



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Modelado y simulación dinámica de un grupo reductor para  
acensores

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

AUTOR/A: Iserte Pastor, Sergio

Tutor/a: Suñer Martínez, Josep Lluís

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



TRABAJO FIN DE GRADO  
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

# **Modelado y simulación dinámica de un grupo reductor para ascensores**

Autor: Sergio Iserte Pastor

Tutor: D. Josep Lluís Suñer Martínez

Universitat Politècnica de València  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Valencia, junio de 2022



# Agradecimientos

Quiero agradecer a la universidad, que me ha permitido formarme en esta disciplina y de cuyas instalaciones he podido disfrutar estos cuatro años de carrera. También quiero agradecer a mi tutor, D. Josep Lluís Suñer Martínez, que me ha acompañado estos meses, animándome y dándome la libertad de darle un enfoque personal al trabajo. Sin olvidarme de D. Elías José Hurtado Pérez por su necesaria colaboración en la elaboración de este trabajo.

A mi familia, que se ha preocupado por mi formación y que siempre me ha aconsejado y apoyado en mis decisiones. Por último, a mis amigos y a Belén, que han hecho que el camino sea mucho más fácil.



# Resumen

En el mundo de la ingeniería, la realización de simulaciones se ha convertido en una herramienta imprescindible antes de la fabricación final del producto. El propósito de este trabajo es dar validez a un proyecto de diseño de un grupo reductor para ascensores, mediante la realización de su modelo dinámico en el programa de simulación MSC Adams. En la creación del modelo se utilizan los módulos específicos de Adams para la construcción de engranajes, rodamientos, poleas y motores eléctricos. Por otro lado, para el diseño del resto de piezas se hace uso del programa CAD, SolidWorks. Una vez construido el modelo, se realizan diferentes simulaciones para comprobar los resultados obtenidos. Se analizan los datos y se concluye que el diseño de partida es válido, recalcando que se trata de un proyecto didáctico. A grandes rasgos, muestra los pasos a seguir para el diseño de los elementos esenciales en un ascensor eléctrico con grupo reductor.

**Palabras clave:** modelado, simulación dinámica, grupo reductor, ascensor, MSC Adams.



# Resum

En el món de l'enginyeria, la realització de simulacions s'ha convertit en una ferramenta imprescindible abans de la fabricació final del producte. El propòsit d'este treball és donar validesa a un projecte de disseny d'un grup reductor per a ascensors, per mitjà de la realització del seu model dinàmic en el programa de simulació MSC Adams. En la creació del model s'utilitzen els mòduls específics d'Adams per a la construcció d'engranatges, rodaments, corrioles i motors elèctrics. D'altra banda, per al disseny de la resta de peces es fa ús del programa CAD, SolidWorks. Una vegada construït el model, es realitzen diferents simulacions per a comprovar els resultats obtinguts. S'analitzen les dades i es conclou que el disseny de partida és vàlid, recalçant que es tracta d'un projecte didàctic. En general, mostra els passos que s'ha de seguir per al disseny dels elements essencials en un ascensor elèctric amb grup reductor.

**Paraules clau:** modelatge, simulació dinàmica, grup reductor, ascensor, MSC Adams.





# Abstract

In the engineering world, simulations have become an essential tool before the final manufacture of the product. The purpose of this work is to validate a design project of a speed reducer for lifts, by performing its dynamic model in the simulation program MSC Adams. Adams' specific modules are used to create the model for the construction of gears, bearings, pulleys, and electric motors. On the other hand, for the design of the rest of the parts, the CAD program, SolidWorks, is used. Once the model has been built, different simulations are performed to check the results obtained. The data are analysed, and it is concluded that the initial design is valid, emphasizing that it is a didactic project. In general, it shows the steps to follow for the design of the essential elements in an electric lift with reducer group.

**Keywords:** modelling, dynamic simulation, speed reducer, lift, MSC Adams.



- I. Memoria y Anexos**
- II. Planos**
- III. Pliego de condiciones**
- IV. Presupuesto**



**Documento I**

**Memoria y Anexos**



# Índice

<b>1</b>	<b>Objetivos y motivación</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Introducción</b>	<b>3</b>
2.1	Contexto histórico.....	3
2.2	Ascensores en la actualidad.....	5
2.2.1	Clasificación según accionamiento.....	6
2.2.2	Clasificación según modelo.....	9
2.3	Partes de un ascensor eléctrico.....	11
2.3.1	Grupo de tracción.....	11
2.3.2	Cuadro de maniobras.....	12
2.3.3	Hueco.....	12
2.3.4	Dispositivos de seguridad.....	15
2.4	Antecedentes.....	18
<b>3</b>	<b>Estudio de alternativas</b>	<b>19</b>
3.1	Modelado.....	19
3.2	Simulación.....	20
<b>4</b>	<b>Modelado</b>	<b>21</b>
4.1	Ajustes previos.....	21
4.2	Tornillo sin fin y rueda dentada.....	22
4.2.1	Añadir nuevo material.....	23
4.2.2	Creación de un par de engranajes.....	23
4.2.3	Añadir nuevo color.....	26



---

4.3	Eje de la polea .....	27
4.3.1	Chaveta rueda dentada.....	27
4.4	Cabina y contrapeso.....	29
4.4.1	Cabina.....	30
4.4.2	Contrapeso.....	31
4.5	Polea.....	32
4.5.1	Chaveta polea .....	34
4.5.2	Guías cabina y contrapeso.....	35
4.6	Acoplamiento.....	36
4.6.1	Chaveta eje tomillo sin fin .....	37
4.7	Motor eléctrico .....	38
4.8	Freno electromagnético.....	39
4.8.1	Creación de contactos.....	43
4.8.2	Creación de resortes .....	45
4.9	Rodamientos y cojinetes.....	46
4.10	Estética del proyecto.....	50
<b>5</b>	<b>Creación de movimientos</b>	<b>53</b>
5.1	Subida con motor síncrono .....	53
5.1.1	Apertura de las zapatas .....	55
5.2	Bajada con motor síncrono .....	55
5.3	Subida con velocidad variable .....	56
5.3.1	Movimiento del par de revolución .....	56
5.3.2	Accionamiento del freno.....	57
5.3.3	Apertura y cierre de puertas .....	57
<b>6</b>	<b>Simulación</b>	<b>59</b>
<b>7</b>	<b>Resultados y análisis</b>	<b>61</b>
7.1	Simulación de subida con motor síncrono.....	61
7.1.1	Velocidad vertical de la cabina.....	61

---

7.1.2	Momento torsor en el tornillo sin fin.....	62
7.1.3	Momento torsor en la polea.....	63
7.1.4	Fuerzas de reacción en la rueda dentada.....	63
7.1.5	Fuerzas en los rodamientos y cojinetes.....	65
7.1.6	Tensión en los cables.....	65
7.2	Simulación de bajada con motor síncrono.....	66
7.2.1	Fuerzas de reacción en la rueda dentada.....	66
7.3	Simulación de subida con velocidad variable .....	68
7.3.1	Velocidad vertical de la cabina.....	68
7.3.2	Desplazamiento vertical de la cabina .....	69
7.3.3	Momento torsor en la polea.....	69
7.3.4	Fuerza de frenado.....	70
7.3.5	Tensión en el resorte del freno.....	71
<b>8</b>	<b>Conclusiones y desarrollos futuros</b>	<b>73</b>
<b>9</b>	<b>Anexos</b>	<b>75</b>
Anexo A	Documentación de partida .....	75
Anexo B	Cálculo de los rodamientos y cojinetes .....	80
<b>10</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>103</b>



# Índice de Figuras

1.1	Competencias transversales más demandadas en la década actual.....	2
1.2	Densidad de ascensores cada 1.000 habitantes.....	2
2.1	Ascensor <i>Teagle</i> .....	4
2.2	Montacoches de la empresa Aicon Elevadores .....	5
2.3	Máquina de tracción eléctrica en cuarto de máquinas.....	7
2.4	Ascensor eléctrico sin cuarto de máquinas .....	7
2.5	Tipologías de ascensor hidráulico.....	8
2.6	Ascensores TWIN.....	9
2.7	Ascensor en una vivienda unifamiliar .....	10
2.8	Elevador de tijera.....	11
2.9	Guía en forma de T .....	13
2.10	Apoyo deslizante .....	13
2.11	Apoyo de rodillos.....	13
2.12	Composición de un cable de acero.....	14
2.13	Tipología de estructura transversal de los cordones.....	14
2.14	Esquema de un ascensor eléctrico.....	15
2.15	Paracaídas de acción progresiva de resorte.....	15
2.16	Limitador de velocidad oscilante.....	16
2.17	Limitador de velocidad centrífugo.....	16
2.18	Amortiguador elástico, de resorte e hidráulico.....	17
2.19	Partes de un ascensor eléctrico .....	17
3.1	Modelo motor de combustión interna en MSC Adams .....	20
4.1	Creación de un nuevo modelo en Adams View.....	21
4.2	Selección de la secuencia de rotación .....	22
4.3	Cambio del color del fondo de pantalla.....	22
4.4	Icono <i>Create a Material</i> .....	23
4.5	Creación de un nuevo material .....	23
4.6	Datos de geometría del par de engranajes.....	24
4.7	Importación de una pieza en formato Parasolid .....	24

4.8	Modificación del material de un cuerpo .....	25
4.9	Modificación de la posición y orientación de un cuerpo .....	25
4.10	Selección del color mediante código RGB .....	26
4.11	Menú <i>Appearance</i> donde se cambia el color del sólido .....	26
4.12	Imagen del modelo después de añadir el reductor de velocidad.....	26
4.13	Icono <i>Marker</i> .....	27
4.14	Modificación de un <i>Marker</i> .....	28
4.15	Icono <i>Create a Fixed Joint</i> .....	28
4.16	Imagen del modelo después de añadir el eje de la polea .....	29
4.17	Cabina diseñada en SolidWorks .....	29
4.18	Contrapeso diseñado en SolidWorks.....	29
4.19	Piezas después de añadir un ensamblaje.....	30
4.20	Icono <i>Merge two Bodies</i> .....	30
4.21	Icono <i>Create a Translational Joint</i> .....	31
4.22	Imagen del modelo después de añadir las poleas.....	34
4.23	Imagen del modelo después de terminar la polea .....	36
4.24	Acoplamiento rígido diseñado en SolidWorks .....	36
4.25	Motor eléctrico diseñado en SolidWorks.....	38
4.26	Imagen del modelo después de añadir el acoplamiento y el motor.....	39
4.27	Freno electromagnético diseñado en SolidWorks.....	40
4.28	Icono <i>Create a Revolute Joint</i> .....	40
4.29	Icono <i>Create a Parallel Joint Primitive</i> .....	41
4.30	Icono <i>Create a Contact</i> .....	44
4.31	Datos para la creación del contacto entre las palancas.....	44
4.32	Datos para la creación del contacto de la zapata y el acoplamiento .....	45
4.33	Icono <i>Create a Translational Spring-Damper</i> .....	45
4.34	Creación de un resorte.....	46
4.35	Características del resorte .....	46
4.36	Icono <i>Create a Bearing</i> .....	46
4.37	Datos para la creación del rodamiento 22308 E.....	47
4.38	Datos para la creación del rodamiento 22210 E.....	48
4.39	Datos para la creación de los cojinetes.....	49
4.40	Imagen del modelo después de añadir el freno y los rodamientos.....	50
4.41	Imagen del modelo final .....	51
5.1	Datos a introducir en el paso <i>Motor Connections</i> .....	54
5.2	Datos a introducir en el paso <i>Inputs</i> .....	54
5.3	Icono <i>Translational Joint Motion</i> .....	55

5.4	Icono <i>Rotational Joint Motion</i> .....	56
5.5	Gráfico velocidad-tiempo de un ascensor eléctrico de velocidad variable .....	56
6.1	Menú de la herramienta <i>Run an Interactive Simulation</i> .....	59
6.2	Código QR con enlace a video de la simulación .....	60
7.1	Velocidad vertical de la cabina con motor síncrono en subida .....	62
7.2	Momento torsor en el tornillo sin fin con motor síncrono en subida .....	62
7.3	Momento torsor en la polea con motor síncrono en subida .....	63
7.4	Fuerza radial en la rueda dentada con motor síncrono en subida .....	64
7.5	Fuerza tangencial en la rueda dentada con motor síncrono en subida.....	64
7.6	Fuerza axial en la rueda dentada con motor síncrono en subida .....	65
7.7	Tensión en los cables.....	66
7.8	Fuerza radial en la rueda dentada con motor síncrono en bajada .....	67
7.9	Fuerza tangencial en la rueda dentada con motor síncrono en bajada.....	67
7.10	Velocidad vertical de la cabina con velocidad variable.....	68
7.11	Desplazamiento vertical de la cabina con velocidad variable .....	69
7.12	Momento torsor en la polea con velocidad variable .....	70
7.13	Fuerza de frenado.....	70
7.14	Tensión en el resorte del freno .....	71
9.1	Plano freno electromagnético.....	75
9.2	Planos de la palanca inferior, la zapata y el eje de la zapata.....	76
9.3	Plano del tornillo sin fin .....	76
9.4	Plano del acoplamiento.....	77
9.5	Planos de la arandela, el eje de la palanca, el resorte y la palanca superior.....	77
9.6	Planos de las horquillas, el chupón y los vástagos.....	78
9.7	Plano de la rueda dentada .....	78
9.8	Plano de la polea.....	79
9.9	Plano del eje de la polea .....	79
9.10	Esquema de fuerzas caso I eje tornillo sin fin .....	81
9.11	Reacciones apoyos caso I tornillo sin fin plano XY .....	82
9.12	Reacciones apoyos caso I tornillo sin fin plano XZ.....	83
9.13	Esquema de fuerzas caso II eje tornillo sin fin .....	84
9.14	Reacciones apoyos caso II tornillo sin fin plano XY .....	84
9.15	Reacciones apoyos caso II tornillo sin fin plano XZ.....	85
9.16	Esquema de fuerzas caso I eje polea .....	90
9.17	Reacciones apoyos caso I eje polea plano XY .....	91
9.18	Reacciones apoyos caso I eje polea plano XZ.....	92
9.19	Esquema de fuerzas caso II eje polea .....	92

9.20	Reacciones apoyos caso II eje polea plano XY .....	93
9.21	Reacciones apoyos caso II eje polea plano XZ .....	93
9.22	Características cojinete de fricción DP4™ .....	98
9.23	Dimensiones del rodamiento 22308 E.....	99
9.24	Datos de cálculo del rodamiento 22308 E .....	99
9.25	Viscosidad nominal en función de la velocidad y el diámetro medio.....	100
9.26	Dimensiones del rodamiento 22210 E.....	101
9.27	Datos de cálculo del rodamiento 22210 E .....	102
9.28	Factor de corrección ISO.....	102

# Índice de Tablas

2.1	Comparativa general de ascensores eléctricos e hidráulicos.....	8
4.1	Datos de conectores de la chaveta de la rueda dentada.....	28
4.2	Datos para creación de los conectores de las puertas con la cabina.....	31
4.3	Cambio de nombre de los conectores prismáticos de las puertas.....	31
4.4	Datos para construcción de poleas. <i>Anchor Layout</i> (1).....	32
4.5	Datos para construcción de poleas. <i>Anchor Layout</i> (2).....	32
4.6	Datos en la sección <i>Dimensions</i> .....	33
4.7	Datos en el paso <i>Pulley Layout</i> .....	33
4.8	Datos en el paso <i>Cable</i> .....	33
4.9	Datos para creación de conectores de la chaveta de la polea.....	35
4.10	Datos para creación de guías de la cabina y contrapeso.....	35
4.11	Datos para creación de conectores con la chaveta del eje del tornillo sin fin.....	37
4.12	Datos para creación de las articulaciones del freno.....	41
4.13	Datos para creación de la condición de las zapatas.....	41
4.14	Cambio de nombre de los conectores del freno.....	42
4.15	Datos para unir piezas del freno.....	43
4.16	Datos para creación de cojinetes.....	48
9.1	Reacciones en apoyos del eje del tornillo sin fin.....	85
9.2	Reacciones en apoyos del eje de la polea.....	94
9.3	Coefficiente de seguridad estática en función del uso.....	99
9.4	Coefficiente $a_1$ en función de la fiabilidad.....	100
9.5	Factor de contaminación $\eta_C$ en función de la condición de uso.....	101





# 1

## Objetivos y motivación

En primer lugar, el objetivo del presente proyecto consiste en la realización del modelo dinámico de un grupo reductor para ascensores, con los datos de partida de un trabajo de diseño ya realizado [1]. Una vez construido el modelo, se simula para comprobar que los resultados obtenidos corresponden a los datos de partida del proyecto.

En segundo lugar, la intención de este trabajo es tanto la adquisición de conocimientos teóricos, como el desarrollo de las competencias transversales del alumno.

Con la realización del trabajo, el alumno comprende cómo funciona un ascensor, los componentes que lo forman, los tipos de ascensores que existen y su historia. Además, se acerca al mundo del diseño de piezas con programas CAD, se instruye en el funcionamiento de programas de simulación dinámica, aprende a realizar un presupuesto y un pliego de condiciones y se introduce en las normativas UNE e ISO. Estas normativas son muy relevantes, ya que rigen la presentación de planos de piezas mecánicas y su diseño.

Las competencias transversales son habilidades o características que aportan un beneficio adicional al trabajo. Por ello, es importante desarrollarlas de cara a la preparación para la vida profesional. El trabajo de fin de grado es una oportunidad para mejorar estas habilidades y demostrarlo en la presentación final.

