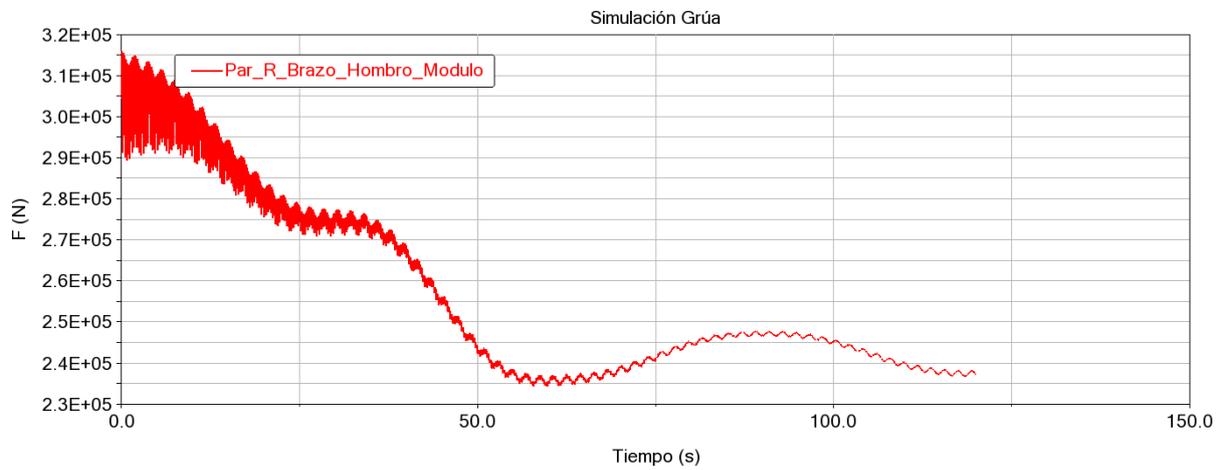


Figura 82. Módulo Fuerza en el par de rotación entre el Brazo y el Hombro.

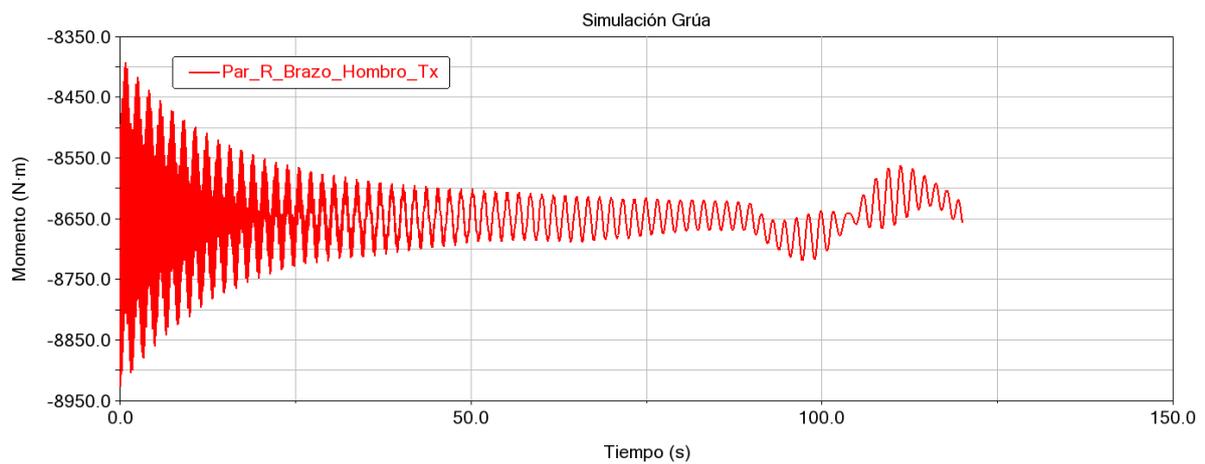


Figura 83. Torsor X en el par de rotación entre el Brazo y el Hombro.

## TRABAJO DE FIN DE GRADO

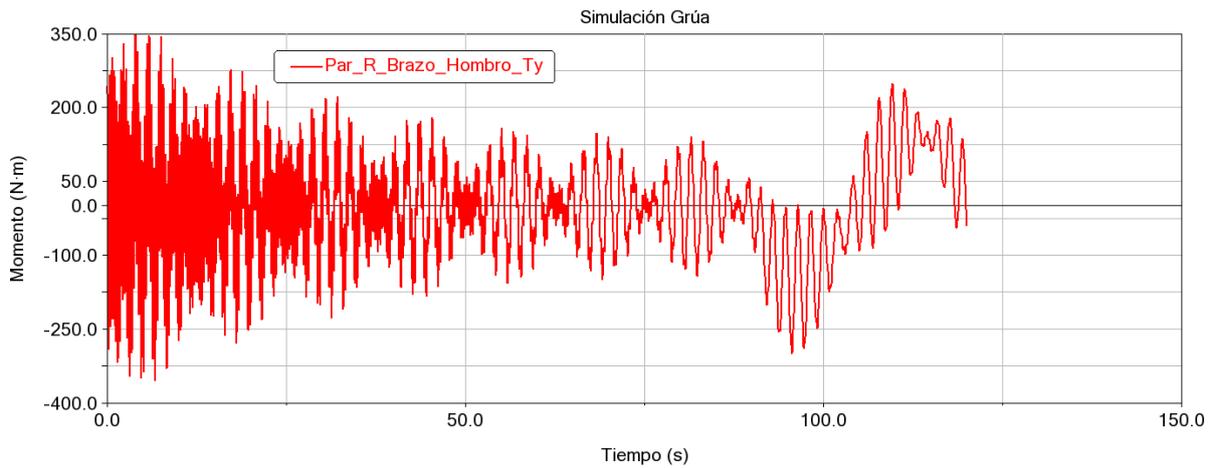


Figura 84. Torsor Y en el par de rotación entre el Brazo y el Hombro.

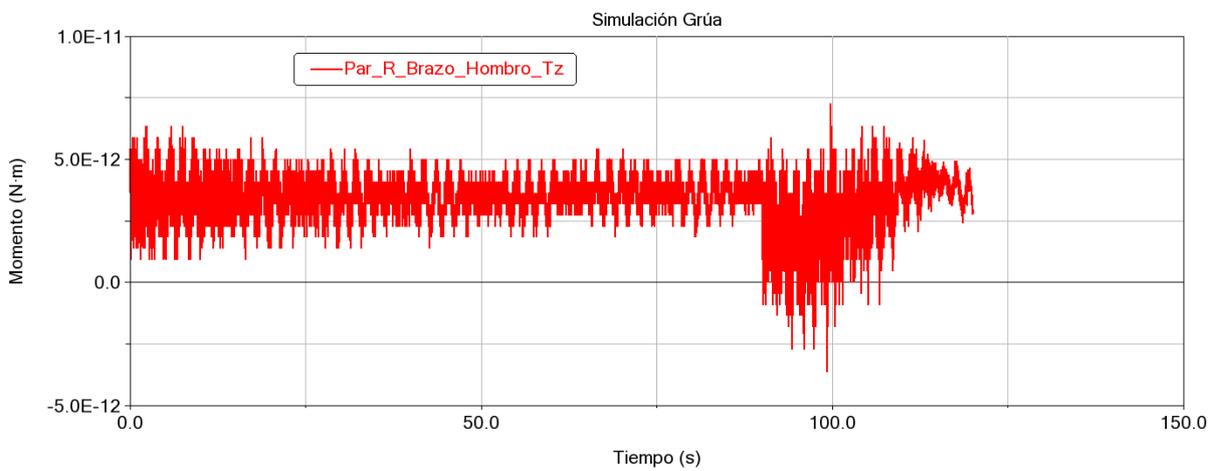


Figura 85. Torsor Z en el par de rotación entre el Brazo y el Hombro.

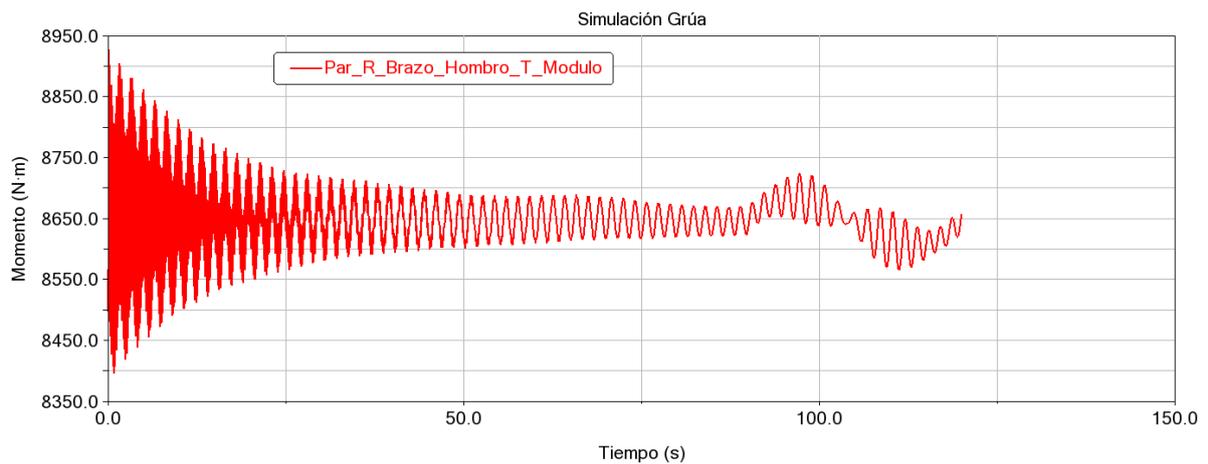


Figura 86. Módulo Torsor en el par de rotación entre el Brazo y el Hombro.

- **Hombro – Fuerzas y momentos que soporta el hombro en el punto en el que se sitúa el par de rotación entre el hombro y la prolonga 1.**

# MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES

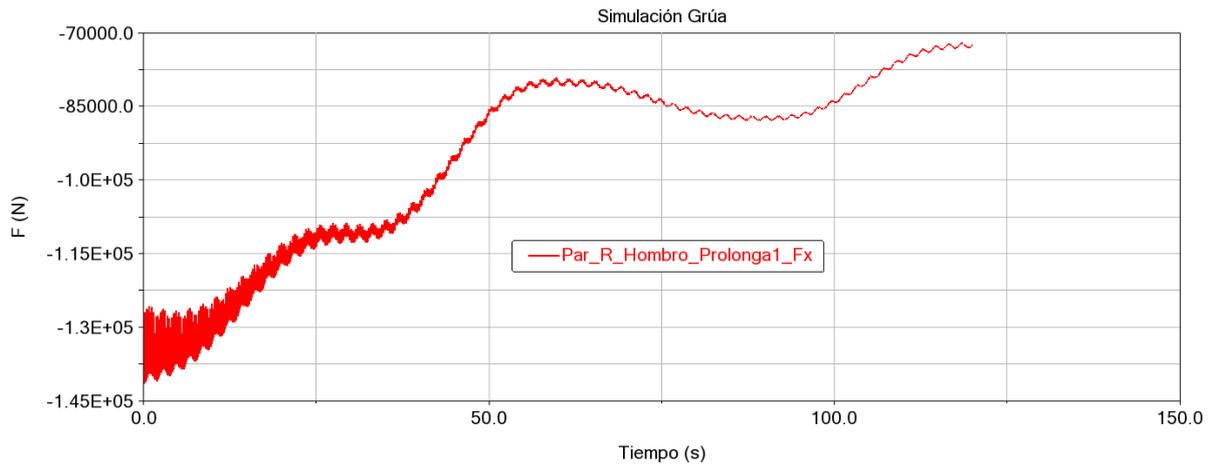


Figura 87. Fuerza X en el par de rotación entre el Hombro y la Prolonga 1.

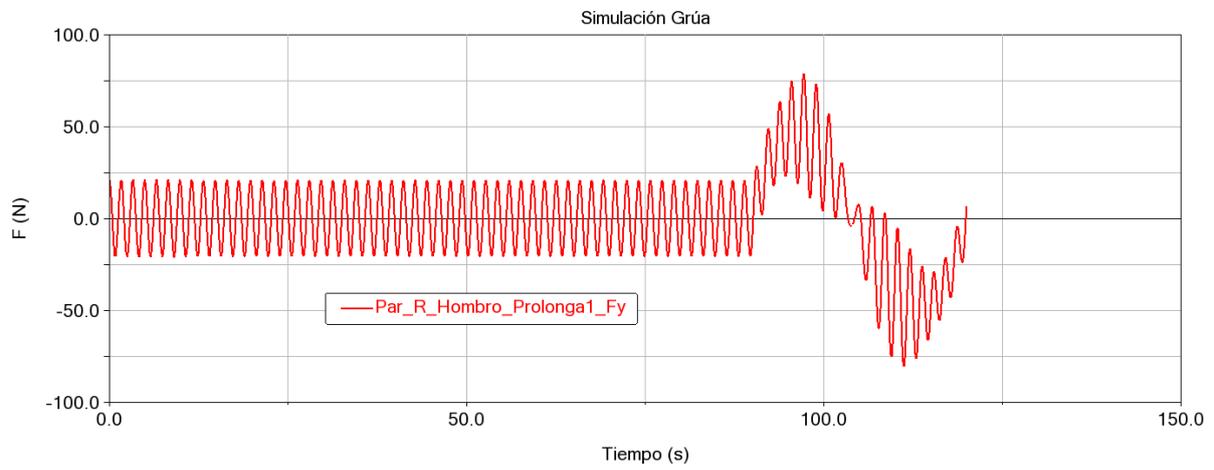


Figura 88. Fuerza Y en el par de rotación entre el Hombro y la Prolonga 1.

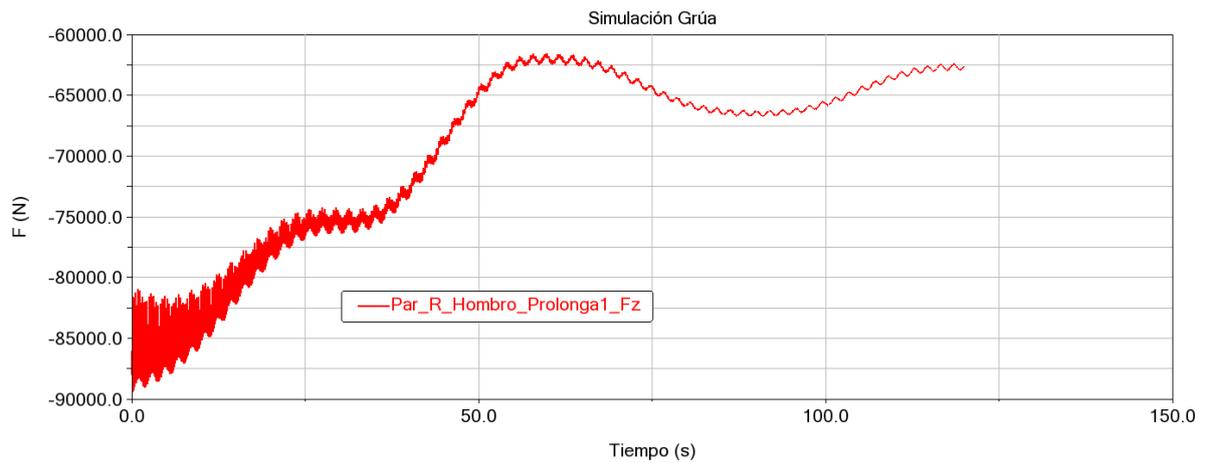


Figura 89. Fuerza Z en el par de rotación entre el Hombro y la Prolonga 1.

# TRABAJO DE FIN DE GRADO

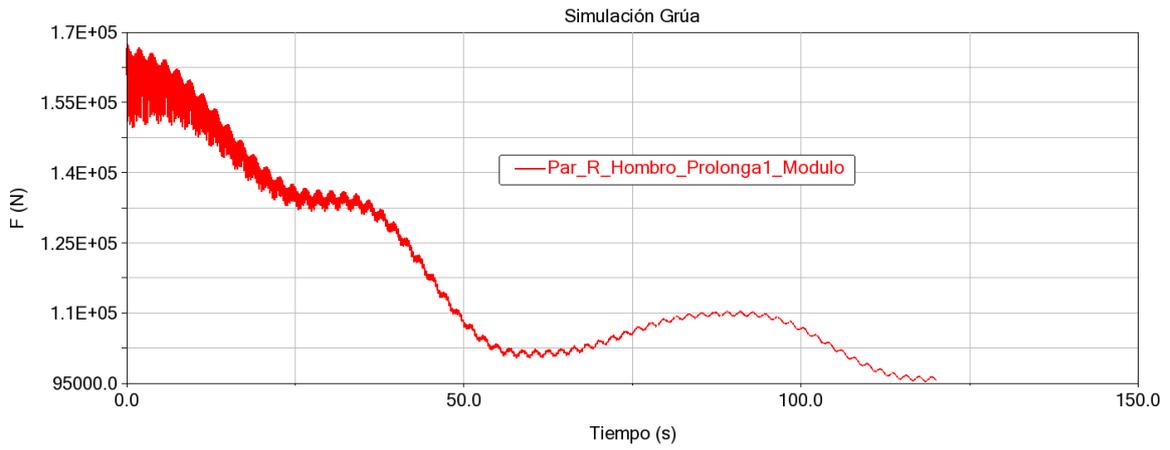


Figura 90. Módulo Fuerza en el par de rotación entre el Hombro y la Prolonga 1.

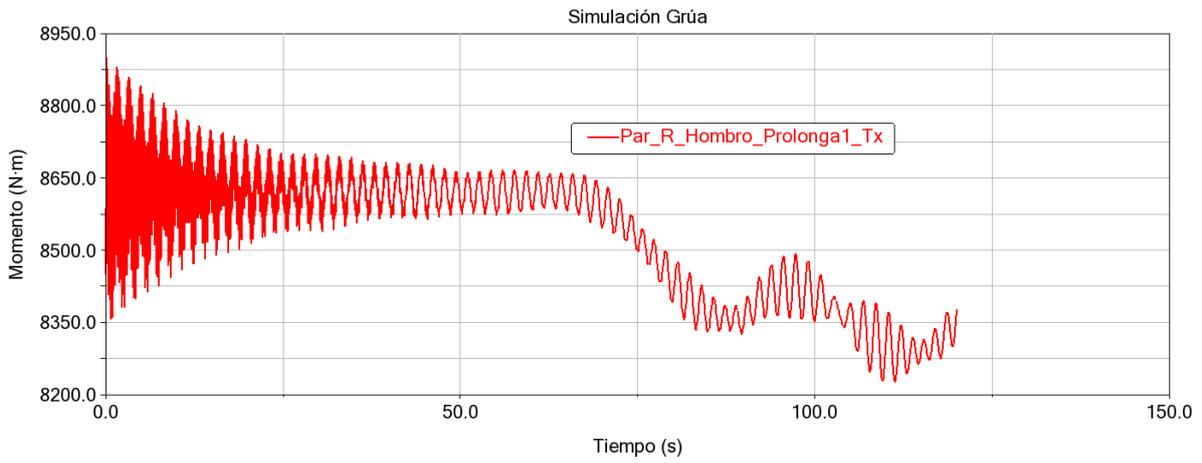


Figura 91. Torsor X en el par de rotación entre el Hombro y la Prolonga 1.

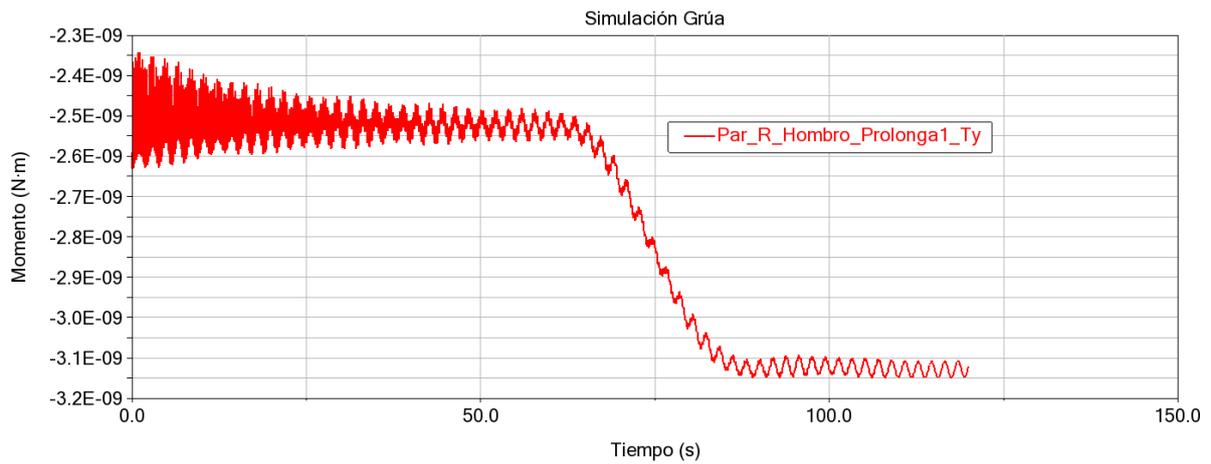


Figura 92. Torsor Y en el par de rotación entre el Hombro y la Prolonga 1.

## MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES

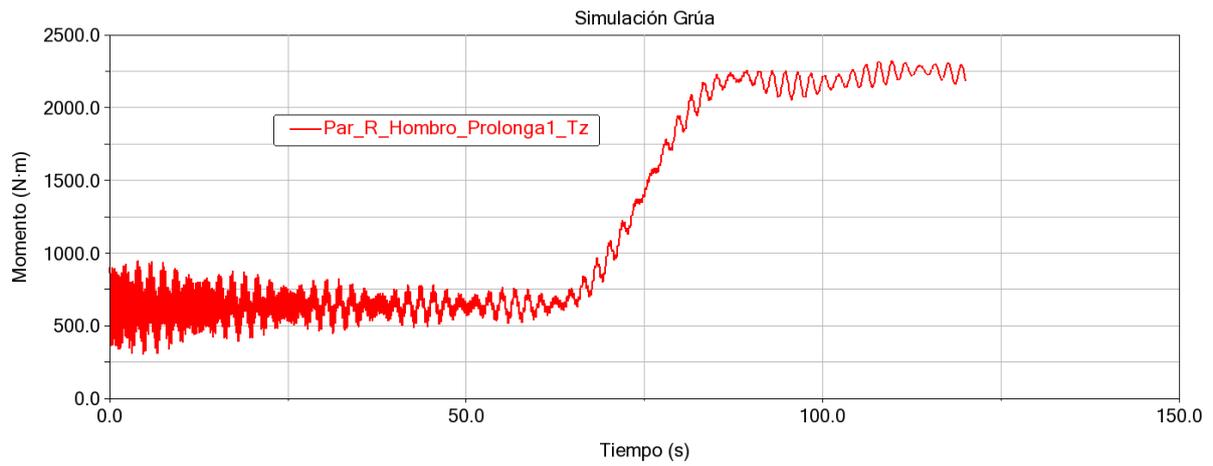


Figura 93. Torsor Z en el par de rotación entre el Hombro y la Prolonga 1.

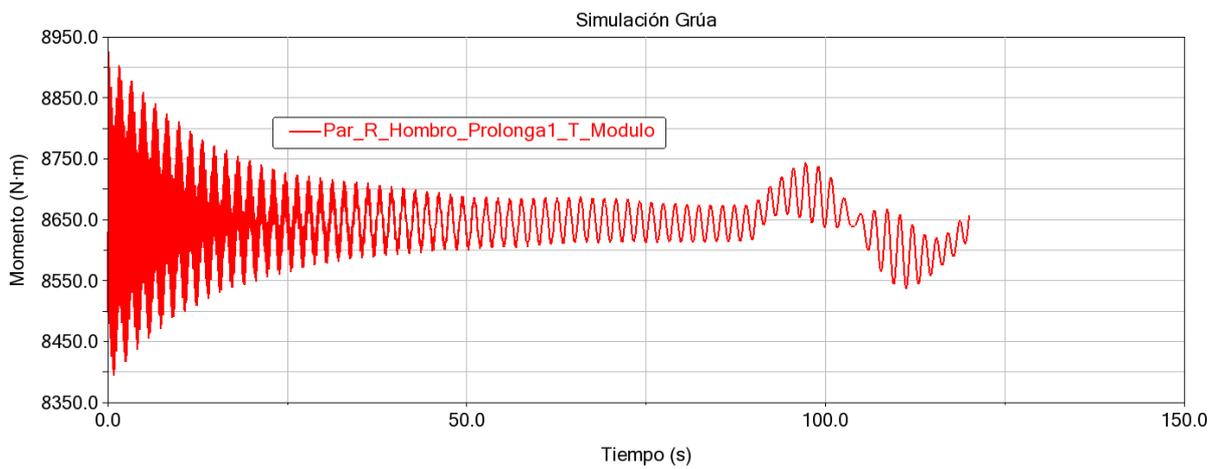


Figura 94. Módulo Torsor en el par de rotación entre el Hombro y la Prolonga 1.

- **Hombro – Fuerzas y momentos que soporta el hombro en el punto en el que se sitúa el par de revolución entre el hombro y el pistón 1.**

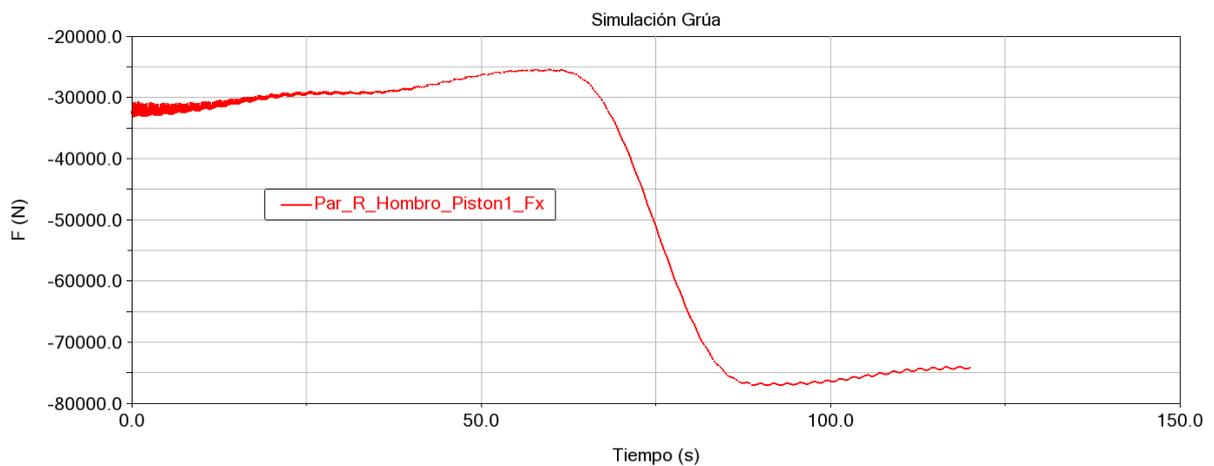


Figura 95. Fuerza X en el par de rotación entre el Hombro y el Pistón 1.

# TRABAJO DE FIN DE GRADO

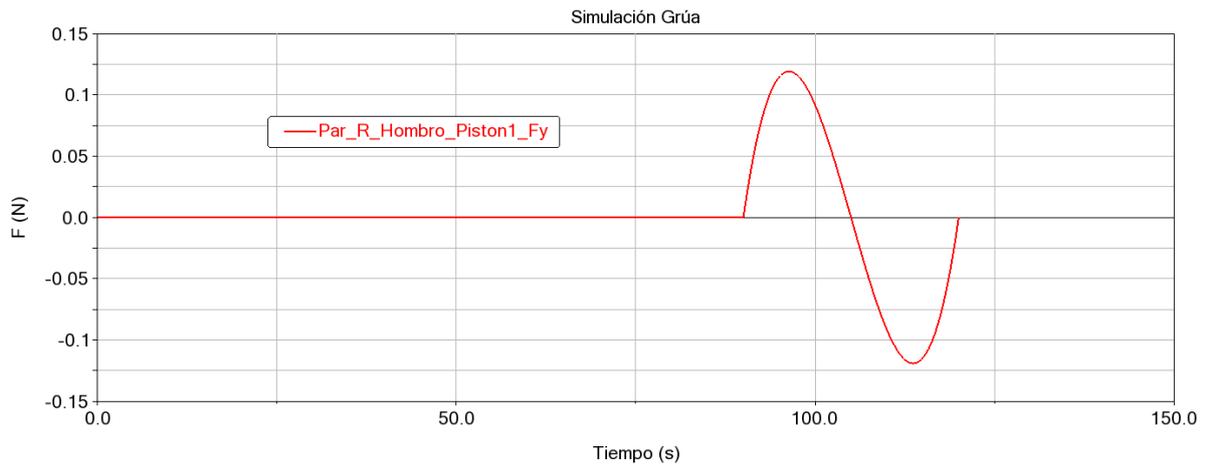


Figura 96. Fuerza Y en el par de rotación entre el Hombro y el Pistón 1.

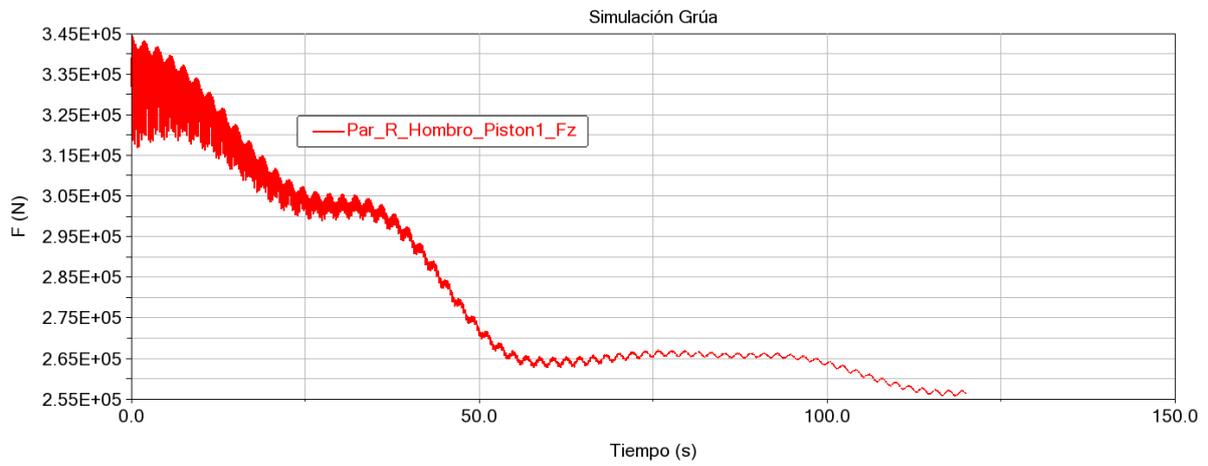


Figura 97. Fuerza Z en el par de rotación entre el Hombro y el Pistón 1.

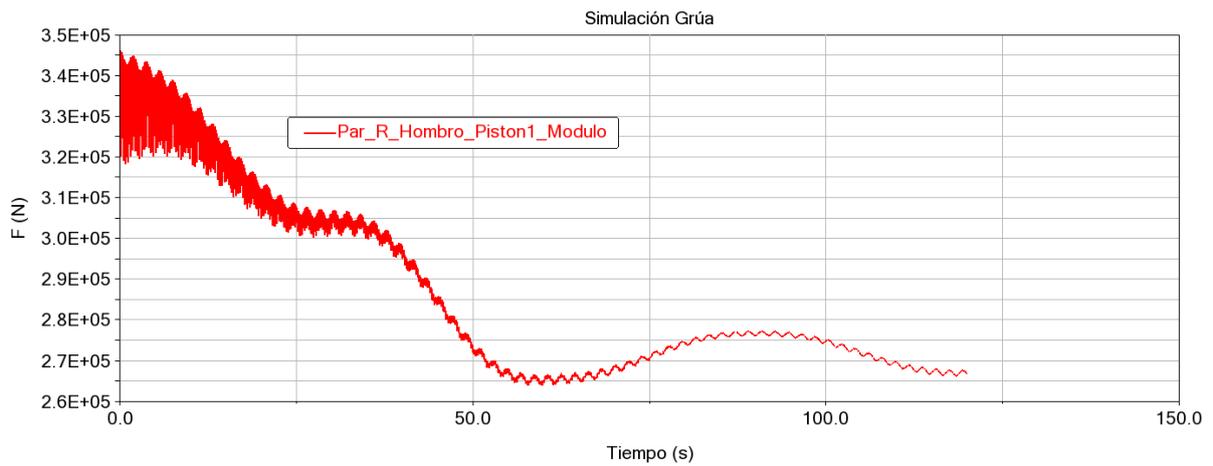


Figura 98. Módulo Fuerza en el par de rotación entre el Hombro y el Pistón 1.

# MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES

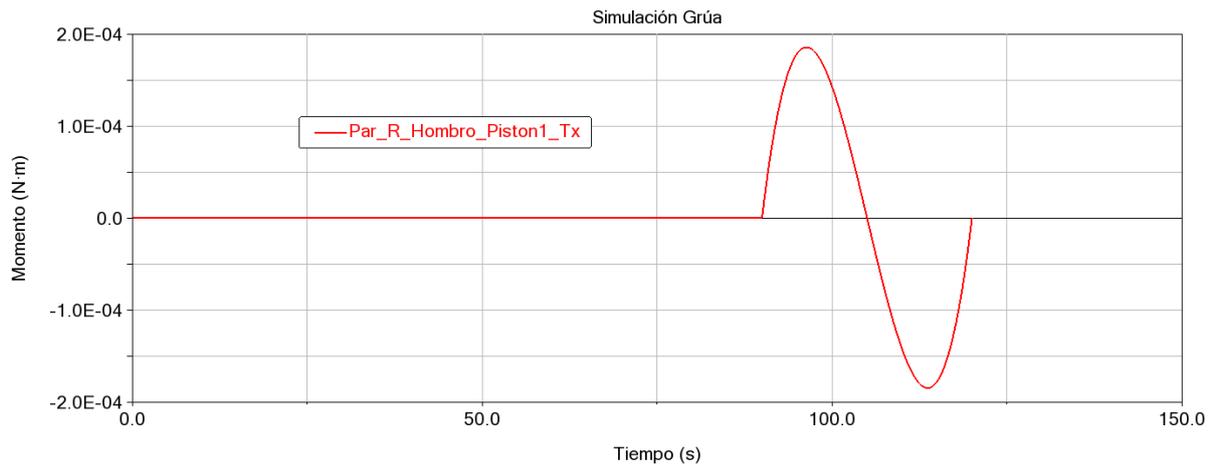


Figura 99. Torsor X en el par de rotación entre el Hombro y el Pistón 1.

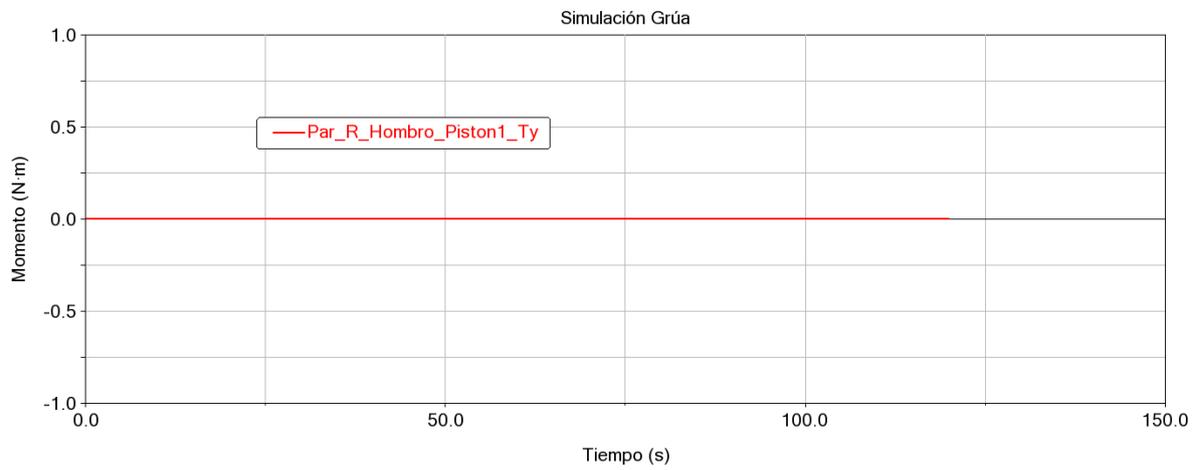


Figura 100. Torsor Y en el par de rotación entre el Hombro y el Pistón 1.

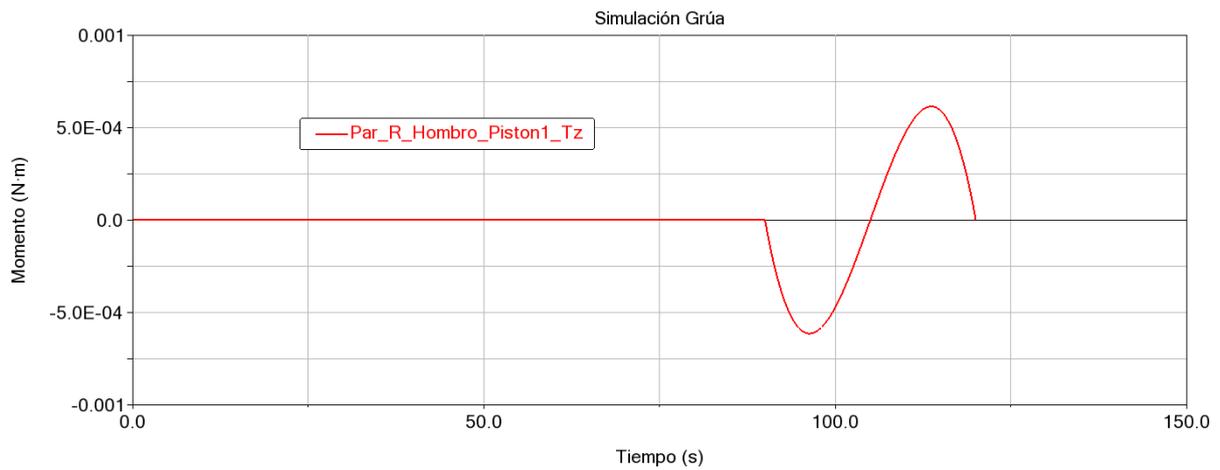


Figura 101. Torsor Z en el par de rotación entre el Hombro y el Pistón 1.

# TRABAJO DE FIN DE GRADO



Figura 102. Módulo Torsor en el par de rotación entre el Hombro y el Pistón 1.

- **Hombro – Fuerzas y momentos que soporta el hombro respecto al punto de medición del par de rotación entre el hombro y el cilindro 2.**

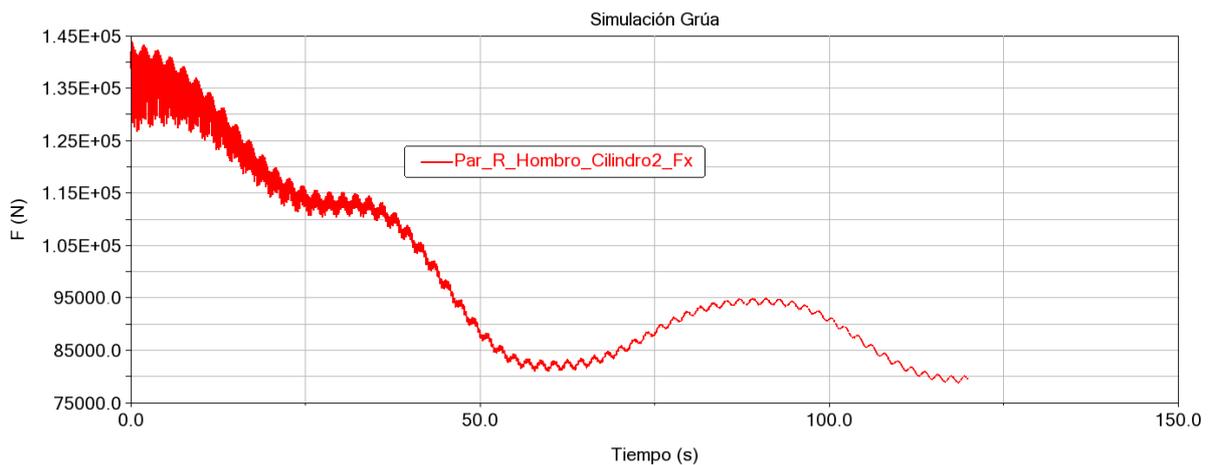


Figura 103. Fuerza X en el par de rotación entre el Hombro y el Cilindro 2.

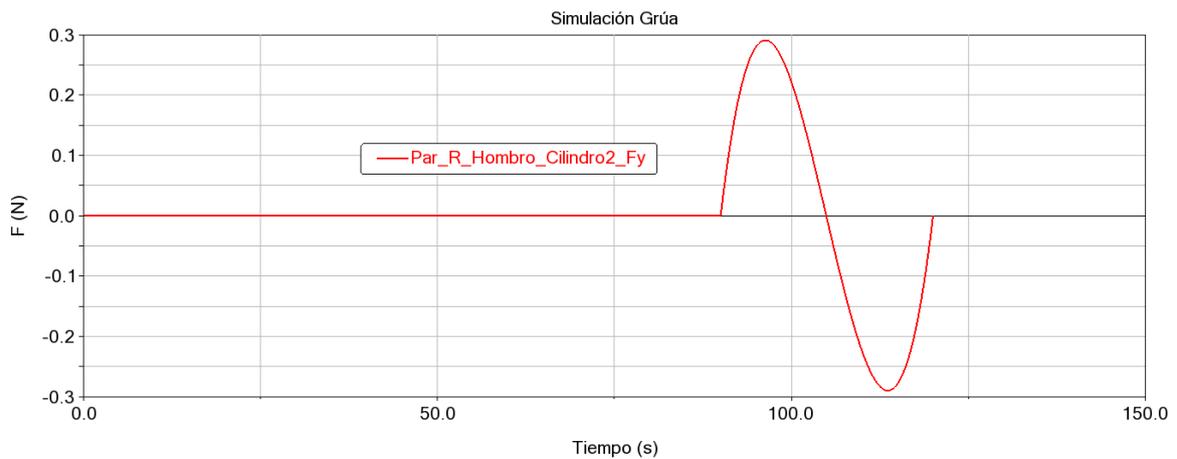


Figura 104. Fuerza Y en el par de rotación entre el Hombro y el Cilindro 2.

# MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES

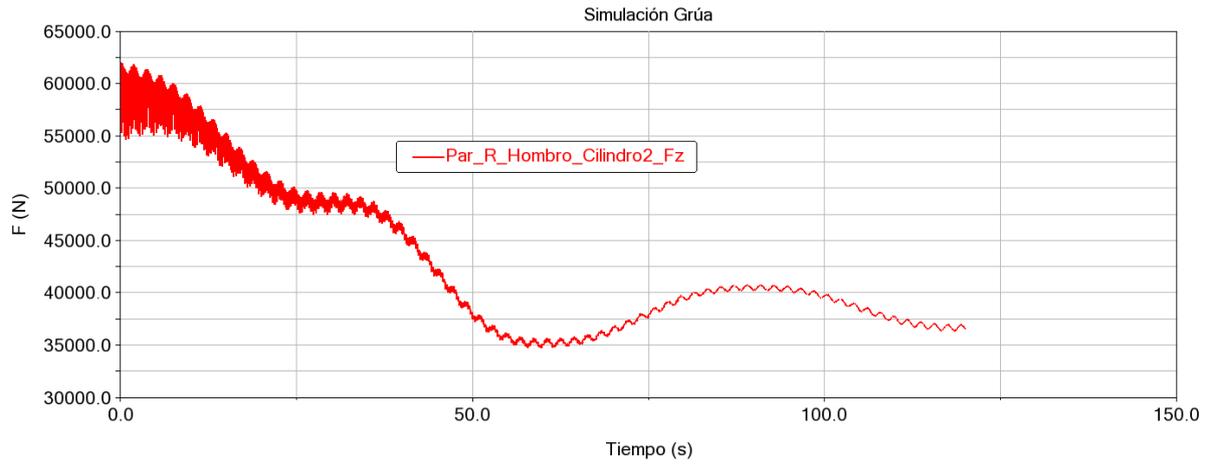


Figura 105. Fuerza Z en el par de rotación entre el Hombro y el Cilindro 2.

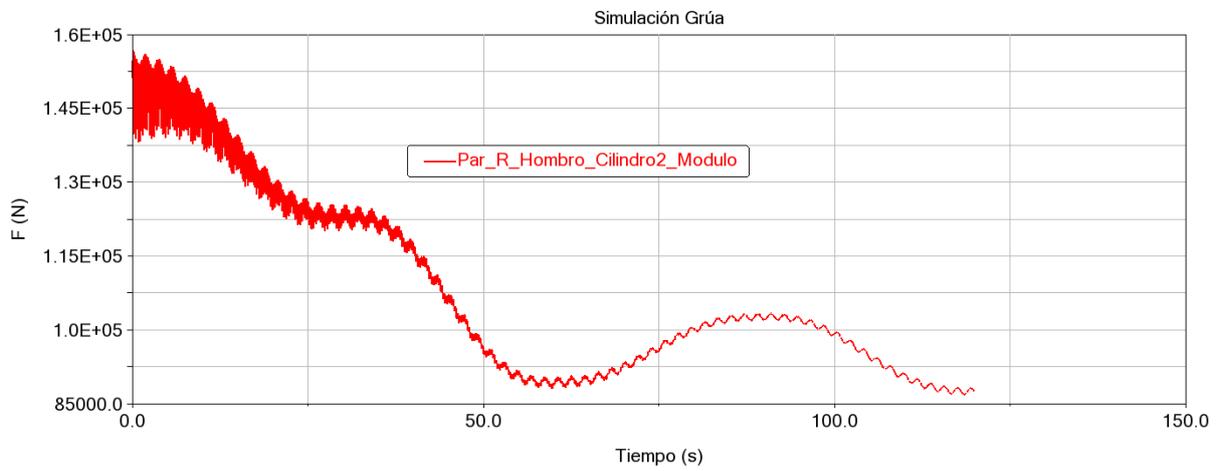


Figura 106. Módulo Fuerza en el par de rotación entre el Hombro y el Cilindro 2.

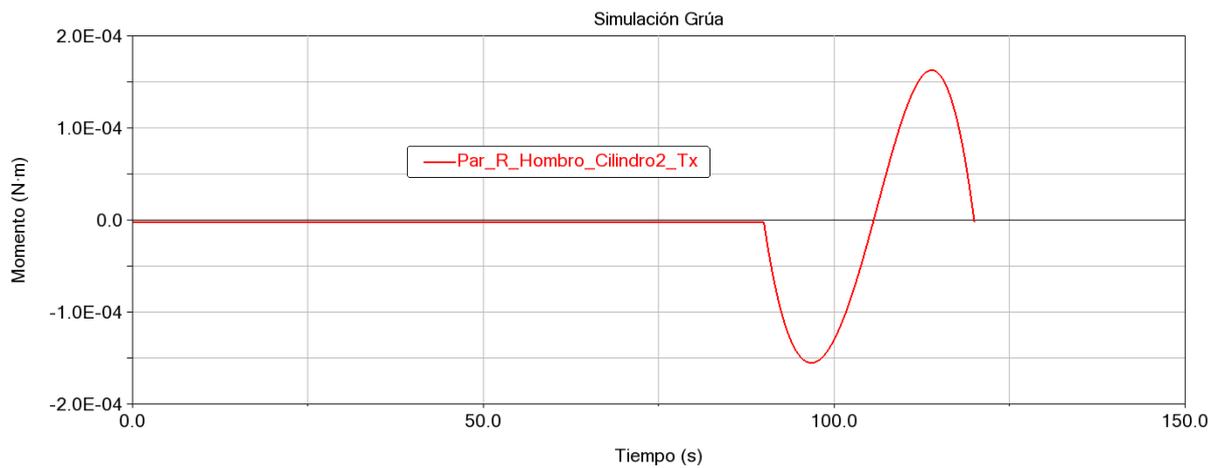


Figura 107. Torsor X en el par de rotación entre el Hombro y el Cilindro 2.

# TRABAJO DE FIN DE GRADO

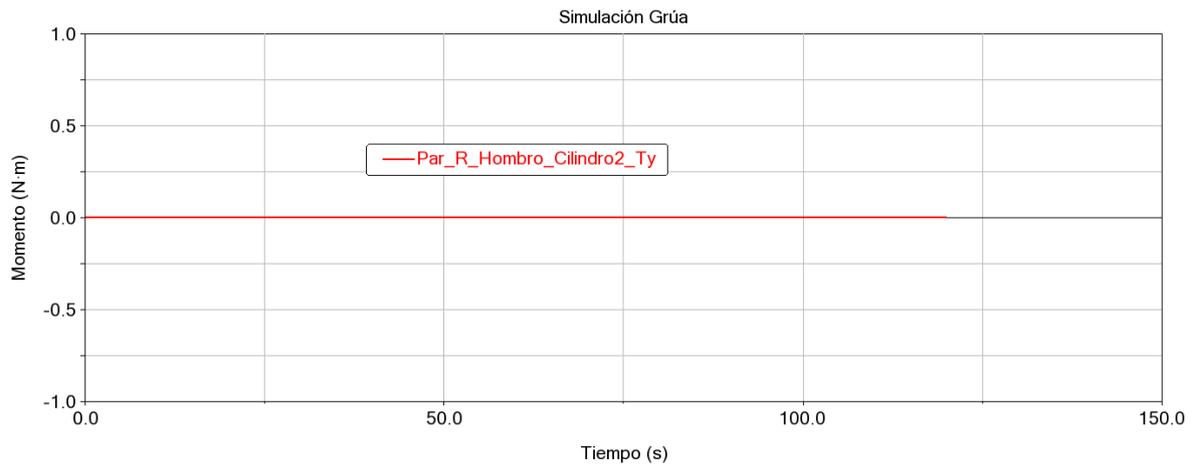


Figura 108. Torsor Y en el par de rotación entre el Hombro y el Cilindro 2.

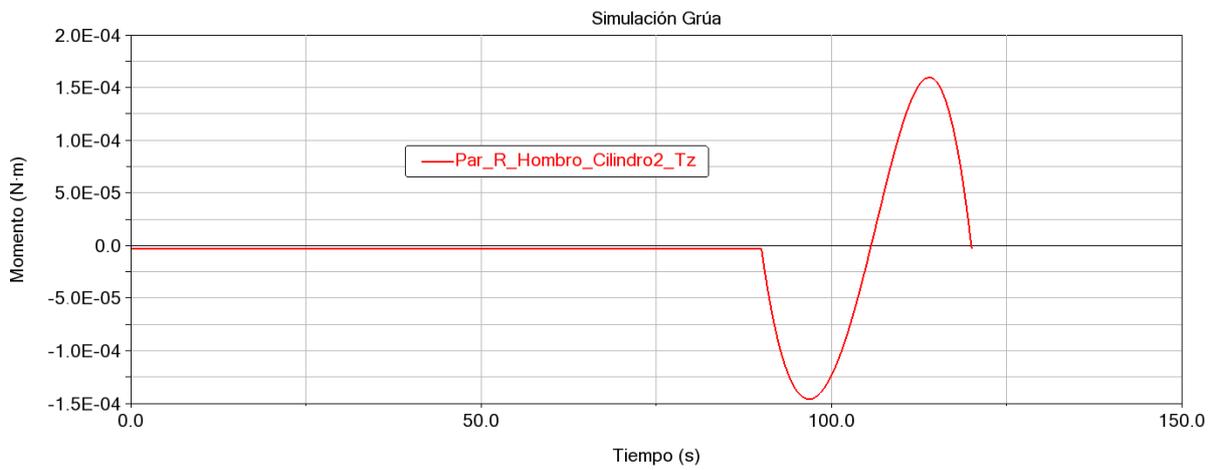


Figura 109. Torsor Z en el par de rotación entre el Hombro y el Cilindro 2.

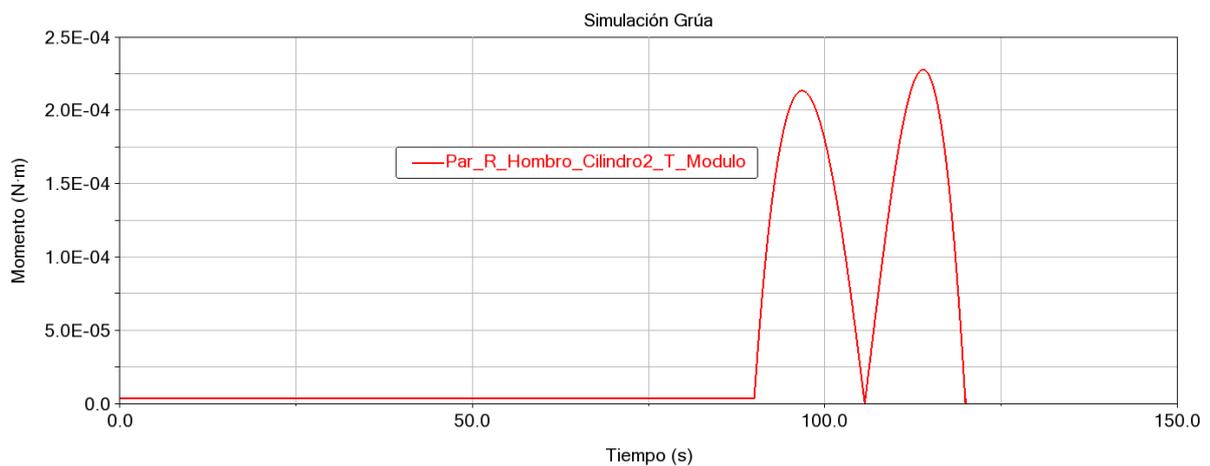


Figura 110. Módulo Torsor en el par de rotación entre el Hombro y el Cilindro 2.

- **Pistón 1 – Fuerzas y momentos a los que está sometido el pistón 1, en el lugar donde está situado el par cilíndrico entre el pistón 1 y el cilindro 1.**

# MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES

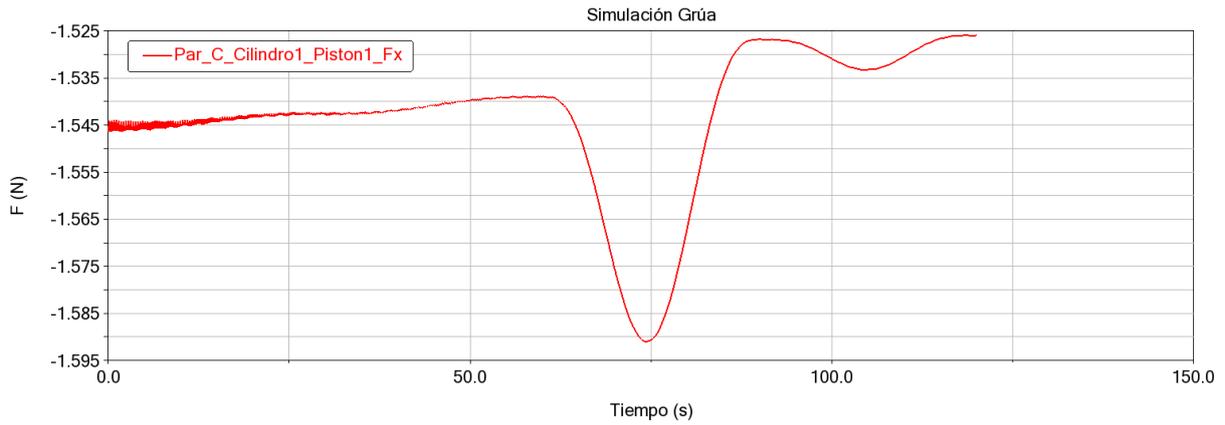


Figura 111. Fuerza X en el par cilíndrico entre el Cilindro 1 y el Pistón 1.

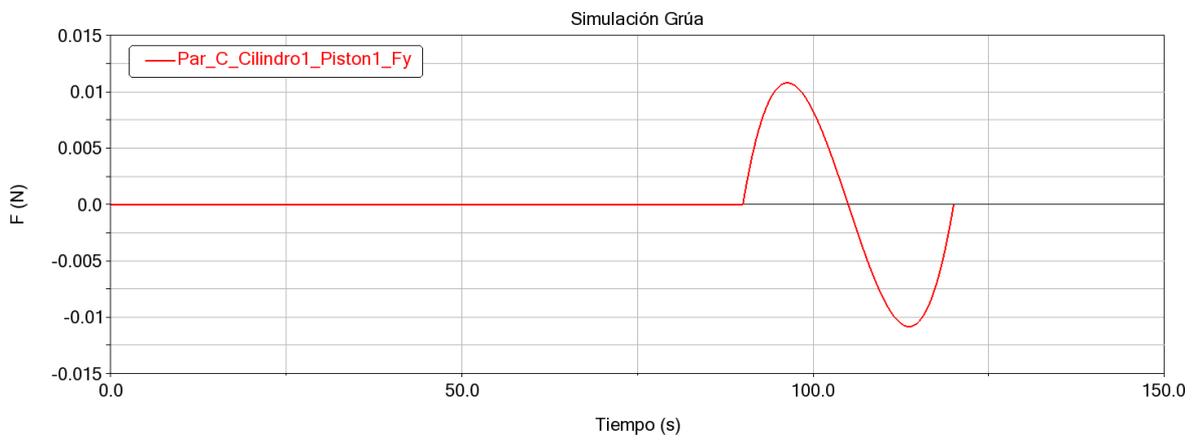


Figura 112. Fuerza Y en el par cilíndrico entre el Cilindro 1 y el Pistón 1.

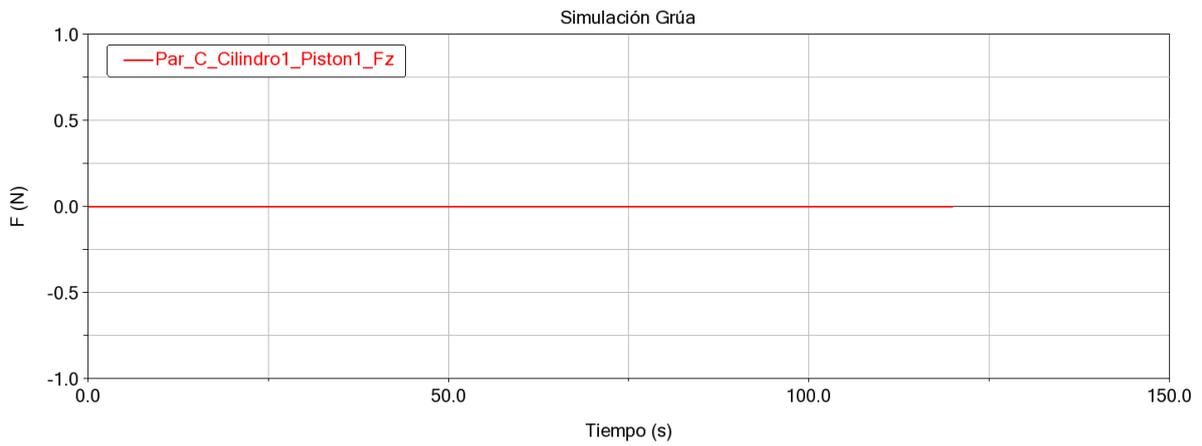


Figura 113. Fuerza Z en el par cilíndrico entre el Cilindro 1 y el Pistón 1.

# TRABAJO DE FIN DE GRADO

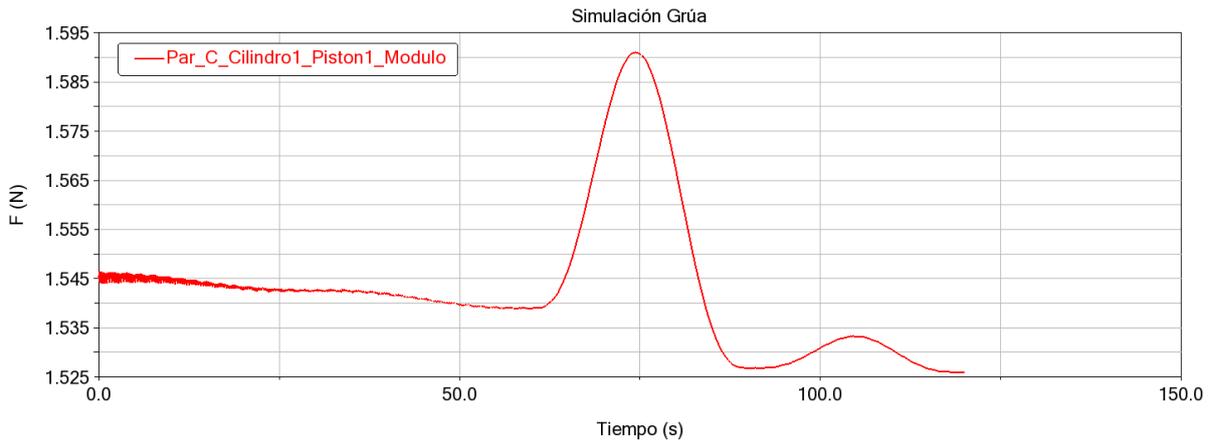


Figura 114. Módulo Fuerza en el par cilíndrico entre el Cilindro 1 y el Pistón 1.

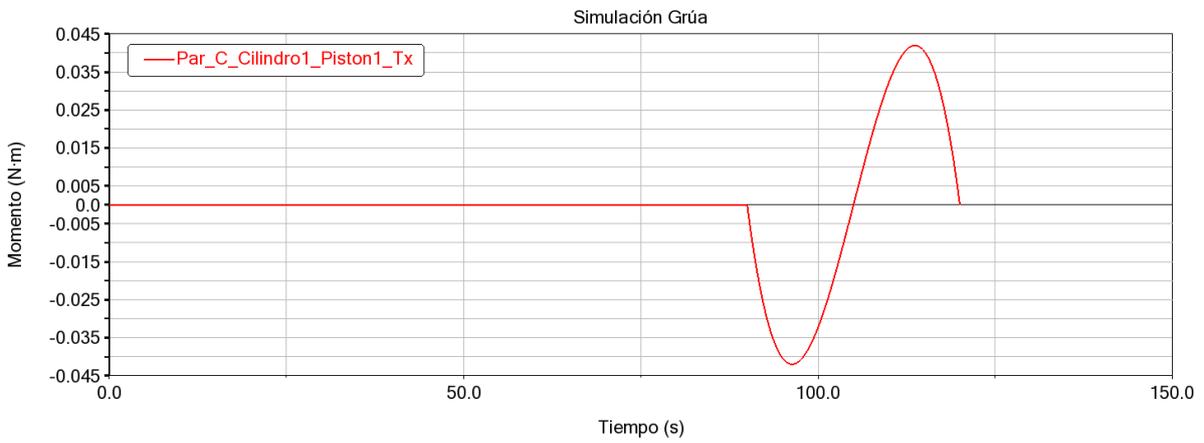


Figura 115. Torsor X en el par cilíndrico entre el Cilindro 1 y el Pistón 1.

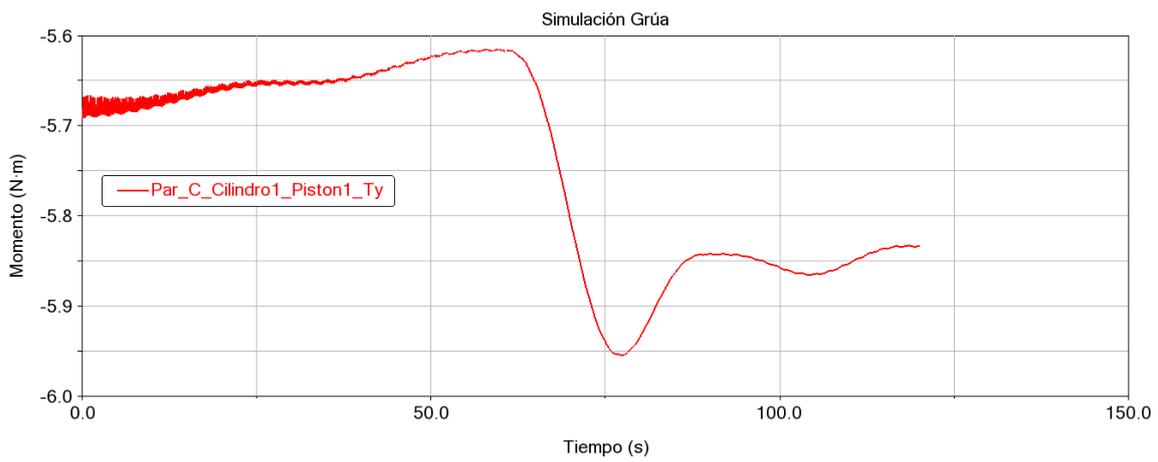


Figura 116. Torsor Y en el par cilíndrico entre el Cilindro 1 y el Pistón 1.

## MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES

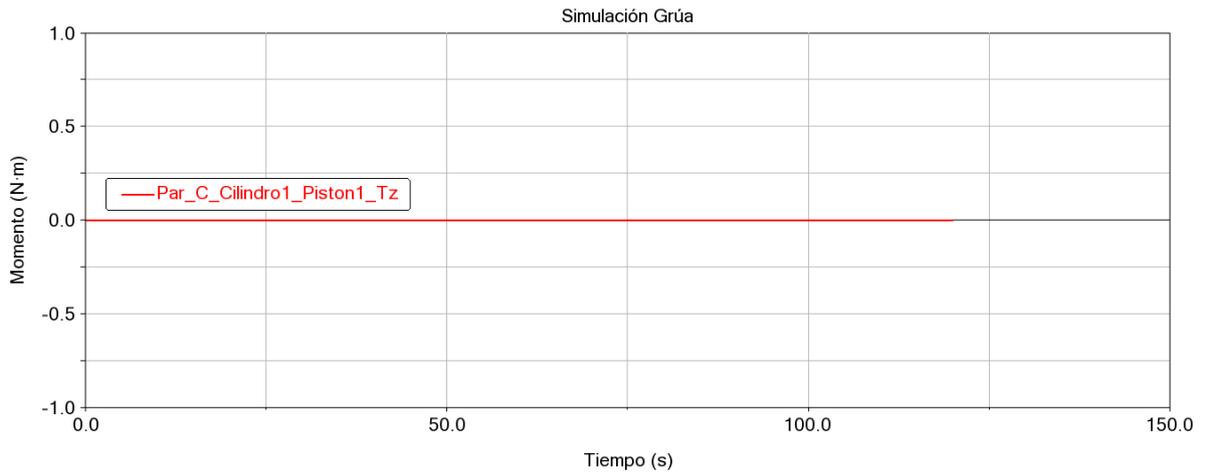


Figura 117. Torsor Z en el par cilíndrico entre el Cilindro 1 y el Pistón 1.

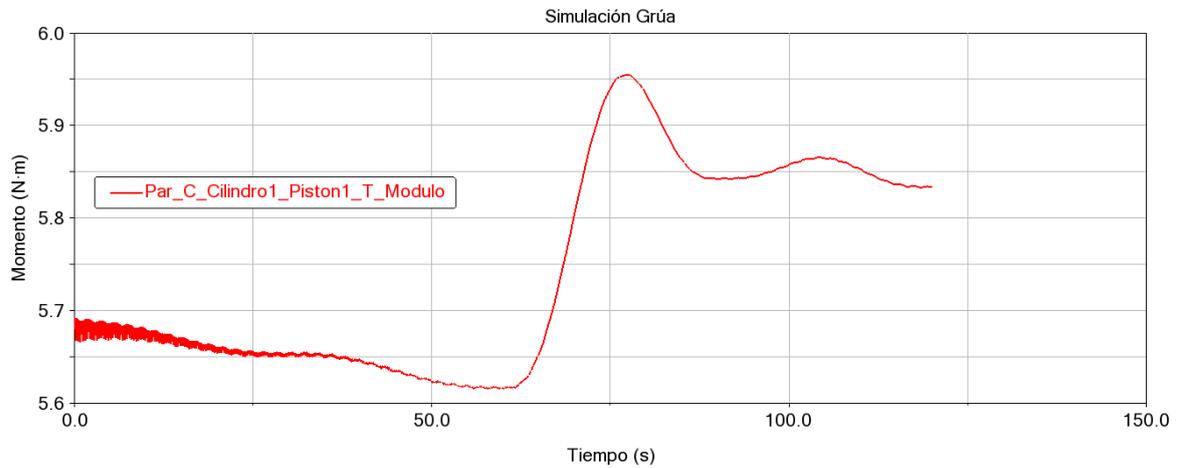


Figura 118. Módulo Torsor en el par cilíndrico entre el Cilindro 1 y el Pistón 1.

- **Pistón 2 – Fuerzas y momentos a los que está sometido el punto en el que se sitúa el par cilíndrico entre el cilindro 2 y el pistón 2.**



Figura 119. Fuerza X en el par cilíndrico entre el Cilindro 2 y el Pistón 2.

# TRABAJO DE FIN DE GRADO

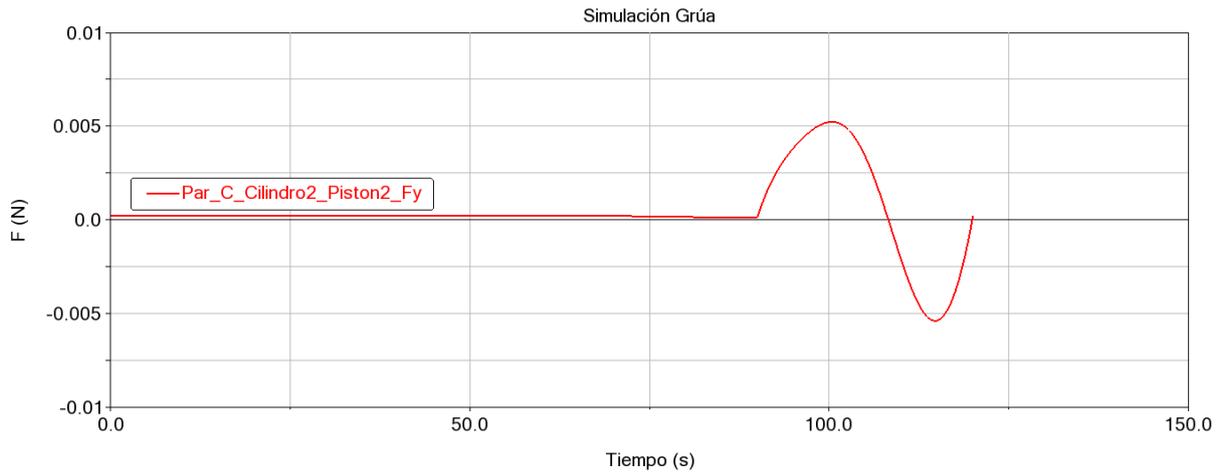


Figura 120. Fuerza Y en el par cilíndrico entre el Cilindro 2 y el Pistón 2.

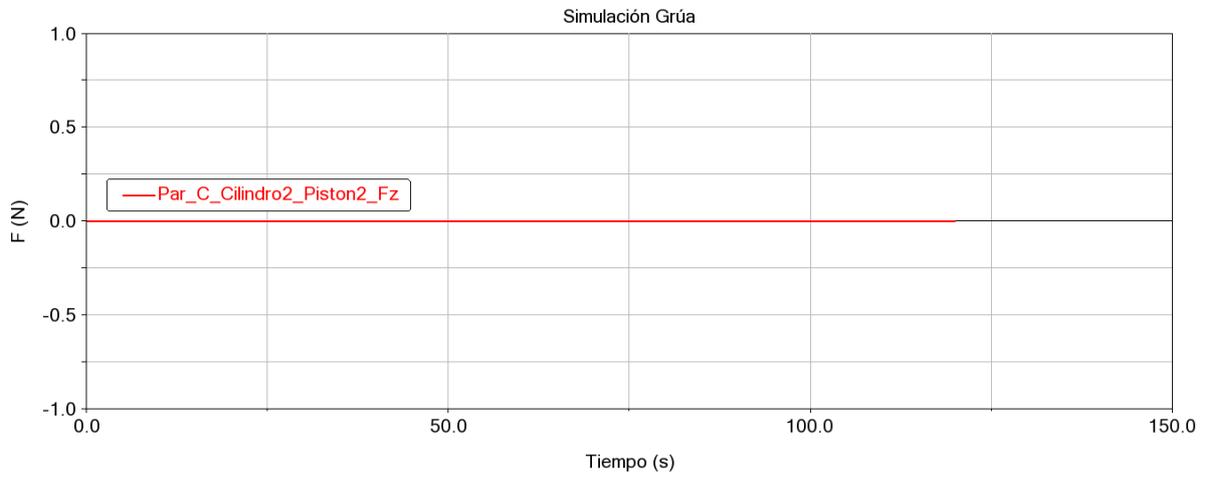


Figura 121. Fuerza Z en el par cilíndrico entre el Cilindro 2 y el Pistón 2.

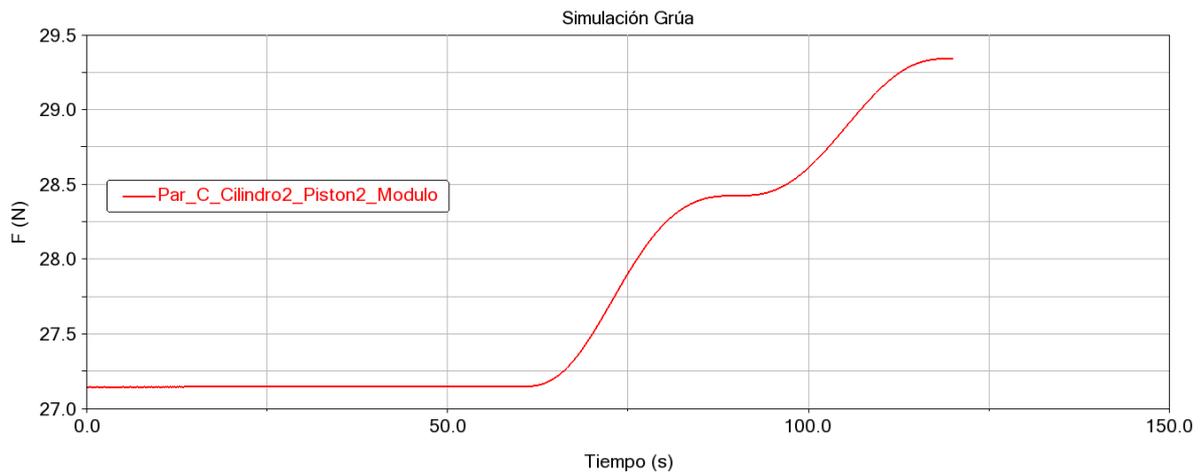


Figura 122. Módulo Fuerza en el par cilíndrico entre el Cilindro 2 y el Pistón 2.

# MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES

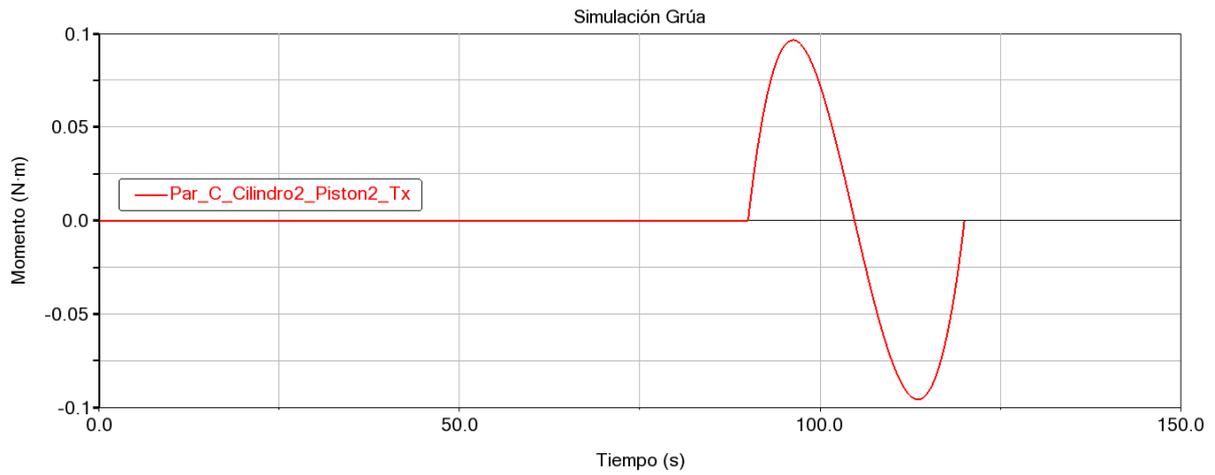


Figura 123. Torsor X en el par cilíndrico entre el Cilindro 2 y el Pistón 2.

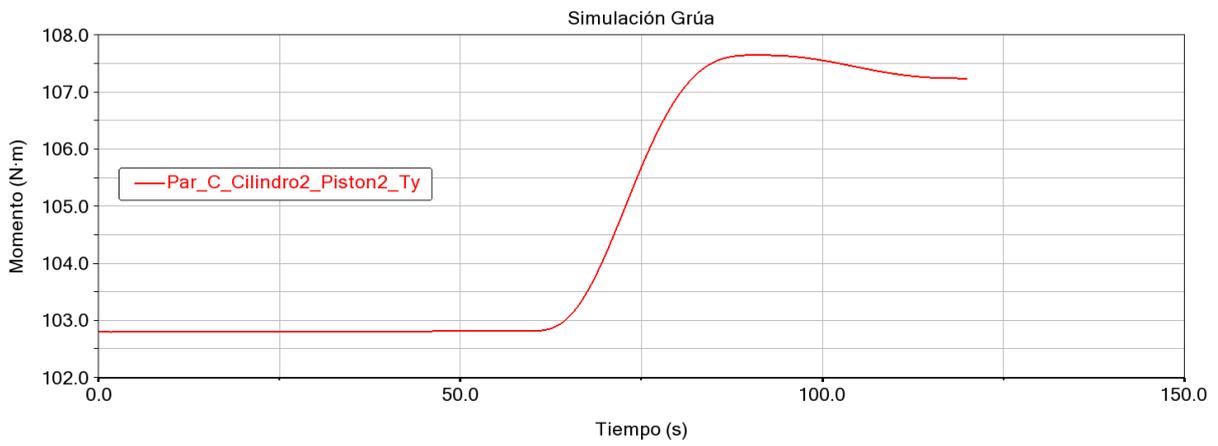


Figura 124. Torsor Y en el par cilíndrico entre el Cilindro 2 y el Pistón 2.

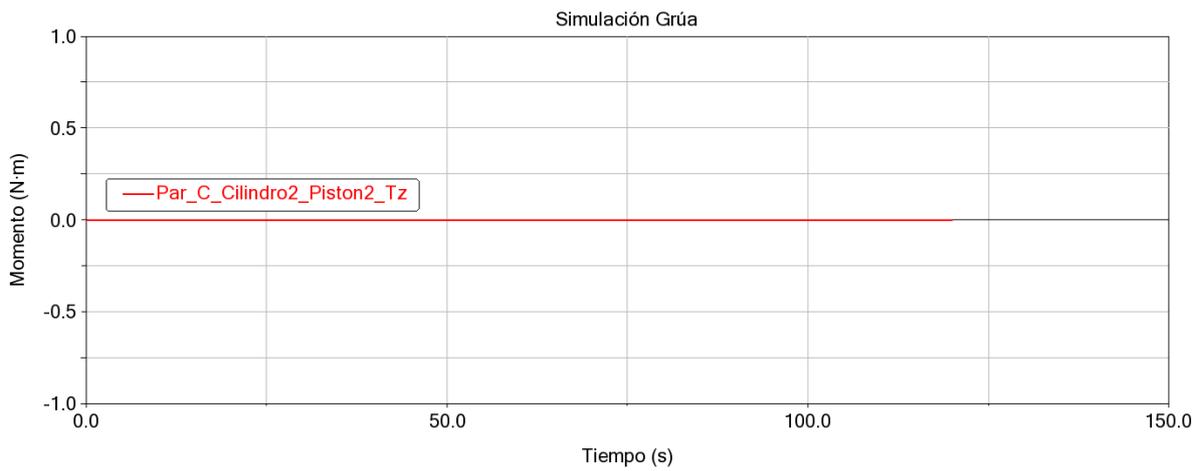


Figura 125. Torsor Z en el par cilíndrico entre el Cilindro 2 y el Pistón 2.

## TRABAJO DE FIN DE GRADO

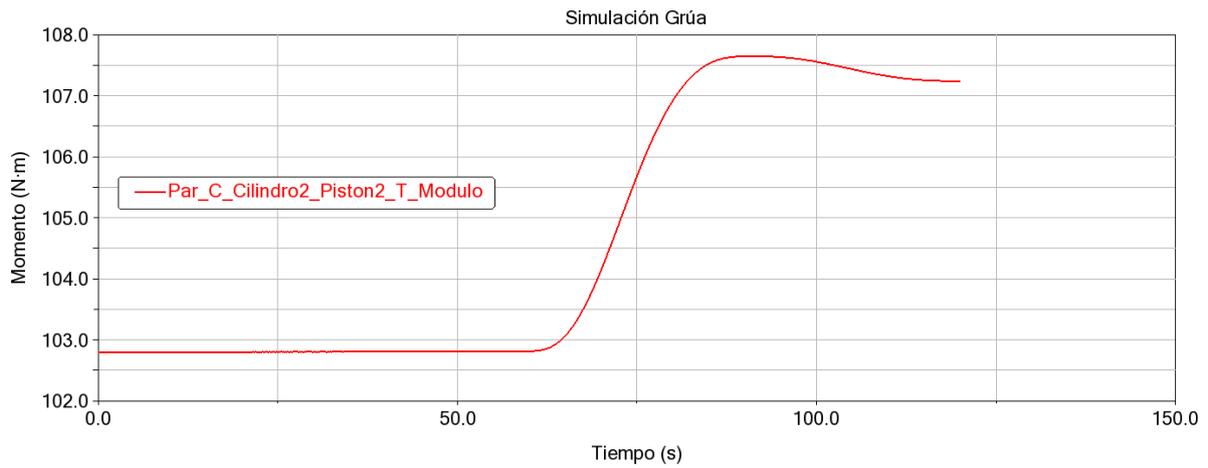


Figura 126. Módulo Torsor en el par cilíndrico entre el Cilindro 2 y el Pistón 2.

- **Prolonga 1 – Fuerzas y momentos que aparecen en la prolonga 1, en el punto en el que se sitúa el par de rotación entre la prolonga 1 y el pistón 2.**

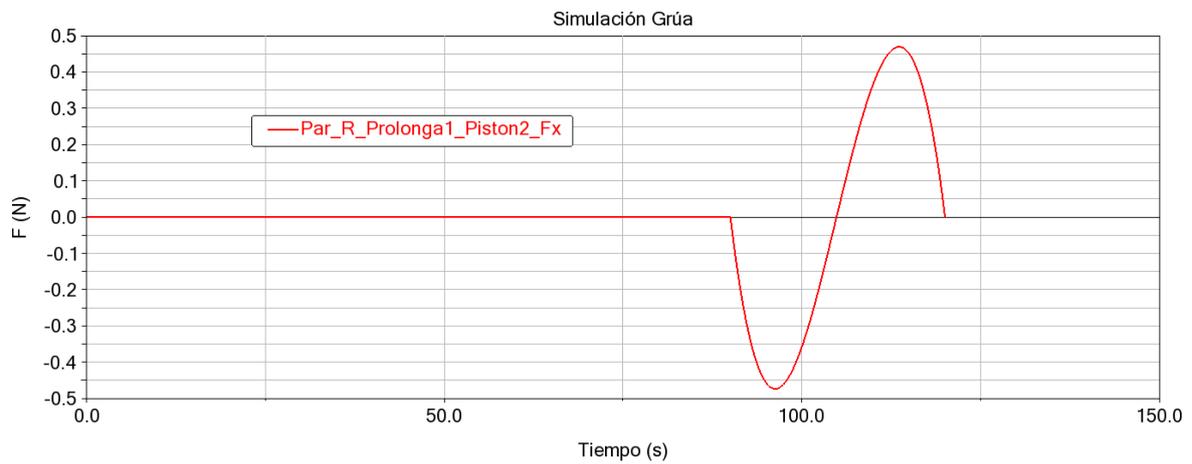


Figura 127. Fuerza X en el par de rotación entre la Prolonga 1 y la Prolonga 2.

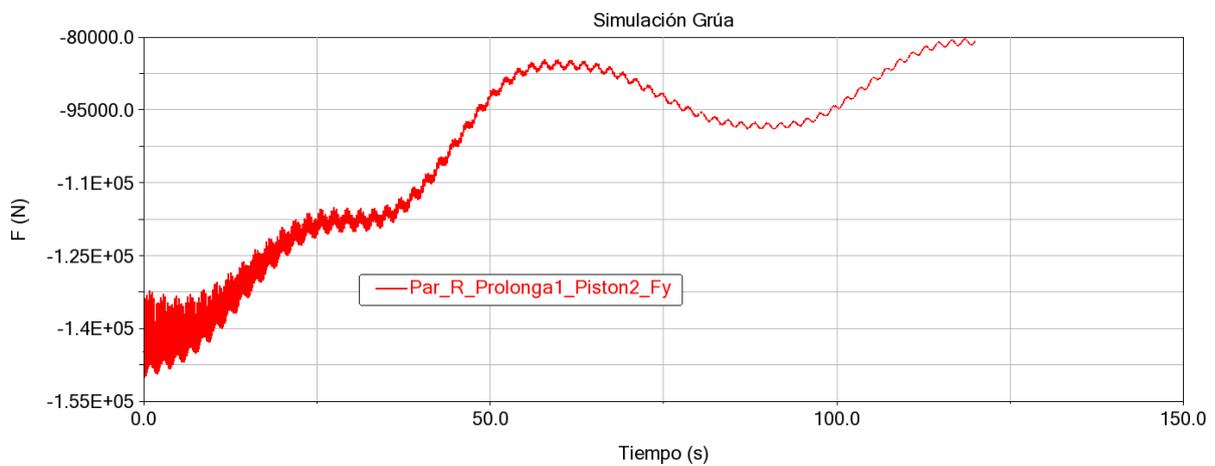


Figura 128. Fuerza Y en el par de rotación entre la Prolonga 1 y la Prolonga 2.

# MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES

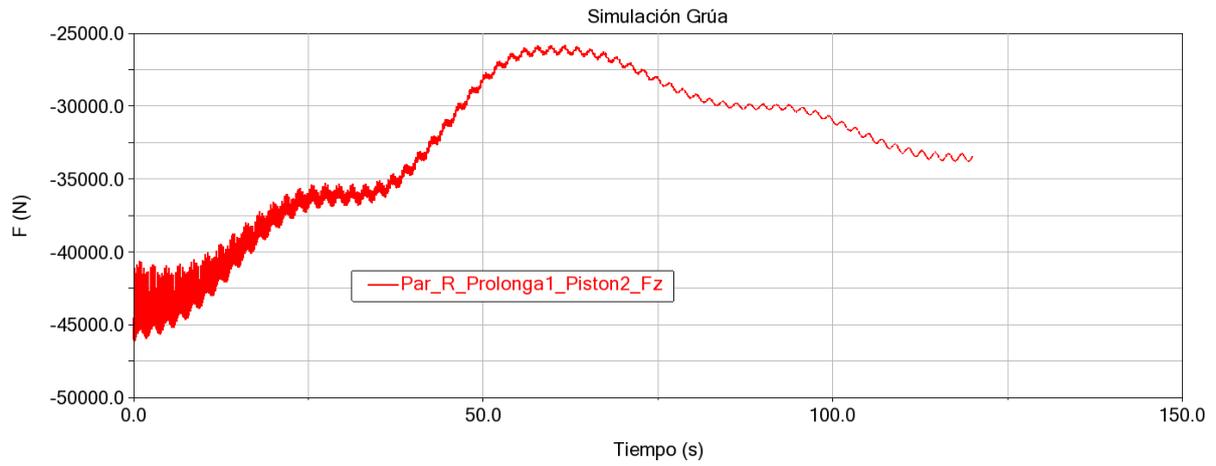


Figura 129. Fuerza Z en el par de rotación entre la Prolonga 1 y la Prolonga 2.

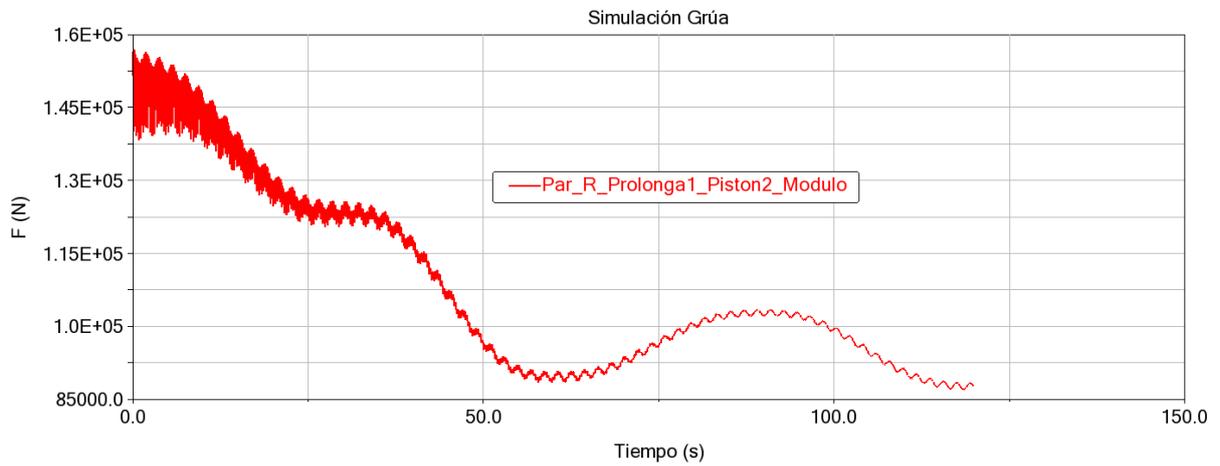


Figura 130. Módulo Fuerza en el par de rotación entre la Prolonga 1 y la Prolonga 2.

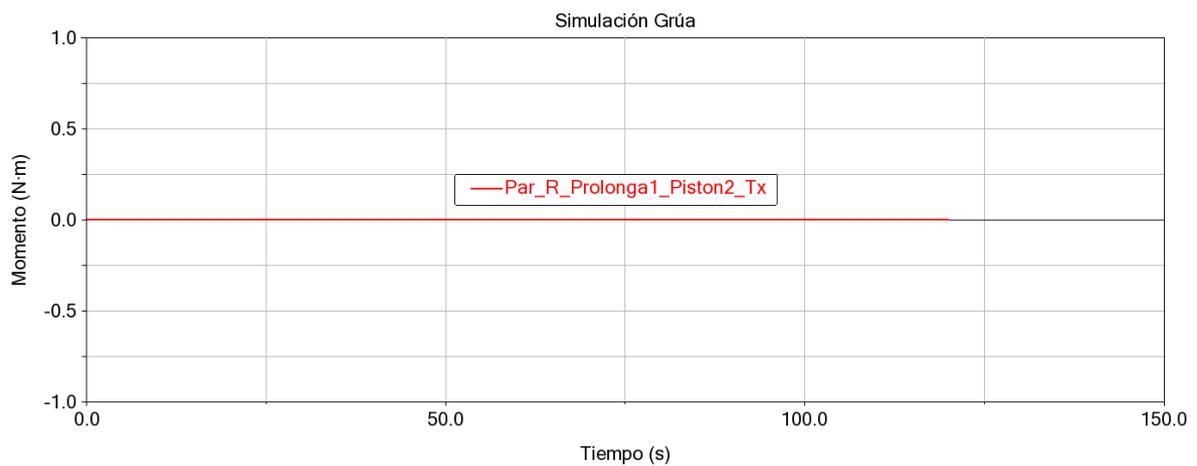


Figura 131. Torsor X en el par de rotación entre la Prolonga 1 y la Prolonga 2.

## TRABAJO DE FIN DE GRADO

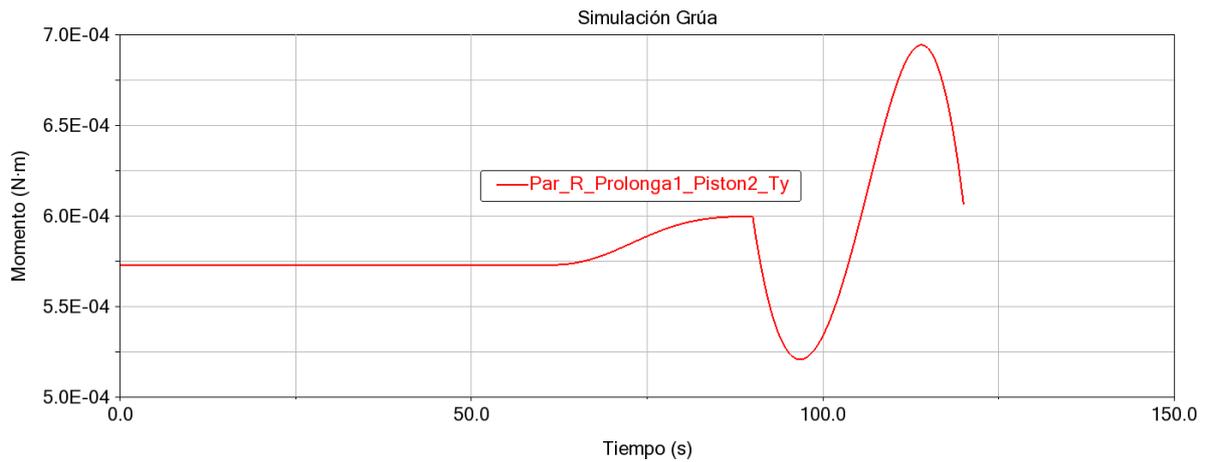


Figura 132. Torsor Y en el par de rotación entre la Prolonga 1 y la Prolonga 2.

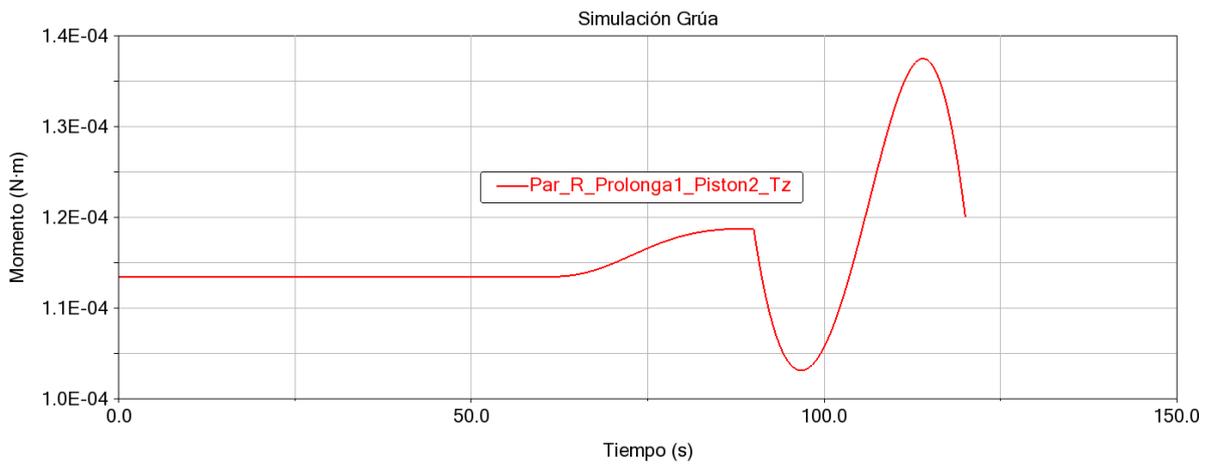


Figura 133. Torsor Z en el par de rotación entre la Prolonga 1 y la Prolonga 2.

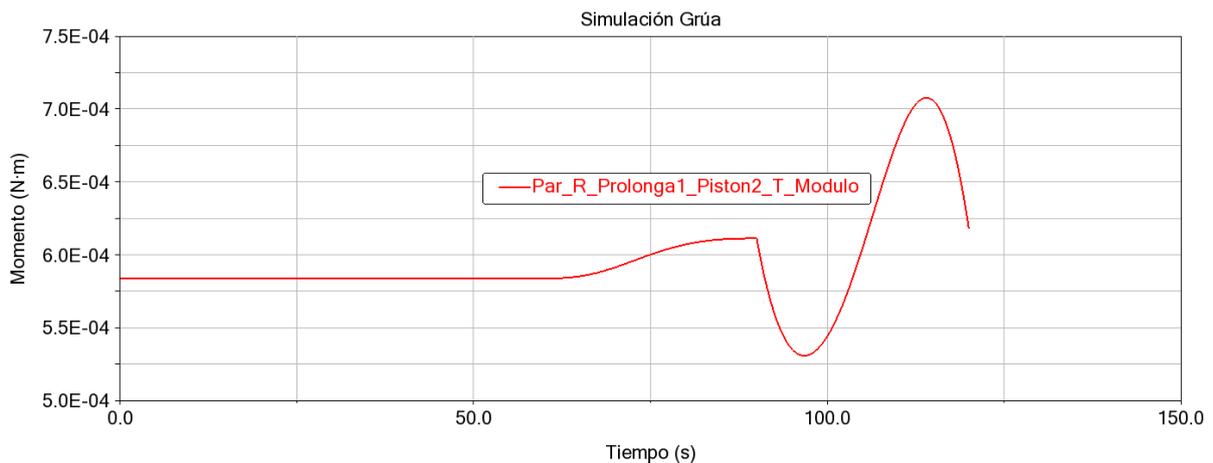


Figura 134. Módulo Torsor en el par de rotación entre la Prolonga 1 y la Prolonga 2.

- **Gancho – Fuerzas y momentos que se producen en el punto de gancho en el que se sitúa el par de rotación entre el gancho y la prolonga 3.**

# MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES

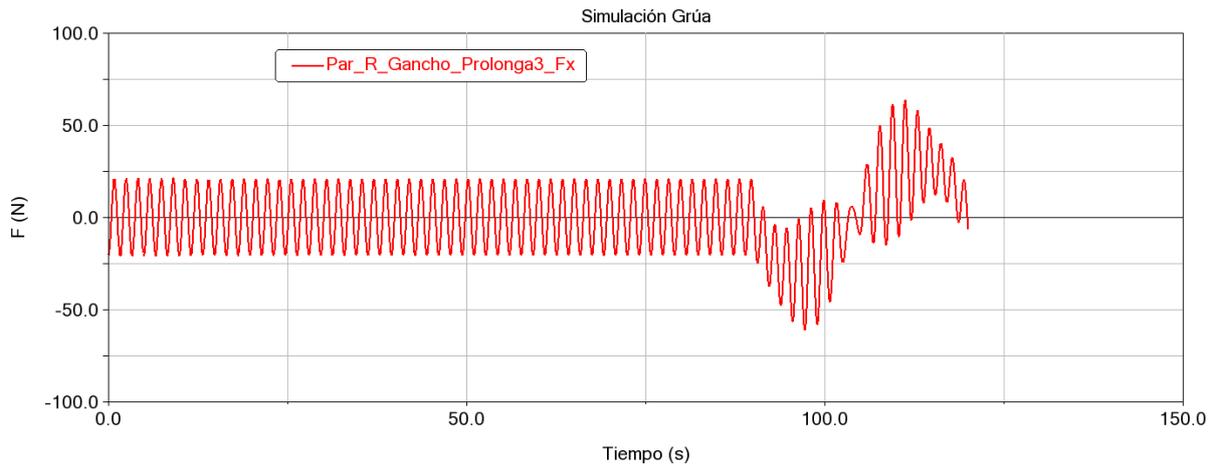


Figura 135. Fuerza X en el par de rotación entre el Gancho y la Prolonga 3.