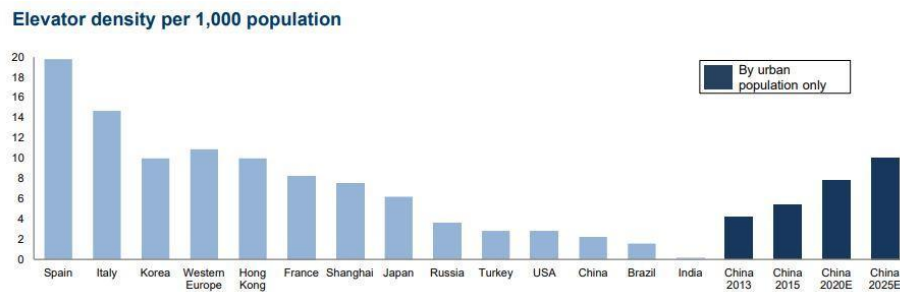
La Universidad Politécnica de Valencia posee un proyecto para incorporar las competencias transversales en los estudios a través de tres líneas diferentes: en los propios planes de estudios, mediante los trabajos de fin de grado o de fin de máster y con la realización de actividades extracurriculares [2].

El Foro Económico Mundial, una organización formada por los principales empresarios, políticos, periodistas e intelectuales del mundo, se reúne anualmente para debatir sobre temas de actualidad que afectan globalmente [3]. Entre otras cosas, en el año 2018 se presentó una lista con las principales competencias transversales que se estipulaba que serían las más demandadas por las empresas en la década actual (Figura 1.1) [4].

- |  |   |
|--|---|
| 1 Pensamiento analítico e innovación               | 2 Aprendizaje activo y estrategias de aprendizaje |
| 3 Creatividad, originalidad e iniciativa           | 4 Diseño y programación de tecnología             |
| 5 Análisis y Pensamiento crítico                   | 6 Resolución de problemas complejos               |
| 7 Liderazgo e influencia social                    | 8 Inteligencia emocional                          |
| 9 Ideación, razonamiento y resolución de problemas | 10 Análisis y evaluación de sistemas              |

**Figura 1.1:** Competencias transversales más demandadas en la década actual [4].

En cuanto a la elección de este proyecto por parte del alumno, cabe destacar dos razones principales. La primera de ellas es que realizar un proyecto sobre un medio de transporte como es el ascensor, es una motivación extra por aprender, ya que se trata del medio de transporte más usado en el mundo y el más seguro. Existen más de 18 millones de ascensores en el mundo (2022) y se realizan 3 mil millones de viajes cada día [5]. Además, España es el país con mayor densidad de ascensores cada mil habitantes a nivel mundial como se muestra en la Figura 1.2.



**Figura 1.2:** Densidad de ascensores cada 1.000 habitantes [5].

Por último, este trabajo permite formarse en conocimientos de programas de simulación y en softwares de CAD, teniendo estos últimos una gran importancia, ya que se han convertido en indispensables en los despachos de ingeniería [6].

## 2

# Introducción

Un ascensor se define como una máquina instalada en una estructura cuyo fin es la comunicación vertical, es decir, el transporte de pasajeros y/o mercancías entre los diferentes niveles de un edificio o estructura. Pero ¿ha sido siempre así? ¿Cuál es el origen de este sistema de transporte?

### 2.1 Contexto histórico

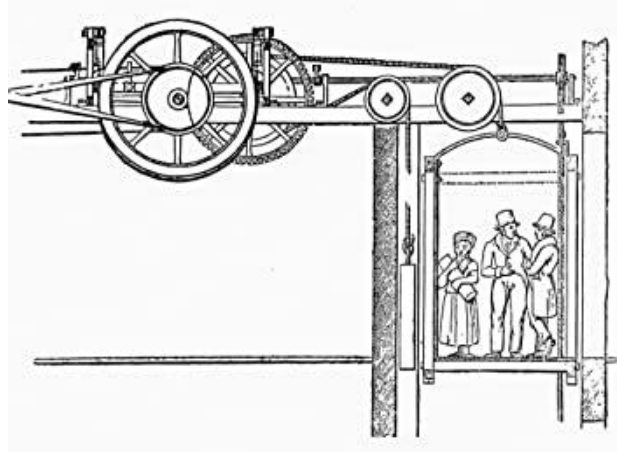
Los primeros dispositivos de elevación y transporte fueron destinados para llevar cargas pesadas o agua a lugares elevados mediante palancas, poleas, rodillos y planos inclinados.

Los sistemas de elevación más primitivos se remontan al siglo XXII a.C. cuando se construyeron las pirámides de Egipto. La pirámide de Keops, de 147 metros de altura, se compone de prismas de piedra gigantes de unas 90 toneladas de peso. Para el transporte vertical de estas cargas tan pesadas se usaron poleas, rodillos y planos inclinados. Hacia el año 1550 a.C. en Egipto y en Mesopotamia se emplea el sistema del *shadoof*, un mecanismo de palanca que se utilizaba para regar, elevando agua procedente de los ríos. Más adelante se comenzó a usar la rueda para la elevación de agua.

En el periodo grecorromano se desarrolla la polea compuesta que permite reducir los esfuerzos necesarios para levantar cargas pesadas. En esta época se comienza a utilizar esta tecnología para elevar verticalmente cargas con grúas o incluso la creación del primer ascensor, que se desarrolló en el Palacio de Nerón.

Durante la Edad Media, que comprende los siglos V d.C. al siglo XV d.C., se va perfeccionando este tipo de máquinas de elevación y se emplea en otros sectores, además del avance en el diseño de los engranajes. Es aquí cuando aparece la figura de Leonardo da Vinci, el cual crea una gran variedad de dispositivos que más tarde se usarán en el desarrollo de los ascensores.

Con la invención de la máquina de vapor de James Watt comenzó a considerarse la opción de utilizar esta energía para los dispositivos de elevación. Hacia el año 1845, se creó en Inglaterra el ascensor ‘Teagle’ (Figura 2.1) que se trataba de un elevador accionado hidráulicamente y que tenía una polea de tracción con contrapeso, como los ascensores actuales. Su accionamiento lo realizaban las propias personas que se desplazaban en la cabina. Hasta esta fecha habían surgido varios prototipos de sistemas de elevación, pero debido a la incertidumbre y la inseguridad que generaban los numerosos accidentes, aún no se había extendido a la población en general.



**Figura 2.1:** Ascensor *Teagle* [7].

No fue hasta la llegada en 1854 de Elisha Graves Otis, un mecánico estadounidense, cuando se diseñó un ascensor con sistema de seguridad, se demostró delante de cientos de personas que funcionaba y era seguro, e hizo que los arquitectos dieran el visto bueno para incorporar los sistemas de elevación en los edificios.

En el año 1878 se utilizó por primera vez un ascensor hidráulico que funcionaba con agua y no con vapor. Con esta nueva tecnología se comenzaron a construir edificios de mayor altura, solucionando así el problema del reducido espacio construible en los centros de las ciudades. El ascensor hidráulico estaba compuesto por un cilindro que accionaba un sistema de poleas y se alcanzaban velocidades de 3,5 m/s y alturas de hasta 30 pisos. Comenzaron a usarse mucho, gracias a su funcionamiento silencioso y que eran bastantes seguros, pero debido al inconveniente de su gran volumen y a la aparición en los siguientes años del ascensor eléctrico, perdieron su popularidad. Actualmente se utiliza la versión mejorada de estos ascensores hidráulicos, al igual que de los eléctricos.

En el año 1889 se crea el primer ascensor eléctrico mediante un motor de corriente continua. Fue una revolución, ya que comenzó a instalarse ascensores en la mayoría de los edificios nuevos. El ascensor eléctrico se desarrolló a una velocidad de vértigo y en Nueva York se

empezaron a emplear ascensores de tipo ‘gearless’, sin reductor, para elevar a personas en edificios de hasta 230 metros.

En el siglo XX, con la evolución de la electromecánica, se comienzan a introducir interruptores en los pisos y a fabricar sistemas de seguridad en los ascensores. En los siguientes años se desarrollan los circuitos integrados y los microprocesadores, que provocan el desarrollo de maniobras programadas y el control del tráfico vertical. A finales del siglo XX, se crea el sistema de motor con variador de frecuencia, que genera un gran control en ascensores de alta velocidad y finalmente, se avanza hasta la creación de los ascensores eléctricos sin cuarto de máquinas que conocemos hoy en día [7].

## 2.2 Ascensores en la actualidad

Actualmente en España existen más de un millón de ascensores instalados, concretamente a finales del año 2018, la cifra total ascendía a 1.102.392, convirtiendo a España en el país de Europa con mayor número de ascensores según la Federación Empresarial Española de Ascensores (FEEDA) [8].

Se trata de un medio de transporte que usan al día millones de personas en el mundo y que tiene una gran variedad de usos. Se utiliza desde en el transporte de personas en edificios residenciales, en atracciones turísticas o en centros comerciales, hasta en la elevación de cargas pesadas en edificios industriales, camas con pacientes en hospitales o coches en los garajes más modernos.



**Figura 2.2:** Montacoches de la empresa Aicon Elevadores [9].

En los últimos años, el sector del ascensor se ha estado desarrollando en la búsqueda constante de alternativas para cualquier situación estructural del edificio o uso, reducción del consumo energético y la optimización de los componentes. Siempre con la vista puesta en la seguridad de los usuarios.

Existe una diferencia entre el término elevador y ascensor, que se encuentra en las velocidades en las que trabaja cada uno de ellos, su mantenimiento, la alimentación eléctrica (en el caso de que sean eléctricos) y la altura del foso. Por un lado, los ascensores operan a una velocidad superior a los 0,15 m/s, poseen una alimentación trifásica, deben tener una revisión mensual y un foso de 1,2 metros, por norma general. Por otro lado, los elevadores tienen una velocidad inferior a los 0,15 m/s, poseen una alimentación monofásica, un mantenimiento trimestral o cuatrimestral y un foso de entre 0,15 y 0,25 metros.

Aunque a efectos legales, a los elevadores también se les llama ascensores ya que están obligados a inscribirse en el Registro de Aparatos Elevadores (RAE), se rigen por diferentes normativas. Existen una decena de leyes que rigen la normativa de los ascensores, entre las que se encuentran las normas EN 81-20 y EN-80-50, que fueron añadidas en septiembre del año 2017. Pretenden convertir a los ascensores en elementos más seguros y preparados para todo tipo de personas. Los elevadores, por otro lado, se rigen bajo la normativa relativa a las máquinas [10].

A la hora de realizar un proyecto para la instalación de un ascensor, se deben tener en cuenta distintos factores: el uso que se le va a dar, teniendo en cuenta la capacidad de carga necesaria, el número de plantas del edificio o estructura, la velocidad de funcionamiento, el consumo energético y la frecuencia de uso esperado, entre otras cosas.

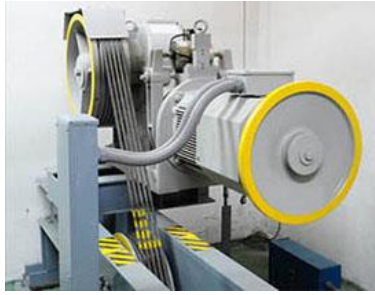
A continuación, se presenta una clasificación de los ascensores según su accionamiento y según su modelo.

### 2.2.1 Clasificación según accionamiento

Los dos principales sistemas de accionamiento de los ascensores hoy en día son, por un lado, los ascensores eléctricos y, por otro lado, los ascensores hidráulicos. Existe también la tipología de ascensor neumático pero su uso no está muy extendido.

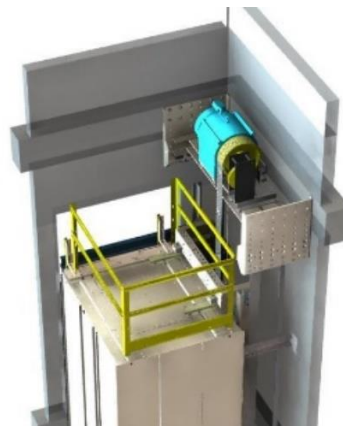
Los ascensores eléctricos funcionan con la fuerza motriz de un motor eléctrico hace girar una polea, la cual hace subir o bajar el ascensor mediante fricción con los cables. Dependiendo de donde se sitúe la maquinaria de operación, existen dos tipos de ascensores eléctricos.

- **Ascensor eléctrico con cuarto de máquinas:** el cuarto de máquinas se sitúa por encima de la última planta y en él se encuentra la propia máquina de tracción con el limitador de velocidad, el cuadro de maniobra, las protecciones eléctricas y la rejilla de ventilación. En este cuarto se ubica toda la información referente al ascensor y en él se realizan los mantenimientos mensuales [11].



**Figura 2.3:** Máquina de tracción eléctrica en cuarto de máquinas [12].

- **Ascensor eléctrico sin cuarto de máquinas:** esta tipología de ascensores funciona con un motor Gearless (sin grupo reductor) y se encuentra en la parte superior del hueco del ascensor como se observa en la Figura 2.4. El cuadro de maniobras se encuentra normalmente en la última planta del edificio.

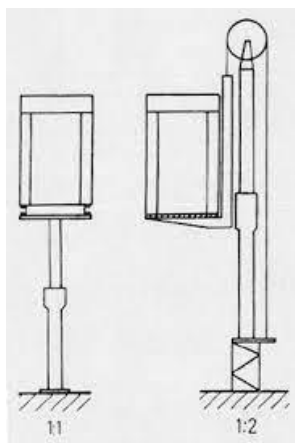


**Figura 2.4:** Ascensor eléctrico sin cuarto de máquinas [13].

Por otro lado, los ascensores hidráulicos basan su funcionamiento en el principio de Pascal. Un motor eléctrico bombea aceite a un pistón introducido en un cilindro y este se mueve suavemente. Estos ascensores consumen principalmente energía en el ascenso ya que, en la bajada, las válvulas eléctricas controlan el descenso que se produce gracias a la acción de la gravedad. Existen dos tipologías principales.

- **Tracción directa 1:1:** la cabina recibe el empuje directo del pistón y, por lo tanto, cada unidad de medida que se desplace el pistón será la misma que la de la cabina. El pistón puede estar centrado o en un lateral.
- **Tracción indirecta 1:2:** también llamados de impulsión diferencial, poseen un sistema de cables y poleas. Por cada movimiento que haga el pistón, la cabina se desplaza el doble.





**Figura 2.5:** Tipologías de ascensor hidráulico [14].

Los ascensores hidráulicos, al igual que los eléctricos, pueden tener o no cuarto de máquinas, dependiendo de si este cabe en el foso. En la Tabla 2.1 se presenta una comparación entre estas dos principales tipologías de ascensores.

Característica	Ascensor eléctrico	Ascensor hidráulico
Velocidad	Velocidad estándar: 1-2 m/s Velocidad máxima actual: 20,8 m/s.	Menor de 1 m/s.
Altura	Hasta 100 metros o más en proyectos especiales.	Hasta 25 metros.
Carga	Menor capacidad de carga.	Mayor capacidad de carga.
Potencia	Menor potencia instalada.	Mayor potencia instalada.
Consumo	Menor consumo para unas determinadas prestaciones.	Mayor consumo para unas determinadas prestaciones.
Transmisión de cargas	Se transmiten las cargas a la estructura del edificio, teniendo que reforzarla	Cargas transmitidas a la cimentación.
Mantenimiento	Mayor mantenimiento, pero más económico.	Menor mantenimiento, pero coste mayor.
Ruido	Mayor ruido.	Menor ruido.

**Tabla 2.1:** Comparativa general de ascensores eléctricos e hidráulicos.

Existen otros sistemas de tracción, como son el husillo y tuerca, que necesitan una autorización especial. Alcanza velocidades de 0,16 m/s aproximadamente y su uso se encuentra en viviendas unifamiliares. Otro sistema de tracción es la elevación por cremallera, que no está autorizado en España como instalación definitiva, pero su uso está extendido en obras en fachadas y en usos industriales. Por último, el sistema de tracción por arrollamiento que actualmente en España ha sido abandonado por su inseguridad [15].

A principios del siglo XXI la empresa ThyssenKrupp Elevator diseñó un sistema que permite que coexistan dos cabinas de forma independiente en un solo hueco de ascensor utilizando las

mismas guías y puertas. Gracias al avanzado sistema de control, se consigue una gran eficiencia en edificios de más de 50 metros de altura [16].



**Figura 2.6:** Ascensores TWIN [16].

### 2.2.2 Clasificación según modelo

Según el fin del aparato de elevación y las condiciones del edificio, existen diversos modelos en el mercado de ascensores o elevadores. A continuación, se muestra una lista con los más relevantes.

- **Ascensor convencional:** son los ascensores más habituales en los edificios residenciales. Soportan un gran tráfico de personas, alcanzan velocidades de 1 m/s (exceptuando ascensores en rascacielos, donde se han llegado a alcanzar los 20 m/s) y necesitan un foso mínimo de 1,2 m y un espacio en la parte superior del hueco de 3,5 m para cumplir con la normativa [17].
- **Ascensor de servicio:** se encuentran principalmente en edificios comerciales y hospitales. Son ascensores que poseen un mayor tamaño que los convencionales, donde caben una gran cantidad de personas con mayores cargas o camas de hospital con pacientes. Suelen ser especiales ya que, además, se diseñan teniendo en cuenta que se usan las 24 horas del día [18].
- **Ascensor de velocidad reducida (unifamiliares):** se desplazan a una velocidad no superior de 0,15 m/s y funcionan con la misma red eléctrica que tienen las viviendas, es decir, 220 V monofásico y 50 Hz. Pueden tener o no foso reducido y se adaptan en tamaño y diseño a las necesidades de cada vivienda [19].



**Figura 2.7:** Ascensor en una vivienda unifamiliar [20].

- **Ascensor con foso reducido:** poseen un foso de dimensiones muy reducidas (entre 20 y 40 cm de profundidad) para adaptarse a cualquier espacio. Son ideales para aquellos edificios que por antigüedad no tienen espacio suficiente para un ascensor tradicional. Estos ascensores se fabrican a medida, aprovechando el espacio al máximo, siguiendo la normativa vigente, y suponen un ahorro económico en comparación con los ascensores convencionales ya que no son necesarias grandes obras para poder ser instalados [21].
- **Ascensor montacargas:** se encuentran en edificios industriales y se diseñan pensando en el transporte de cargas pesadas y voluminosas. Su diseño es robusto y permite elevar cargas de hasta 10.000 kg. Este sistema permite agilizar el proceso de producción de la empresa y aligerar la carga de los trabajadores. Uno de los sistemas de montacargas más conocido es el montacoches, cada vez más presente en edificios comerciales y residenciales [22].
- **Minicargas y montaplatos:** son sistemas de transporte de pequeñas y medianas mercancías que facilitan el trabajo en el sector de servicios. Su objetivo es aportar una accesibilidad rápida y eficaz y pueden instalarse desde en restaurantes o viviendas particulares, hasta en hoteles u hospitales [23].
- **Elevadores verticales de corto recorrido:** son plataformas verticales hidráulicas que tienen media cabina y que se diseñan para dotar de total autonomía a personas con movilidad reducida. Salvan una altura máxima de 3 metros y suelen tener una carga de elevación de hasta 300 kg [24].

Otros aparatos de elevación menos conocidos, pero muy utilizados, son los que se encuentran en los talleres mecánicos. En ellos se pueden encontrar hasta cuatro diferentes tipos de elevador: de dos columnas, de cuatro columnas, de alineación y de tijera.



**Figura 2.8:** Elevador de tijera [25].

## 2.3 Partes de un ascensor eléctrico

En este proyecto se va a modelar y simular un ascensor para uso residencial por accionamiento eléctrico y con cuarto de máquinas. A continuación, se presentan las partes principales que componen esta tipología de ascensores [7].

### 2.3.1 Grupo de tracción

El grupo de tracción se encuentra en el cuarto de máquinas y es el encargado de realizar los movimientos del ascensor. Está compuesto por un motor eléctrico, un reductor, un freno mecánico y las poleas de tracción y de desvío.

- **Motor eléctrico:** se encarga de crear el movimiento aportando potencia al sistema. Depende de las características de la instalación se elegirá un tipo de motor u otro, pero los más utilizados hoy en día son los de corriente alterna. Dentro de los motores de corriente alterna, encontramos los de una velocidad, dos velocidades y con variador de frecuencia (actualmente los más utilizados). Con estos últimos se consigue un gran confort para el usuario ya que las arrancadas y las paradas son suaves; además se consigue una disminución del consumo eléctrico.
- **Reductor:** se compone generalmente de un tornillo sinfín de acero y una corona dentada de bronce dentro de un cárter de fundición y se encuentra entre el freno y la polea tractora. Para velocidades elevadas, se utilizan ascensores sin reductor llamados ‘gearless’.
- **Freno:** se trata normalmente de un freno electromecánico, el cual debe ponerse en funcionamiento automáticamente en caso de cortocircuito en el sistema. En la posición natural del freno, dos zapatas por la acción de unos resortes se empujan sobre el tambor

del freno. Por otro lado, son separadas por un sistema de palancas cuando se pone en tensión un electroimán.

- **Polea de tracción:** transmiten el movimiento a los cables por adherencia y se diseñan de forma meticulosa, ya que es uno de los elementos críticos del conjunto. El diámetro de la polea según normativa debe ser como mínimo, 40 veces el diámetro del cable. Los perfiles de las gargantas de las poleas de arrastre tienen una gran influencia en el desgaste de los cables y por ello, se debe diseñar teniéndolo en cuenta. Los más utilizados son los perfiles trapezoidales y los semicirculares.
- **Polea de desvío:** la polea de desvío se introduce cuando la distancia entre los amarres de los cables de la cabina y del contrapeso es mayor que el diámetro de la polea de tracción. Normalmente se coloca a una altura inferior para evitar el deslizamiento de los cables.

### 2.3.2 Cuadro de maniobras

El cuadro de maniobras es el cerebro del ascensor y se ubica en el cuarto de máquinas junto al sistema de tracción. Controla todas las acciones que suceden en él, como son la apertura de puertas, los movimientos, las velocidades y los ciclos de operación.

### 2.3.3 Hueco

Es el espacio destinado al desplazamiento del ascensor y del contrapeso y no puede ser utilizado por ningún otro tipo de instalación. Debe construirse de materiales incombustibles y resistentes a las cargas que se van a generar en sus paredes por la acción del ascensor. En él, se encuentra la cabina, el contrapeso, las guías de estos dos elementos anteriores, los cables de tracción, las puertas de embarque y el foso.

- **Cabina:** está compuesta por un bastidor y una caja, en la que se sitúan los pasajeros. La caja por normativa es de acero y debe de estar completamente cerrada por paredes, piso y techo, excepto por la puerta de salida. El bastidor es el elemento al que se le fijan los cables de suspensión y el mecanismo del paracaídas.
- **Contrapeso:** su existencia hace que se reduzca el peso que debe arrastrar el grupo tractor y de esta forma, la potencia necesaria disminuye. Su masa suele ser el sumatorio de la

masa de la cabina y un 50% de su capacidad de carga. Se constituye por bloques de fundición o de hormigón y debe cumplir con la normativa vigente.

- **Guías:** conducen a la cabina y al contrapeso en su trayecto y sirven de apoyo en caso de rotura de los cables. Deben estar perfectamente alineadas y tener una rigidez suficiente como para soportar el peso total de la cabina con carga máxima. Las guías generalmente suelen tener un perfil en T (Figura 2.9).



**Figura 2.9:** Guía en forma de T [26].

El apoyo sobre las guías se realiza mediante apoyos deslizantes o de rodillos. Los apoyos deslizantes se utilizan cuando la velocidad es inferior a 2 m/s y la superficie de contacto con las guías se forma con neopreno o nylon para obtener un bajo coeficiente de rozamiento. Por otro lado, los apoyos de rodillo son muy silenciosos, se utilizan en ascensores de alta velocidad y están compuestos de tres rodillos.

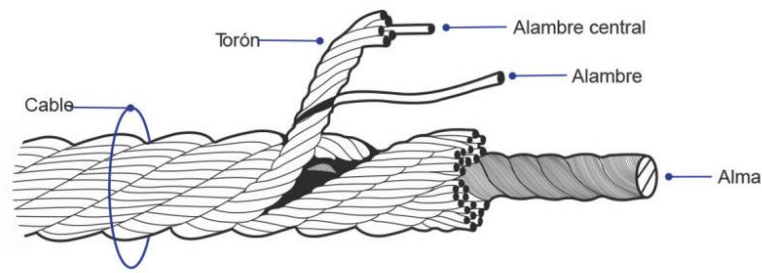


**Figura 2.10:** Apoyo deslizante [27].



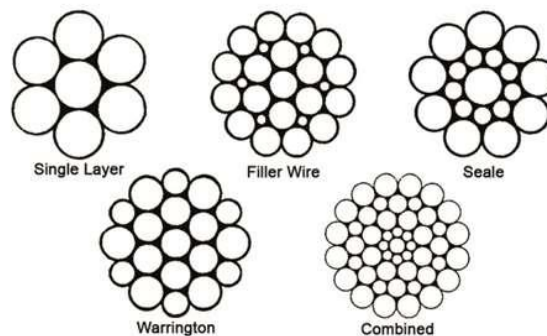
**Figura 2.11:** Apoyo de rodillos [28].

- **Cables:** en los ascensores existen los cables de tracción, de compensación y los del limitador de velocidad. Están compuestos de un alma metálica o textil a la que se le enrollan los cordones, los cuales se forman trenzando alambres metálicos (Figura 2.12).



**Figura 2.12:** Composición de un cable de acero [29].

La clasificación más importante en los cables depende de la estructura transversal de los cordones. Los principales tipos son *Seale*, *Warrington* y *Filler-Wire*, aunque se pueden realizar combinaciones de estos para formar otros (Figura 2.13).

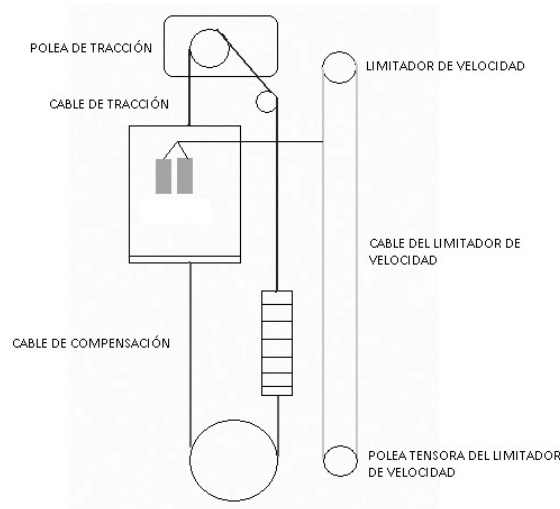


**Figura 2.13:** Tipología de estructura transversal de los cordones [29].

La nomenclatura de los cables se constituye de 3 cifras y se escribe de la siguiente forma:  $A \times B + C$ , donde  $A$  es el número de cordones del cable,  $B$  es el número de alambres de los cordones y  $C$  es el número de almas del cable.

- **Puertas de embarque:** estas puertas son las que se encuentran en cada una de las paradas del ascensor. Queda totalmente prohibido que queden cerradas con llave desde el exterior ya que, en caso de accidente deben servir de salida de emergencia. Tampoco se debe permitir su apertura desde fuera si la cabina no se encuentra en esa parada.
- **Foso:** se ubica en la parte inferior del hueco del ascensor y en él se colocan los amortiguadores o topes para frenar el descenso de la cabina en caso de que fallen los cables o los demás sistemas de seguridad. La profundidad del foso, en el caso de los ascensores eléctricos residenciales, suele ser de 1,2 m y en este espacio, por normativa, debe caber un paralelepípedo recto de 0,5 x 0,6 x 0,8 m cuando la cabina se apoya sobre los amortiguadores.

En caso de que el edificio sea de gran altura, se dispone de un cable de compensación como se muestra en la Figura 2.14. En esta imagen además se puede ver parte del resto de los elementos que componen el ascensor.



**Figura 2.14:** Esquema de un ascensor eléctrico [30].

### 2.3.4 Dispositivos de seguridad

Sin duda, la seguridad ha sido un aspecto importante en la historia de los ascensores y cada vez los dispositivos de seguridad existentes mejoran y se van introduciendo nuevos. A continuación, se exponen los más utilizados.

- **Paracaídas:** dispositivo que se activa a través del limitador de velocidad (explicado a continuación) cuando la cabina se mueve a una velocidad superior a la normal, según normativa. Puede producirse un frenado instantáneo o progresivo dependiendo de la velocidad nominal y se compone de un sistema de palancas que acciona unas zapatas de rodillos o de cuñas que se agarran a las guías hasta producir un acuñaamiento.

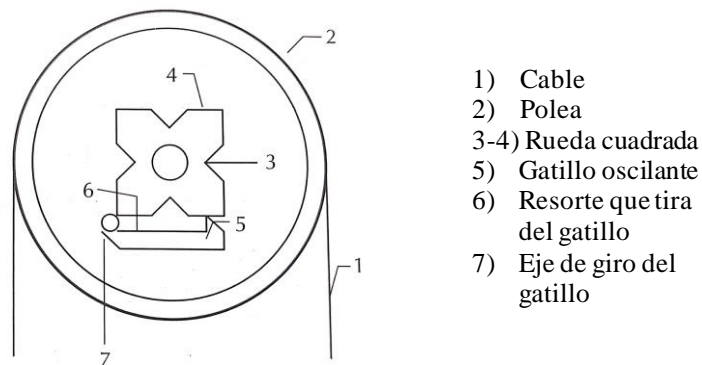


**Figura 2.15:** Paracaídas de acción progresiva de resorte [31].

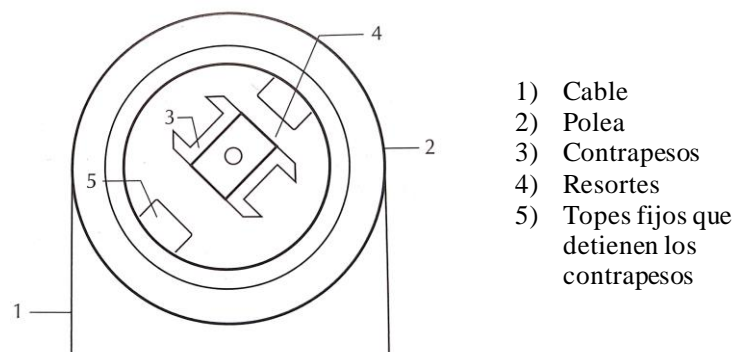


- **Limitador de velocidad:** actúa en caso de que la velocidad de la cabina exceda de la normal, activando en consecuencia el paracaídas. Como se puede ver en la Figura 2.14, se compone de dos poleas acanaladas, una en el cuarto de máquinas y otra en el foso por la que se mueve un cable de acero unido al paracaídas de la cabina. El cable del limitador se desplaza a la par que la cabina y cuando esta supera la velocidad prefijada, se bloquea la polea del limitador y se pega un tirón a la palanca del paracaídas. Existe el limitador de velocidad de tipo oscilante y el centrífugo, siendo este último el más silencioso.

En el limitador de velocidad oscilante (Figura 2.16), mientras se mantenga la velocidad nominal de la cabina, la rueda cuadrada gira solidaria a la polea y se produce la oscilación del gatillo. Cuando se acelera a la velocidad de disparo, el gatillo no puede seguir la oscilación, se queda enganchado en el resalte de la rueda cuadrada y esto provoca que se bloquee, activando el paracaídas. Por otro lado, el limitador de velocidad centrífugo (Figura 2.17) funciona de forma que, cuando se alcanza la velocidad de disparo, se produce la separación de los contrapesos por la fuerza centrífuga y estos se quedan bloqueados con los topes fijos, bloqueando la polea.



**Figura 2.16:** Limitador de velocidad oscilante [7].



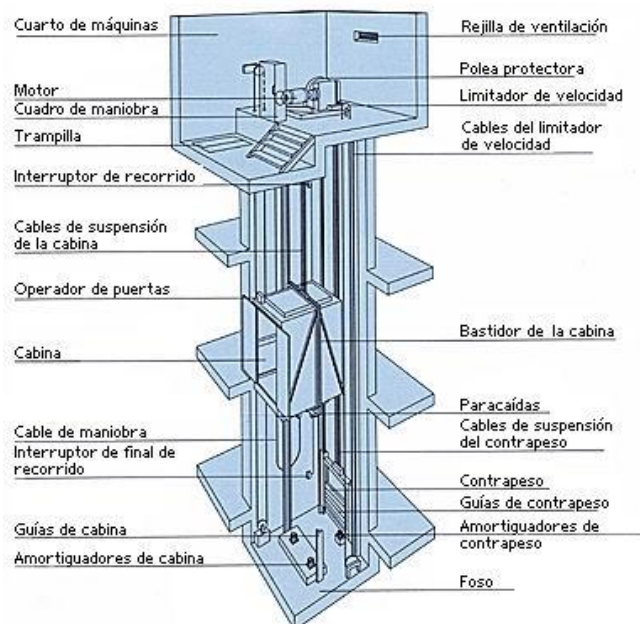
**Figura 2.17:** Limitador de velocidad centrífugo [7].

- **Amortiguadores:** se colocan generalmente en el foso, al final del recorrido tanto de la cabina como del contrapeso. Deben estar situados sobre un pedestal de mínimo 0,5 metros para que, en caso de accidente o mantenimiento quepa una persona debajo de la cabina. Los amortiguadores pueden ser: elásticos (de caucho), que se utilizan si la velocidad del ascensor es menor de 0,6 m/s, de resorte cuando la velocidad no sobrepase los 1,75 m/s y los hidráulicos.



**Figura 2.18:** Amortiguador elástico [32], de resorte [33] e hidráulico [34].

- **Finales de carrera:** sensores colocados en los extremos tanto del ascenso como del descenso y que, en caso de rebasarlos, se interrumpe el circuito y por lo tanto se frena el ascensor.
- **Limitador de carga:** sistema que controla el peso dentro de la cabina y que, en caso de excederse, no permite que funcione el ascensor. Actualmente este sistema se coloca entre el chasis y la cabina y tiene una gran exactitud.



**Figura 2.19:** Partes de un ascensor eléctrico [35].

## 2.4 Antecedentes

Cada año se realizan cientos de proyectos de fin de grado en la Universidad Politécnica de Valencia que permiten al alumno demostrar su capacidad de análisis e integración de la información aprendida en el grado y la adquisición de competencias.

Por un lado, hasta la fecha aún no ha sido realizado ningún proyecto de fin de carrera concretamente sobre un modelado y simulación dinámica de un grupo reductor de ascensores. Pero, por otro lado, sí que se han llevado a cabo diversos proyectos de similar naturaleza y con el mismo tutor que el presente proyecto que pueden favorecer la integración de los conceptos básicos de simulación y las herramientas a emplear en ella.

A continuación, se presenta una lista con estos proyectos presentes en el repositorio de trabajos académicos RiuNet UPV que son de acceso abierto, ya que existen otros tantos de acceso restringido.

- Modelatge i simulació dinàmica de la retroexcavadora Caterpillar M315C [36].
- Modelado y simulación dinámica de una grúa hidráulica para camiones [37].
- Modelado y simulación dinámica del robot industrial Fanuc M-410iB/700 [38].
- Modelatge i simulació dinàmica d'un robot paral·lel amb estructura de plataforma de Stewart [39].
- Modelado y simulación dinámica de un robot paralelo con estructura articulada [40].

# 3

## Estudio de alternativas

En este apartado se analizan las alternativas de software disponibles para realizar el modelado y la simulación dinámica de un proyecto de esta tipología. También se concreta la metodología que se aplicará posteriormente.

### 3.1 Modelado

Actualmente existen decenas de programas de diseño asistido por ordenador para cualquier rama profesional, ya sea a la hora de realizar planos de arquitectura, estructuras en ingeniería civil o piezas y ensamblajes mecánicos en las ingenierías técnicas. Son programas que permiten agilizar los procesos de diseño, corregir errores o intercambiar información con terceros de manera rápida y sencilla.