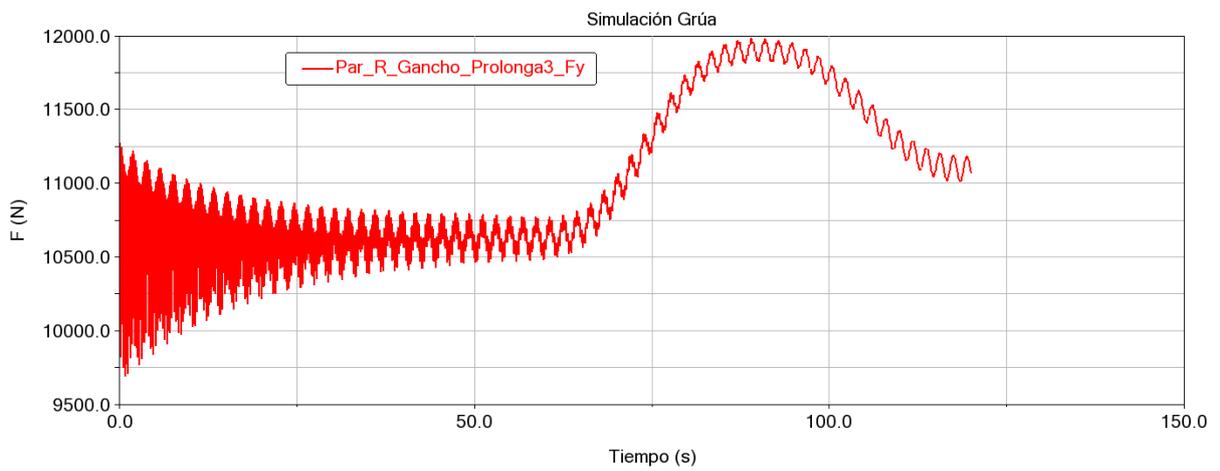


Figura 136. Fuerza Y en el par de rotación entre el Gancho y la Prolonga 3.

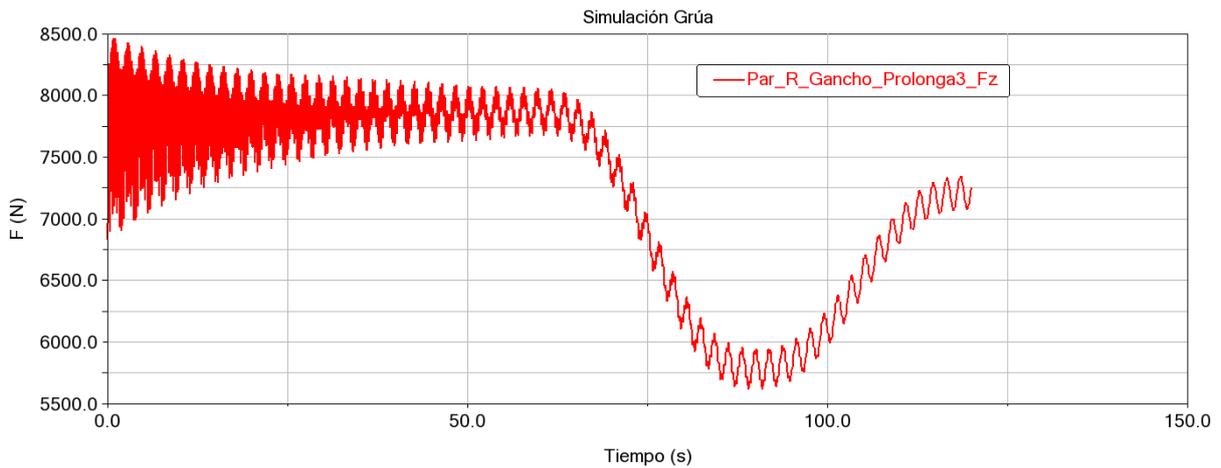


Figura 137. Fuerza Z en el par de rotación entre el Gancho y la Prolonga 3.

# TRABAJO DE FIN DE GRADO

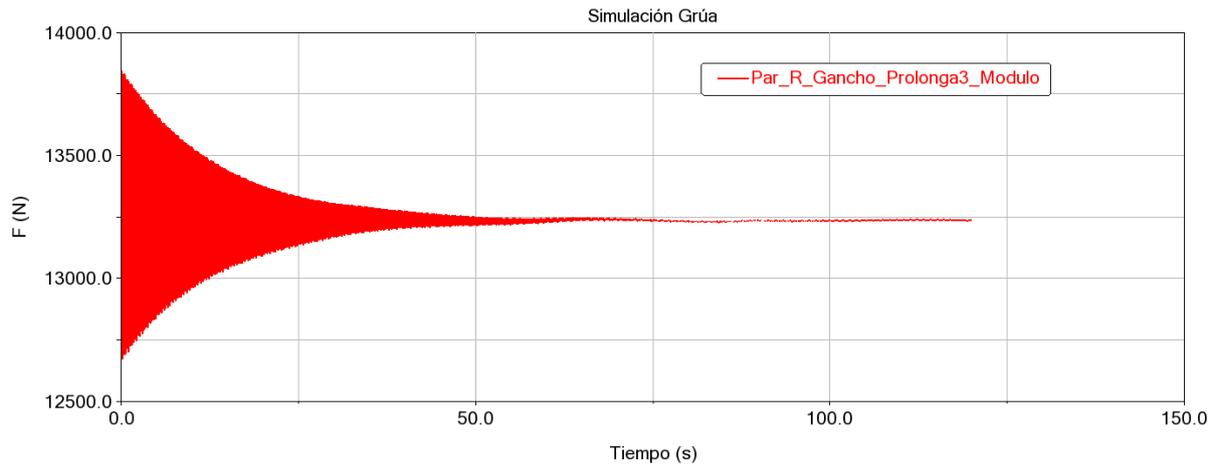


Figura 138. Módulo Fuerza en el par de rotación entre el Gancho y la Prolonga 3.

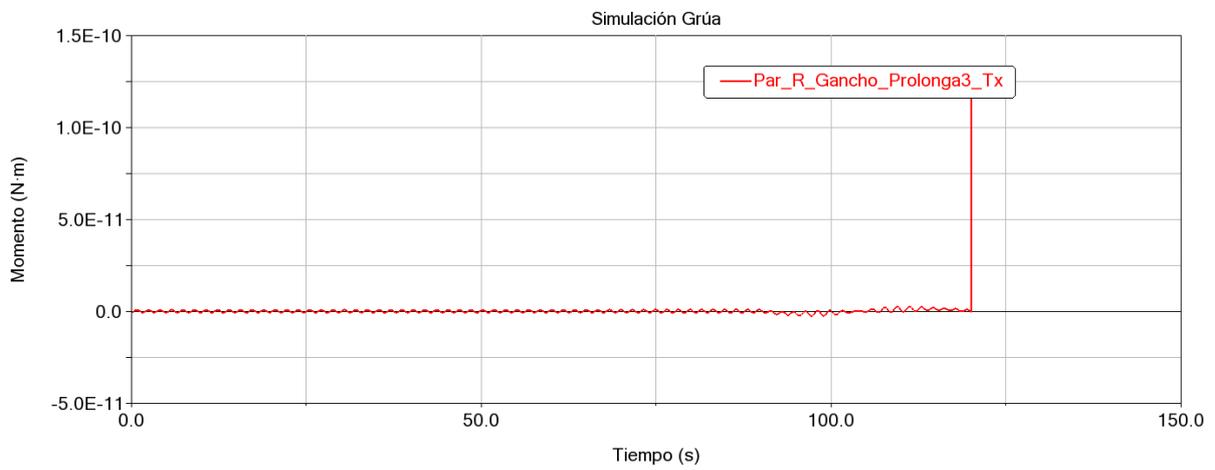


Figura 139. Torsor X en el par de rotación entre el Gancho y la Prolonga 3.

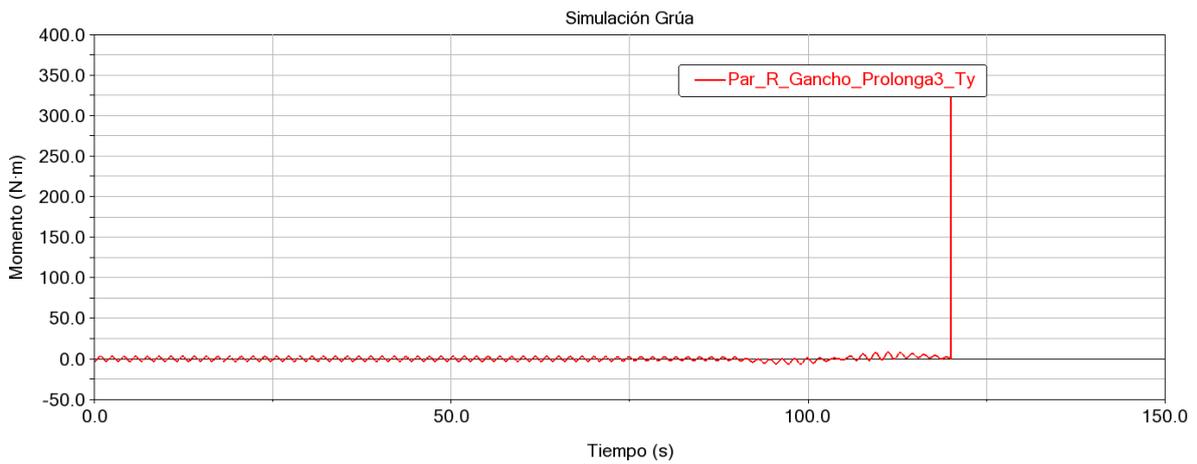


Figura 140. Torsor Y en el par de rotación entre el Gancho y la Prolonga 3.

## MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES

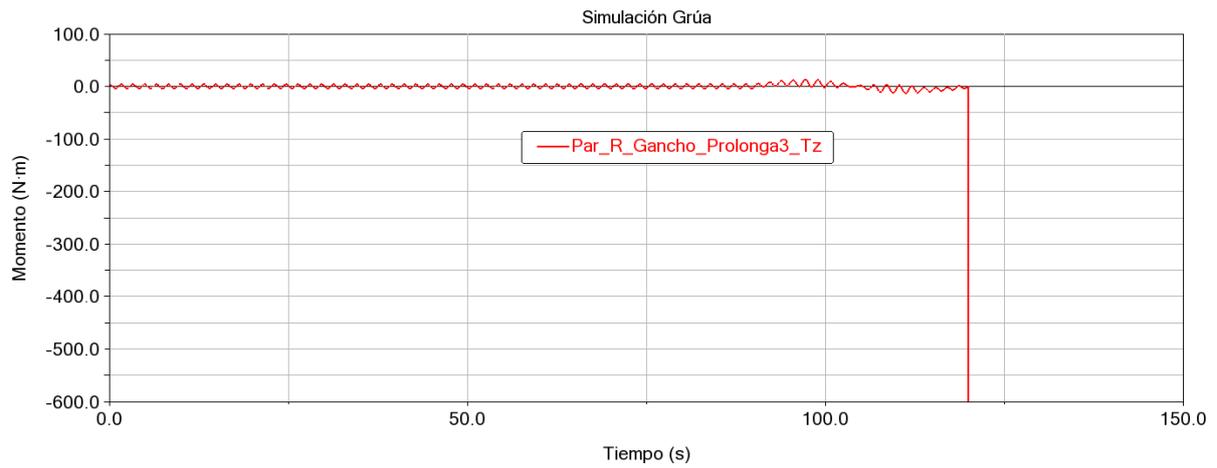


Figura 141. Torsor Z en el par de rotación entre el Gancho y la Prolonga 3.

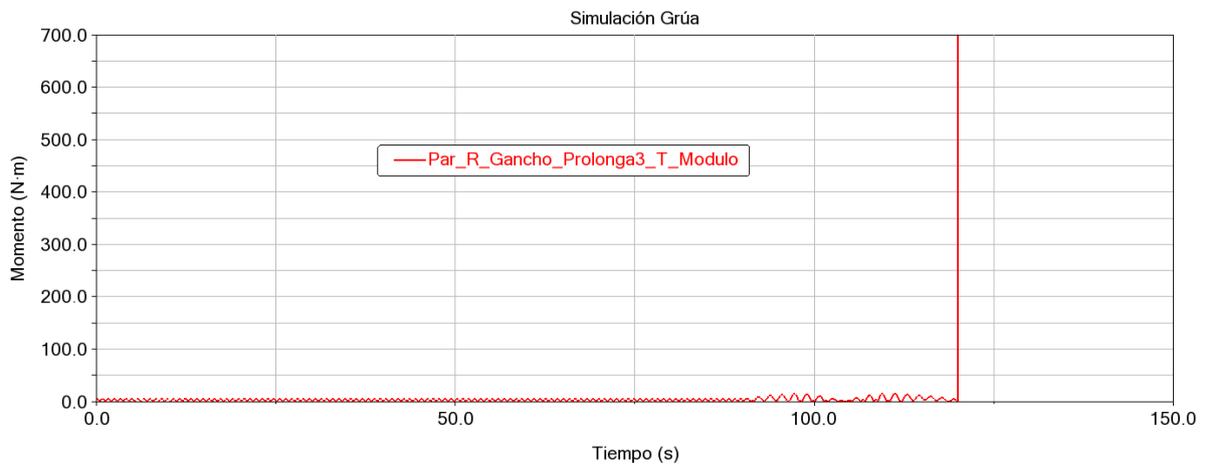


Figura 142. Módulo Torsor en el par de rotación entre el Gancho y la Prolonga 3.

- **Gancho – Fuerzas que actúan en el gancho debido al par esférico que se sitúa entre este y la caja de cobre.**

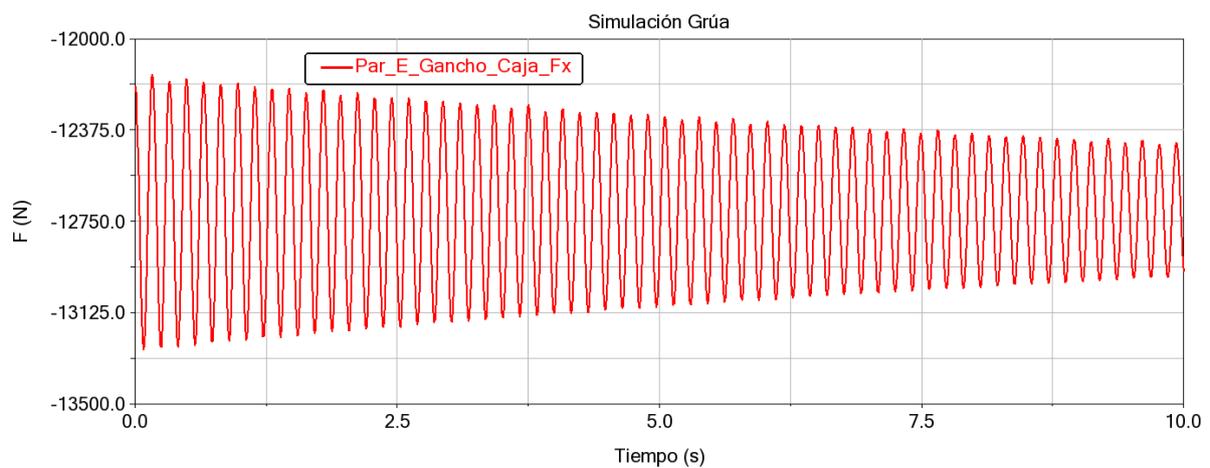


Figura 143. Fuerza X en el par esférico entre el Gancho y la Caja de cobre.

# TRABAJO DE FIN DE GRADO

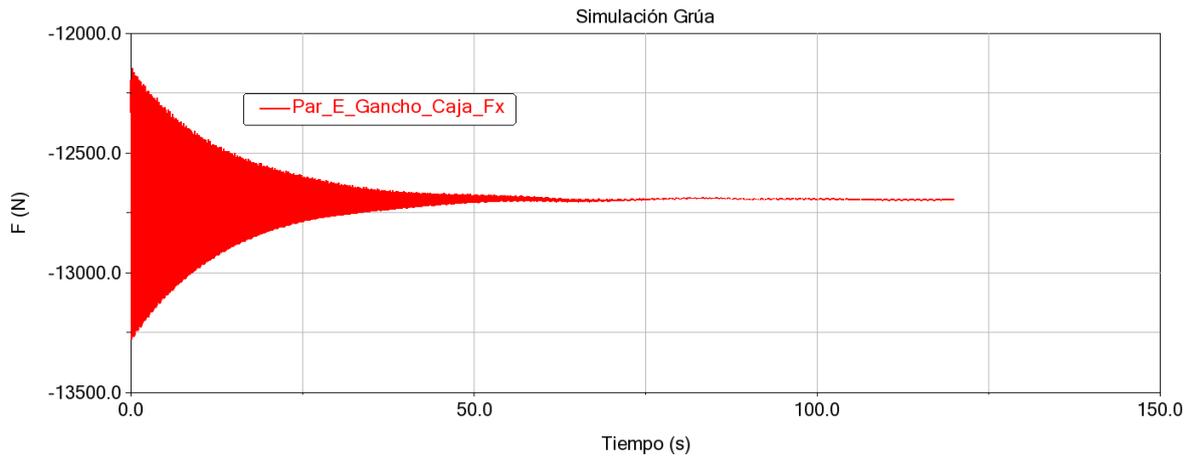


Figura 144. Fuerza X en el par esférico entre el Gancho y la Caja de cobre.

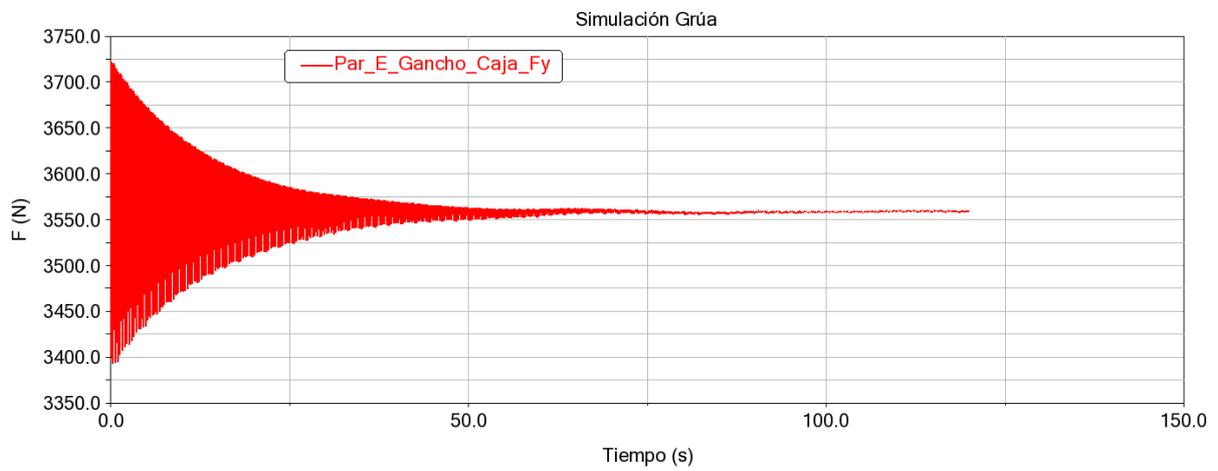


Figura 145. Fuerza Y en el par esférico entre el Gancho y la Caja de cobre.

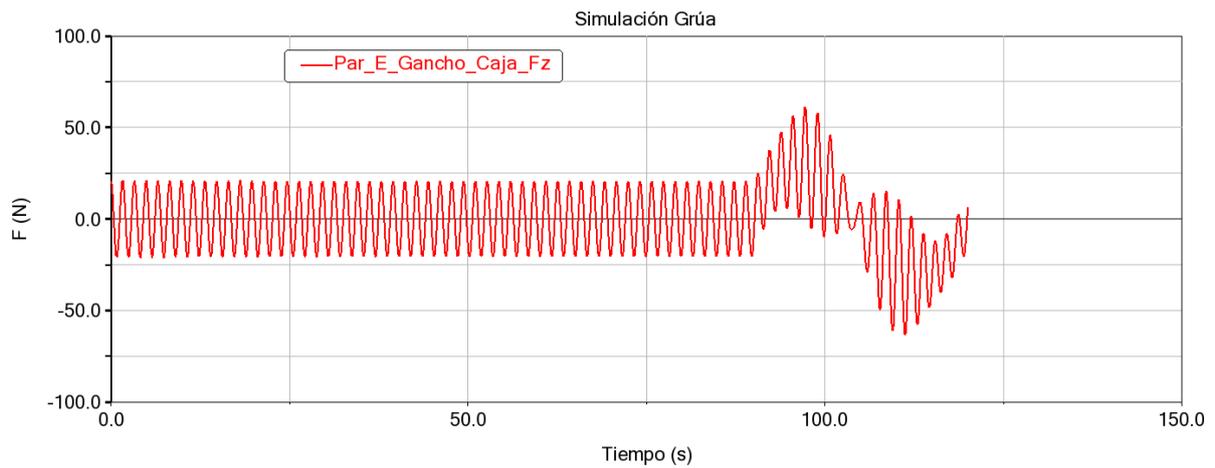


Figura 146. Fuerza Z en el par esférico entre el Gancho y la Caja de cobre.

# MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES

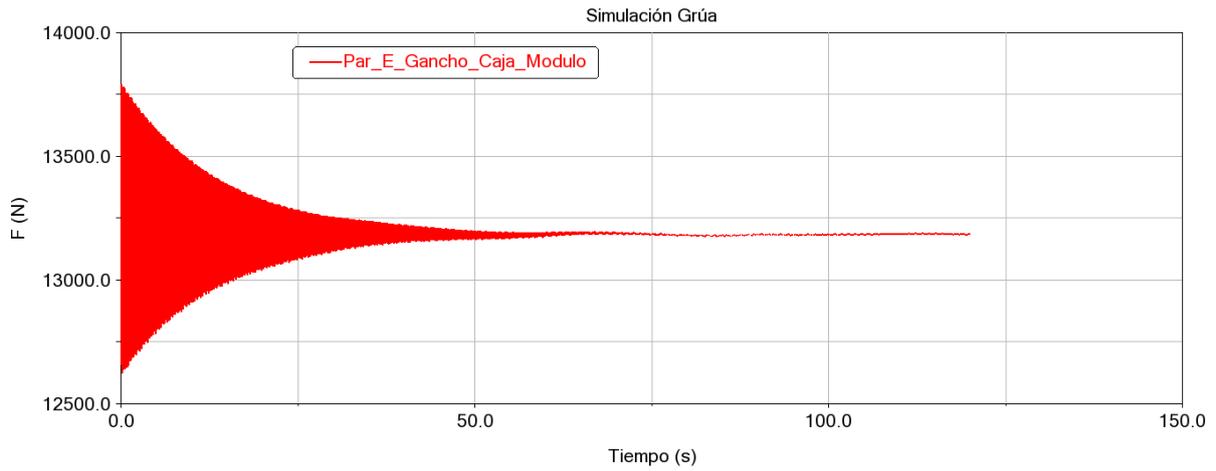


Figura 147. Fuerza Z en el par esférico entre el Gancho y la Caja de cobre.

- **Prolonga 2 – Fuerzas y momentos que se producen en la prolonga 2, debido al par prismático existente entre la prolonga 2 y la prolonga 1.**

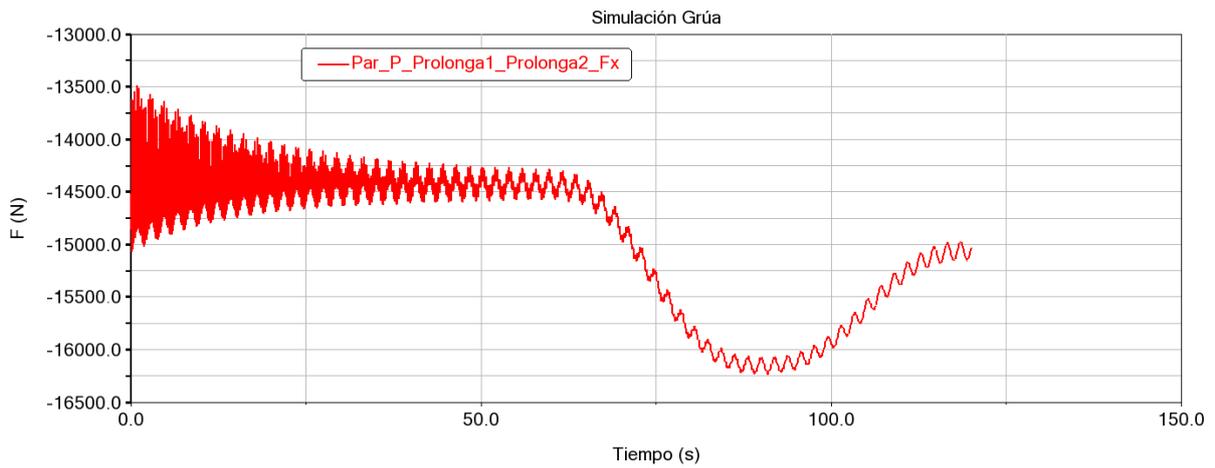


Figura 148. Fuerza X en el par prismático entre la Prolonga 1 y la Prolonga 2.

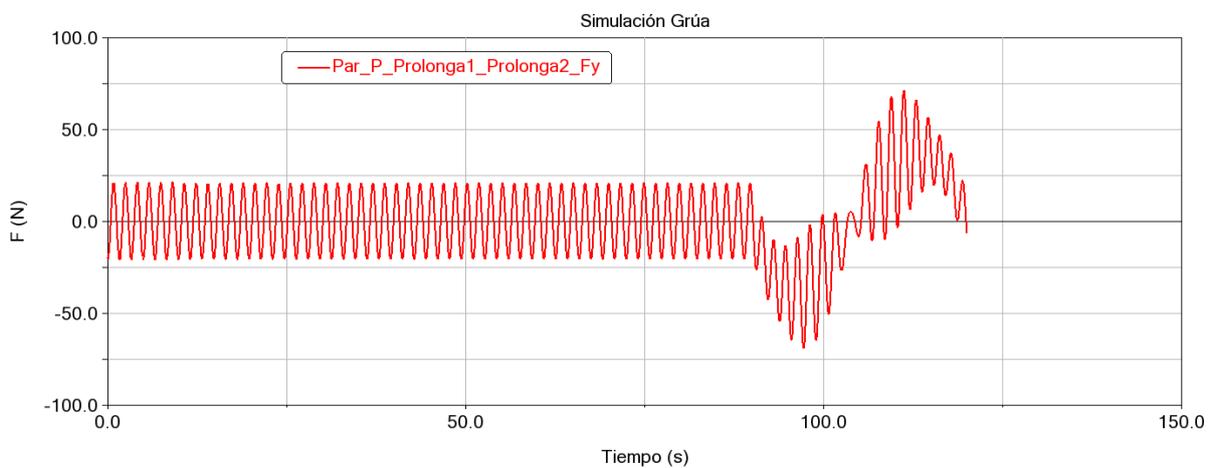


Figura 149. Fuerza Y en el par prismático entre la Prolonga 1 y la Prolonga 2.

# TRABAJO DE FIN DE GRADO

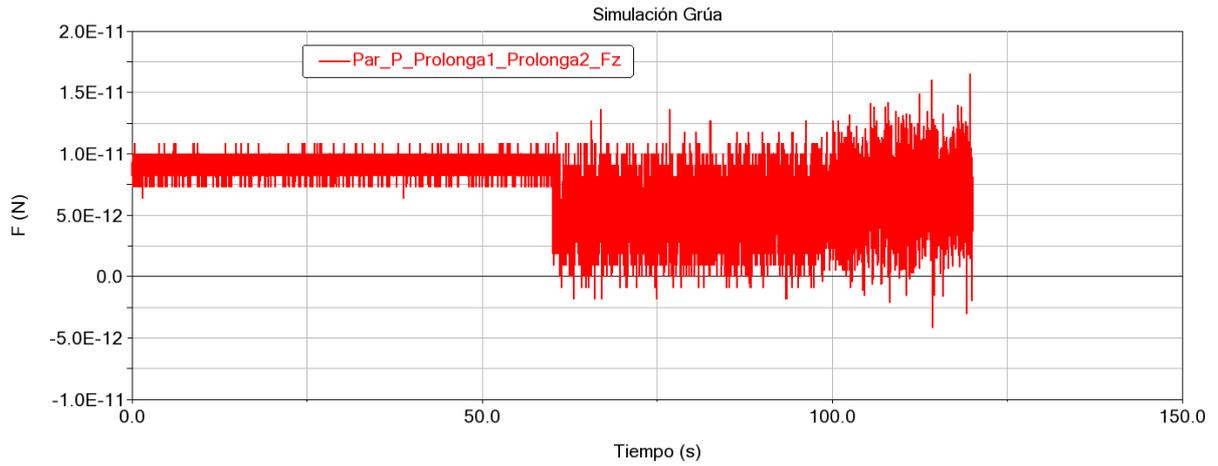


Figura 150. Fuerza Z en el par prismático entre la Prolonga 1 y la Prolonga 2.

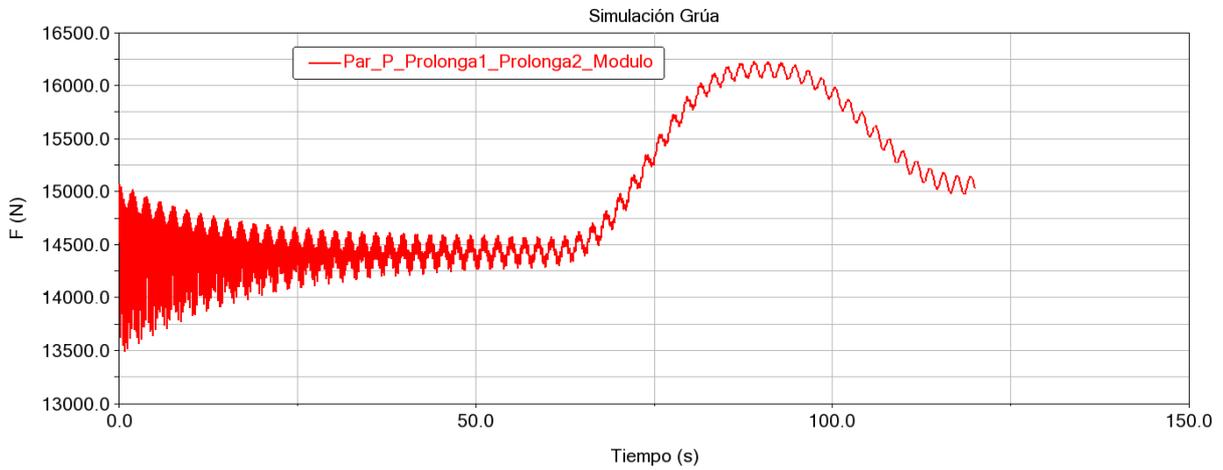


Figura 151. Módulo Fuerza en el par prismático entre la Prolonga 1 y la Prolonga 2.

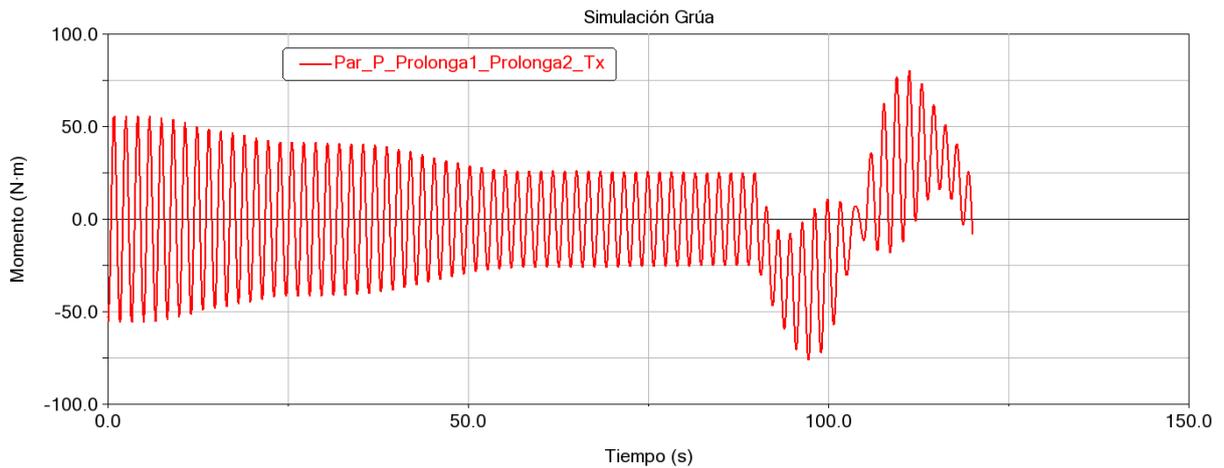


Figura 152. Torsor X en el par prismático entre la Prolonga 1 y la Prolonga 2.

## MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES

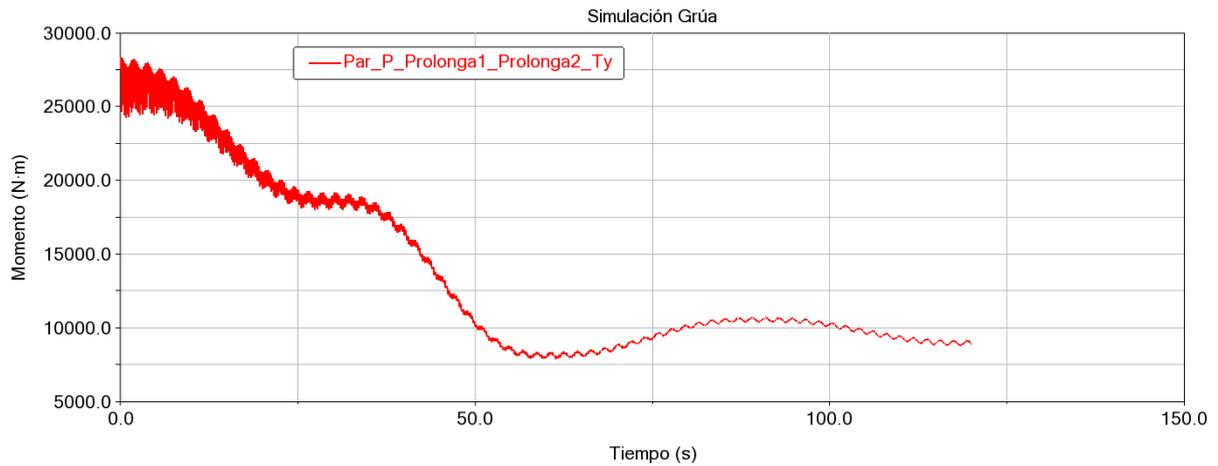


Figura 153. Torsor Y en el par prismático entre la Prolonga 1 y la Prolonga 2.

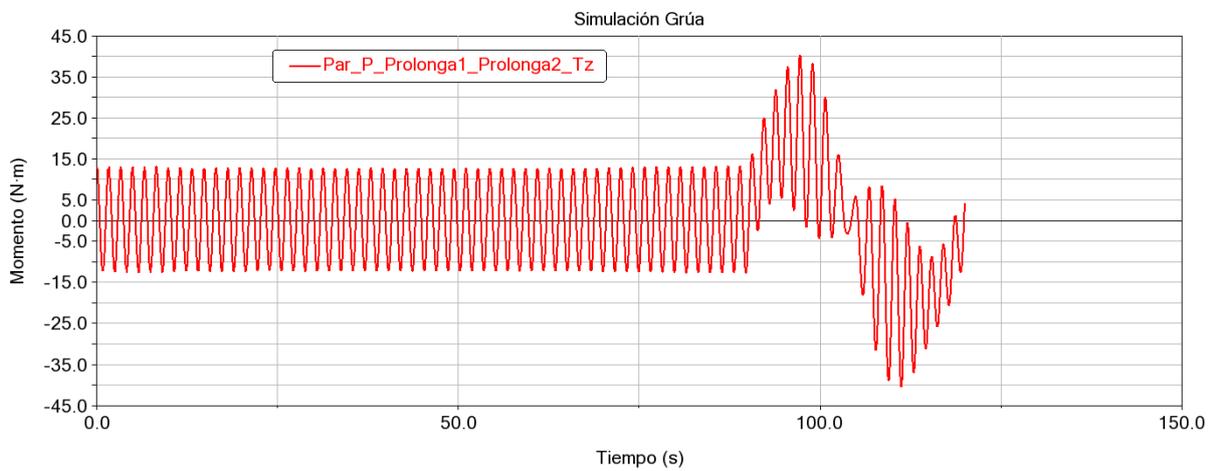


Figura 154. Torsor Z en el par prismático entre la Prolonga 1 y la Prolonga 2.

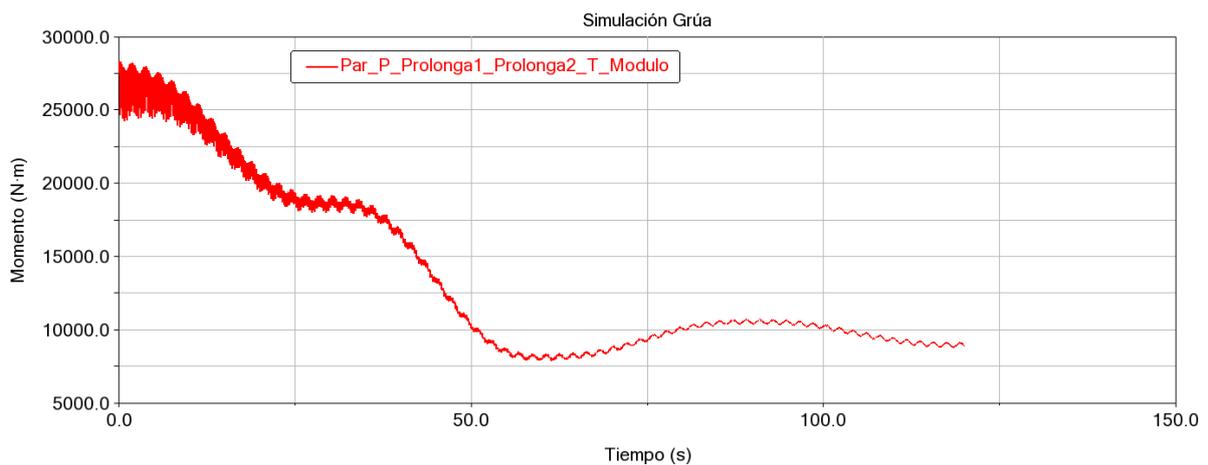


Figura 155. Módulo Torsor en el par prismático entre la Prolonga 1 y la Prolonga 2.

- **Prolonga 3 – Fuerzas y momentos que se producen sobre el punto de la prolonga 3 en el que se sitúa el par prismático entre esta y la prolonga 2.**

# TRABAJO DE FIN DE GRADO

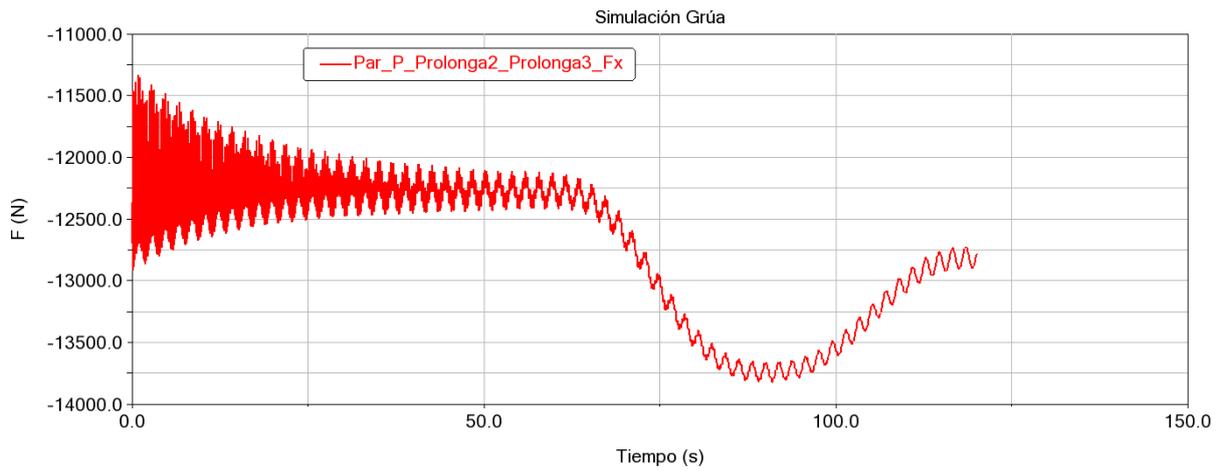


Figura 156. Fuerza X en el par prismático entre la Prolonga 2 y la Prolonga 3.

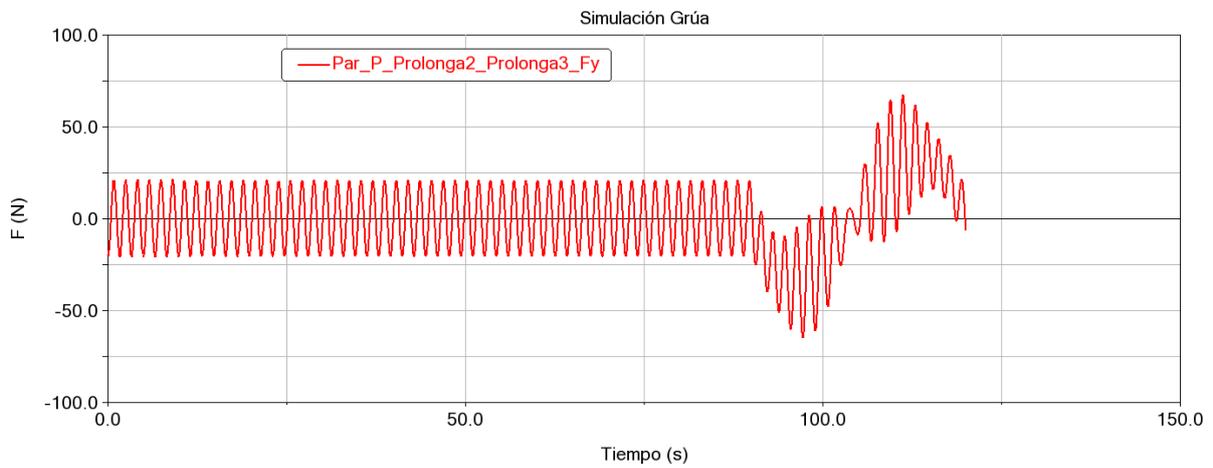


Figura 157. Fuerza Y en el par prismático entre la Prolonga 2 y la Prolonga 3.

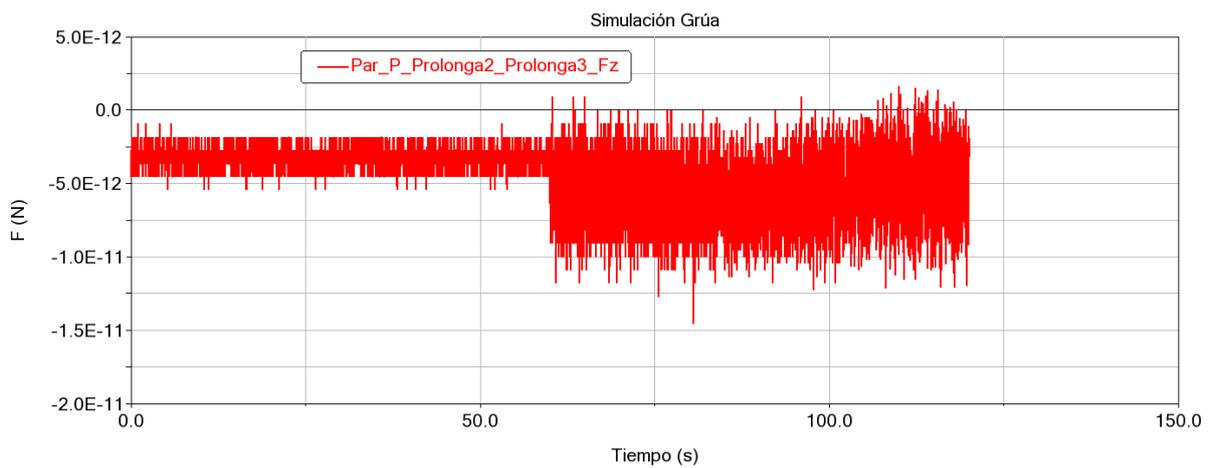


Figura 158. Fuerza Z en el par prismático entre la Prolonga 2 y la Prolonga 3.

# MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES

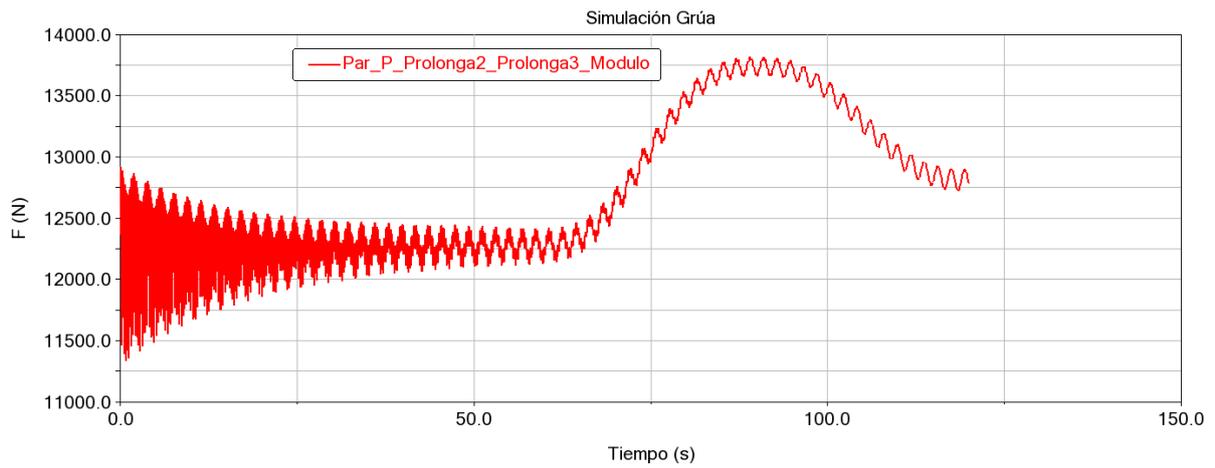


Figura 159. Módulo Fuerza en el par prismático entre la Prolonga 2 y la Prolonga 3.

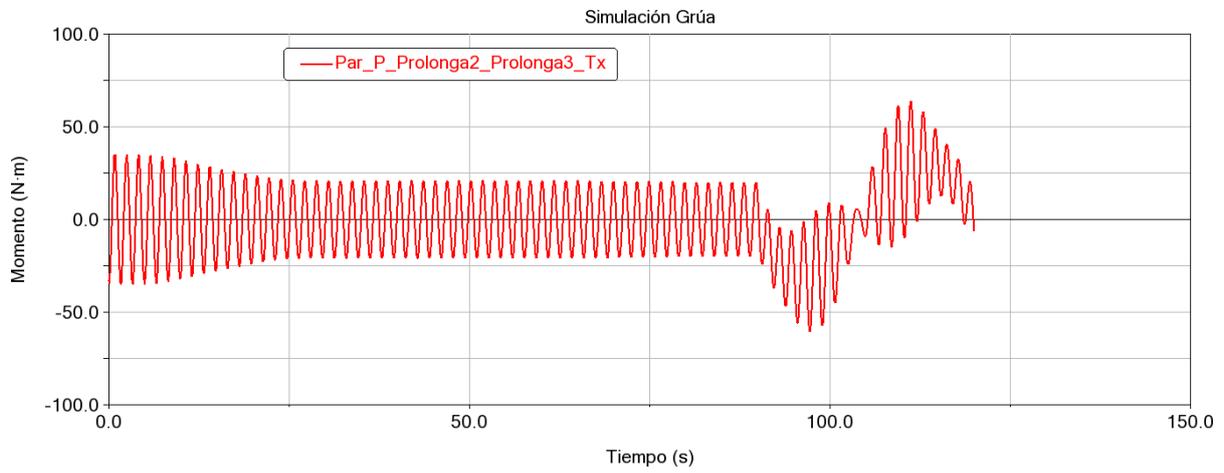


Figura 160. Torsor X en el par prismático entre la Prolonga 2 y la Prolonga 3.

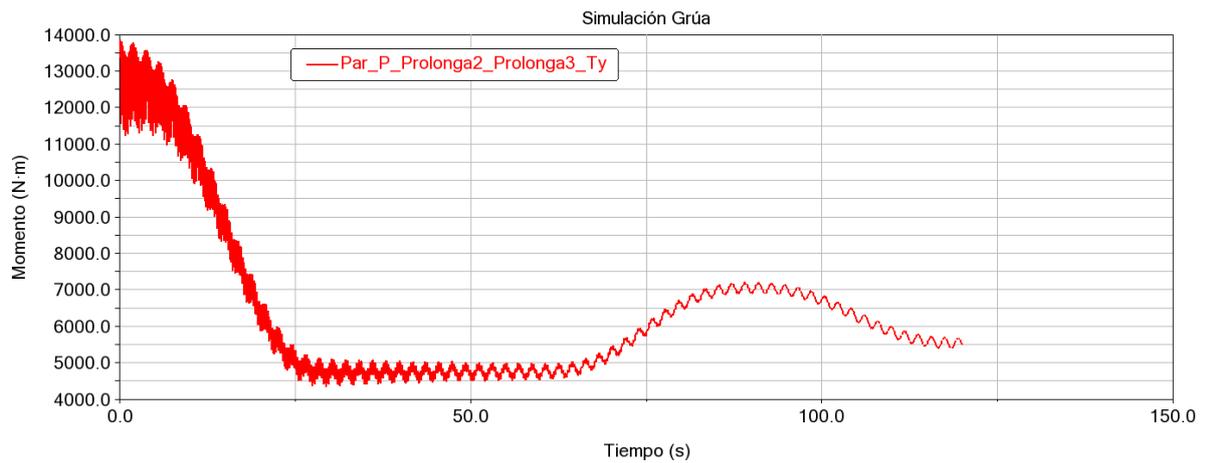


Figura 161. Torsor Y en el par prismático entre la Prolonga 2 y la Prolonga 3.

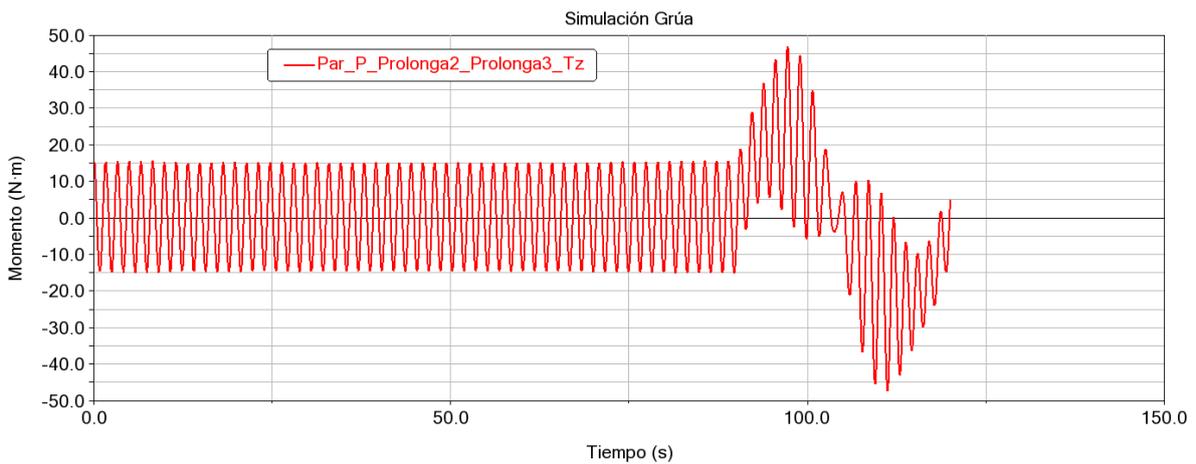


Figura 162. Torsor Z en el par prismático entre la Prolonga 2 y la Prolonga 3.

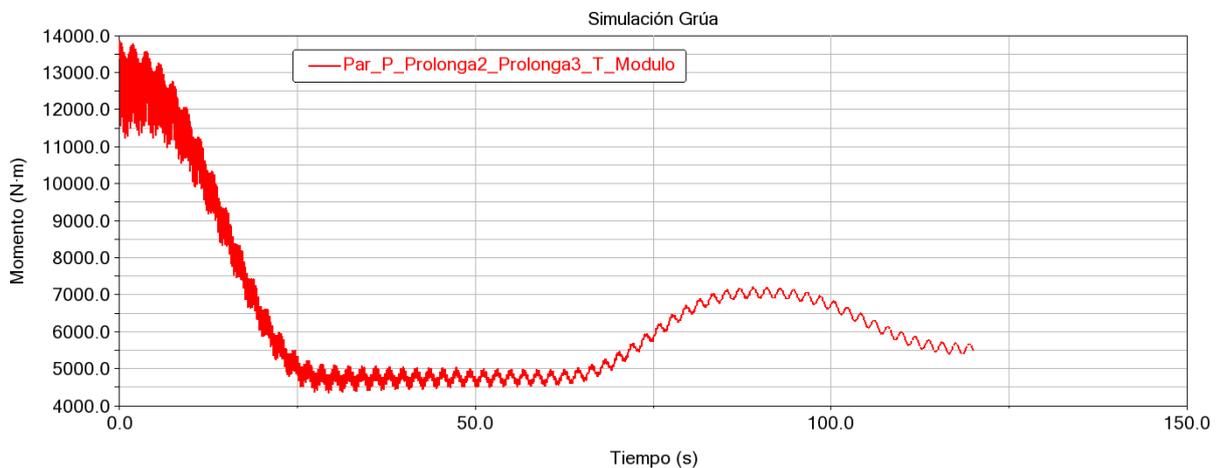


Figura 163. Módulo Torsor en el par prismático entre la Prolonga 2 y la Prolonga 3.

### 8.6 Conclusiones de los resultados.

Los resultados que se han obtenido después del postprocesador son realistas y coherentes. Los valores obtenidos de fuerzas y momentos están comprendidos entre valores congruentes. Cabe destacar que las oscilaciones que se presentan en la mayoría de las gráficas son debidas al movimiento de la carga que está conectada al gancho mediante un par esférico. Estas oscilaciones son realistas, pues se darían de igual manera en una simulación en el mundo real. A partir de la obtención de estos resultados de fuerzas, se podrían obtener las tensiones y deformaciones en los puntos de la pieza para poder realizar un análisis por elementos finitos, con la finalidad de saber si la pieza soportaría la carga o no. Aunque esto no forma parte del estudio en este trabajo de fin de grado.

## 9. MODELO MATEMÁTICO.

Las soluciones mediante ecuaciones que se van a proporcionar a continuación no forman parte de la teoría vista durante el grado de Ingeniería Mecánica. Será pues, ampliación de conocimientos de Teoría de máquinas y mecanismos, así como de Dinámica de sistemas multicuerpo. De este modo, se dará una aproximación teórica al modelo matemático.

Las principales ecuaciones que se van a definir son las de posición, velocidad y aceleración. Para modelizar las ecuaciones, se usará la teoría de lazos, que relaciona las posiciones mediante las coordenadas de Lagrange. Dichas coordenadas nos permiten obtener un modelo matemático del mecanismo o del sistema de estudio; un sistema de ecuaciones que modeliza al mecanismo. Las coordenadas se dividen en dos tipos: independientes ( $q_i$ ), que hay un número igual al número de grados de libertad del mecanismo; y dependientes ( $s_j$ ), que completan la situación de todas las barras del mecanismo en cuestión.

Para relacionar dichas coordenadas entre sí, se hará uso de las ecuaciones de restricción, que se obtienen a partir de la definición de lazos vectoriales asociados a las barras y pares cinemáticos del mecanismo. Este método permite relacionar los vectores que miden la distancia entre los pares de revolución y los prismáticos o cilíndricos, con los ángulos que forman las barras con el mecanismo. Esto nos permite resolver el problema de posición y obtener la información de la posición de un punto cualquiera del mecanismo.

Ahora, se definen los lazos que hay en el sistema, junto con los vectores que se dan en cada uno de ellos:

9.1 Lazo 1.

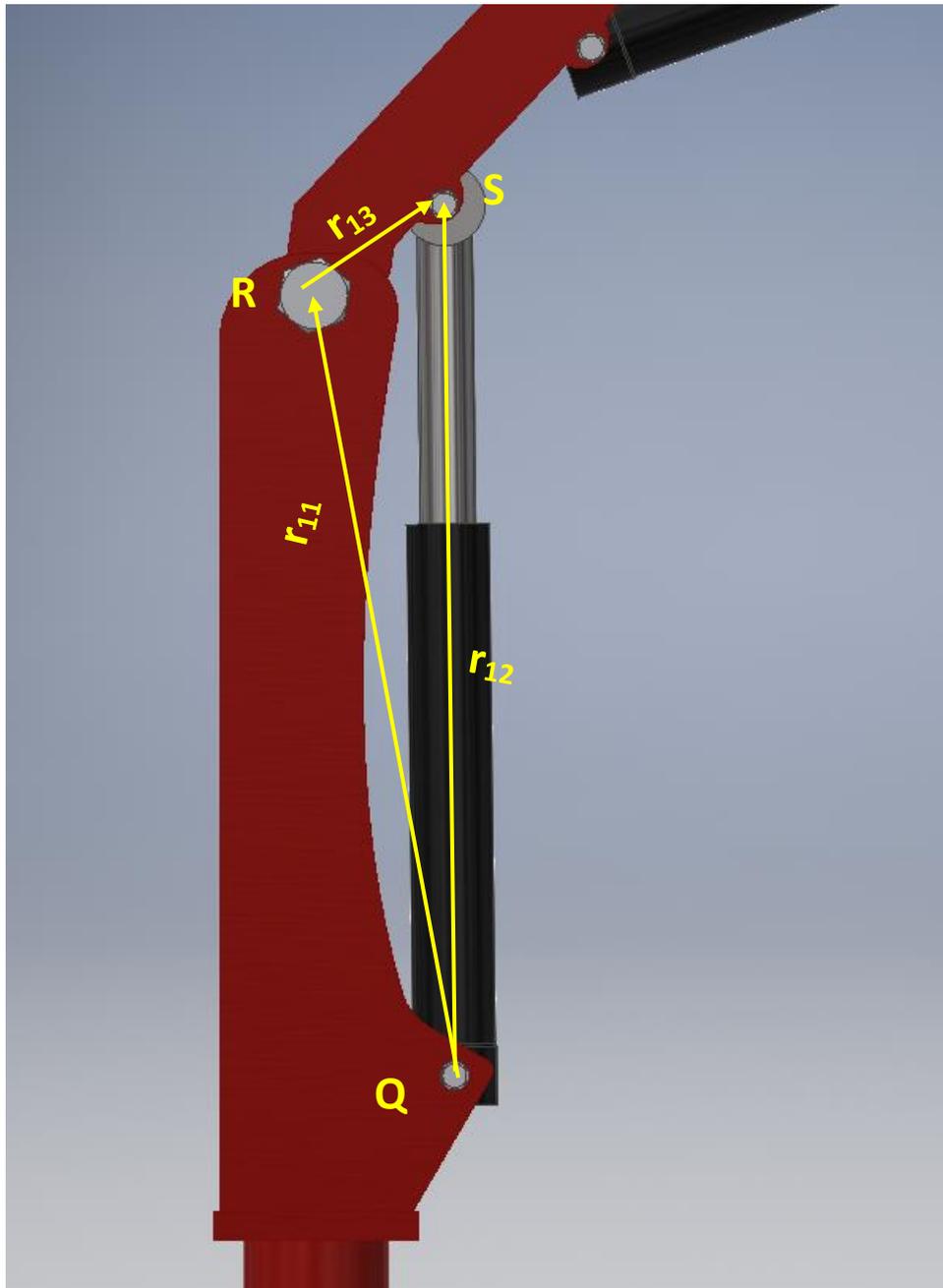


Figura 164. Lazo 1 con vectores.

VECTOR	INICIO	FIN	MÓDULO	ORIENTACIÓN
$r_{11}$	Q	R	Constante	Variable
$r_{12}$	Q	S	Variable	Variable
$r_{12}$	R	S	Constante	Variable

Tabla 3. Vectores Lazo 1.

○ **Posición:**

La ecuación de lazo vectorial que determina la posición de los vectores, o de restricción inicial es:

$$\vec{r}_{12} = \vec{r}_{11} + \vec{r}_{13}$$

Dónde:

$$\vec{r}_{11} = r_{11} \cdot \cos(\theta_{11}) \vec{i} + r_{11} \cdot \sin(\theta_{11}) \vec{j} \rightarrow \vec{r}_{11} = r_{11} \cdot \cos(\theta_{11}) \vec{i} + r_{11} \cdot \sin(\theta_{11}) \vec{j}$$

$$\vec{r}_{12} = r_{12} \cdot \cos(\theta_{12}) \vec{i} + r_{12} \cdot \sin(\theta_{12}) \vec{j} \rightarrow \vec{r}_{12} = q_1 \cdot \cos(s_1) \vec{i} + q_1 \cdot \sin(s_1) \vec{j}$$

$$\vec{r}_{13} = r_{13} \cdot \cos(\theta_{13}) \vec{i} + r_{13} \cdot \sin(\theta_{13}) \vec{j} \rightarrow \vec{r}_{13} = r_{13} \cdot \cos(s_2) \vec{i} + r_{13} \cdot \sin(s_2) \vec{j}$$

Se sustituye el que debería ser el  $s_{12}$  por  $s_1$ ; y  $s_{13}$  por el  $s_2$ . Además,  $q_{12}$  se escribirá en adelante como  $q_1$ .

Sustituyendo en la ecuación vectorial de restricción inicial:

$$x) q_1 \cdot \cos(s_1) - r_{11} \cdot \cos(\theta_{11}) - r_{13} \cdot \cos(s_2) = 0$$

$$y) q_1 \cdot \sin(s_1) - r_{11} \cdot \sin(\theta_{11}) - r_{13} \cdot \sin(s_2) = 0$$

○ **Velocidad:**

$$x) \dot{q}_1 \cdot \cos(s_1) - q_1 \cdot \sin(s_1) \cdot \dot{s}_1 + r_{13} \cdot \sin(s_2) \cdot \dot{s}_2 = 0$$

$$y) \dot{q}_1 \cdot \sin(s_1) + q_1 \cdot \cos(s_1) \cdot \dot{s}_1 - r_{13} \cdot \cos(s_2) \cdot \dot{s}_2 = 0$$

○ **Aceleración:**

$$x) \ddot{q}_1 \cdot \cos(s_1) - 2 \cdot \dot{q}_1 \cdot \sin(s_1) \cdot \dot{s}_1 - q_1 \cdot \cos(s_1) \cdot (\dot{s}_1)^2 - q_1 \cdot \sin(s_1) \cdot \ddot{s}_1 + r_{13} \cdot \cos(s_2) \cdot (\dot{s}_2)^2 + r_{13} \cdot \sin(s_2) \cdot \ddot{s}_2 = 0$$

$$y) \ddot{q}_1 \cdot \sin(s_1) + 2 \cdot \dot{q}_1 \cdot \cos(s_1) \cdot \dot{s}_1 - q_1 \cdot \sin(s_1) \cdot (\dot{s}_1)^2 + q_1 \cdot \cos(s_1) \cdot \ddot{s}_1 + r_{13} \cdot \sin(s_2) \cdot (\dot{s}_2)^2 + r_{13} \cdot \cos(s_2) \cdot \ddot{s}_2 = 0$$

9.2 Lazo 2.

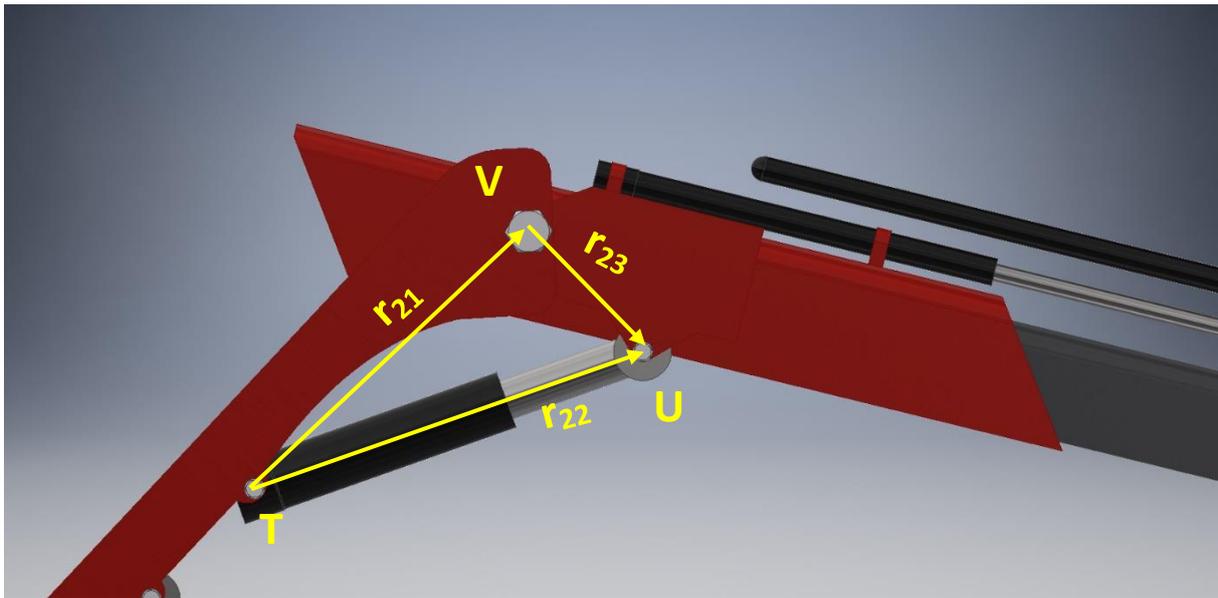


Figura 165. Lazo 2 con vectores.

VECTOR	INICIO	FIN	MÓDULO	ORIENTACIÓN
r <sub>21</sub>	T	V	Constante	Variable
r <sub>22</sub>	T	U	Variable	Variable
r <sub>23</sub>	V	U	Constante	Variable

Tabla 4. Vectores Lazo 2.