La Universidad Politécnica de Valencia posee licencias de diversos softwares CAD que se facilitan al alumnado para la realización de trabajos académicos. Se exponen a continuación.

- Autodesk Fusion 360.
- Autodesk AutoCad.
- Autodesk Inventor.
- Rhinoceros 3D.
- SolidWorks.
- Creo Elements/Pro.

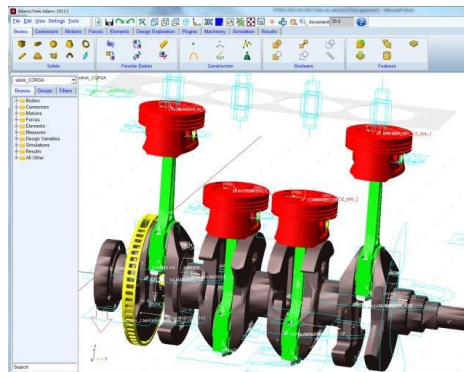
Cada una de estas opciones es válida para el proyecto, siendo SolidWorks y Autodesk Inventor los dos softwares más especializados para la rama de la ingeniería mecánica.

Entre estas dos opciones, finalmente se opta por el uso de SolidWorks, bajo recomendación del tutor del proyecto. Además, el programa es más manejable y tiene una menor curva de aprendizaje respecto a otros programas [41].

## 3.2 Simulación

Por lo que concierne a la simulación dinámica, al igual que con el diseño de piezas, existen varias opciones que facilita la UPV. Entre ellos están los softwares mencionados anteriormente, Autodesk Inventor y SolidWorks, pero destaca el MSC Adams. Se trata del software de Dinámica Multicuerpo (MBD) más utilizado a nivel mundial [42].

El programa elegido para el proyecto posee una potente simulación que permite aproximar el modelo lo máximo a la realidad. Además, contiene módulos opcionales para crear tecnologías de componentes mecánicos como engranajes, poleas o rodamientos y comprobar las interacciones entre ellos.



**Figura 3.1:** Modelo motor de combustión interna en MSC Adams [43].

# 4

## Modelado

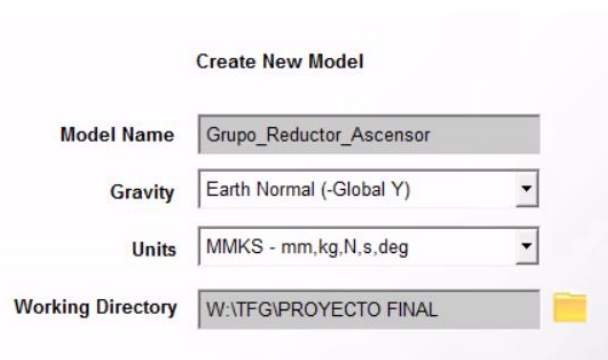
En este apartado se presentan los pasos a seguir para realizar el modelo del grupo reductor para ascensores en el programa Adams View, con la ayuda del programa SolidWorks para la realización del diseño de piezas. En primera instancia el modelo se realiza de manera que el ascensor quede en una altura inferior respecto al contrapeso y, más adelante se explican los cambios a adoptar para realizar la simulación de manera inversa.

La explicación de la construcción se divide en cada uno de los elementos importantes que componen un ascensor eléctrico y finalmente se añaden una serie de elementos opcionales para dar mayor realismo a la simulación.

Los elementos se crean según los planos (ver Anexo A) y la información del proyecto de referencia [1], teniendo en cuenta que es un proyecto didáctico y la posible existencia de errores o incongruencias, que desembocan en una toma de decisiones justificada por parte del alumno.

### 4.1 Ajustes previos

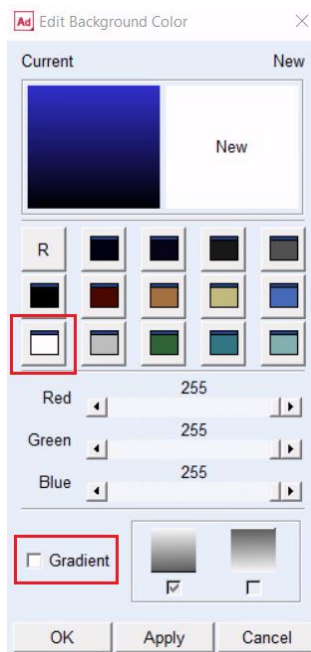
Antes de comenzar a crear los elementos, se toman una serie de directrices para el correcto desarrollo del proyecto. Primero de todo, se crea un nuevo modelo con nombre *Grupo\_Reductor\_Ascensor* con unidades MMKS (Figura 4.1).



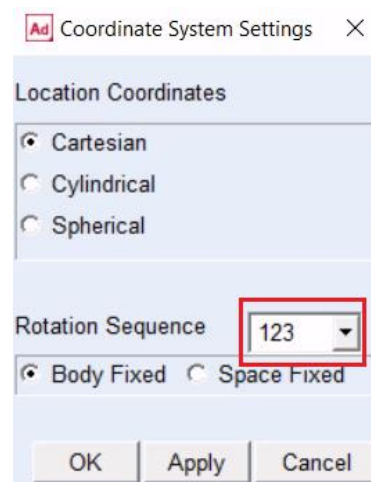
**Figura 4.1:** Creación de un nuevo modelo en Adams View.

A continuación, se cambia el color del fondo de pantalla a color blanco. Para ello, se pulsa arriba a la izquierda en *Settings – View Background Color* y en la nueva pestaña que aparece, se pulsa en el color blanco (255, 255, 255), se desmarca la casilla *Gradient* y se clic en *OK* (Figura 4.2).

El último ajuste que se realiza es el cambio de la secuencia de rotación de ejes para definir la orientación. Esta característica se encuentra en *Settings – Coordinate System*. Una vez aparece la nueva pestaña, se abre el desplegable de *Rotation Sequence*, se selecciona *123* y se clic en *OK* (Figura 4.3).



**Figura 4.2:** Selección de la secuencia de rotación.



**Figura 4.3:** Cambio del color del fondo de pantalla.

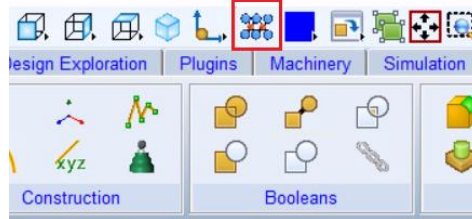
Hay que recalcar que, a partir de ahora todas aquellas palabras que se muestren en inglés se debe a que aparecen en este idioma en el programa Adams.

## 4.2 Tornillo sin fin y rueda dentada

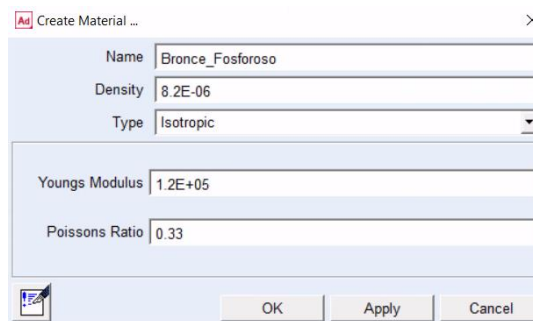
El primer elemento que se crea es el reductor de velocidad formado por un tornillo sin fin de giro levógiro y su rueda dentada conjugada. Estos engranajes consiguen una reducción de 1/47, siendo el tornillo sin fin de acero y la rueda dentada compuesta de una corona de bronce fosforoso y un cubo de acero.

### 4.2.1 Añadir nuevo material

El acero como material ya viene por defecto en el programa, pero el bronce fosforoso no, por lo que se crea. El bronce fosforoso posee una densidad media de  $8,2 \text{ g/cm}^3$ , un coeficiente de Poisson de 0,33 y un módulo de Young medio de 120 GPa [44]. Para añadirlo al programa, se pulsa en el icono *Create a Material* que se muestra en la Figura 4.4, a continuación, se añaden los valores mostrados en la Figura 4.5 y se clicca en *OK*.



**Figura 4.4:** Icono *Create a Material*.



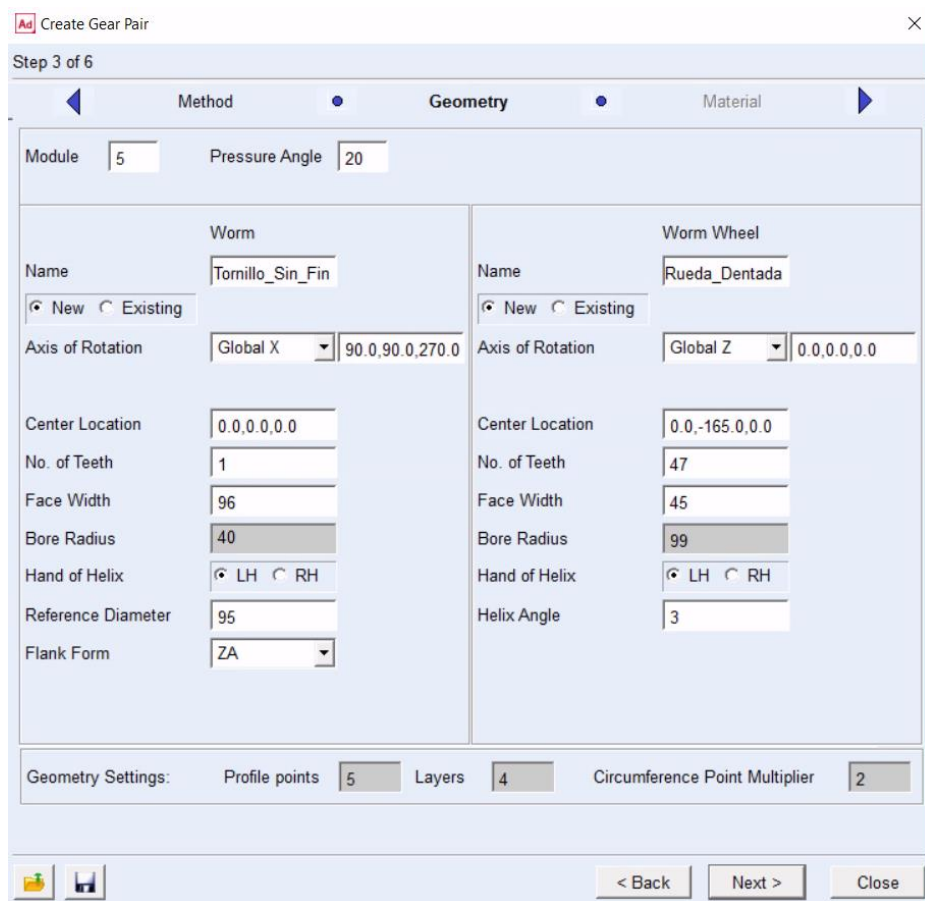
**Figura 4.5:** Creación de un nuevo material.

### 4.2.2 Creación de un par de engranajes

Para crear los engranajes se selecciona el menú *Machinery* y se clicca en *Create Gear Pair* del submenú *Gear*. Al pulsar se despliega una pestaña con seis pasos distintos donde a continuación se describe la información a introducir en cada uno de ellos.

- 1. *Type*: se selecciona en el desplegable *Worm* y se clicca en *Next*.
- 2. *Method*: se selecciona en el desplegable *Simplified* y se clicca en *Next*.
- 3. *Geometry*: se introducen los datos mostrados en la Figura 4.6 y se clicca en *Next*.
- 4. *Material*: se clicca *Worm Wheel* y en el cuadro *Material Type* se escribe 'Bronce\_Fosforoso' y se clicca en *Next*.
- 5. *Connection*: se dejan los valores por defecto y se clicca en *Next*.
- 6. *Completion*: Se clicca en *Finish*.



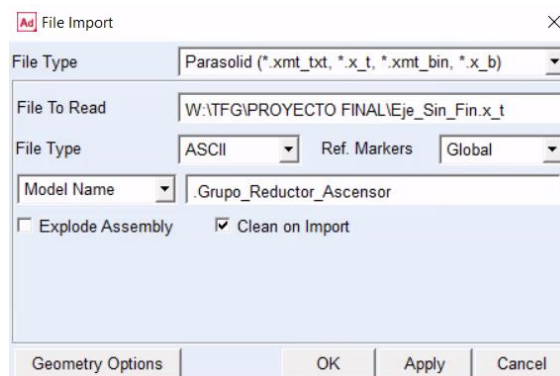


**Figura 4.6:** Datos de geometría del par de engranajes.

Para ver los sólidos de manera realista se selecciona *View – Render Mode – Smooth Shaded*.

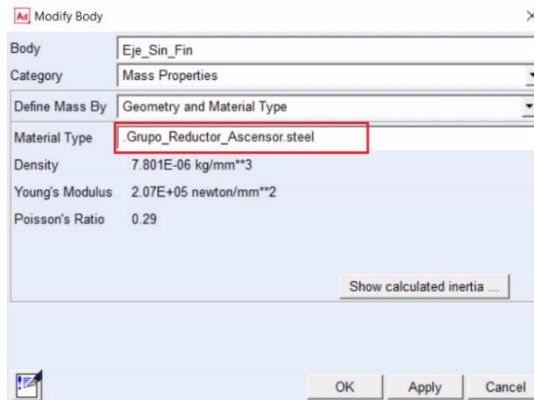
Los engranajes en este punto están creados pero incompletos ya que a la rueda dentada le falta el cubo y al tornillo sin fin, el resto del eje. Mediante el software SolidWorks se han diseñado estas piezas que serán importadas en formato Parasolid. La importación se realiza pulsando *File – Import* e introduciendo los datos en la ventana emergente.

En primer lugar, importa el eje del tornillo sin fin (Eje\_Sin\_Fin.x\_t) introduciendo los datos de la Figura 4.7 y se clicca en *OK*.



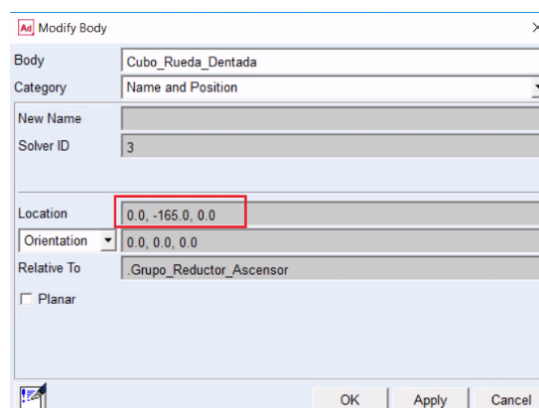
**Figura 4.7:** Importación de una pieza en formato Parasolid.

Una vez importado, en la carpeta *Bodies* que aparece a la izquierda de la pantalla, se clicla con el botón derecho en *Eje\_Sin\_Fin* y se pulsa después en *Modify*. En el menú *Modify*, se puede cambiar la posición, orientación o material, entre otras cosas. En este caso se añade el material, ya que el resto de los valores son correctos. Se introducen los datos mostrados en la Figura 4.8 y se clicla en *OK*.



**Figura 4.8:** Modificación del material de un cuerpo.

En segundo lugar, se importa el cubo de la rueda dentada (*Cubo\_Rueda\_Dentada.x\_t*), se añade el material (*steel*) al igual que se ha realizado con el elemento anterior y se cambia el elemento de posición en el mismo menú *Modify*, cambiando la categoría a *Name and Position*, introduciendo en *Location* el valor (0.0, -165.0, 0.0) y pulsando en *OK* (Figura 4.9).

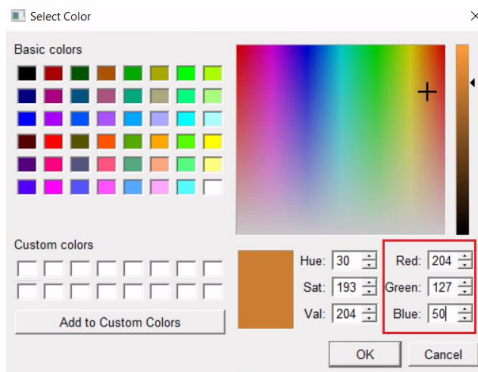


**Figura 4.9:** Modificación de la posición y orientación de un cuerpo.

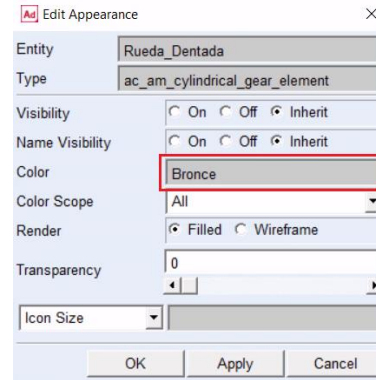
Por último, se procede a unir el tornillo sin fin creado a su respectivo eje para formar una única pieza y lo mismo con la rueda dentada y su cubo. Esto se realiza abriendo la carpeta de la izquierda con nombre *Gear System* y pulsando doble clic en *Tornillo\_Sin\_Fin\_Rueda\_Dentada*. Al hacer esto, se entra al mismo menú con el que anteriormente se han creado estos engranajes. Se navega hasta el paso número 5 llamado *Connection* y en el apartado *Worm*, se selecciona *Type – Fixed* y en *Body* se escribe 'Eje\_Sin\_Fin'. Se realiza lo mismo en el apartado *Worm Wheel*, pero en *Body* se escribe 'Cubo\_Rueda\_Dentada'. Finalmente se clicla en *Next* y en *Finish*.

### 4.2.3 Añadir nuevo color

Los engranajes se visualizan por defecto de color azul aguamarina, por lo que se crea el color bronce y el color para el acero. Para ello, se pulsa en *Settings – Colors* y en el desplegable se clicca en *Color Picker*. Después de esto se introduce el color deseado (por selección o con el código RGB), se clicca en *OK*, se pulsa en *New Color*, se introduce el nombre y se vuelve a clicar en *OK*. Se crea color ‘Bronce’ (204, 127, 50) y ‘Acero’ (201, 208, 236) (Figura 4.10).

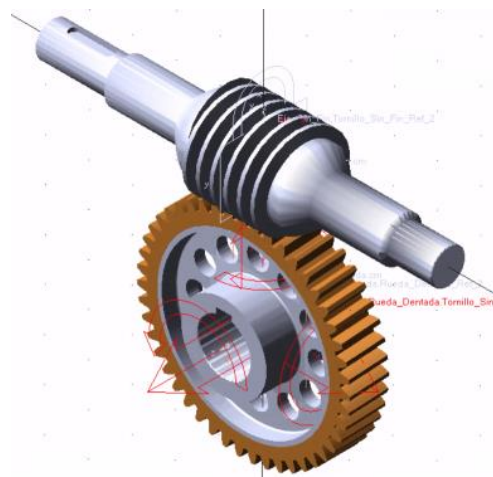


**Figura 4.10:** Selección del color mediante código RGB.



**Figura 4.11:** Menú *Appearance* donde se cambia el color del sólido.

Para cambiar el color de los sólidos se pulsa clic derecho sobre el sólido y se abre el menú *Appearance*. En el apartado *Color* se escribe o se busca con clic derecho el color deseado (Figura 4.11).



**Figura 4.12:** Imagen del modelo después de añadir el reductor de velocidad.

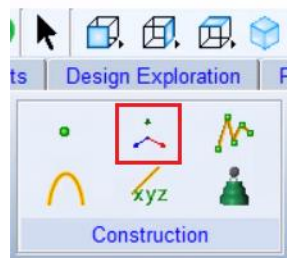
## 4.3 Eje de la polea

La construcción del modelo continúa con la creación del eje de la polea, que es el mismo para la rueda dentada. Dicho eje ha sido creado en SolidWorks, se llama 'Eje\_Polea.x\_t' y para importarlo se clic en *File – Import* y se siguen los pasos que se han comentado con anterioridad. Una vez importado se hace clic derecho sobre la pieza después de abrir la carpeta *Bodies* de la izquierda y después se pulsa *Modify*. Se selecciona *Name and Position* en el desplegable de *Category* y se introduce en *Location* el valor (0.0, -165.0, 0.0). A continuación, el desplegable de *Category* se cambia a *Mass Properties*; en *Define Mass By* se selecciona *Geometry and Material Type*; se escribe 'steel' en el recuadro blanco y se clic en *OK*.

### 4.3.1 Chaveta rueda dentada

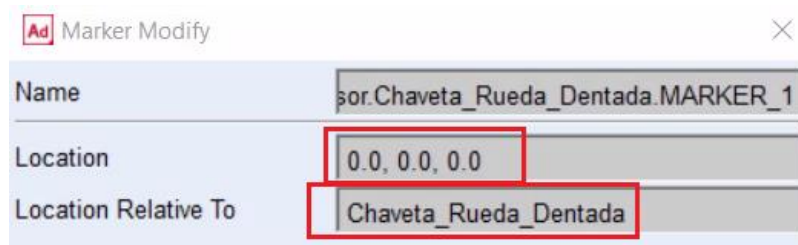
Para crear una unión de transmisión de potencia de la rueda dentada al eje, se va a introducir una chaveta que tendrá dos uniones fijas, una con la rueda dentada y otra con el eje. Primero de todo se clic con el botón derecho en el tornillo sin fin y en el eje del tornillo sin fin y se pulsa en *Hide* para ocultar las piezas y que permitan trabajar con comodidad.

El archivo de la chaveta se llama 'Chaveta\_Rueda\_Dentada' y se importa pulsando el comando *File – Import*. El siguiente paso es crear unos markers en la chaveta, donde luego se colocan los conectores fijos con las piezas. La herramienta para crearlos se encuentra en el menú *Bodies – Construction – Marker* (Figura 4.13). Se pulsa en la herramienta y aparece un menú a la izquierda en el que hay que seleccionar *Add to Part* y *Global XY Plane*. A continuación, se pulsa en *Chaveta\_Rueda\_Dentada* y después en *Chaveta\_Rueda\_Dentada.cm*. Esta acción se realiza dos veces.



**Figura 4.13:** Icono *Marker*.

Una vez creados los dos markers, se procede a cambiar la posición de estos. Para ello, en la carpeta *Bodies* de la izquierda, dentro de *Chaveta\_Rueda\_Dentada*, se hace clic derecho en *MARKER\_1* y se pulsa *Modify*. En la carpeta desplegada se cambia la posición a (0.0, 0.0, 0.0), relativo a *Chaveta\_Rueda\_Dentada* y se clic en *OK*. Con el *MARKER\_2* se realiza la misma operación, pero la posición será (0.0, 13.4, 0.0) (Figura 4.14).



**Figura 4.14:** Modificación de un Marker.

Para terminar de modificar las propiedades de la pieza, se abre la carpeta *Bodies* de la izquierda, se clic con el clic derecho en la chaveta de la rueda dentada y después se pulsa *Modify*. Se selecciona *Name and Position* en el desplegable de *Category* y se introduce en *Location* el valor (0.0, -142.4, 0.0). A continuación, el desplegable de *Category* se cambia a *Mass Properties* y en *Define Mass By* se selecciona *Geometry and Material Type*, se escribe 'steel' en el recuadro blanco y se clic en *OK*.

Finalmente, para crear las conexiones se utiliza la herramienta *Connectors – Joints - Fixed Joint* (Figura 4.15). En el menú que aparece a la izquierda, debe de poner 2 Bodies – 1 Location. Se construyen clicando en los dos cuerpos a unir y en el punto de unión. Para seleccionar estos datos se puede pulsar con el clic derecho del ratón para que se despliegue un menú con las posibilidades próximas a donde se ha clicado. Los datos de los dos conexiones se presentan en la Tabla 4.1.



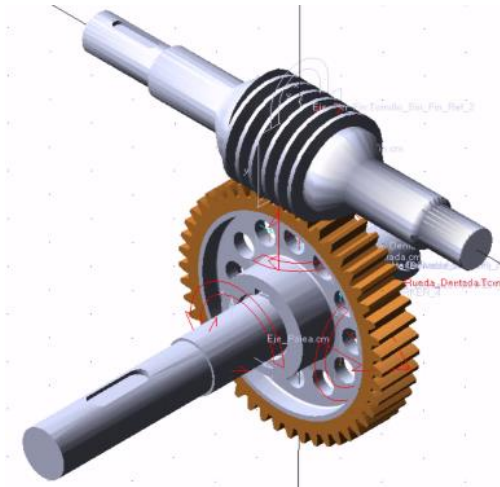
**Figura 4.15:** Icono Create a *Fixed Joint*.

Articulación	Cuerpo 1	Cuerpo 2	Localización
Fixed	Chaveta_Rueda_Dentada	Eje_Polea	MARKER_1
Fixed	Chaveta_Rueda_Dentada	Cubo_Rueda_Dentada	MARKER_2

**Tabla 4.1:** Datos para creación de conectores con la chaveta de la rueda dentada.

Para cambiar el nombre de los conectores, se abre la carpeta de la izquierda *Connectors*, se clic con el botón derecho en 'JOINT\_1', se pulsa *Rename*, se escribe 'F\_Chaveta\_Rueda\_Eje' y finalmente se clic en *OK*. Se realiza la misma operación con 'JOINT\_2' y se escribe 'F\_Chaveta\_Cubo'.

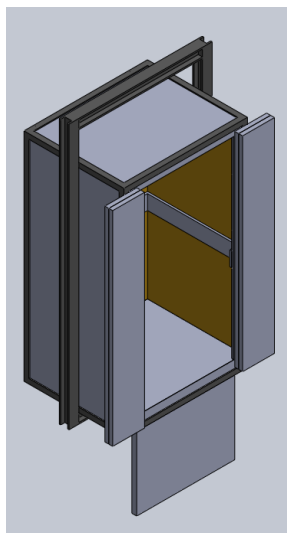
Antes de pasar al siguiente paso se muestran de nuevo las piezas que anteriormente han sido ocultadas. Para ello, se pulsa con el botón derecho del ratón en Eje\_Sin\_Fin, que se encuentra en la carpeta *Bodies* y se clica en *Show*. Lo mismo se realiza con el Tornillo\_Sin\_Fin que se encuentra en la carpeta *Gear Systems*.



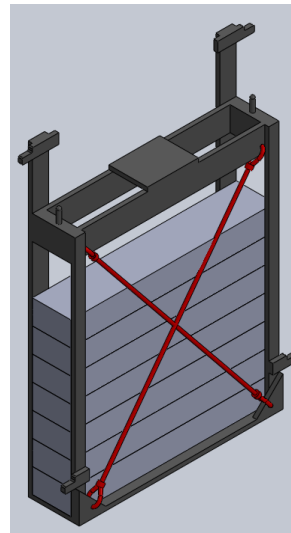
**Figura 4.16:** Imagen del modelo después de añadir el eje de la polea.

## 4.4 Cabina y contrapeso

El paso previo a la construcción de la polea consiste en construir los dos elementos que va a mover esta, por lo que se crea la cabina y el contrapeso. Para ello se realiza un diseño de piezas y un posterior ensamblaje con el programa SolidWorks bajo criterio del alumno, ya que la única importancia de estos elementos en el proyecto es su masa y no su forma.



**Figura 4.17:** Cabina diseñada en SolidWorks.

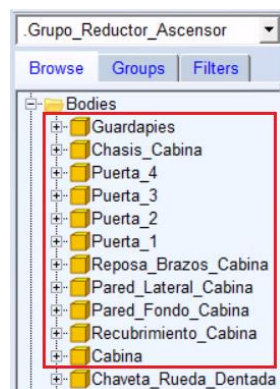


**Figura 4.18:** Contrapeso diseñado en Solidworks.

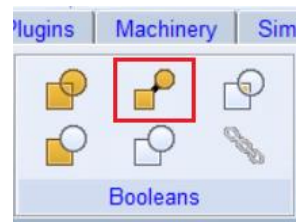
### 4.4.1 Cabina

El primero de los elementos que se importa es el ascensor. Se utiliza el comando *File – Import* como se ha mostrado con anterioridad y se carga el archivo ‘Cabina.x\_t’. Una vez importado, aparecen distintas piezas (Figura 4.19), ya que se trata de un ensamblaje. Se utiliza la herramienta *Merge two Bodies* (Figura 4.20) que se encuentra en el apartado *Bodies – Booleans* para crear un cuerpo único, exceptuando las puertas.

Una vez se pulsa la herramienta, el programa primero pide seleccionar la pieza que se va a unir a la segunda pieza seleccionada. Se unen las piezas ‘Pared\_Lateral\_Cabina’, ‘Guardapiés’, ‘Chasis\_Cabina’, ‘Reposa\_Brazos\_Cabina’, ‘Pared\_Fondo\_Cabina’ y ‘Recubrimiento\_Cabina’ a la pieza ‘Cabina’ mediante 6 operaciones de *Merge two Bodies*.



**Figura 4.19:** Piezas después de importar un ensamblaje.

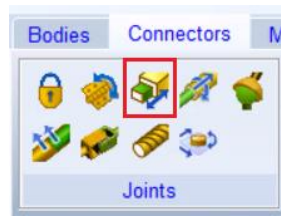


**Figura 4.20:** Icono *Merge two Bodies*.

El siguiente paso consiste en introducir una masa al ascensor. En el proyecto el ascensor tiene una masa de 1300 kg, por lo que se introduce a la cabina una masa de 1260 kg y a cada una de las puertas, una masa de 10 kg. En la carpeta *Bodies*, se clickea con el botón derecho en la pieza ‘Cabina’ y después en *Modify*. Se selecciona la categoría *Mass Properties* y *Geometry and Density* y en el recuadro *Density* se introduce el valor ‘(3011.912626(kg/meter\*\*3))’ y se clickea en *Apply*. En *Category* se selecciona *Name and Position*, en *Location* se introduce el valor (351.0, -15000.0, 220.0) y se clickea en *OK*.

Se realiza lo mismo con cada una de las puertas, introduciendo una densidad de ‘(368.0529996(kg/meter\*\*3))’ y una localización de (0.0, 0.0, 0.0) y *Relative To* ‘Cabina’.

La conexión de las puertas con el ascensor se forma mediante una articulación prismática ya que más adelante se introduce un movimiento de apertura y cierre de puertas. La herramienta es *Create a Translational Joint* (Figura 4.21) y se encuentra en *Connectors – Joints*.



**Figura 4.21:** Icono *Create a Translational Joint*.

Cuando se selecciona la herramienta, se debe asegurar que en el menú de la izquierda aparece *2 Bodies – 1 Location* y *Pick Geometry Feature*. La herramienta funciona seleccionando primero las dos piezas, después la localización y finalmente la dirección de traslación. En la Tabla 4.2 se muestran los datos para la construcción de las cuatro articulaciones prismáticas. Para realizar una correcta selección de los datos, se pulsa con el botón derecho y aparece un desplegable con los datos cercanos a donde se ha clicado.

Articulación	Cuerpo 1	Cuerpo 2	Localización	Dirección
Translational	Puerta_1	Cabina	Puerta_1.cm	Puerta_1.cm.Y
Translational	Puerta_2	Cabina	Puerta_2.cm	Puerta_2.cm.Y
Translational	Puerta_3	Cabina	Puerta_3.cm	Puerta_3.cm.Y
Translational	Puerta_4	Cabina	Puerta_4.cm	Puerta_4.cm.Y

**Tabla 4.2:** Datos para creación de los conectores de las puertas con la cabina.

Por último, se cambia el nombre de los conectores introduciendo los nuevos nombres mostrados en la Tabla 4.3 pulsando con el botón derecho en cada uno, clicando en *Rename* y después en *OK*.

Conector	Nuevo nombre
JOINT_3	T_Puerta_1
JOINT_4	T_Puerta_2
JOINT_5	T_Puerta_3
JOINT_6	T_Puerta_4

**Tabla 4.3:** Cambio de nombre de los conectores prismáticos de las puertas.

## 4.4.2 Contrapeso

De la misma manera que se ha realizado con la cabina, se importa el contrapeso (archivo 'Contrapeso.x\_t') mediante el comando *File – Import*. A continuación, con la herramienta *Merge two Bodies* se unen las piezas 'Carga\_Contrapeso' y 'Cable\_Contrapeso' a 'Soporte\_Contrapeso' y se renombra la pieza 'Soporte\_Contrapeso' con el nombre 'Contrapeso'.



Por último, se entra en el menú *Modify* de la pieza ‘Contrapeso’ y se añade una densidad de ‘(6193.09755(kg/meter\*\*3))’ para que tenga una masa de 1120 kg y su posición se modifica al punto (-351.0, -3000.0, 220.0).

## 4.5 Polea

Ya construida la cabina y el contrapeso, se procede a crear la polea. En el proyecto de referencia, la polea está compuesta de tres gargantas por la que discurren los cables, pero el programa Adams en su módulo para crear poleas solo tiene la posibilidad de crear poleas simples, por lo que se construyen tres poleas diferentes. La herramienta se llama *Cable* y se encuentra en el menú *Machinery*.

Al pulsar se despliega una pestaña con cinco pasos distintos donde a continuación se describe la información a introducir en cada uno de ellos y en cada una de las poleas que se crean. Se crea una polea después de otra.

- 1. *Anchor Layout*: se introducen los datos mostrados en las Tablas 4.4 y 4.5 para cada una de las poleas y se clica en *Next*.

	Cable System Name	Number of Anchors
<b>Polea 1</b>	Cable_System_1	2
<b>Polea 2</b>	Cable_System_2	2
<b>Polea 3</b>	Cable_System_3	2

**Tabla 4.4:** Datos para construcción de poleas. *Anchor Layout* (1).

	Anchor	Name	Location	Connection Part	Winch
<b>Polea 1</b>	1	Anchor_Cabina_1	351.0, -15000.0, 220.0	Cabina	NONE
	2	Anchor_Contrapeso_1	-351.0, -3000.0, 220.0	Contrapeso	NONE
<b>Polea 2</b>	1	Anchor_Cabina_2	351.0, -15000.0, 246.0	Cabina	NONE
	2	Anchor_Contrapeso_2	-351.0, -3000.0, 246.0	Contrapeso	NONE
<b>Polea 3</b>	1	Anchor_Cabina_3	351.0, -15000.0, 194.0	Cabina	NONE
	2	Anchor_Contrapeso_3	-351.0, -3000.0, 194.0	Contrapeso	NONE

**Tabla 4.5:** Datos para construcción de poleas. *Anchor Layout* (2).

- 2. *Pulley Properties*: en el recuadro *Number of Pulley\_Properties* se deja el valor por defecto de 1 y en *Pulley Property Name* se escribe ‘Caracteristica\_1’, ‘Caracteristica\_2’ o ‘Caracteristica\_3’ respectivamente para cada una de las poleas. En el cuadro

*Dimensions* se introducen los valores que se muestran en la Tabla 4.6, en *Contact Parameters* se dejan los valores por defecto y se clic en *Next*.

Dimensions	
<b>Width</b>	26.0
<b>Depth</b>	18.0
<b>Radius</b>	8.0
<b>Angle</b>	22.5

**Tabla 4.6:** Datos en la sección *Dimensions*.

- 3. *Pulley Layout*: en el recuadro *Number of Pulleys* se introduce el valor 1 y en *Axis of Rotation* se selecciona 'Global Z'. Las pestañas *Material* y *Connection* se mantienen por defecto, en *Layout* se introducen los datos mostrados en la Tabla 4.7 y por último se clic en *Next*. Los datos no mostrados en la tabla se dejan por defecto.