○ **Posición:**

La ecuación de lazo vectorial que determina la posición de los vectores, o de restricción inicial es:

$$\vec{r}_{22} = \vec{r}_{21} + \vec{r}_{23}$$

Dónde:

$$\vec{r}_{21} = r_{21} \cdot \cos(\theta_{21}) \vec{i} + r_{21} \cdot \sin(\theta_{21}) \vec{j} \rightarrow \vec{r}_{21} = r_{21} \cdot \cos(\theta_{21}) \vec{i} + r_{21} \cdot \sin(\theta_{21}) \vec{j}$$

$$\vec{r}_{22} = r_{22} \cdot \cos(\theta_{22}) \vec{i} + r_{22} \cdot \sin(\theta_{22}) \vec{j} \rightarrow \vec{r}_{22} = q_3 \cdot \cos(s_3) \vec{i} + q_3 \cdot \sin(s_3) \vec{j}$$

$$\vec{r}_{23} = r_{23} \cdot \cos(\theta_{23}) \vec{i} + r_{23} \cdot \sin(\theta_{23}) \vec{j} \rightarrow \vec{r}_{23} = r_{23} \cdot \cos(s_4) \vec{i} + r_{23} \cdot \sin(s_4) \vec{j}$$

Se sustituye el que debería ser el s<sub>22</sub> por s<sub>3</sub>; y s<sub>23</sub> por el s<sub>4</sub>. Además, q<sub>22</sub> se escribirá en adelante como q<sub>3</sub>.

Sustituyendo en la ecuación vectorial de restricción inicial:

$$x) q_3 \cdot \cos(s_1) - r_{21} \cdot \cos(\theta_{21}) - r_{23} \cdot \cos(s_4) = 0$$

$$y) q_3 \cdot \sin(s_1) - r_{21} \cdot \sin(\theta_{21}) - r_{23} \cdot \sin(s_4) = 0$$

○ **Velocidad:**

$$x) \dot{q}_3 \cdot \cos(s_3) - q_3 \cdot \sin(s_3) \cdot \dot{s}_3 + r_{23} \cdot \sin(s_4) \cdot \dot{s}_4 = 0$$

$$y) \dot{q}_3 \cdot \sin(s_3) + q_3 \cdot \cos(s_3) \cdot \dot{s}_3 - r_{23} \cdot \cos(s_4) \cdot \dot{s}_4 = 0$$

○ **Aceleración:**

$$x) \ddot{q}_3 \cdot \cos(s_3) - 2 \cdot \dot{q}_3 \cdot \sin(s_3) \cdot \dot{s}_3 - q_3 \cdot \cos(s_3) \cdot (\dot{s}_3)^2 - q_3 \cdot \sin(s_3) \cdot \ddot{s}_3 + r_{23} \cdot \cos(s_4) \cdot (\dot{s}_4)^2 + r_{23} \cdot \sin(s_4) \cdot \ddot{s}_4 = 0$$

$$y) \ddot{q}_3 \cdot \sin(s_3) + 2 \cdot \dot{q}_3 \cdot \cos(s_3) \cdot \dot{s}_3 - q_3 \cdot \sin(s_3) \cdot (\dot{s}_3)^2 + q_3 \cdot \cos(s_3) \cdot \ddot{s}_3 + r_{23} \cdot \sin(s_4) \cdot (\dot{s}_4)^2 + r_{23} \cdot \cos(s_4) \cdot \ddot{s}_4 = 0$$

### 9.3 Pistón Telescopio 1.

Este mecanismo de un grado de libertad se trata de un vector con un rango de movimiento de valores comprendido entre [0, 500] mm. Cuya orientación viene dada por la coordenada  $\theta_{13}$ , presente en el lazo número 1.

### 9.4 Pistón Telescopio 2.

El mecanismo, con un grado de libertad, consiste en un vector con un rango de movimiento entre [0, 500] mm. Cuya orientación viene dada por la coordenada  $\theta_{23}$ , presente en el lazo número 2.

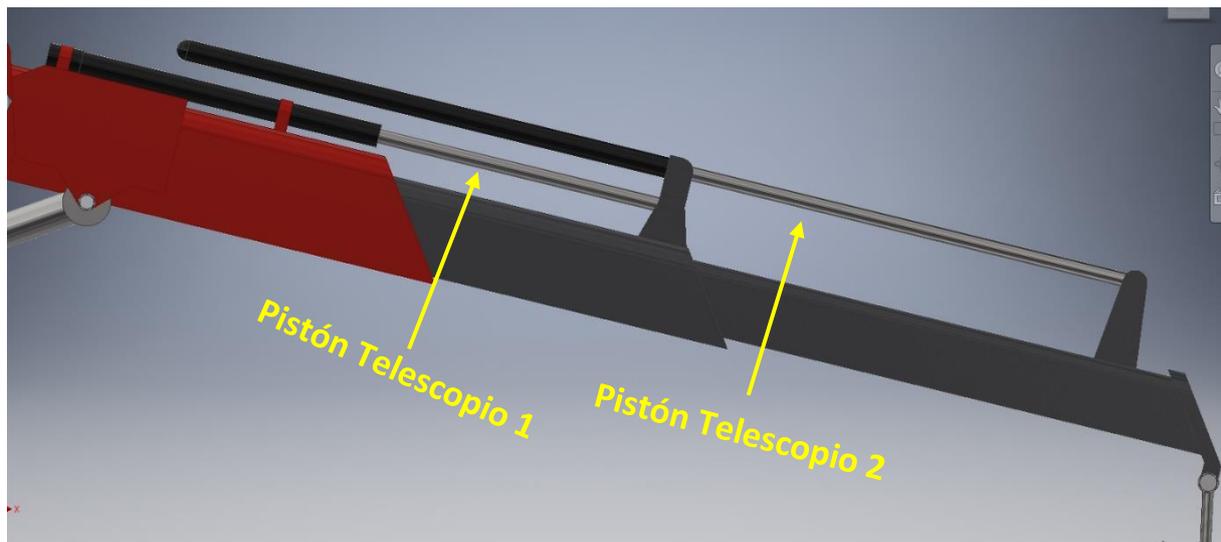


Figura 166. Pistones telescópicos 1 y 2.

## BIBLIOGRAFÍA

- VERSCHOOF, J. (1999). "Introduction" en *Cranes – Design, Practice and Maintenance*. Reino Unido: Professional Engineering Publishing Limited London and Bury St Edmunds.
- ROLDÁN VILORIA, J. (2019). *Máquinas y herramientas. Procesos y cálculos mecánicos*. Madrid: Paraninfo.
- BURGOS SÁNCHEZ, V. (2015). *Grúa Telescópica Autopropulsada*. Trabajo Fin de Grado.
- VIQUEIRA DÍAZ-ALEJO, N. (2018). *Modelado y simulación dinámica de una plataforma articulada autopropulsada*. Trabajo Fin de Grado.
- UNE. Normalización Española. Grúas. <<https://www.une.org/>> [Consulta: 22 de junio de 2019].
- AGENCIA ESTATAL, BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO. I DISPOSICIONES GENERALES GRÚA. <<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2003-14326>> [Consultado: 22 de junio de 2019].
- TECNUN, Laboratorio de Neumática y Oleohidráulica. Circuito hidráulico para cilindro de grúa. <[http://www4.tecnun.es/asignaturas/neumatica/Practica2\\_sol.pdf](http://www4.tecnun.es/asignaturas/neumatica/Practica2_sol.pdf)> [Consultado: 22 de junio de 2019].
- INGENIERO DE CAMINOS. Grúas. <<https://ingeniero-de-caminos.com/gruas/>> [Consulta: 22 de junio de 2019].
- Fraile Tecno. Principio de Pascal. Prensa hidráulica. <<https://sites.google.com/site/frailetecnocno/3-de-eso/hidr/el-principio-de-pascal/prensa-hidraulica>> [Consultado: 14 de agosto de 2019].
- Hilti. Sistemas de fijación. Anclaje mecánico. <<https://www.hilti.es/content/hilti/E2/ES/es/productos/productos/herramientas-electricas-profesionales/sistemas-fijacion/anclaje-mecanico.html>> [Consultado: 14 de agosto de 2019].
- Generador de precios. Placa de anclaje de acero con perno. <[http://www.generadordeprecios.info/obra\\_nueva/Estructuras/Acero/Pilares/EAS006\\_Placa\\_de\\_anclaje\\_de\\_acero\\_con\\_pern.html](http://www.generadordeprecios.info/obra_nueva/Estructuras/Acero/Pilares/EAS006_Placa_de_anclaje_de_acero_con_pern.html)> [Consultado: 14 de agosto de 2019].
- Micro-log. Accesorios. Tornillo, tuerca y arandela. <<https://www.micro-log.com/accesorios/1301-10-tornillo-tuerca-y-arandela.html>> [Consultado: 14 de agosto de 2019].
- Grúas y aparejos. Grúas antiguas. <<https://www.gruasyaparejos.com/gruas-de-construccion/gruas-antiguas/>> [Consultado: 20 de agosto de 2019].
- Model Motor. Grúa torre. <<https://www.modelmotor.es/Liebherr-112-EC-H-Gr%C3%BAa-Torre%2C-Conrad-Modelle-escala-187-a03~2024~06.html>> [Consultado: 20 de agosto de 2019].
- WH Crane. Container quay crane. <<https://whcrane.en.made-in-china.com/product/FqvJaVzZETYO/China-Ship-to-Shore-Container-Crane-quay-crane-sts-.html>> [Consultado: 20 de agosto de 2019].
- Crane Market. Automatic stacking cranes. <<https://cranemarket.com/blog/e200m-plus-order-for-86-konecranes-automatic-stacking-cranes-approved-by-virginia-port-authority/>> [Consultado: 20 de agosto de 2019].

## MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES

Clavo Engineering. Level luffing crane. <<http://clavonengineering.com/heavy-lifting-equipment/level-luffing-crane/>> [Consultado: 20 de agosto de 2019].

Mike Cash. Floating derrick. <<https://mikecash.aminus3.com/image/2009-09-21.html>> [Consultado: 20 de agosto de 2019].

Fassi. Grúa hidráulica articulada. <<https://www.fassi.com/es/>> [Consultado: 20 de agosto de 2019].

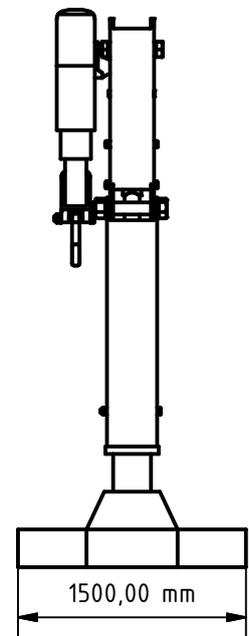
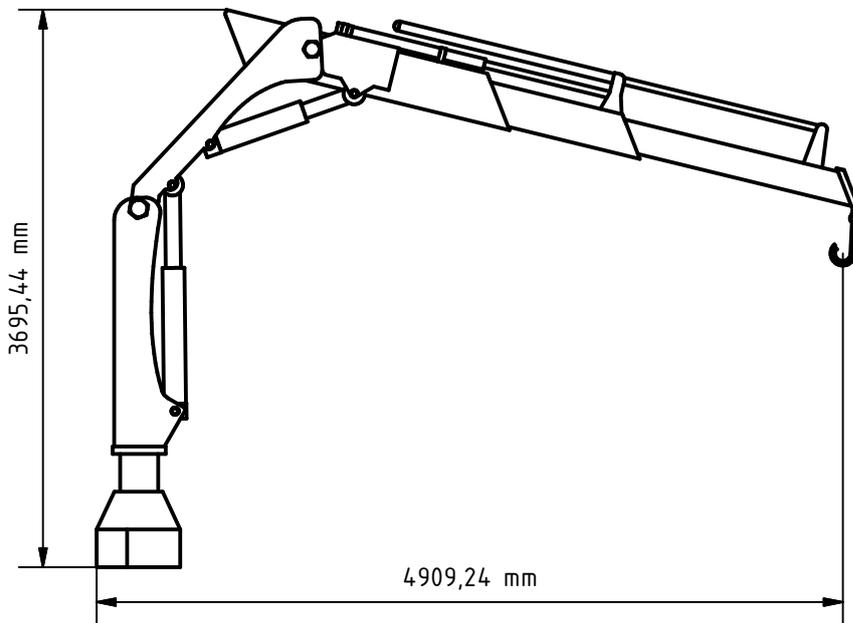
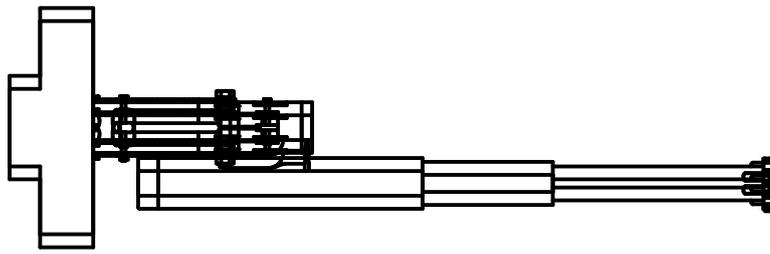
Esteban. Grabcad – Camión con hidrogrúa. <<https://grabcad.com/library/camion-con-hidrogrua-truck-1>> [Consultado: 22 de agosto de 2019].

DOCUMENTO II

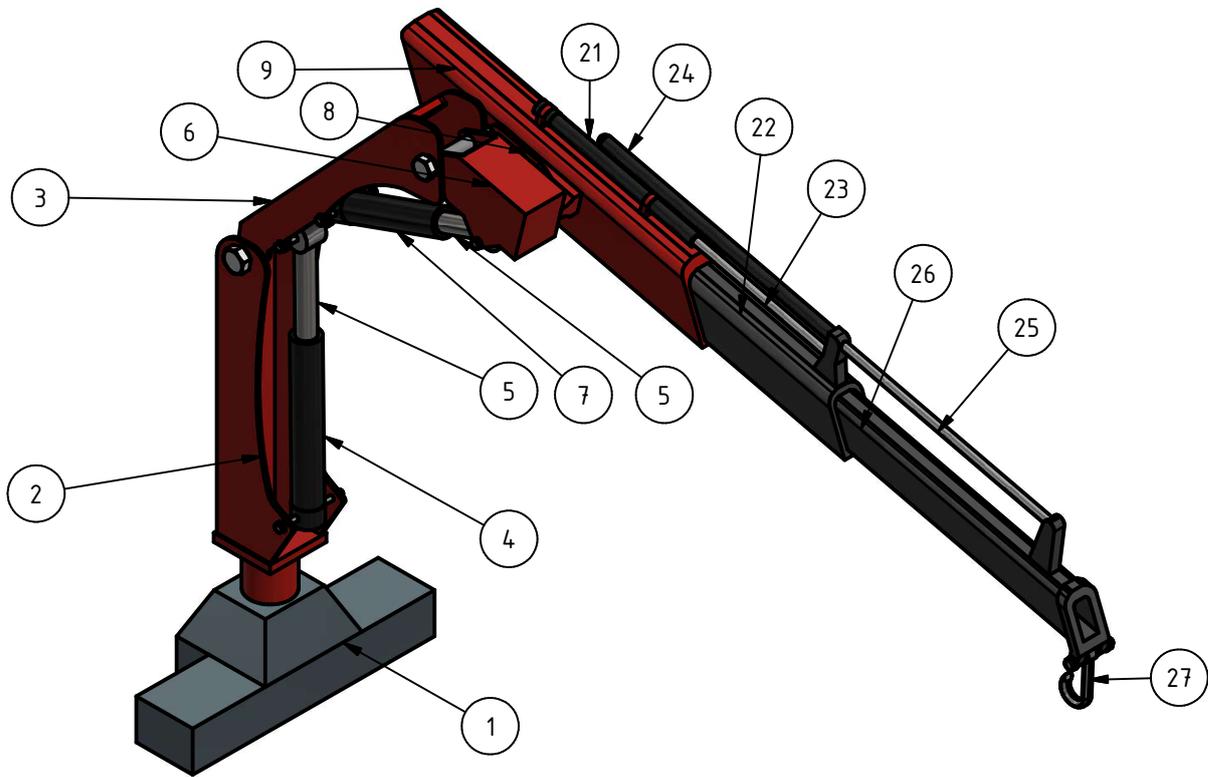
PLANOS

## ÍNDICE PLANOS

1.01 Grúa hidráulica articulada.....	-14-
1.02 Grúa hidráulica articulada vista isométrica.....	-14-
2.0 Base.....	-14-
3.0 Columna.....	-14-
4.0 Cilindro de elevación.....	-14-
5.0 Pistón de elevación.....	-14-
6.0 Brazo principal.....	-14-
7.0 Cilindro de articulación.....	-14-
8.01 Brazo de articulación.....	-14-
8.02 Brazo de articulación II.....	-14-
9.0 Prolonga 1.....	-14-
10.0 Prolonga 2.....	-14-
11.0 Prolonga 3.....	-14-
12.0 Cilindro propulsión prolonga 2.....	-14-
13.0 Pistón propulsión prolonga 2.....	-14-
14.0 Cilindro propulsión prolonga 3.....	-14-
15.0 Pistón propulsión prolonga 3.....	-14-
16.0 Gancho.....	-14-



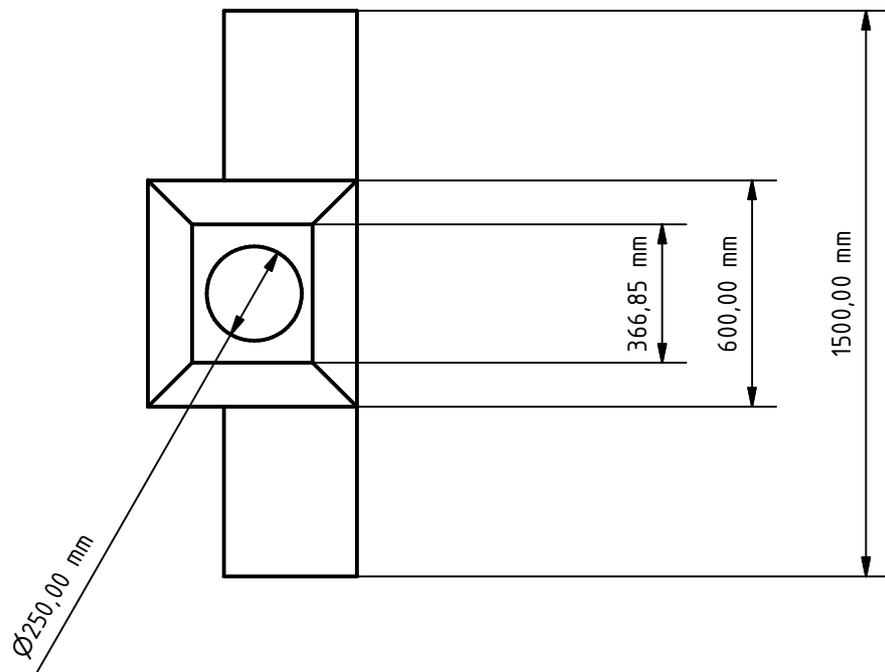
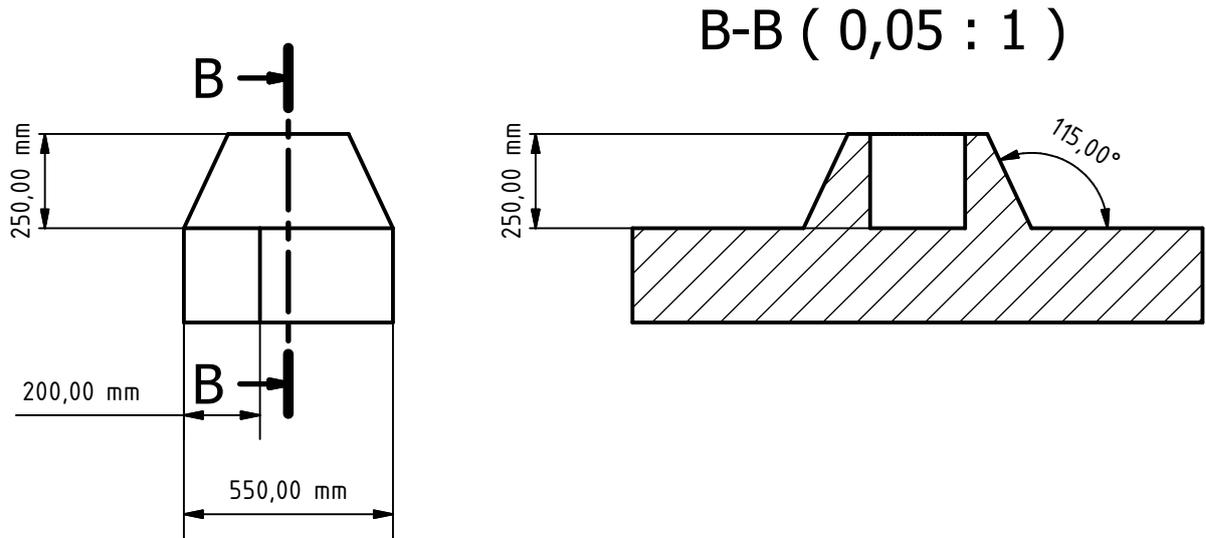
REALIZADO POR: NICOLAU ROS BOU		FECHA:	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO
COMPROBADO POR: NICOLAU ROS BOU		21/07/2019	
PROYECTO			TRABAJO DE FIN DE GRADO
MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES			
ESCALA:	TÍTULO:	FIRMA:	Nº
0.02:1	GRÚA HIDRÁULICA ARTICULADA		1.01
			SUSTITUYE A:
			SUSTITUIDO POR:



27	1	GANCHO	
26	1	PROLONGA 3	
25	1	PISTÓN PROPULSIÓN PROLONGA 3	
24	1	CILINDRO PROPULSIÓN PROLONGA 3	
23	1	PISTÓN PROPULSIÓN PROLONGA 2	
22	1	PROLONGA 2	
21	1	CILINDRO PROPULSIÓN PROLONGA 2	
9	1	PROLONGA 1	
8	1	BRAZO DE ARTICULACIÓN 2	
7	1	CILINDRO DE ARTICULACIÓN	
6	1	BRAZO DE ARTIULACIÓN 1	
5	2	PISTÓN DE ELEVACIÓN Y ARTICULACIÓN	
4	1	CILINDRO DE ELEVACIÓN	
3	1	BRAZO PRINCIPAL	
2	1	COLUMNA	
1	1	BASE	
ELEMENTO	CANTIDAD	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN

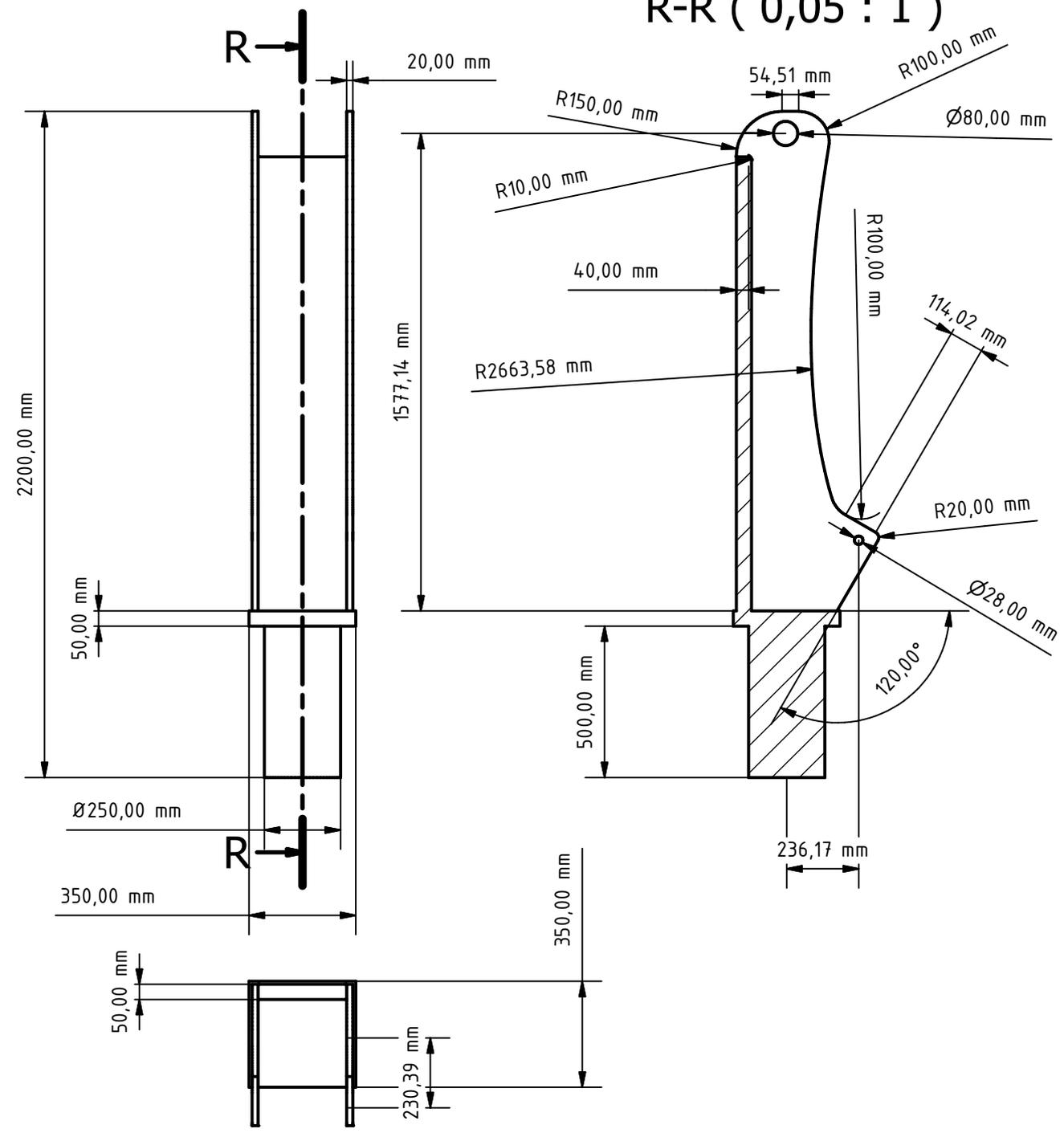
LISTA DE PIEZAS

REALIZADO POR: NICOLAU ROS BOU		FECHA: 21/07/2019		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO  TRABAJO DE FIN DE GRADO
COMPROBADO POR: NICOLAU ROS BOU				
PROYECTO MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES				
ESCALA: 0.03:1	TÍTULO:  GRÚA HIDRÁULICA ARTICULADA VISTA ISOMÉTRICA	FIRMA:	Nº 1.02	
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

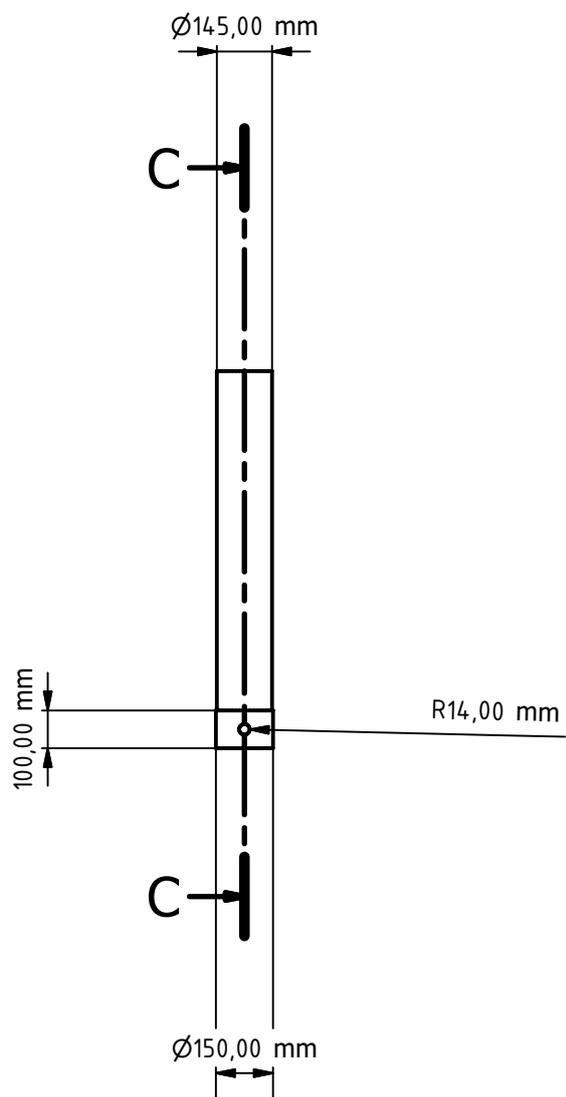


REALIZADO POR: NICOLAU ROS BOU		FECHA:	ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO
COMPROBADO POR: NICOLAU ROS BOU		21/07/2019	
PROYECTO			TRABAJO DE FIN DE GRADO
MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES			
ESCALA:	TÍTULO:	FIRMA:	Nº
0.05:1	BASE		2.0
			SUSTITUYE A:
			SUSTITUIDO POR:

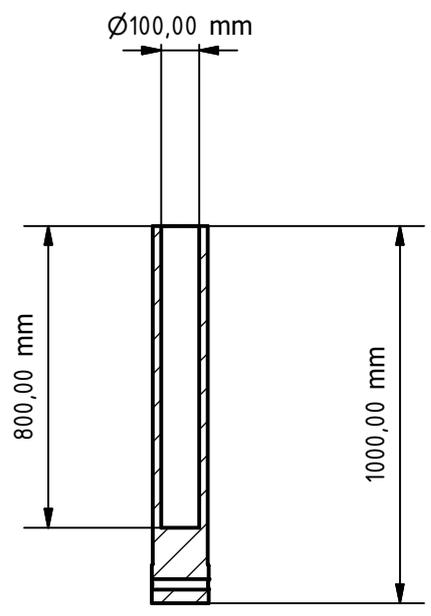
# R-R ( 0,05 : 1 )



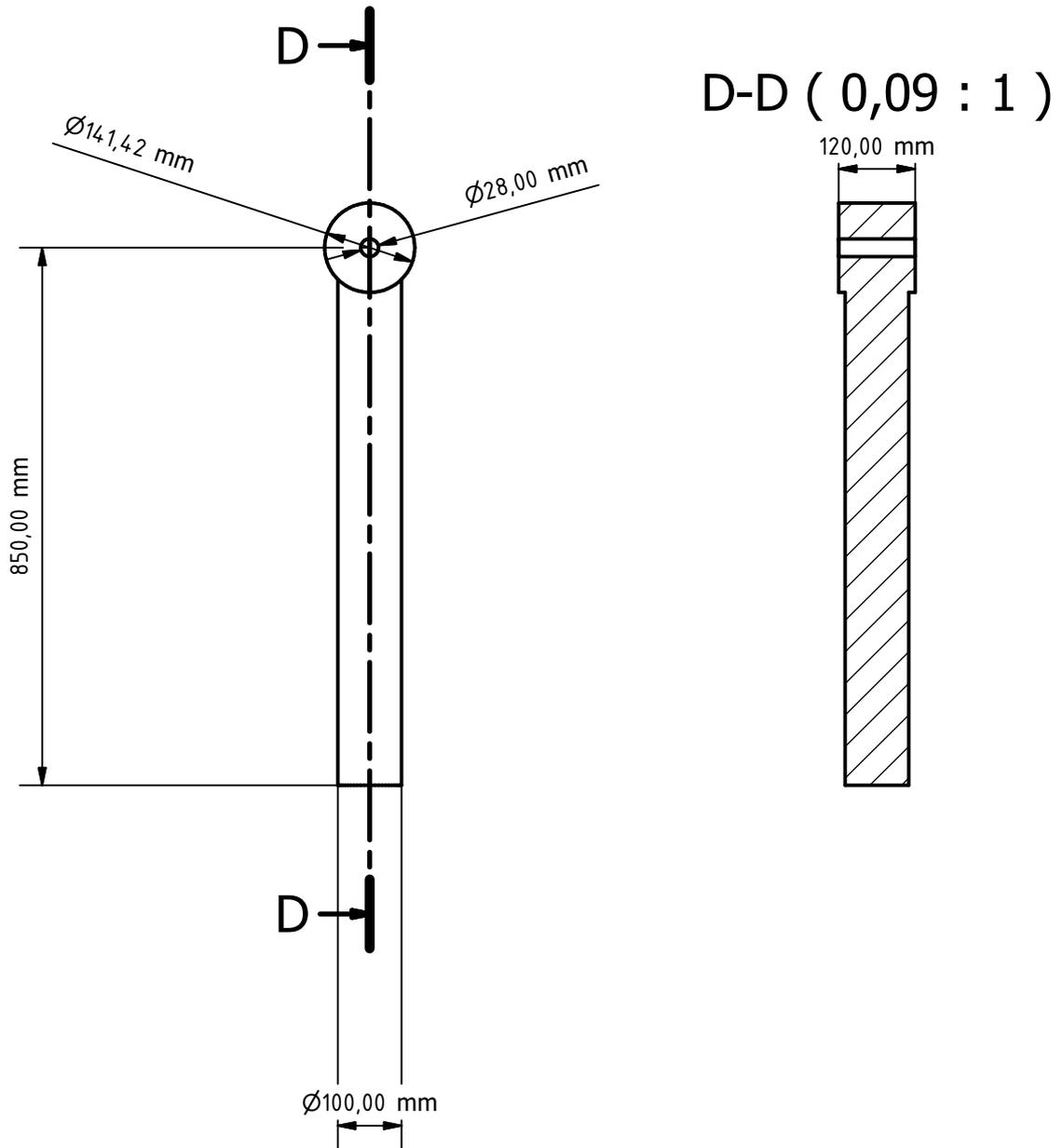
REALIZADO POR: NICOLAU ROS BOU		FECHA:	ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO
COMPROBADO POR: NICOLAU ROS BOU		21/07/2019	
PROYECTO			TRABAJO DE FIN DE GRADO
MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES			
ESCALA:	TÍTULO:	FIRMA:	Nº
0.05:1	COLUMNA		3.0
			SUSTITUYE A:
			SUSTITUIDO POR:



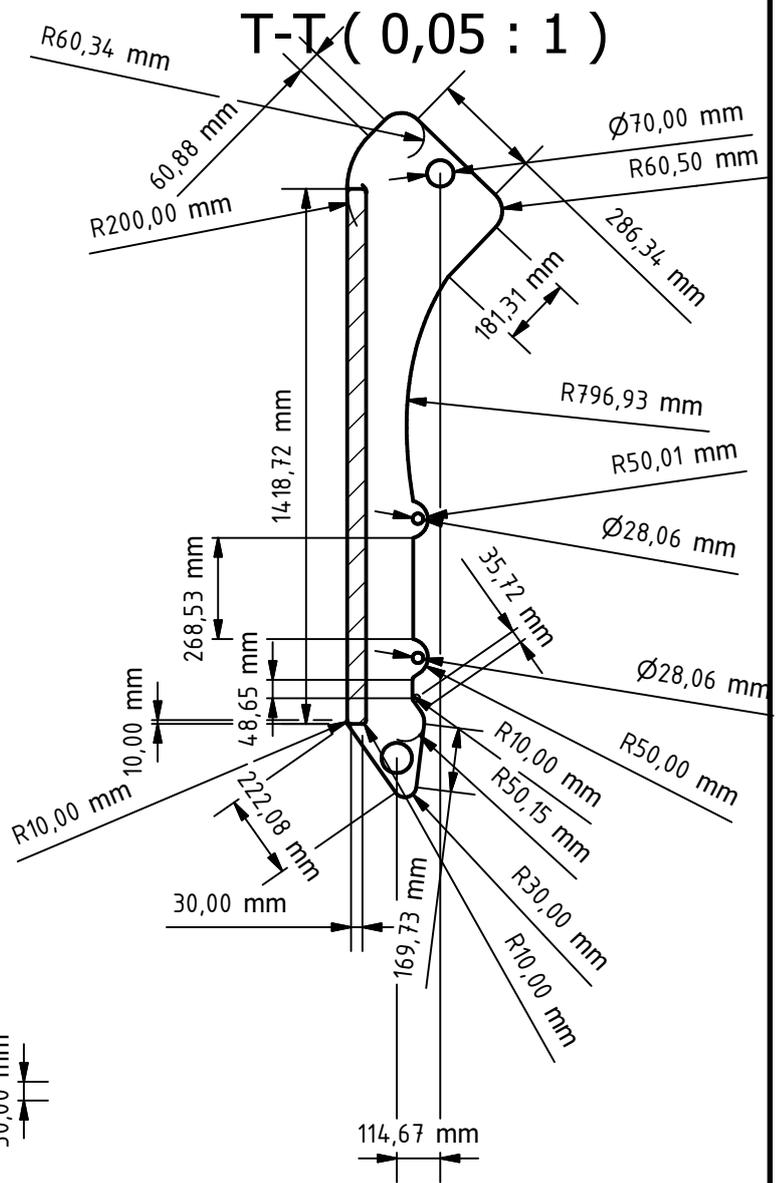
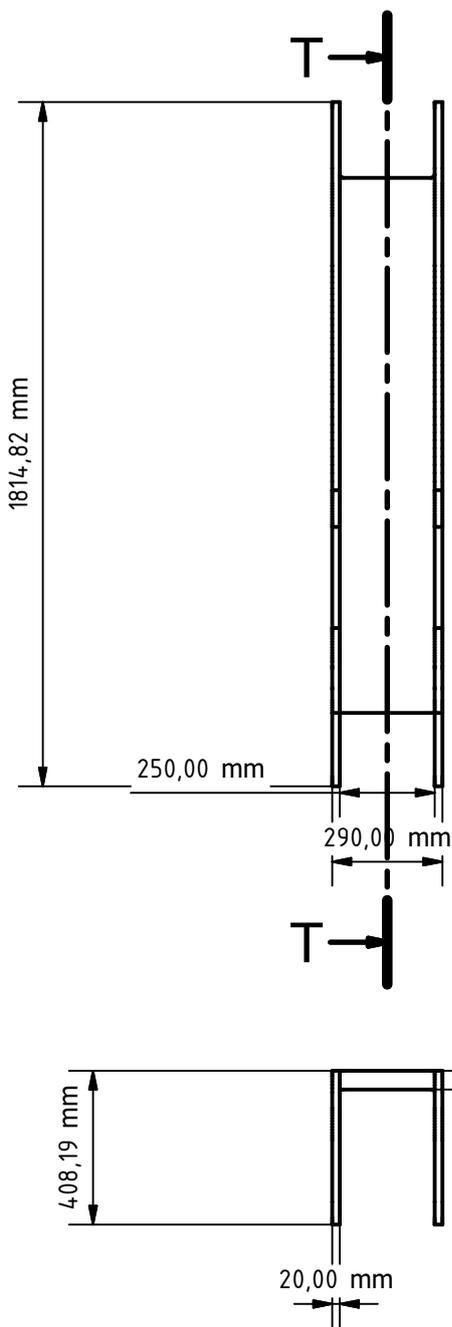
C-C ( 0,05 : 1 )



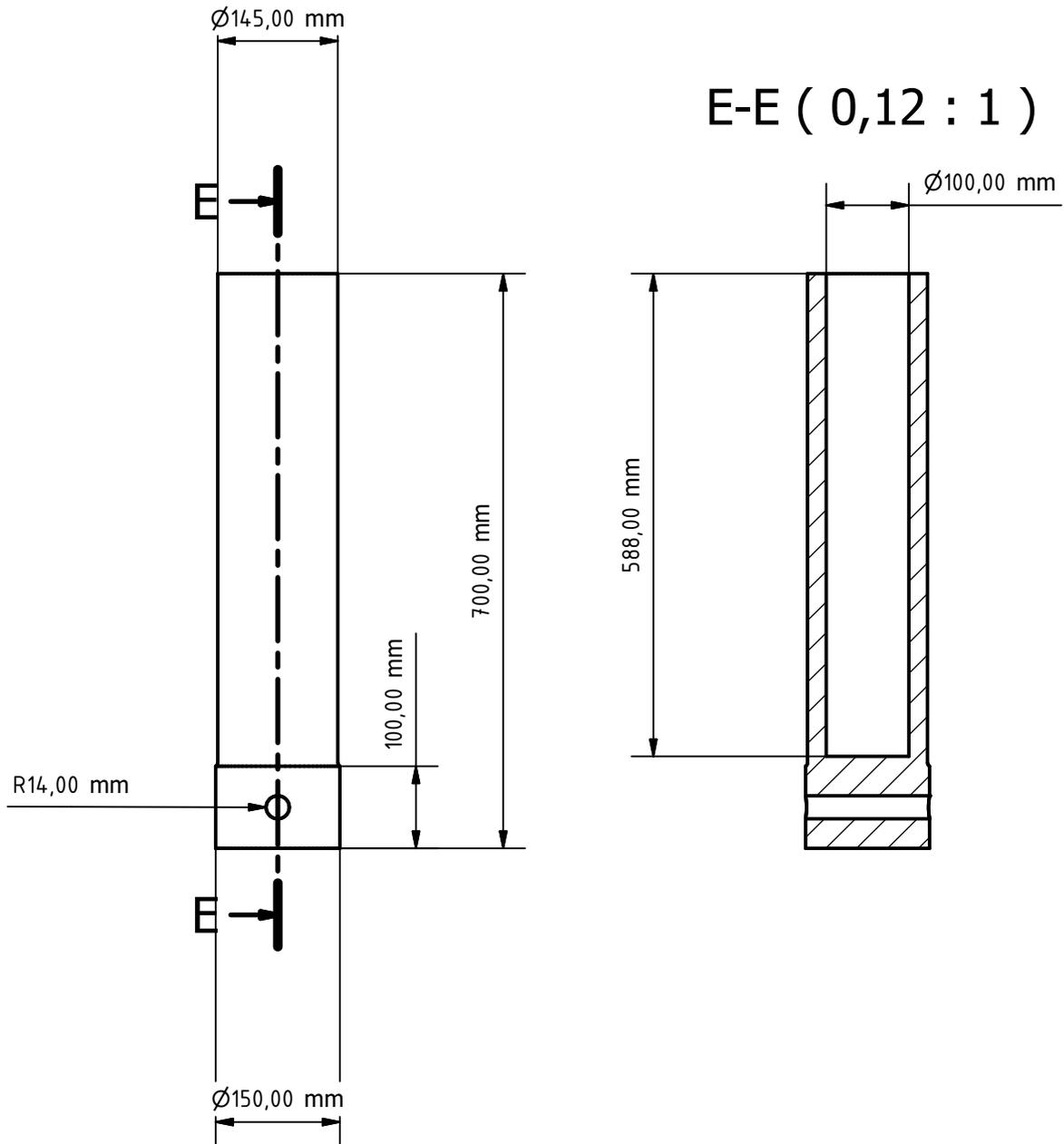
REALIZADO POR: NICOLAU ROS BOU		FECHA: 21/07/2019		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO
COMPROBADO POR: NICOLAU ROS BOU				
PROYECTO MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES				TRABAJO DE FIN DE GRADO
ESCALA: 0.05:1	TÍTULO:  CILINDRO DE ELEVACIÓN	FIRMA:	Nº 4.0	
			SUSTITUYE A:	
			SUSTITUIDO POR:	



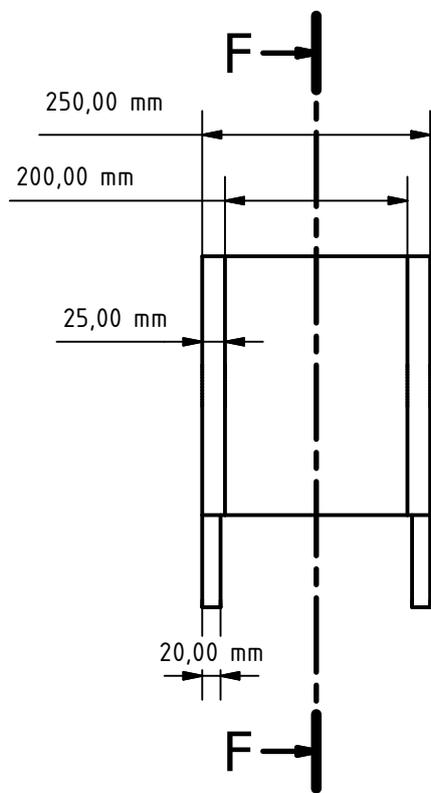
REALIZADO POR: NICOLAU ROS BOU		FECHA:	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO
COMPROBADO POR: NICOLAU ROS BOU		21/07/2019	
PROYECTO			TRABAJO DE FIN DE GRADO
MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES			
ESCALA:	TÍTULO:	FIRMA:	Nº
0.09:1	PISTÓN DE ELEVACIÓN		5.0
			SUSTITUYE A:
			SUSTITUIDO POR:



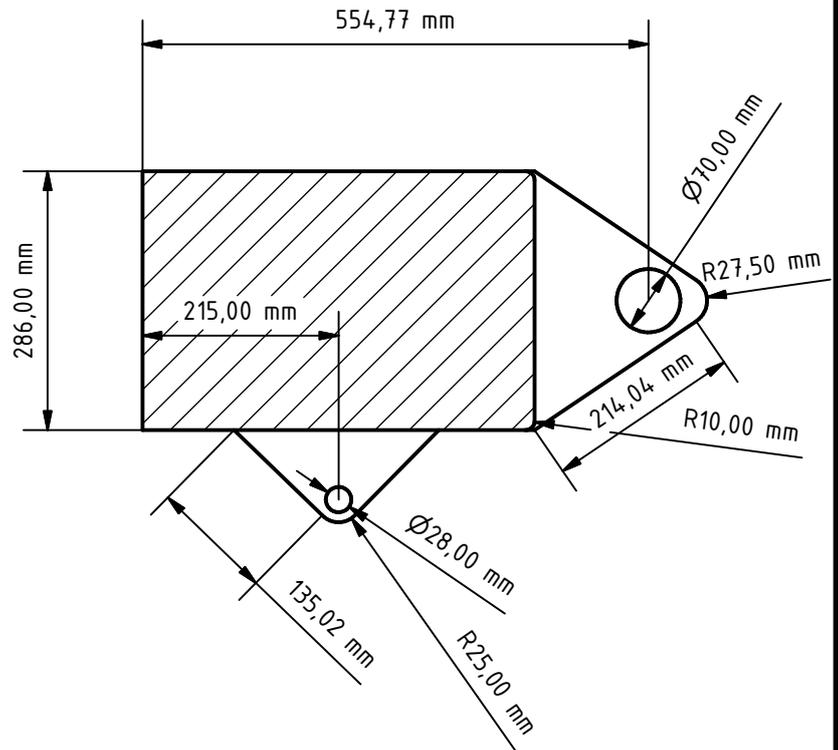
REALIZADO POR: NICOLAU ROS BOU		FECHA: 21/07/2019		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO
COMPROBADO POR: NICOLAU ROS BOU				
PROYECTO MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES				TRABAJO DE FIN DE GRADO
ESCALA: 0.05:1	TÍTULO:  BRAZO PRINCIPAL	FIRMA:	Nº 6.0	SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



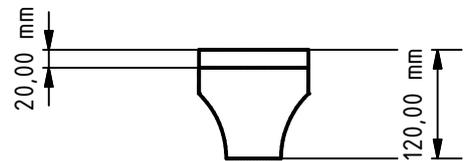
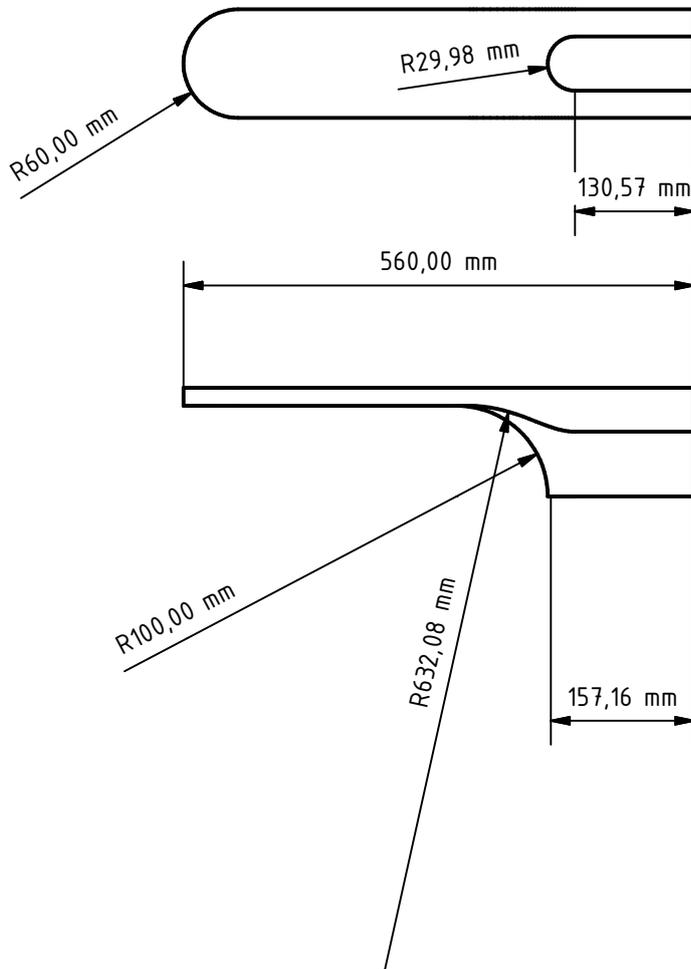
REALIZADO POR: NICOLAU ROS BOU		FECHA: 21/07/2019		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO
COMPROBADO POR: NICOLAU ROS BOU				
PROYECTO MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES				TRABAJO DE FIN DE GRADO
ESCALA: 0.12:1	TÍTULO:  CILINDRO DE ARTICULACIÓN	FIRMA:	Nº 7.0	
			SUSTITUYE A:	
			SUSTITUIDO POR:	



### F-F ( 0,12 : 1 )

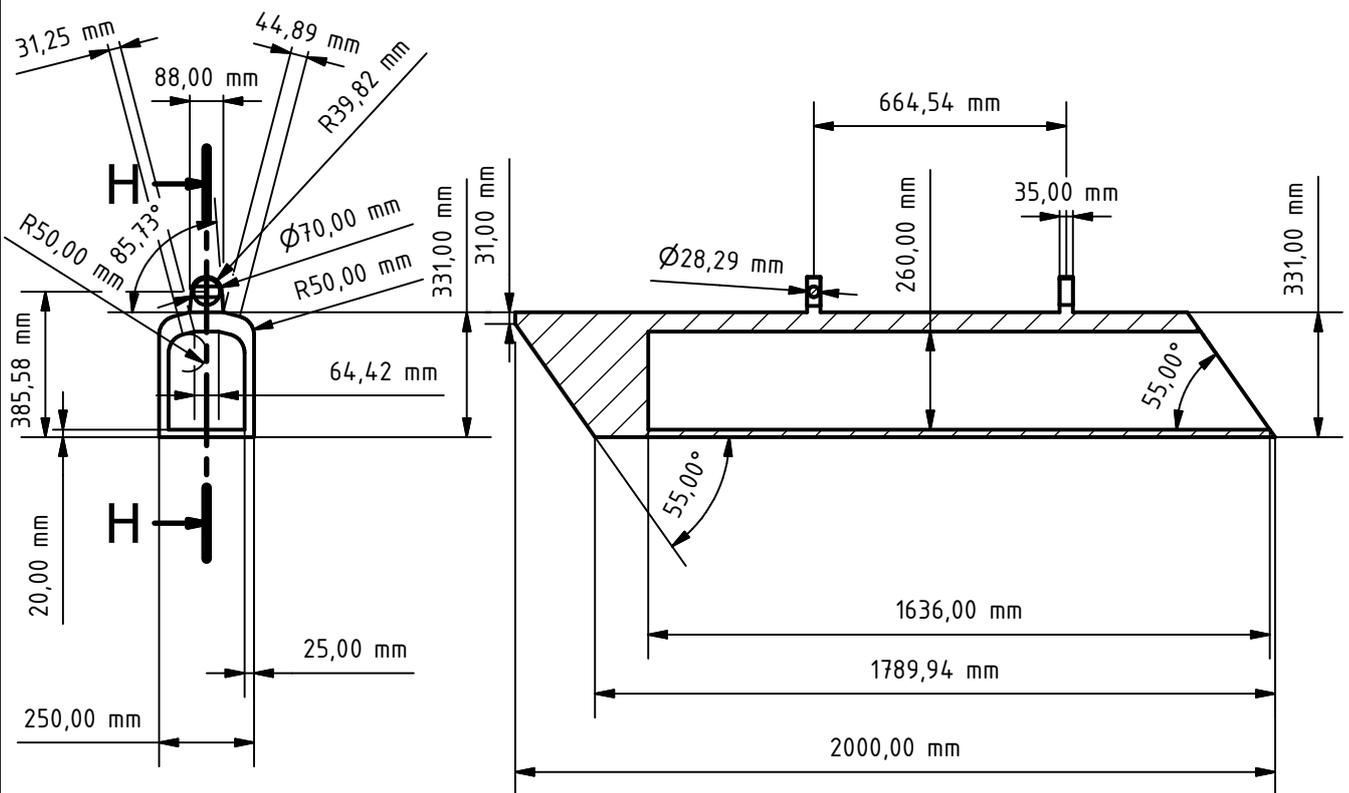


REALIZADO POR: NICOLAU ROS BOU		FECHA: 26/07/2019	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO
COMPROBADO POR: NICOLAU ROS BOU			
PROYECTO MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES			TRABAJO DE FIN DE GRADO
ESCALA: 0.12:1	TÍTULO:  BRAZO DE ARTICULACIÓN	FIRMA:	Nº 8.01
			SUSTITUYE A:
			SUSTITUIDO POR:



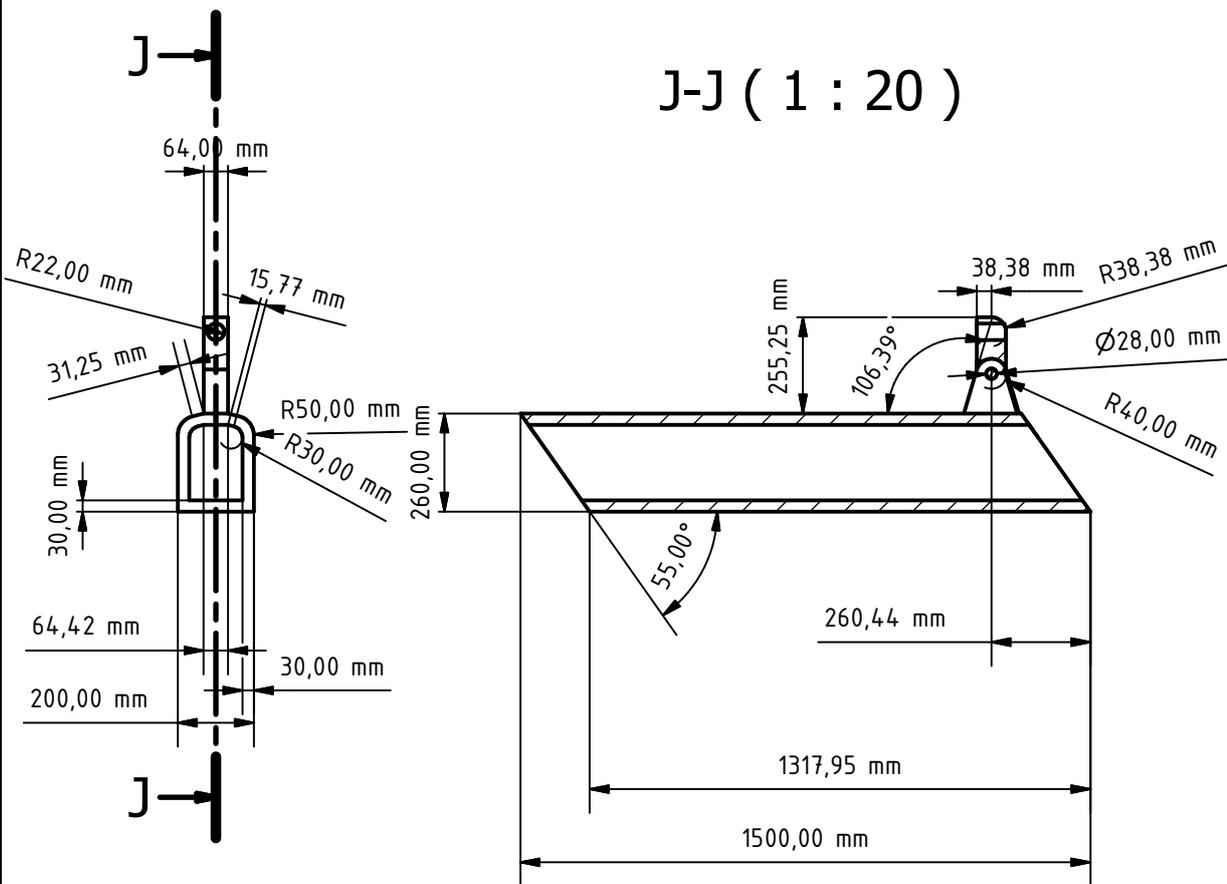
REALIZADO POR: NICOLAU ROS BOU		FECHA:	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO
COMPROBADO POR: NICOLAU ROS BOU		26/07/2019	
PROYECTO			TRABAJO DE FIN DE GRADO
MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES			
ESCALA:	TÍTULO:	FIRMA:	Nº
0.12:1	BRAZO DE ARTICULACIÓN II		8.02
			SUSTITUYE A:
			SUSTITUIDO POR:

## H-H ( 0,05 : 1 )

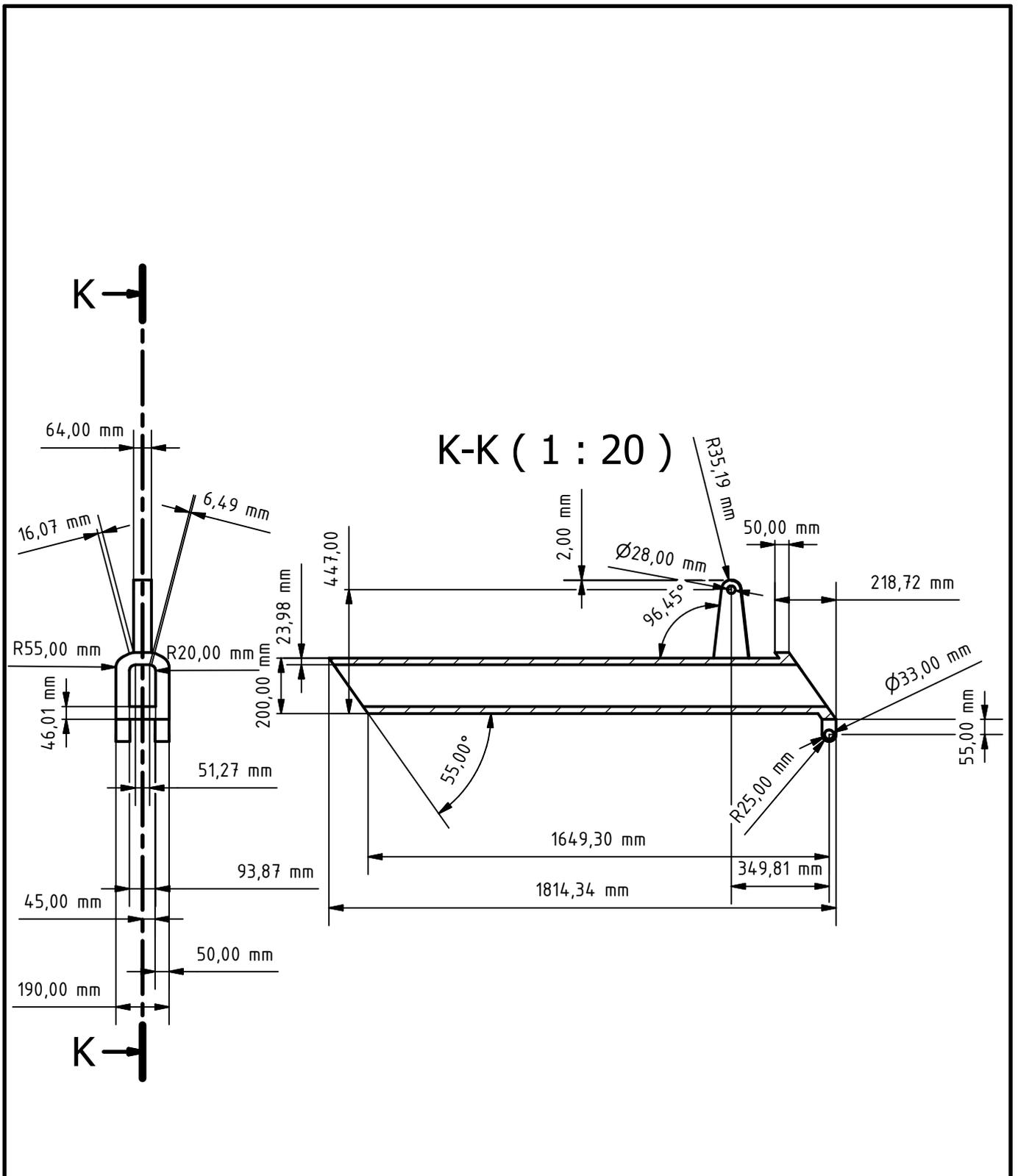


REALIZADO POR: NICOLAU ROS BOU		FECHA:	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO
COMPROBADO POR: NICOLAU ROS BOU		26/07/2019	
PROYECTO			TRABAJO DE FIN DE GRADO
MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES			
ESCALA:	TÍTULO:	FIRMA:	Nº
0.05:1	PROLONGA 1		9.0
			SUSTITUYE A:
			SUSTITUIDO POR:

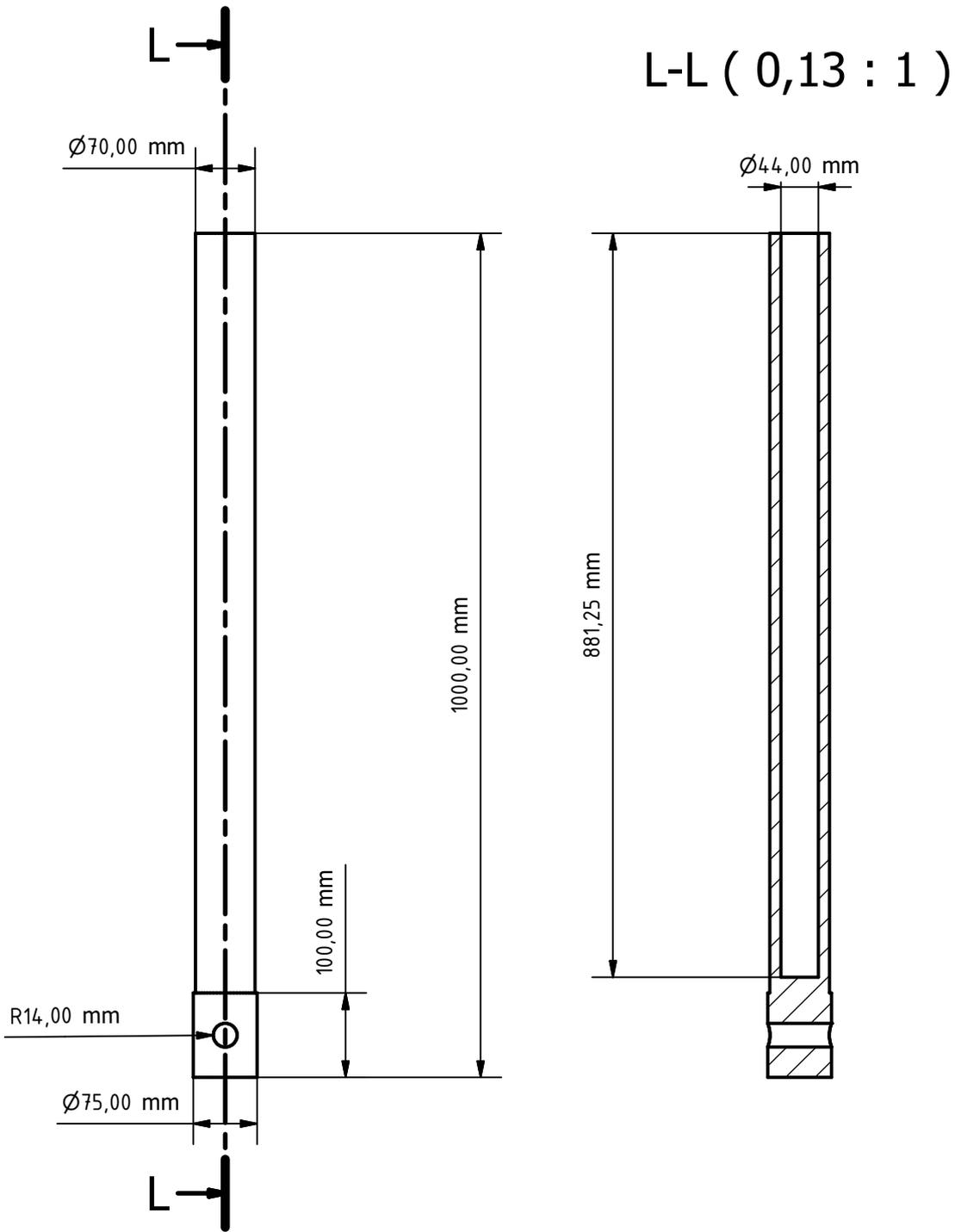
## J-J ( 1 : 20 )