	Name	Location	Diameter	Pulley Property
<b>Polea 1</b>	Polea_1	0.0, -165.0, 220.0	720	Caracteristica_1
<b>Polea 2</b>	Polea_2	0.0, -165.0, 246.0	720	Caracteristica_2
<b>Polea 3</b>	Polea_3	0.0, -165.0, 194.0	720	Caracteristica_3

**Tabla 4.7:** Datos en el paso *Pulley Layout*.

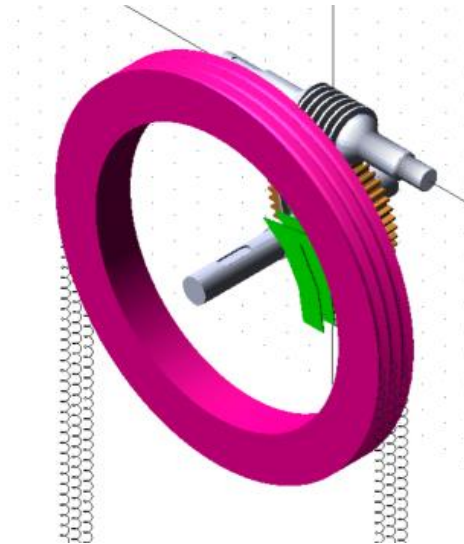
- 4. *Cable*: el valor de *Number of Cables* se deja por defecto en 1, las pestañas *Parameters* y *Output* también se dejan por defecto, en la pestaña *Setup* se introducen los valores de la Tabla 4.8 y después se clic en *Next*.

	Cable Name	Begin Anchor	Wrapping Order	End Anchor	Diameter
<b>Polea 1</b>	Cable_1	Anchor_Cabina_1	Polea_1	Anchor_Contrapeso_1	14.4
<b>Polea 2</b>	Cable_2	Anchor_Cabina_2	Polea_2	Anchor_Contrapeso_2	14.4
<b>Polea 3</b>	Cable_3	Anchor_Cabina_3	Polea_3	Anchor_Contrapeso_3	14.4

**Tabla 4.8:** Datos en el paso *Cable*.

- 5. *Completion*: se clic en *Finish*.

Por defecto el color de los cables es blanco y no se visualizan ya que el fondo también lo es. Para cambiar su color, se clic en la carpeta de la izquierda *Cable Systems*, se clic después en *Cable\_System\_1* y se pulsa botón derecho en *Cable\_1* y después en *Appearance*. En la casilla color se escribe 'BLACK' y se clic *OK*. Se realiza este paso también con *Cable\_2* y *Cable\_3*.



**Figura 4.22:** Imagen del modelo después de añadir las poleas.

Como se muestra en la Figura 4.22, Adams crea por defecto las poleas de esta manera, vacías por dentro y de color rosa, que por un error de programación no es posible cambiarlo. Se ha creado en SolidWorks un ensamblaje compuesto por el cuerpo central de la polea, el espesor exterior de las gargantas de la polea y una capa de apenas 0,1 mm para dar realismo a la polea.

Se importa la pieza llamada ‘Polea.x\_t’ con el comando *File – Import*. Se utiliza la herramienta anteriormente comentada *Merge two Bodies* y se unen los cuerpos ‘Recubrimiento\_Polea’ y ‘Espesor\_Garganta’ a ‘Cuerpo\_Polea’. Hecho esto, se entra al menú Modify de ‘Cuerpo\_Polea’, se cambia la posición a (0.0, -165.0, 220) y se añade el material ‘steel’. Por último, en la carpeta *Cable Systems – Cable\_Sys\_1* se clicca con el botón derecho en Polea\_1 y se selecciona *Hide*. Se realiza la misma operación con Polea\_2 y Polea\_3.

### 4.5.1 Chaveta polea

Para crear una unión de transmisión de potencia del eje con la polea, se va a introducir una chaveta que tendrá dos uniones fijas, una con el eje y otra con la polea. Primero de todo se clicca con el botón derecho en el tornillo sin fin y en el eje del tornillo sin fin y se pulsa en *Hide* para ocultar las piezas y que permitan trabajar con comodidad.

Se importa el archivo ‘Chaveta\_Polea’ con el comando *File – Import*. Se crean dos markers como se ha explicado en el apartado 4.3.1 mediante la herramienta *Marker*. Se pulsa primero en Chaveta\_Polea y después en Chaveta\_Polea.cm. Esta acción se realiza dos veces.

Se pulsa con el botón derecho en el MARKER\_45 y se entra al menú Modify. En la carpeta desplegada se cambia la posición a (0.0, 0.0, 0.0), relativo a Chaveta\_Polea y se clicca en *OK*. Con el MARKER\_46 se realiza la misma operación, pero la posición será (0.0, 14.2, 0.0).

Se abre la carpeta *Bodies* de la izquierda, se clic derecho en ‘Chaveta\_Polea’ y después se pulsa *Modify*. Se selecciona *Name and Position* en el desplegable de *Category* y se introduce en *Location* el valor (0.0, -146.2, 220.0). A continuación, *Mass Properties - Define Mass By - Geometry and Material Type*, se escribe ‘steel’ en el recuadro blanco y se clic en *OK*.

Finalmente, para crear las conexiones se utiliza la herramienta *Fixed Joint*. Los datos de las dos conexiones se presentan en la Tabla 4.9.

Articulación	Cuerpo 1	Cuerpo 2	Localización
Fixed	Chaveta_Polea	Eje_Polea	MARKER_45
Fixed	Chaveta_Polea	Cuerpo_Polea	MARKER_46

**Tabla 4.9:** Datos para creación de conectores de la chaveta de la polea.

El conector creado ‘JOINT\_7’ se cambia de nombre a ‘F\_Chaveta\_Polea\_Eje’ y el conector ‘JOINT\_8’ a ‘F\_Chaveta\_Polea\_Polea’.

Por último, se procede a unir las poleas al cuerpo de la polea. Esto se realiza abriendo la carpeta de la izquierda con nombre *Cable System* y pulsando doble clic en *Cable\_Sys\_1*. Al hacer esto, se entra al mismo menú con el que anteriormente se han creado las poleas. Se navega hasta el paso número 3 llamado *Pulley Layout* y en el apartado *Connection* se selecciona *Connection Type - Fixed* y en *Connection Part* se escribe ‘Cuerpo\_Polea’. Finalmente se clic en *Next* dos veces y luego en *Finish*. Se realiza la misma operación con *Cable\_Sys\_2* y *Cable\_Sys\_3*.

Para ver de nuevo todos los elementos, se pulsa con el botón derecho del ratón en *Eje\_Sin\_Fin*, que se encuentra en la carpeta *Bodies* y se clic en *Show*. Lo mismo se realiza con el *Tornillo\_Sin\_Fin* que se encuentra en la carpeta *Gear Systems*.

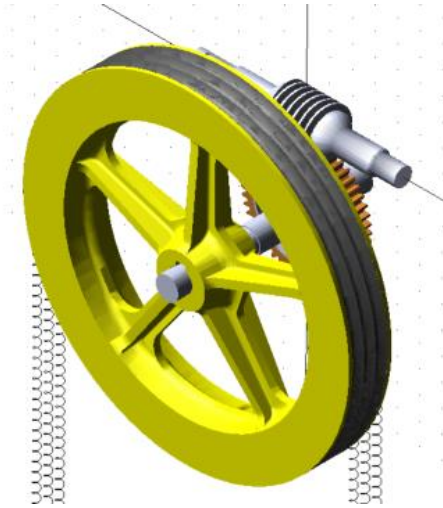
## 4.5.2 Guías cabina y contrapeso

En un ascensor existen guías que limitan el movimiento de la cabina y del contrapeso en una sola dirección, la vertical. Para representar la función de las guías, se introducen dos articulaciones prismáticas, una para la cabina y otra para el contrapeso mediante la herramienta *Create a Translational Joint* (Figura 4.21) con los datos mostrados en la Tabla 4.10.

Articulación	Cuerpo 1	Cuerpo 2	Localización	Dirección
Translational	Cabina	ground	Anchor_Cabina_1	Anchor_Cabina_1.Y
Translational	Contrapeso	ground	Anchor_Contrapeso_1	Anchor_Contrapeso_1.Y

**Tabla 4.10:** Datos para creación de guías de la cabina y contrapeso.

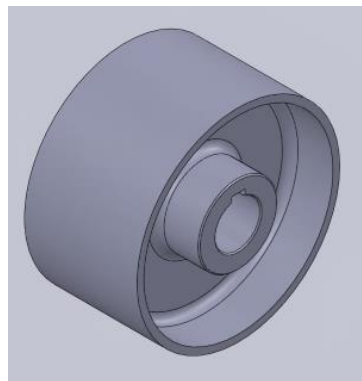
El conector creado 'JOINT\_9' se cambia de nombre a 'T\_Cabina\_Guia' y el conector 'JOINT\_10' a 'T\_Contrapeso\_Guia'.



**Figura 4.23:** Imagen del modelo después de terminar la polea.

## 4.6 Acoplamiento

Entre el eje motor y el eje del tornillo sin fin existe según el proyecto un acoplamiento de tipo rígido para la transmisión de potencia mediante chavetas. Este elemento ha sido creado mediante el software SolidWorks. Se importa el archivo 'Acoplamiento.x\_t' usando el comando *File - Import*.



**Figura 4.24:** Acoplamiento rígido diseñado en SolidWorks.

Una vez importado, se hace clic derecho sobre la pieza después de abrir la carpeta *Bodies* de la izquierda y después se pulsa *Modify*. Se selecciona *Name and Position* en el desplegable de *Category* y se introduce en *Location* el valor (-244.5,0,0, 0.0, 0.0). A continuación, el desplegable de *Category* se cambia a *Mass Properties*, en *Define Mass By* se selecciona *Geometry and Material Type*, se escribe 'steel' en el recuadro blanco y se clicca en *OK*.

### 4.6.1 Chaveta eje tornillo sin fin

Para crear una unión de transmisión de potencia del acoplamiento al eje del tornillo sin fin, se va a introducir una chaveta que tendrá dos uniones fijas, una con el eje del tornillo sin fin y otra con el acoplamiento. Primero de todo se clicca con el botón derecho en el tornillo sin fin y en el eje del tornillo sin fin y se pulsa en *Hide* para ocultar las piezas y que permitan trabajar con comodidad.

El archivo de la chaveta se llama 'Chaveta\_Sin\_Fin' y se importa pulsando en *File – Import*. El siguiente paso es crear unos markers en la chaveta, donde luego se colocan los conectores fijos con las piezas. La herramienta para crear los markers se encuentra en el menú *Bodies – Construction – Marker*. Hay que asegurar que en el menú de la izquierda esté seleccionado *Add to Part* y *Global XY Plane*. A continuación, se pulsa en *Chaveta\_Sin\_Fin* y después en *Chaveta\_Sin\_Fin.cm*. Esta acción se realiza dos veces.

Una vez creados los dos markers, se procede a cambiar la posición de estos markers y para ello en la carpeta *Bodies* de la izquierda, dentro de *Chaveta\_Sin\_Fin*, se hace clic derecho en *MARKER\_85* y se pulsa *Modify*. En la carpeta desplegada se cambia la posición a (0.0, 0.0, 0.0), relativo a *Chaveta\_Sin\_Fin* y se clicca en *OK*. Con el *MARKER\_86* se realiza la misma operación, pero la posición será (0.0, 9.0, 0.0).

Para terminar de modificar las propiedades de la pieza, se abre la carpeta *Bodies* de la izquierda, se clicca clic derecho en la chaveta de la rueda dentada y después se pulsa *Modify*. Se selecciona *Name and Position* en el desplegable de *Category* y se introduce en *Location* el valor (-203.0, 15.5, 0.0). A continuación, el desplegable de *Category* se cambia a *Mass Properties*, en *Define Mass By* se selecciona *Geometry and Material Type*, se escribe 'steel' en el recuadro blanco y se clicca en *OK*.

Finalmente, para crear las conexiones se utiliza la herramienta *Connectors – Joints - Fixed Joint*. En el menú que aparece a la izquierda, debe de poner 2 *Bodies – 1 Location*. Se construyen cliccando en los dos cuerpos a unir y en el punto de unión. Los datos de los dos conexiones se presentan en la Tabla 4.11. Antes de realizar esta operación se debe volver a mostrar el *Eje\_Sin\_Fin* y el *Tornillo\_Sin\_Fin* con la herramienta *Show*.

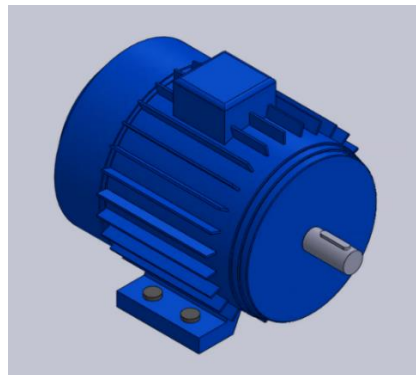
Articulación	Cuerpo 1	Cuerpo 2	Localización
Fixed	Chaveta_Sin_Fin	Eje_Sin_Fin	MARKER_85
Fixed	Chaveta_Sin_Fin	Acoplamiento	MARKER_86

**Tabla 4.11:** Datos para creación de conectores con la chaveta del eje del tornillo sin fin.

Para cambiar el nombre de los conectores, se abre la carpeta de la izquierda *Connectors*, se clicca con el botón derecho del ratón en 'JOINT\_11', se pulsa *Rename*, se escribe 'F\_Chaveta\_Sin\_Fin\_Eje' y finalmente se clicca en *OK*. Se repite la operación al igual que antes, pero con 'JOINT\_12', se escribe 'F\_Chaveta\_Sin\_Fin\_Acoplamiento' y se clicca en *OK* para confirmar.

## 4.7 Motor eléctrico

El motor eléctrico es el elemento clave del sistema ya que es el que aporta el movimiento. Actualmente los motores más utilizados en los ascensores eléctricos son los motores de inducción y es por eso por lo que se ha realizado un diseño de este con el programa SolidWorks. De este diseño solo se aprovecha para la simulación el eje del motor, ya que el resto de los componentes se han realizado únicamente por estética.



**Figura 4.25:** Motor eléctrico diseñado en SolidWorks.

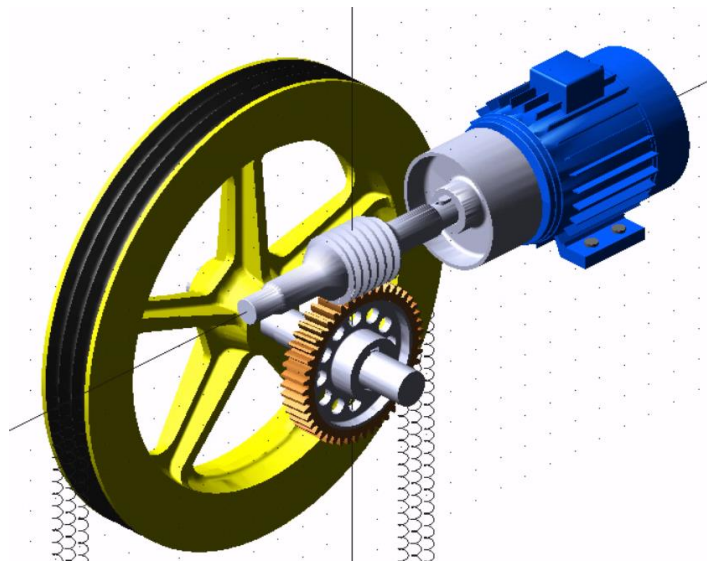
Se importa el archivo 'Motor\_electrico.x\_t' con el comando *File – Import*. Al ser un ensamblaje compuesto por varias piezas, se ha posicionado con respecto al origen en la posición (-246.0, 0.0, 0.0) directamente en el software de SolidWorks para que una vez importado, se coloque automáticamente en su posición.

Con la herramienta anteriormente utilizada *Merge two Bodies* se procede a unir los cuerpos 'Perno\_Motor', 'Motor\_2' y 'Motor\_1' con ground. Se realiza en tres operaciones distintas, donde primero se pulsa en el cuerpo a unir y después en el cuerpo de unión, en este caso, ground.

Para crear la unión del eje motor con el acoplamiento rígido, se procede a colocar un marker donde más tarde irá el punto de unión. Se utiliza la herramienta *Bodies – Construction – Marker* y pulsamos primero en Eje\_Motor y después en Eje\_Motor.cm. Una vez creados el marker, se accede a la carpeta *Bodies* de la izquierda, dentro de Eje\_Motor, se hace clic derecho en MARKER\_91 y se pulsa *Modify*. En la carpeta desplegada se cambia la posición a (-272.0, 17.0, 0.0) y se clicca en *OK*.

Para terminar de modificar las propiedades de la pieza, se abre la carpeta *Bodies* de la izquierda, se clic clic derecho en Eje\_Motor y después se pulsa *Modify*. A continuación, el desplegable de *Category* se cambia a *Mass Properties*, en *Define Mass By* se selecciona *Geometry and Material Type*, se escribe 'steel' en el recuadro blanco y se clic en *OK*.

Finalmente, para crear la conexión se utiliza la herramienta *Connectors – Joints - Fixed Joint*. En el menú que aparece a la izquierda, debe de poner 2 Bodies – 1 Location. Se clic en Eje\_Motor, después en Acoplamiento y se selecciona el MARKER\_91. Se entra en la carpeta Connectors y 'JOINT\_13' se renombra como 'F\_Chaveta\_Motor\_Acoplamiento'.



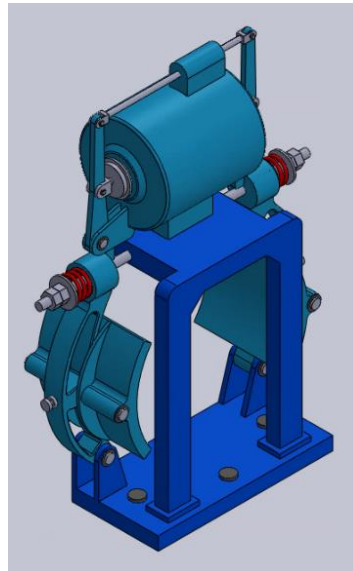
**Figura 4.26:** Imagen del modelo después de añadir el acoplamiento y el motor.

## 4.8 Freno electromagnético

El freno del ascensor es de tipo electromagnético formado por un sistema de palancas que, separan las zapatas del acoplamiento para permitir girar el eje del tornillo sin fin cuando se le induce una corriente eléctrica al solenoide. La posición natural del freno es la de frenado, y esta se mantiene gracias a la acción de la fuerza de dos resortes sobre la palanca inferior, a la que va acoplada la zapata.