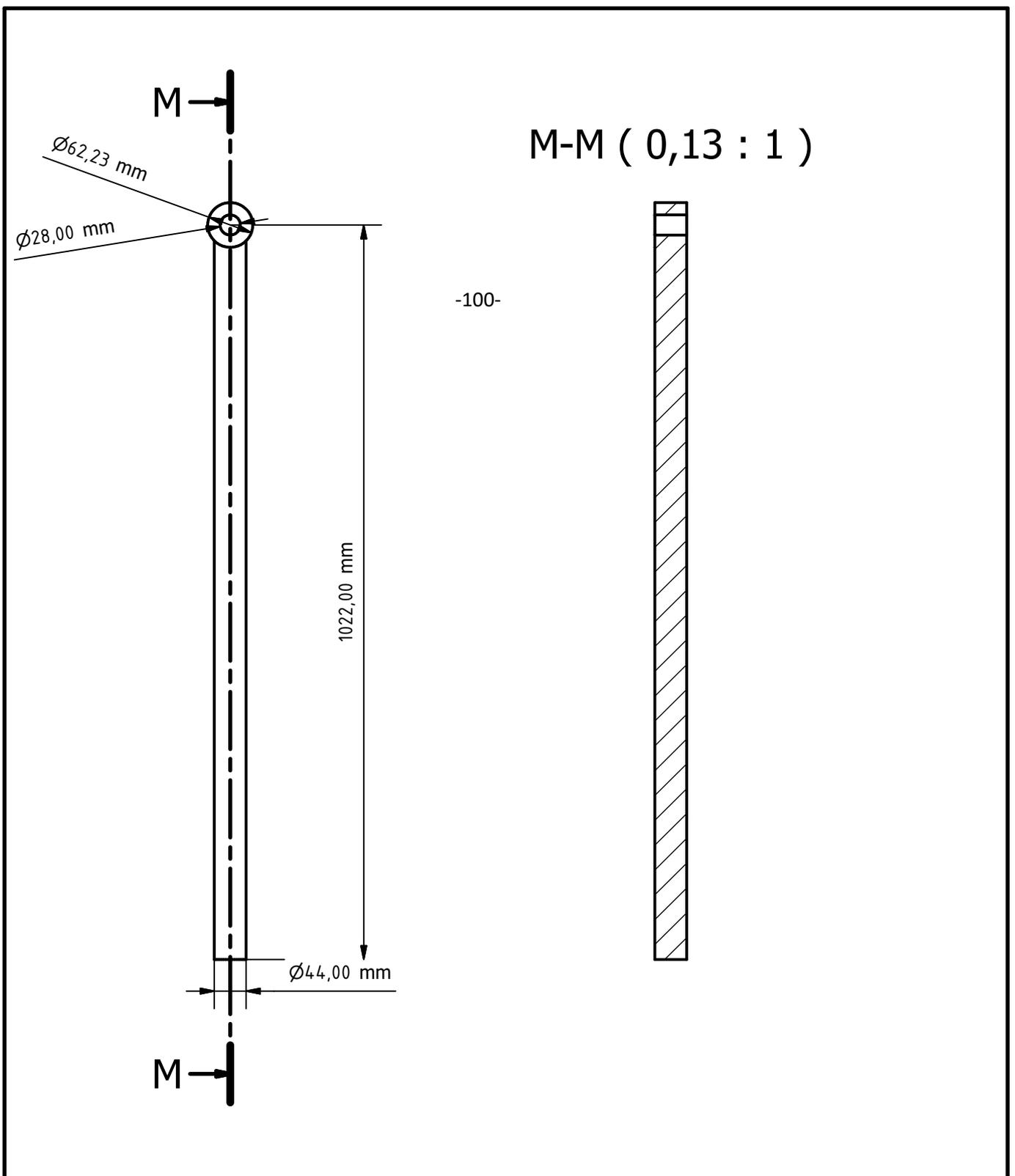
REALIZADO POR: NICOLAU ROS BOU		FECHA: 26/07/2019		ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO
COMPROBADO POR: NICOLAU ROS BOU				
PROYECTO MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES				TRABAJO DE FIN DE GRADO
ESCALA: 1:20	TÍTULO:  PROLONGA 2	FIRMA:	Nº 10.0	
			SUSTITUYE A:	
			SUSTITUIDO POR:	



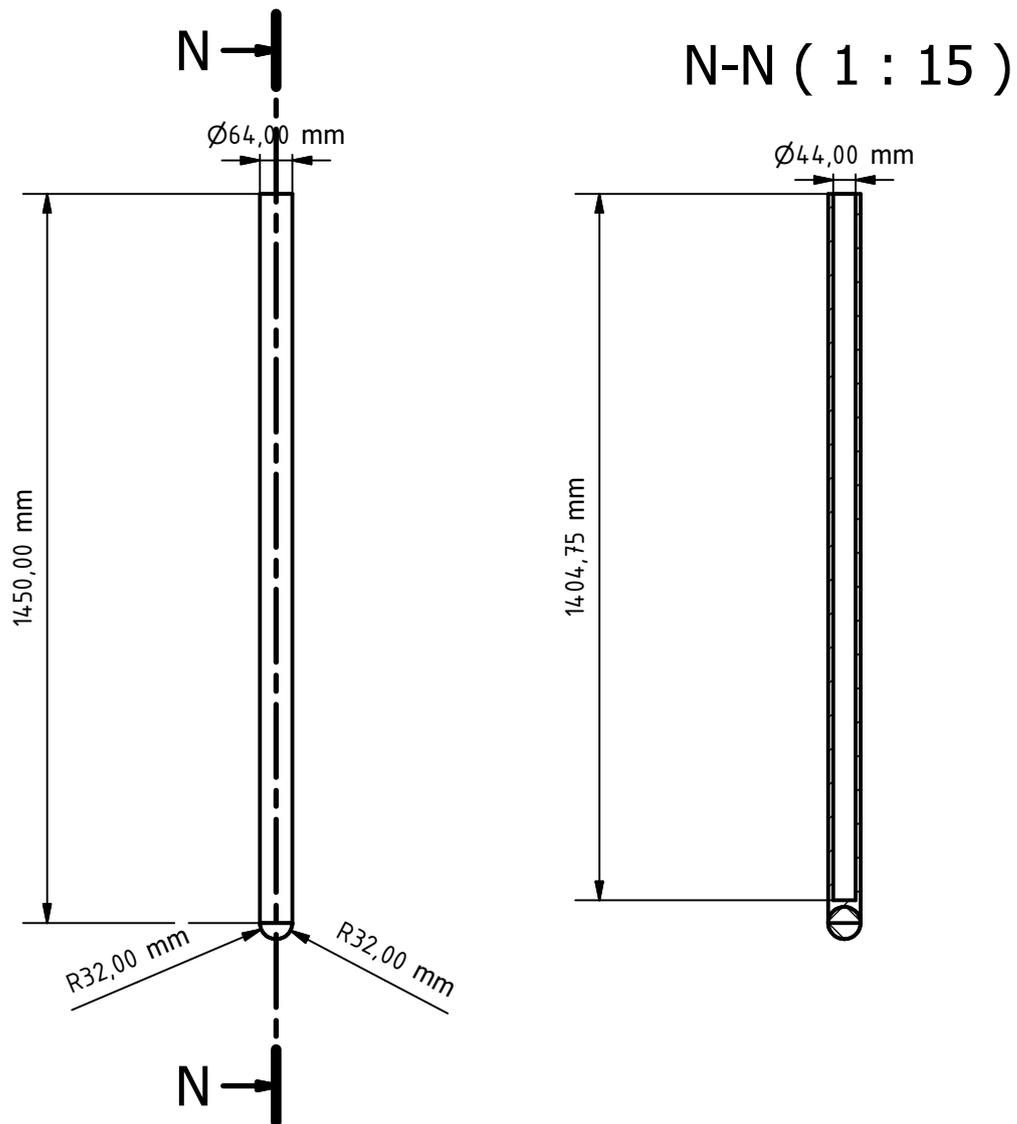
REALIZADO POR: NICOLAU ROS BOU		FECHA:	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO
COMPROBADO POR: NICOLAU ROS BOU		26/07/2019	
PROYECTO			TRABAJO DE FIN DE GRADO
MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES			
ESCALA:	TÍTULO:	FIRMA:	Nº
1:20	PROLONGA 3		11.0
			SUSTITUYE A:
			SUSTITUIDO POR:



REALIZADO POR: NICOLAU ROS BOU		FECHA: 21/07/2019	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO
COMPROBADO POR: NICOLAU ROS BOU			
PROYECTO MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES			TRABAJO DE FIN DE GRADO
ESCALA: 0.13:1	TÍTULO:  CILINDRO PROPULSIÓN PROLONGA 2	FIRMA:	Nº 12.0
			SUSTITUYE A:
			SUSTITUIDO POR:

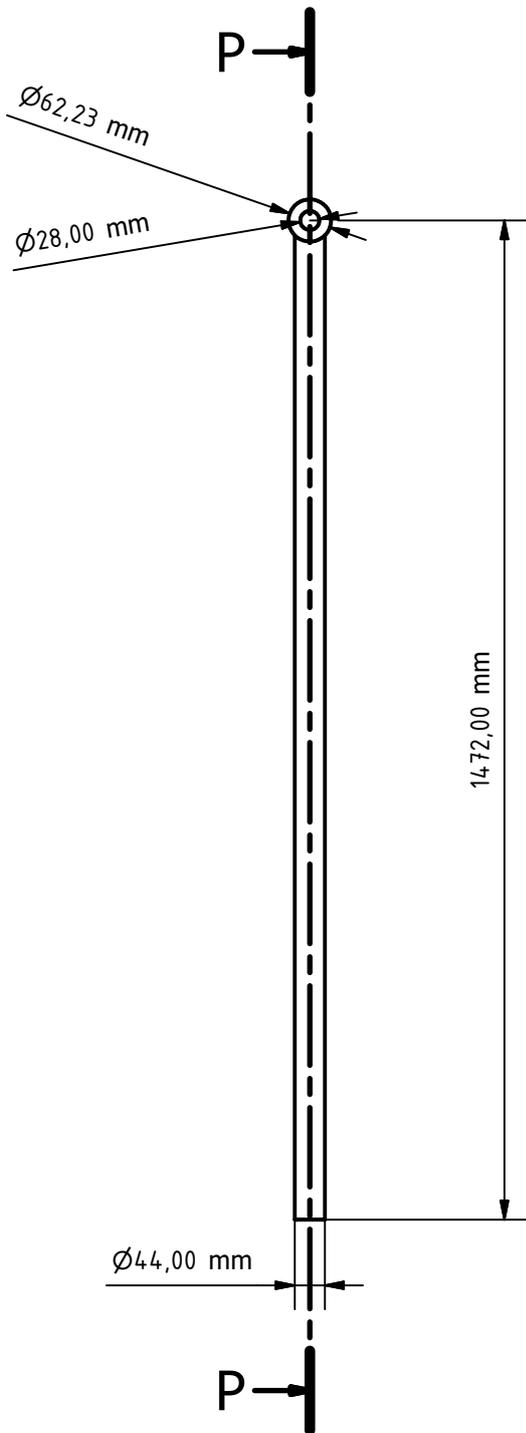


REALIZADO POR: NICOLAU ROS BOU		FECHA:	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO
COMPROBADO POR: NICOLAU ROS BOU		21/07/2019	
PROYECTO MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES			TRABAJO DE FIN DE GRADO
ESCALA: 0.13:1	TÍTULO:  PISTÓN PROPULSIÓN PROLONGA 2	FIRMA:	Nº 13.0
			SUSTITUYE A:
			SUSTITUIDO POR:

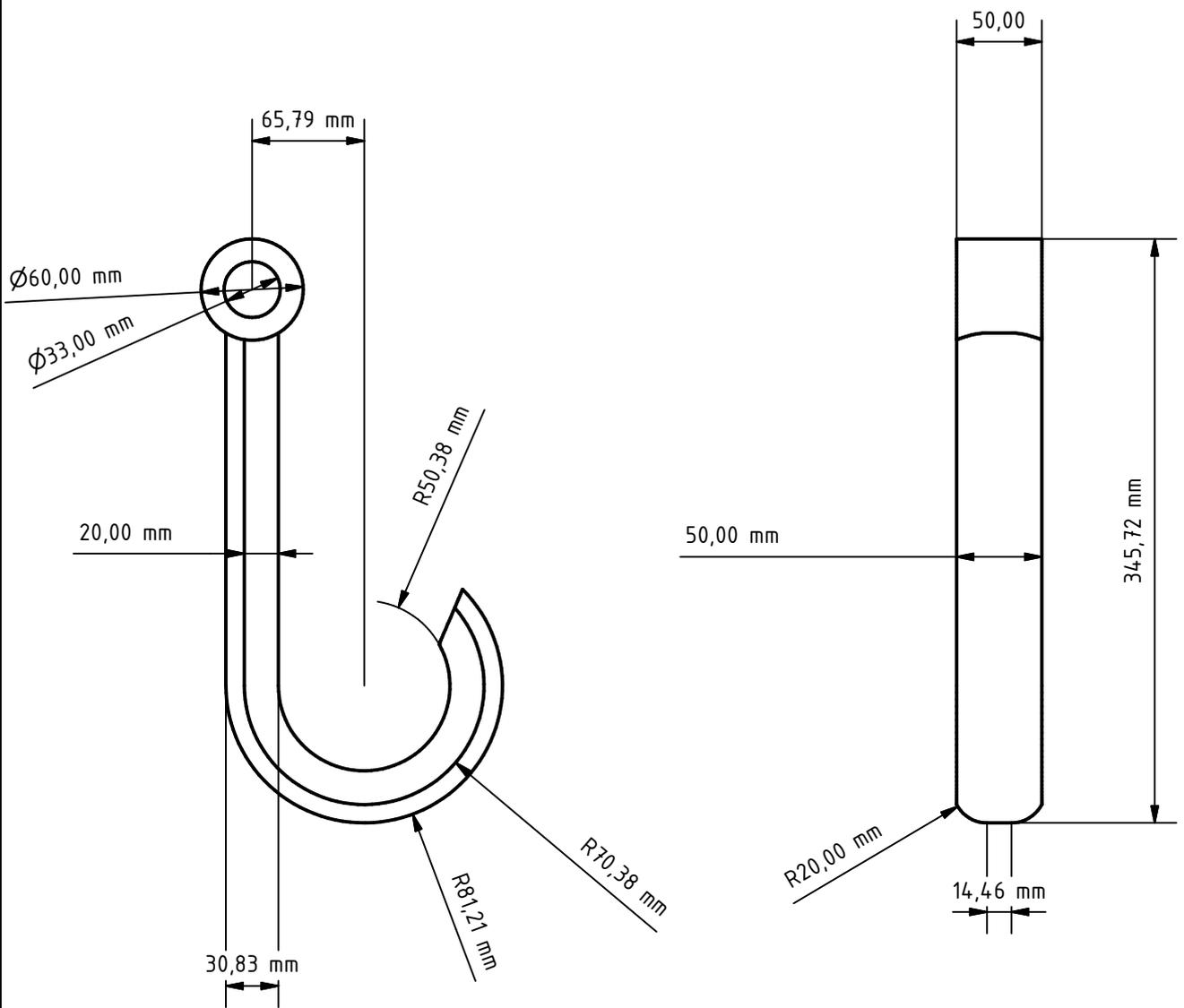


REALIZADO POR: NICOLAU ROS BOU		FECHA: 21/07/2019	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO
COMPROBADO POR: NICOLAU ROS BOU			
PROYECTO MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES			TRABAJO DE FIN DE GRADO
ESCALA: 1:15	TÍTULO:  CILINDRO PROPULSIÓN PROLONGA 3	FIRMA:	Nº 14.0
			SUSTITUYE A:
			SUSTITUIDO POR:

P-P ( 0,09 : 1 )



REALIZADO POR: NICOLAU ROS BOU		FECHA:	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO
COMPROBADO POR: NICOLAU ROS BOU		21/07/2019	
PROYECTO MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES			TRABAJO DE FIN DE GRADO
ESCALA:	TÍTULO:	FIRMA:	Nº
0.09:1	PISTÓN PROPULSIÓN PROLONGA 3		15.0
			SUSTITUYE A:
			SUSTITUIDO POR:



REALIZADO POR: NICOLAU ROS BOU		FECHA: 26/07/2019	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO
COMPROBADO POR: NICOLAU ROS BOU			
PROYECTO MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA PARA CAMIONES			TRABAJO DE FIN DE GRADO
ESCALA: 1:4	TÍTULO:  GANCHO	FIRMA:	Nº 16.0
			SUSTITUYE A:
			SUSTITUIDO POR:

DOCUMENTO III

PLIEGO DE CONDICIONES

## 10. INTRODUCCIÓN.

El pliego de condiciones se define como el documento del proyecto que recoge las especificaciones técnicas, facultativas, económicas y legales. Así como los equipos y software necesario para poder realizar el proyecto.

Al tratarse de una simulación dinámica, en concreto de un proyecto realizado completamente mediante ordenador, no se han de tener en cuenta las condiciones de los materiales, ni las condiciones de la ejecución, ni las pruebas de servicio.

Para realizar este proyecto, se ha hecho uso principalmente de recursos informáticos. Cabe diferenciar entre el uso del software y del hardware. El primero, hace referencia a los programas informáticos usados durante la realización del proyecto. Ya sean para el diseño, la escritura o de la simulación de sistemas multicuerpo. Seguidamente, el hardware hace referencia a los equipos informáticos físicos que se han usado. Así pues, se han establecido estos requisitos que se van a enumerar a continuación, como requisitos mínimos para poder realizar el proyecto con éxito.

## 11. CONDICIONES DEL HARDWARE.

Como herramientas de hardware, se han usado principalmente dos. El ordenador portátil, con el que se ha hecho el diseño de la grúa hidráulica articulada y el diseño del bloque de cobre; además de la escritura del proyecto en su totalidad. El segundo equipo usado ha sido el ordenador de sobremesa que están situados en los laboratorios del departamento de ingeniería mecánica de la Universitat Politècnica de València; con el que se ha realizado toda la simulación del mecanismo, es decir, se ha exportado el archivo CAD de la grúa, del bloque y del camión para unirlos todo y realizar la simulación y postprocesado de los resultados.

- Ordenador portátil: Modelo HP Envy K202NS.
  - Procesador: Intel Core i7-5500U con gráficos HD Intel 5500 (2.40 GHz, 4 MB de caché, 2 núcleos).
  - Memoria RAM: 8 GB DDR3L-1600 SDRAM (1 x 8 GB).
  - Tarjeta gráfica: NVIDIA GeForce GTX 850M (DDR3 de 4 GB dedicados).
  - Disco duro: SSD de 500 GB.
  - Pantalla: pantalla con retroiluminación WLED FHD antirreflejos de 39,6 cm (15,6 pulgadas) diagonal (1920 x 1080).
  - Sistema operativo: Windows 10 (64 bits).
- Ordenador fijo:
  - Procesador: 2.93 GHz Intel Core i3.
  - Memoria RAM: 8GB.
  - Tarjeta gráfica: Intel HD Graphics 1696MB.
  - Disco duro: 298 GB.
  - Sistema operativo: Windows 10 Enterprise 64 bits.

## 12. CONDICIONES DEL SOFTWARE.

El software que se ha usado en la realización del proyecto se ha obtenido mediante la descarga de la versión de estudiantes que proporciona la empresa (en el caso de Autodesk Inventor) o mediante la descarga del paquete de software completo debido a la licencia que proporciona la universidad (Paquete de Microsoft Office). En el caso del software usado para la simulación dinámica, se ha usado

el paquete de Adams Professional, debido a que la versión de estudiantes estaba limitada en sólidos. Por esta razón, se ha tenido que usar un ordenador fijo del laboratorio del departamento de mecánica.

Se remarca también el uso de programas que han permitido la realización del presupuesto, como el Presto; y al montaje del trabajo final (Adobe Acrobat Pro DC).

○ Autodesk Inventor:

Se ha diseñado la grúa hidráulica articulada, incluyendo todas las partes mostradas anteriormente. Además del ensamblaje de todas ellas para formar la grúa hidráulica final. Cabe añadir que también se ha realizado el diseño del bloque de cobre usado para la simulación posterior. En el caso del camión, como se ha dicho anteriormente, se ha tomado de una página online de CAD gratuitos. Simplemente se han modificado algunas partes para que la grúa pueda anclarse debidamente.

○ ADAMS VIEW:

Mediante este programa se ha realizado la simulación dinámica del proceso de carga y descarga del bloque de cobre. Como se ha comentado anteriormente, dicho software ha servido para dotar de movimiento y analizar posteriormente las fuerzas que se dan en la grúa.

○ Microsoft Office:

Este software, la licencia del cual es proporcionada por la universidad, ha servido como punto fundamental para la redacción del proyecto. Además, se han realizado diferentes cálculos mediante su herramienta Excel.

○ Presto Presupuestos:

Se ha utilizado este programa software para realizar el presupuesto del proyecto. Ha sido necesario adquirir una licencia para poder usarlo.

○ Adobe Acrobat Pro DC:

Ha sido de gran utilidad para el montaje final del trabajo de final de grado, así como las ediciones necesarias para cuadrar los números de páginas y ordenar los diferentes documentos. Ha sido necesario adquirir una licencia profesional para poder usarlo.

## DOCUMENTO IV

# PRESUPUESTO

## CUADRO DE DESCOMPUESTOS

### MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA

CÓDIGO	CANTIDAD UD	RESUMEN	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
<b>CAPÍTULO C01 Elaboración y desarrollo del trabajo</b>					
<b>1.1</b>		<b>Búsqueda y recopilación de información. Fase de estudio.</b>			
		Para realizar el proyecto, se ha tenido que hacer un proceso de búsqueda de información. Tanto de todo lo relacionado con la grúa hidráulica (funcionamiento, partes, tipos, historia, etcétera) como de sistemas relacionados con la misma. Ya sean el sistema hidráulico, el sistema de anclaje y demás. Cabe añadir, que la búsqueda de información y estudio de la misma, se ha realizado mediante páginas web y libros.			
		Se ha estimado un tiempo invertido en esta tarea de 28 horas. El precio asignado a esta tarea ha sido de 25 €/hora. El precio es debido a que solamente un titulado en ingeniería mecánica o un ingeniero técnico cualificado es capaz de analizar las diferentes situaciones y soluciones con éxito.			
MOO.1I	28,000 h	Hora de mano de obra de ingeniero mecánico	25,00	700,00	
%0300	3,000	Costes indirectos	700,00	21,00	
<b>TOTAL PARTIDA .....</b>					<b>721,00</b>
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SETECIENTOS VEINTIUN EUROS					
<b>1.2</b>		<b>Diseño, modelado, simulación dinámica y análisis de resultados.</b>			
		Esta parte comprende el proceso de diseño de la grúa hidráulica articulada mediante el programa de diseño CAD, Autodesk Inventor. Además del posterior montaje de la situación de carga y descarga de la grúa y su simulación mediante el Adams View. Seguidamente, se han tenido que analizar los resultados obtenidos en el postprocesador.			
		Esta parte es la más extensa del trabajo. Se le ha asignado una cantidad de horas de 240. A un precio por hora de 25 €/hora. Es necesario un titulado en ingeniería mecánica o similar para realizar todo el proceso detallado.			
MOO.1I	240,000 h	Hora de mano de obra de ingeniero mecánico	25,00	6.000,00	
%0300	3,000	Costes indirectos	6.000,00	180,00	
<b>TOTAL PARTIDA .....</b>					<b>6.180,00</b>
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SEIS MIL CIENTO OCHENTA EUROS					
<b>1.3</b>		<b>Creación de planos.</b>			
		Esta parte inicia una vez se ha realizado el diseño y modelado de las piezas de la grúa. No es necesario un ingeniero titulado para realizar dicha parte. Un delineante es capaz de realizar el mismo trabajo. Se ha estimado el número de horas empleadas en dicha tarea en 15. El precio por hora es de 25 €/hora.			
MOO.1I	15,000 h	Hora de mano de obra de ingeniero mecánico	25,00	375,00	
%0300	3,000	Costes indirectos	375,00	11,25	
<b>TOTAL PARTIDA .....</b>					<b>386,25</b>
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de TRESCIENTOS OCHENTA Y SEIS EUROS con VEINTICINCO CÉNTIMOS					
<b>1.4</b>		<b>Redacción del documento.</b>			
		Esta parte resta de dificultades técnicas. En ella se ha redactado todo lo que se ha creído importante para la realización del proyecto y explicación del mismo. Desde primera fase de búsqueda de información, seguido de la parte de diseño y modelado y finalmente los planos. El documento incluye un análisis y explicación detallado de lo realizado durante el trabajo de fin de grado. Se han empleado un total de 100 horas. Se ha estimado un precio de 25 €/hora.			
MOO.1I	100,000 h	Hora de mano de obra de ingeniero mecánico	25,00	2.500,00	
%0300	3,000	Costes indirectos	2.500,00	75,00	
<b>TOTAL PARTIDA .....</b>					<b>2.575,00</b>
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de DOS MIL QUINIENTOS SETENTA Y CINCO EUROS					

## CUADRO DE DESCOMPUESTOS

### MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA

CÓDIGO	CANTIDAD UD	RESUMEN	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
<b>CAPÍTULO C02 Materiales y recursos empleados</b>					
<b>2.1</b>		<b>Software Autodesk Inventor Professional</b>			
		Día de uso de Software Autodesk Inventor Professional 2019 según precio de una licencia anual valorada en 2.160€.			
ACAD	30,000 d	Día uso Software Autodesk	5,92	177,60	
%0500	5,000 %	Costes indirectos	177,60	8,88	
<b>TOTAL PARTIDA .....</b>					<b>186,48</b>
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CIENTO OCHENTA Y SEIS EUROS con CUARENTA Y OCHO CÉNTIMOS					
<b>2.2</b>		<b>Software MSC ADAMS VIEW</b>			
		Día de uso de Software MSC ADAMS VIEW según precio de una licencia anual valorada en 357,70€.			
ADAMS	40,000 d	Día uso Software Adams (	0,98	39,20	
%0500	5,000 %	Costes indirectos	39,20	1,96	
<b>TOTAL PARTIDA .....</b>					<b>41,16</b>
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CUARENTA Y UN EUROS con DIECISEIS CÉNTIMOS					
<b>2.3</b>		<b>Ordenador Portátil</b>			
		Se ha requerido su uso durante todo el proyecto. Para realizar el diseño y modelado de la grúa hidráulica y la modificación de sus elementos; y para redactar todo el documento en sí. Se estima un precio de compra de 849,99€. Se trata de un ordenador con sistema operativo Windows 10, de la marca HP. En concreto se trata del modelo HP Envy K202NS. Con procesador Intel Core i7-5500U con gráficos HD Intel 5500, funcionando a 2.40 GHz. Con una memoria RAM de 8GB DDR3L-1600 y una tarjeta gráfica NVIDIA GeForce GTX 850M de 4GB dedicados. Está compuesto por un disco duro tipo SSD de capacidad 500 GB; y una pantalla de resolución 1080p. Se ha estimado un 5% de uso respecto al precio de compra.			
PC	0,050 u	Día de uso de ordenador portátil (5% sobre precio compra)	849,99	42,50	
%0500	5,000 %	Costes indirectos	42,50	2,13	
<b>TOTAL PARTIDA .....</b>					<b>44,63</b>
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CUARENTA Y CUATRO EUROS con SESENTA Y TRES CÉNTIMOS					
<b>2.4</b>		<b>Software Presto</b>			
		Día de uso de Software Presto Presupuestos según precio de una licencia anual valorada en 800,0€.			
PRESTO	1,000 d	Día de uso Software Presto Presupuestos (800€/año)	2,19	2,19	
%0500	5,000 %	Costes indirectos	2,20	0,11	
<b>TOTAL PARTIDA .....</b>					<b>2,30</b>
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de DOS EUROS con TREINTA CÉNTIMOS					
<b>2.5</b>		<b>Software Microsoft Office</b>			
		Día de uso de Software Microsoft Office 365 Hogar según precio de una licencia anual valorada en 70,0€.			
OFFICE	40,000 d	Día uso Microsoft Office 365 Hogar (70€/año)	0,16	6,40	
%0500	5,000 %	Costes indirectos	6,40	0,32	
<b>TOTAL PARTIDA .....</b>					<b>6,72</b>
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SEIS EUROS con SETENTA Y DOS CÉNTIMOS					
<b>2.6</b>		<b>Software Adobe Acrobat Pro DC</b>			
		Día de uso de Software Adobe Acrobat Pro DC según precio de una licencia anual valorada en 178,88€.			
ADOBE	4,000 d	Día uso Adobe Acrobat Pro DC (178.98€/año)	0,49	1,96	
%0500	5,000 %	Costes indirectos	2,00	0,10	
<b>TOTAL PARTIDA .....</b>					<b>2,06</b>
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de DOS EUROS con SEIS CÉNTIMOS					

## CUADRO DE DESCOMPUESTOS

### MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA

CÓDIGO	CANTIDAD UD	RESUMEN	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
<b>2.7</b>		<b>Material Oficina</b>			
		Se incluye todas las impresiones, fotocopias y encuadernación del documento.			
MATOF	1,000 u	Material Oficina Varios (folios, fotocopias, etcétera)	35,00	35,00	
%0500	5,000 %	Costes indirectos	35,00	1,75	
<b>TOTAL PARTIDA .....</b>					<b>36,75</b>

Ascende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de TREINTA Y SEIS EUROS con SETENTA Y CINCO CÉNTIMOS

# PRESUPUESTO Y MEDICIONES

## MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE	
<b>CAPÍTULO 01 Elaboración y desarrollo del trabajo</b>										
01.01	<p><b>Búsqueda y recopilación de información. Fase de estudio.</b></p> <p>Para realizar el proyecto, se ha tenido que hacer un proceso de búsqueda de información. Tanto de todo lo relacionado con la grúa hidráulica (funcionamiento, partes, tipos, historia, etcétera) como de sistemas relacionados con la misma. Ya sean el sistema hidráulico, el sistema de anclaje y demás. Cabe añadir, que la búsqueda de información y estudio de la misma, se ha realizado mediante páginas web y libros.</p> <p>Se ha estimado un tiempo invertido en esta tarea de 28 horas. El precio asignado a esta tarea ha sido de 25 €/hora. El precio es debido a que solamente un titulado en ingeniería mecánica o un ingeniero técnico cualificado es capaz de analizar las diferentes situaciones y soluciones con éxito.</p>							1,00	721,00	721,00
01.02	<p><b>Diseño, modelado, simulación dinámica y análisis de resultados.</b></p> <p>Esta parte comprende el proceso de diseño de la grúa hidráulica articulada mediante el programa de diseño CAD, Autodesk Inventor. Además del posterior montaje de la situación de carga y descarga de la grúa y su simulación mediante el Adams View. Seguidamente, se han tenido que analizar los resultados obtenidos en el postprocesador.</p> <p>Esta parte es la más extensa del trabajo. Se le ha asignado una cantidad de horas de 240. A un precio por hora de 25 €/hora. Es necesario un titulado en ingeniería mecánica o similar para realizar todo el proceso detallado.</p>						1,00	6.180,00	6.180,00	
01.03	<p><b>Creación de planos.</b></p> <p>Esta parte inicia una vez se ha realizado el diseño y modelado de las piezas de la grúa. No es necesario un ingeniero titulado para realizar dicha parte. Un delineante es capaz de realizar el mismo trabajo. Se ha estimado el número de horas empleadas en dicha tarea en 15. El precio por hora es de 25 €/hora.</p>						1,00	386,25	386,25	
01.04	<p><b>Redacción del documento.</b></p> <p>Esta parte resta de dificultades técnicas. En ella se ha redactado todo lo que se ha creído importante para la realización del proyecto y explicación del mismo. Desde primera fase de búsqueda de información, seguido de la parte de diseño y modelado y finalmente los planos. El documento incluye un análisis y explicación detallado de lo realizado durante el trabajo de fin de grado. Se han empleado un total de 100 horas. Se ha estimado un precio de 25 €/hora.</p>						1,00	2.575,00	2.575,00	
<b>TOTAL CAPÍTULO 01 Elaboración y desarrollo del trabajo .....</b>									<b>9.862,25</b>	

# PRESUPUESTO Y MEDICIONES

## MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
<b>CAPÍTULO 02 Materiales y recursos empleados</b>									
02.01	<b>Software Autodesk Inventor Professional</b> Día de uso de Software Autodesk Inventor Professional 2019 según precio de una licencia anual valorada en 2.160€.						1,00	186,48	186,48
02.02	<b>Software MSC ADAMS VIEW</b> Día de uso de Software MSC ADAMS VIEW según precio de una licencia anual valorada en 357,70€.						1,00	41,16	41,16
02.03	<b>Ordenador Portátil</b> Se ha requerido su uso durante todo el proyecto. Para realizar el diseño y modelado de la grúa hidráulica y la modificación de sus elementos; y para redactar todo el documento en sí. Se estima un precio de compra de 849,99€. Se trata de un ordenador con sistema operativo Windows 10, de la marca HP. En concreto se trata del modelo HP Envy K202NS. Con procesador Intel Core i7-5500U con gráficos HD Intel 5500, funcionando a 2.40 GHz. Con una memoria RAM de 8GB DDR3L-1600 y una tarjeta gráfica NVIDIA GeForce GTX 850M de 4GB dedicados. Está compuesto por un disco duro tipo SSD de capacidad 500 GB; y una pantalla de resolución 1080p. Se ha estimado un 5% de uso respecto al precio de compra.						1,00	44,63	44,63
02.04	<b>Software Presto</b> Día de uso de Software Presto Presupuestos según precio de una licencia anual valorada en 800,0€.						1,00	2,30	2,30
02.05	<b>Software Microsoft Office</b> Día de uso de Software Microsoft Office 365 Hogar según precio de una licencia anual valorada en 70,0€.						1,00	6,72	6,72
02.06	<b>Software Adobe Acrobat Pro DC</b> Día de uso de Software Adobe Acrobat Pro DC según precio de una licencia anual valorada en 178,88€.						1,00	2,06	2,06
02.07	<b>Material Oficina</b> Se incluye todas las impresiones, fotocopias y encuadernación del documento.						1,00	36,75	36,75
<b>TOTAL CAPÍTULO 02 Materiales y recursos empleados.....</b>									<b>320,10</b>
<b>TOTAL.....</b>									<b>10.182,35</b>

## RESUMEN DE PRESUPUESTO

### MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA GRÚA HIDRÁULICA

CAPITULO	RESUMEN	EUROS	%
1	Elaboración y desarrollo del trabajo.....	9.862,25	96,86
2	Materiales y recursos empleados.....	320,10	3,14
	<b>TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL</b>	<b>10.182,35</b>	
	13,00% Gastos generales.....	1.323,71	
	6,00% Beneficio industrial.....	610,94	
	SUMA DE G.G. y B.I.	1.934,65	
	21,00% I.V.A.....	2.544,57	
	<b>TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA</b>	<b>14.661,57</b>	
	<b>TOTAL PRESUPUESTO GENERAL</b>	<b>14.661,57</b>	

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de CATORCE MIL SEISCIENTOS SESENTA Y UN EUROS con CINCUENTA Y SIETE CÉNTIMOS

Valencia, a 18 de agosto de 2019.