El conjunto del freno electromagnético está compuesto por más de 60 piezas, ya que se ha diseñado con total detalle, introduciendo múltiples componentes por estética. Esto más adelante se resolverá añadiendo estos elementos al 'ground' o a otras piezas para que no afecten a la simulación. Al igual que con el motor eléctrico, el freno se ha posicionado directamente en SolidWorks en el punto (-244.5, 0.0, 0.0) respecto al origen del proyecto ya que, por el contrario, en Adams debería de cambiarse la posición de cada una de las piezas por separado.





**Figura 4.27:** Freno electromagnético diseñado en SolidWorks.

Se importa el archivo 'Freno\_electromagnetico.x\_t' con el comando *File – Import*. Una vez importado, se posiciona la vista derecha con las herramientas de 'cubos' que aparecen en la parte superior del programa para tener una mejor vista a la hora realizar las siguientes operaciones.

Primero de todo se crean los conectores de las piezas que permitan más adelante construir el movimiento de palancas comentado. Se emplean tres tipos de conectores, dos vistos ya con anterioridad, tipo fijo (Figura 4.15) y tipo prismático (Figura 4.21) y un nuevo conector, tipo rotacional (Figura 4.28). Los datos para la creación de los conectores se muestran en la Tabla 4.12 y se realiza en el orden presentado ya que este orden se utilizará después para cambiar el nombre de los conectores. En el caso del conector fijo, se utiliza la herramienta *Connectors – Joints – Create a Fixed Joint* y en el menú de la izquierda debe poner *2 Bodies - 1 Location* y *Normal To Grid*. La construcción del conector prismático se realiza con la herramienta *Connectors – Joints – Create a Translational Joint* y en el menú de la izquierda debe poner *2 Bodies - 1 Location* y *Pick Geometry Feature*. Por último, el conector rotacional se emplea con la herramienta *Connectors – Joints – Create a Revolute Joint* y en el menú de la izquierda debe poner *2 Bodies - 1 Location* y *Pick Geometry Feature*. A la hora de seleccionar los datos, se clica con el botón derecho para que se despliegue una lista con los elementos cercanos.

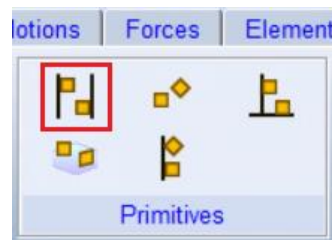


**Figura 4.28:** Icono *Create a Revolute Joint*.

Art.	Cuerpo 1	Cuerpo 2	Localización	Dirección
R	Palanca_inferior_1	ground	Eje_palanca_inferior_1.cm	Eje_palanca_inferior_1.cm.Z
R	Palanca_inferior_2	ground	Eje_palanca_inferior_2.cm	Eje_palanca_inferior_2.cm.Z
R	Palanca_superior_1	ground	Eje_palanca_superior_1.cm	Eje_palanca_superior_1.cm.Z
R	Palanca_superior_2	ground	Eje_palanca_superior_2.cm	Eje_palanca_superior_2.cm.Z
R	Zapata_1	Palanca_inferior_1	Eje_zapata_1.cm	Eje_zapata_1.cm.Z
R	Zapata_2	Palanca_inferior_2	Eje_zapata_2.cm	Eje_zapata_2.cm.Z
R	Chupon_1	Palanca_superior_1	Eje_chupon_1.cm	Eje_chupon_1.cm.Z
R	Chupon_2	Palanca_superior_2	Eje_chupon_2.cm	Eje_chupon_2.cm.Z
R	Vastago_1	Palanca_superior_1	Eje_vastago_1.cm	Eje_vastago_1.cm.Z
R	Vastago_2	Palanca_superior_2	Eje_vastago_2.cm	Eje_vastago_2.cm.Z
R	Chupon_Extra_1	Chupon_1	Chupon_Extra_1.cm	Chupon_Extra_1.cm.Y
R	Chupon_Extra_2	Chupon_2	Chupon_Extra_2.cm	Chupon_Extra_2.cm.Y
R	Vastago_Extra_1	Vastago_1	Vastago_Extra_1.cm	Vastago_Extra_1.cm.Z
R	Vastago_Extra_2	Vastago_2	Vastago_Extra_2.cm	Vastago_Extra_2.cm.Z
T	Chupon_Extra_1	ground	Chupon_Extra_1.cm	Chupon_Extra_1.cm.X
T	Chupon_Extra_2	ground	Chupon_Extra_2.cm	Chupon_Extra_2.cm.X
T	Vastago_Extra_1	ground	Vastago_Extra_1.cm	Vastago_Extra_1.cm.X
T	Vastago_Extra_2	ground	Vastago_Extra_2.cm	Vastago_Extra_2.cm.X
F	Eje_8,5x300mm	ground	Eje_8,5x300mm.cm	-

**Tabla 4.12:** Datos para creación de las articulaciones del freno.

Antes de proceder a cambiar el nombre de las articulaciones, se va a añadir una condición de movimiento relativo para las zapatas. Esta condición hace que cuando las zapatas se separen o se junten, lo hagan de manera equidistante en todos sus puntos de contacto respecto del acoplamiento. Se utiliza la herramienta *Connectors – Primitives – Create a Parallel Joint Primitive*. En el menú de la izquierda debe aparecer *2 Bodies – 1 Location* y *Pick Geometry Feature*. En la Tabla 4.13 se muestran los datos para crear esta condición.



**Figura 4.29:** Icono *Create a Parallel Joint Primitive*.

Articulación	Cuerpo 1	Cuerpo 2	Localización	Dirección
Parallel Axis	Zapata_1	Eje_8,5x300mm	Zapata_1.cm	Zapata_1.cm.X
Parallel Axis	Zapata_2	Eje_8,5x300mm	Zapata_2.cm	Zapata_2.cm.X

**Tabla 4.13:** Datos para creación de la condición de las zapatas.

Conector	Nuevo nombre
JOINT_14	R_Palanca_inferior_1_ground
JOINT_15	R_Palanca_inferior_2_ground
JOINT_16	R_Palanca_superior_1_ground
JOINT_17	R_Palanca_superior_2_ground
JOINT_18	R_Zapata_1_Palanca
JOINT_19	R_Zapata_2_Palanca
JOINT_20	R_Chupon_1_Palanca
JOINT_21	R_Chupon_2_Palanca
JOINT_22	R_Vastago_1_Palanca
JOINT_23	R_Vastago_2_Palanca
JOINT_24	R_Chupon_Extra_1
JOINT_25	R_Chupon_Extra_2
JOINT_26	R_Vastago_Extra_1
JOINT_27	R_Vastago_Extra_2
JOINT_28	T_Chupon_1
JOINT_29	T_Chupon_2
JOINT_30	T_Vastago_1
JOINT_31	T_Vastago_2
JOINT_32	F_Eje_ground
JPRIM_1	Condicion_Zapata_1
JPRIM_2	Condicion_Zapata_2

**Tabla 4.14:** Cambio de nombre de los conectores del freno.

A continuación, se entra en la carpeta de la izquierda *Connectors* y se pulsa con el botón derecho en cada uno de ellos y se clic en *Rename* para renombrarlos por los nuevos nombres mostrados en la Tabla 4.14 anterior.

Una vez realizado el cambio de nombre, con la herramienta *Bodies – Booleans – Merge two Bodies*, se unen piezas con el ‘ground’ o con otras piezas para reducir a 15 piezas únicamente el sistema de frenado. Se realizan 26 operaciones con los datos mostrados en la Tabla 4.15, clicando primero en el cuerpo 1 y después en el cuerpo 2. Se hace uso del clic derecho del ratón para abrir una ventana con los cuerpos que se encuentran en esa zona.

Merge two Bodies		
Operación	Cuerpo 1	Cuerpo 2
1	Perno_Freno	ground
2	Soporte_Freno	ground
3	Arandela_zapata_1	Zapata_1
4	Arandela_zapata_2	Zapata_2
5	Arandela_vastago_1	Vastago_1
6	Arandela_vastago_2	Vastago_2
7	Arandela_chupon_1	Chupon_1
8	Arandela_chupon_2	Chupon_2
9	Tuerca_8,5mm	Eje_8,5x300mm
10	Arandela_8,5x30x2mm	Eje_8,5x300mm
11	Arandela_palanca_inferior	ground
12	Arandela_palanca_superior	ground
13	Tornillo_M5_1	Palanca_inferior_1
14	Tornillo_M5_2	Palanca_inferior_2
15	Solenoide	ground
16	Resorte	ground
17	Eje_chupon_1	Chupon_1
18	Eje_chupon_2	Chupon_2
19	Eje_vastago_1	Vastago_1
20	Eje_vastago_2	Vastago_2
21	Eje_palanca_superior_1	ground
22	Eje_palanca_superior_2	ground
23	Eje_palanca_inferior_1	ground
24	Eje_palanca_inferior_2	ground
25	Eje_zapata_1	Zapata_1
26	Eje_zapata_2	Zapata_2

**Tabla 4.15:** Datos para unir piezas del freno.

Se le añade el material acero a cada una de las 15 piezas del freno que aparecen dentro de la carpeta *Bodies* de la izquierda. Para ello, se abre la carpeta, se clic clic derecho en la pieza y después se pulsa *Modify*. A continuación, el desplegable de *Category* se cambia a *Mass Properties*, en *Define Mass By* se selecciona *Geometry and Material Type*, se escribe 'steel' en el recuadro blanco y se clic en *OK*.

#### 4.8.1 Creación de contactos

El siguiente paso es la creación de contactos entre las palancas para poder realizar el movimiento y entre las zapatas y el acoplamiento para realizar la acción de frenado. Para la creación de los contactos se utiliza la herramienta *Forces – Special Forces- Create a Contact* (Figura 4.30).



**Figura 4.30:** Icono *Create a Contact*.

En primer lugar, se crean dos contactos, uno entre la palanca superior 1 y la palanca inferior 1 y otro entre la palanca superior 2 y la palanca inferior 2. Se clicca en la herramienta y se introducen los datos mostrados en la Figura 4.31 para crear el primer contacto de las palancas.

Create Contact	
Contact Name	Palancas_1
Contact Type	Solid to Solid
I Solid(s)	SOLID49
J Solid(s)	SOLID45
<input type="checkbox"/> Force Display	Red
Normal Force	Impact
Stiffness	5.0E+04
Force Exponent	2.2
Damping	10.0
Penetration Depth	0.01
<input type="checkbox"/> Augmented Lagrangian	
Friction Force	None
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Apply"/> <input type="button" value="Close"/>	

**Figura 4.31:** Datos para la creación del contacto entre las palancas.

El segundo contacto entre las palancas se realiza de la misma manera, pero cambiando el nombre a 'Palancas\_2', I Solid: SOLID50 y J Solid: SOLID46.

Por último, se crean los contactos de las dos zapatas con el acoplamiento. Se selecciona la herramienta *Create a Contact* y se introducen los datos que aparecen en la Figura 4.32.

Property	Value
Contact Name	Frenado_1
Contact Type	Solid to Solid
I Solid(s)	SOLID41
J Solid(s)	SOLID32
Force Display	Red
Normal Force	Impact
Stiffness	2.25E+04
Force Exponent	2.2
Damping	10.0
Penetration Depth	0.01
Augmented Lagrangian	<input type="checkbox"/>
Friction Force	Coulomb
Coulomb Friction	On
Static Coefficient	0.9
Dynamic Coefficient	0.45
Stiction Transition Vel.	100.0
Friction Transition Vel.	1000.0

**Figura 4.32:** Datos para la creación del contacto de la zapata y el acoplamiento.

El contacto de la zapata 2 con el acoplamiento se realiza de la misma manera, pero cambiando el nombre a 'Frenado\_2' e I Solid: SOLID42.

## 4.8.2 Creación de resortes

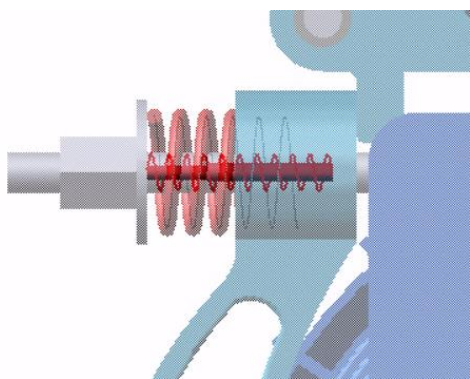
Los resortes son los responsables de que se mantenga una presión constante de la zapata contra el acoplamiento para asegurar un correcto frenado. Para modelar este elemento se utiliza la herramienta *Forces – Flexible Connections – Create a Translational Spring-Damper* (Figura 4.33).



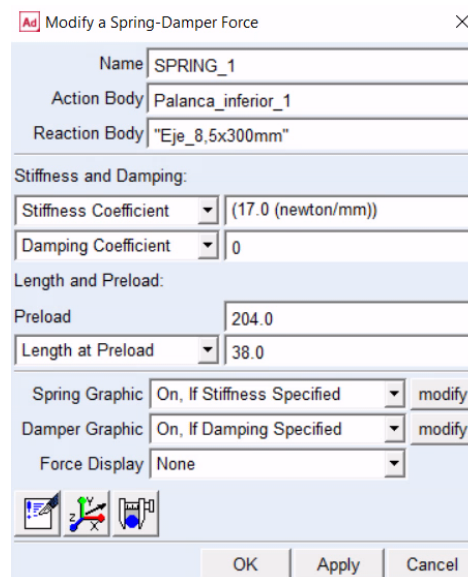
**Figura 4.33:** Icono *Create a Translational Spring-Damper*.

Para la creación del primero de los resortes se clic en la herramienta y se presiona en los dos puntos de posición de comienzo y final del elemento. Se selecciona en primer lugar como se muestra en la Figura 4.34 el punto 'Palanca\_inferior\_1.SOLID45.E128(center)' (derecha) y a

continuación el punto 'Eje\_8,5x300mm.SOLID79.E3 (center)' (izquierda). Para añadir las características al resorte se abre la carpeta *Forces* de la izquierda, se clicca con el botón derecho en 'SPRING\_1' y se pulsa en *Modify*. Se abre un desplegable en el que se añaden los valores mostrados en la Figura 4.35.



**Figura 4.34:** Creación de un resorte.



**Figura 4.35:** Características del resorte.

La creación del segundo y último resorte se realiza de igual forma que el primero. Para ello se selecciona en primer lugar el punto 'Palanca\_inferior\_2.SOLID46.E128 (center)' y después el punto 'Eje\_8,5x300mm.SOLID78.E2 (center)'. Por último, se añaden también las características de la Figura 4.35 en el segundo resorte 'SPRING\_2'.

## 4.9 Rodamientos y cojinetes

Los últimos elementos imprescindibles que faltan por añadir en el modelo son los rodamientos y cojinetes, los cuales transfieren movimiento y transmiten fuerzas. Como se ha calculado en el Anexo B, tanto en el eje del tornillo sin fin como en el eje de la polea se van a colocar dos cojinetes de fricción y un rodamiento de empuje. Para la construcción de estos se utiliza la herramienta *Machinery – Bearing* (Figura 4.36).



**Figura 4.36:** Icono *Create a Bearing*.

A continuación, se expone el proceso a seguir para la construcción de los rodamientos y cojinetes.

En primer lugar, se introduce el rodamiento de empuje del eje del sin fin 22308 E en la posición (179.5, 0.0, 0.0). Se selecciona la herramienta *Create a Bearing* y se siguen los pasos mostrados a continuación.

- 1. *Method*: se selecciona el método *Detailed* y se clicca en *Next*.
- 2. *Type*: se selecciona tipo de rodamiento *Spherical Roller Bearing* y se clicca en *Next*.
- 3. *Geometry*: se introducen los datos mostrados en la Figura 4.37 y se clicca en *Next*.

**Figura 4.37:** Datos para la creación del rodamiento 22308 E.

- 4. *Connection*: en la casilla *Shaft* se escribe 'Eje\_Sin\_Fin' y en la casilla *Housing* se escribe 'ground'. El resto de los valores se dejan por defecto y se clicca en *Next*.
- 5. *Completion*: se clicca en *Finish* para terminar la creación del rodamiento.

En segundo lugar, se construye el rodamiento 22210 E, el cual absorbe carga combinada en el eje de la polea y cuya posición es (0.0, -165.0, 298.5). Para su construcción se realizan los mismos pasos que se han realizado con el anterior rodamiento, pero en el apartado 3 se introducen los datos que aparecen en la Figura 4.38 y en la casilla *Shaft* del apartado 4 se escribe 'Eje\_Polea'.



**Figura 4.38:** Datos para la creación del rodamiento 22210 E.

La creación de los cuatro cojinetes de fricción restantes se realiza de la misma manera ya que tiene las mismas características menos la posición y la conexión. Por ello se explica de manera general y se presentan los datos que varían de uno a otro.

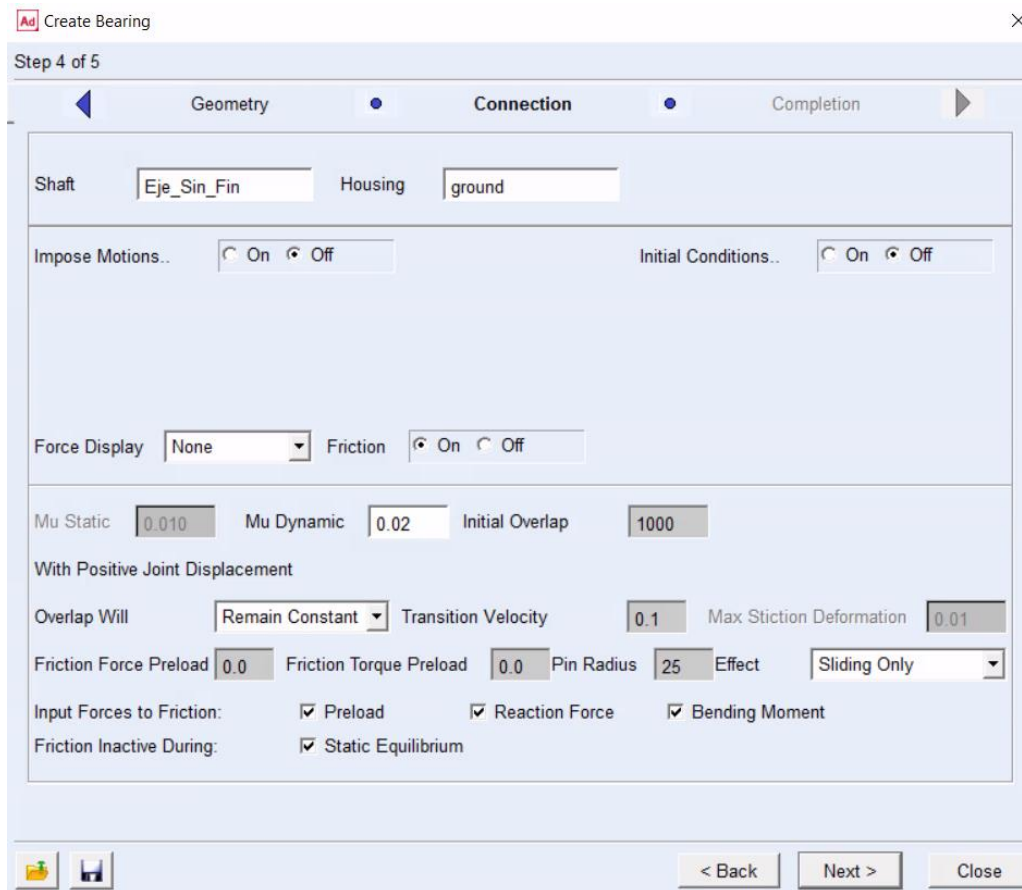
Se selecciona la herramienta *Create a Bearing* y se aplican los pasos siguientes.

- 1. *Method*: se selecciona el método *Joint* y se clicca en *Next*.
- 2. *Type*: se selecciona la tipología *Radial* y se clicca en *Next*.
- 3. *Geometry*: se introducen los datos mostrados en la Tabla 4.16 para cada uno de los cojinetes (*Bearing Geometry Scaling* = 1) y se clicca en *Next*.

Bearing Name	Axis of Rotation	Bearing Location
Cojinete_Sin_Fin_1	Global X	-118.0, 0.0, 0.0
Cojinete_Sin_Fin_2	Global X	118.0, 0.0, 0.0
Cojinete_Polea_1	Global Z	0.0, -165.0, -80.0
Cojinete_Polea_2	Global Z	0.0, -165.0, 80.0

**Tabla 4.16:** Datos para creación de cojinetes.

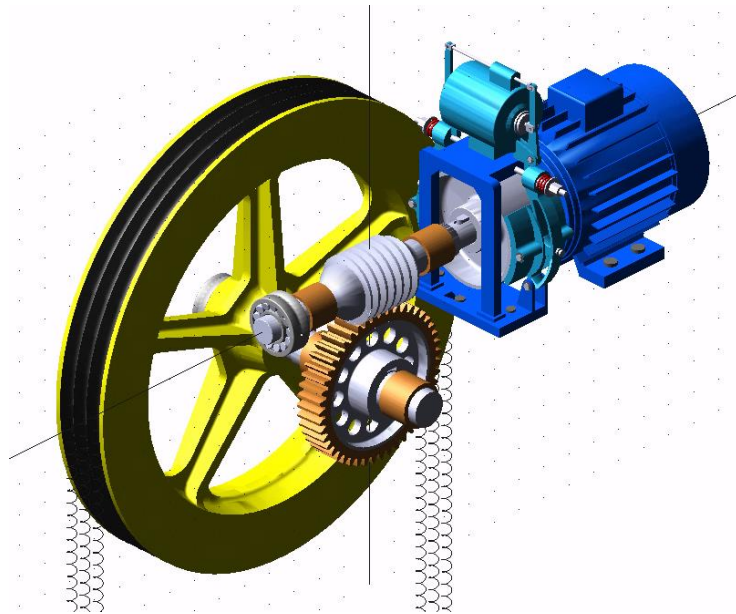
- 4. *Connection*: en la casilla *Shaft* se escribe ‘Eje\_Sin\_Fin’ para los cojinetes del eje sin fin y ‘Eje Polea’ para los cojinetes del eje de la polea. En la casilla *Housing* se escribe ‘ground’ y los valores de fricción se introducen para los cuatro, los mostrados en la Figura 4.39, exceptuando el valor de *Pin Radius* que para los dos primeros cojinetes vale 25.0 y para los dos últimos 27.5. Finalmente se clicla en *Next*.



**Figura 4.39:** Datos para la creación de los cojinetes.

- 5. *Completion*: se clicla en *Finish* para terminar la creación del cojinete de fricción.

Por último, se importan los cojinetes creados en SolidWorks (‘Cojinete\_50.x\_t’ y ‘Cojinete\_55.x\_t’) y los rodamientos obtenidos de la página de SKF (‘SKF\_22308\_E.x\_t’ y ‘SKF\_22210\_E.x\_t’) para dar un mayor realismo a la simulación [45] [46].



**Figura 4.40:** Imagen del modelo después de añadir el freno y los rodamientos.

## 4.10 Estética del proyecto

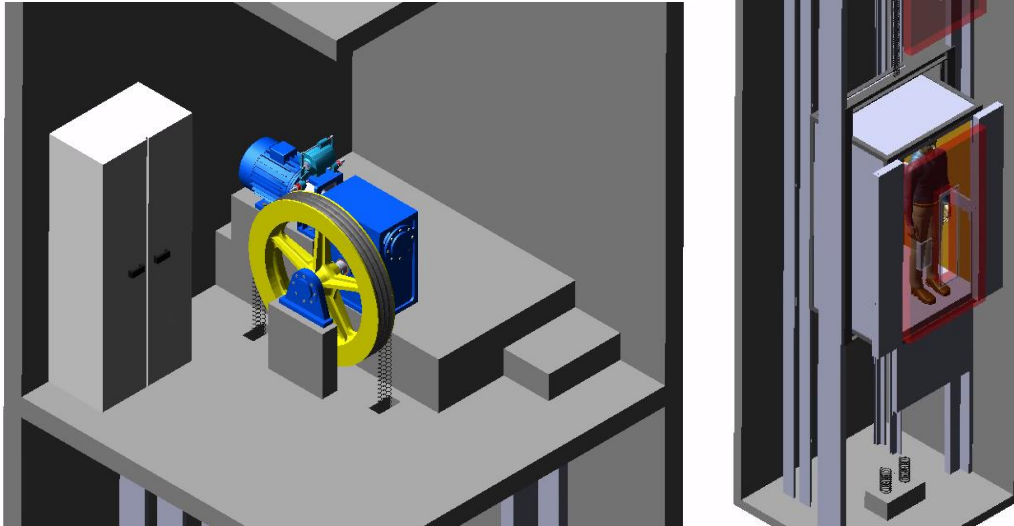
Todos los elementos necesarios para la simulación ya han sido modelados pero su representación es poco realista. Por esta razón, se ha creado un ensamblaje en SolidWorks en el que se representa el hueco del ascensor con las guías y el foso, el cuarto de máquinas y la caja reductora donde van alojados los engranajes, entre otras cosas. Se importa el archivo 'Estetica.x\_t' con el comando *File – Import* y se observa como automáticamente todo se coloca en su sitio, ya que previamente ha sido ensamblado con este objetivo.

Se añade un porcentaje de transparencia a aquellos sólidos que se han colocado delante de del ascensor y el contrapeso y que impiden su correcta visualización. Para ello se pulsa con el botón derecho en cada sólido en el menú de la izquierda, se entra en el menú *Appearance*, se añade un porcentaje del 70% de transparencia en el apartado *Transparency* y se clicca en *OK*.

A continuación, se unen todos los sólidos recién importados con ground mediante la herramienta *Merge two Bodies*.

Por último, se añade un modelo de una persona humana que ha sido obtenido de una plataforma de Internet [X]. Se importa el archivo 'Persona.x\_t' con el comando *File - Import* y se observa que está compuesto de 68 cuerpos distintos. Todos estos cuerpos se unen a uno único (es indiferente el que sea) mediante la herramienta *Merge two Bodies*. Una vez realizado esto, se renombra la pieza como 'Persona' y en este caso, no es necesario añadirle masa ya que, al estar creado por superficies su volumen es 0. Para colocarla en su posición, se entra en el menú *Modify* de la pieza y se cambia la posición a (700.0, -17480.0, 100.0) y su orientación a (0.0, 180.0, 0.0).

El último paso es unir este sólido al ascensor para que suba y baje con él mediante la herramienta *Merge two Bodies*, pulsando primero en 'Persona' y finalmente en 'Ascensor'.



**Figura 4.41:** Imagen del modelo final.



# 5

## Creación de movimientos

Una vez terminado el modelo, se plantean las simulaciones a realizar y los consecuentes movimientos que hay que añadir en el sistema. En principio con dos simulaciones, una de subida y otra de bajada añadiendo un motor eléctrico, sería suficiente para validar el sistema. El problema viene en que el programa Adams no permite el control del motor, simplemente se activa al comenzar la simulación y no se puede parar. Por ello, se realiza una tercera simulación aportando el movimiento a un par de revolución, programándolo para que ascienda de manera más parecida a la realidad, como si tuviese un motor de velocidad variable.

Antes de añadir movimientos, se guarda dos veces el archivo de Adams con dos nombres distintos, para de esta forma tener tres proyectos, uno para cada simulación.

### 5.1 Subida con motor síncrono

El software Adams posee un módulo con elementos que se pueden añadir entre los que se encuentra el motor eléctrico. Este se encuentra en el menú *Machinery* y la herramienta se denomina *Motor*.

Este módulo no contiene motores de inducción, que son los habituales en los ascensores, por lo que se decide de entre las opciones, introducir un motor síncrono de corriente alterna. Teniendo en cuenta que el par necesario en el eje del motor es de 19,1 Nm y gira a una velocidad de 1500 rpm, se necesita un motor de 3 kW de potencia. Se selecciona el motor síncrono de imanes permanentes IE4-PEIR 100 LX4 del catálogo de la empresa VEM, el cual sirve de referencia para los valores técnicos [47].

Se selecciona esta herramienta y aparece una ventana nueva en la que se deben introducir los datos para su creación en seis pasos distintos. A continuación, se describen los valores que se insertar.

- 1. *Method*: se selecciona el método *Analytical* y se clica en *Next*.

- 2. *Motor Type*: se selecciona *AC Synchronous* y se clicca en *Next*.
- 3. *Motor Connections*: se introducen los datos mostrados en la Figura 5.1 y se clicca en *Next*.

Ad Create Motor

Step 3 of 6

Motor Type • Motor Connections • Motor Geometry

Motor Name IE4-PEIR 100 LX4

Motor New CW

Location -306.0,0.0,0.0

Axis of Rotation Global X 90.0,90.0,270.0

Rotor Attach Part Eje\_Motor Fixed

Stator Attach Part ground Fixed

Force Display None  Flip Geometry

**Figura 5.1:** Datos a introducir en el paso *Motor Connections*.

- 4. *Motor Geometry*: se deselecciona la casilla *Create Rotor Stator Parts* y se clicca en *Next*.
- 5. *Inputs*: se introducen los datos mostrados en la Figura 5.2 y se clicca en *Next*.

Ad Create Motor

Step 5 of 6

Motor Geometry • Inputs • Motor Output

Motor Specification

Rated Voltage (V) 335 Rated Frequency (Hz) 50

Rated Current (A) 5.7 Inductance (mH) 16

Resistance (Ohms) 1.5 Poles 4

Rated Power Factor 0.99  Leading  Lagging

Synchronous Speed (RPM) 1500

Motor Control (VVVF)

Supply Voltage (V) 335 Frequency (Hz) 50

< Back Next > Close

**Figura 5.2:** Datos a introducir en el paso *Inputs*.

- 6. *Motor Output*: se clica en *Finish*.

### 5.1.1 Apertura de las zapatas

El último paso para que funcione correctamente la simulación es abrir las zapatas, ya que en su posición natural están en contacto con el acoplamiento y esto puede producir valores anómalos. Para ello se añade un movimiento prismático en los chupones del freno, simulando de esta forma la acción del solenoide. Esto se realiza con la herramienta *Motions - Translational Joint Motion* (Figura 5.3).



**Figura 5.3:** Icono *Translational Joint Motion*.

Se selecciona la herramienta dos veces seguidas, pulsando primero en T\_Chupon\_1 y después en T\_Chupon\_2. A continuación, se abre la carpeta de la izquierda *Motions*, se pulsa dos veces en MOTION\_1, se cambia el nombre a 'Mov\_Chupon\_1' y se añade en la casilla *Function* la siguiente función: STEP (time, 0.0, 0.0, 0.1, -3.25). Por último, se realiza lo mismo con MOTION\_2, cambiando su nombre a 'Mov\_Chupon\_2' y añadiendo la función: STEP (time, 0.0, 0.0, 0.1, 3.25).

## 5.2 Bajada con motor síncrono

El movimiento en la simulación de bajada con el motor síncrono se realiza de la misma manera que en el apartado anterior, pero cambiando el sentido de giro del motor. Para ello en el paso tres *Motor Connections*, se selecciona CCW en vez de CW.

Por otro lado, se entra en el menú *Modify* del contrapeso y se cambia su posición a (-351.0, -13800.0, 220.0) y la de la cabina a (351.0, -1800.0, 220.0). Además, se añade el mismo movimiento en el freno para realizar la apertura de las zapatas que en el apartado anterior.



## 5.3 Subida con velocidad variable

En esta de simulación como se tiene la opción de programar el movimiento del ascensor, se añade un movimiento de apertura y cierre de las puertas del ascensor. Se añade además el accionamiento del freno, abriendo y cerrando las zapatas mediante palancas.

### 5.3.1 Movimiento del par de revolución

En este apartado se presenta cómo se crea el movimiento de velocidad variable en el ascensor.

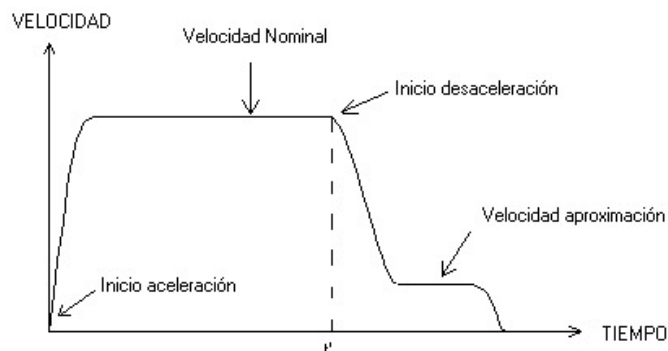
En primer lugar, se añade un par de revolución al eje del motor. Para ello se selecciona la herramienta *Create a Revolute Joint* (Figura 4.28). Una vez abierta la herramienta, se clic en 'Eje\_Motor' y después en 'ground'. Para indicar su dirección se clic en el punto 'Eje\_Motor.SOLID36.E6 (center)' y finalmente la dirección 'Eje\_Motor.SOLID36.E6'. Se renombra este par recién creado como 'Par\_Motor'.

En segundo lugar, se añade un movimiento de rotación a dicho par. Esto se realiza con la herramienta *Rotational Joint Motion* que se encuentra en el menú *Motions* (Figura 5.4). Una vez se clic en ella se selecciona el par rotacional 'Par\_Motor'. Se le renombra como 'Mov\_Motor'.



**Figura 5.4:** Icono *Rotational Joint Motion*.

Una vez creado se va a añadir una ecuación para programar la velocidad de rotación. Los ascensores de velocidad variable actualmente poseen una gráfica velocidad-tiempo como se muestra en la siguiente Figura 5.5.



**Figura 5.5:** Gráfico velocidad-tiempo de un ascensor eléctrico de velocidad variable [48].

En esta gráfica se muestra un tramo de aceleración, una zona de velocidad constante, desaceleración para alcanzar la velocidad de aproximación y finalmente, el frenado.

Para realizar una subida de cuatro pisos de altura, se ha calculado la ecuación necesaria. Para añadirla, se abre la carpeta de la izquierda *Motions* y se hace doble clic en 'Mov\_Motor'. En la pestaña que se despliega, cambiamos el valor de *Type* a *Velocity* y en *Function (time)* se escribe la siguiente ecuación:  $-IF(\text{time}-4: STEP(\text{time}, 2, 0, 4, 50*\pi), 50*\pi, IF(\text{time}-11.5: 50*\pi, 50*\pi, IF(\text{time}-14.5: STEP(\text{time}, 11.5, 50*\pi, 14.5, 12.5*\pi), 12.5*\pi, IF(\text{time}-18.0: 12.5*\pi, 12.5*\pi, STEP(\text{time}, 18, 12.5*\pi, 19, 0))))))$ .

### 5.3.2 Accionamiento del freno

El desplazamiento de las palancas se acciona mediante un movimiento de translación introducido en los conectores prismáticos de los chupones. Se inserta dicho movimiento mediante la herramienta *Translational Joint Motion* (Figura 5.3) y se realizan los mismos pasos que en el apartado 5.1.1. En el movimiento *Mov\_Chupon\_1* se añade la ecuación:  $IF(\text{time}-2: STEP(\text{time}, 1.9, 0, 2, -3.25), 0, STEP(\text{time}, 18.9, -3.25, 19, 0))$  y en el movimiento *Mov\_Chupon\_2*, la ecuación:  $IF(\text{time}-2: STEP(\text{time}, 1.9, 0, 2, 3.25), 0, STEP(\text{time}, 18.9, 3.25, 19, 0))$ .

### 5.3.3 Apertura y cierre de puertas

Por último, el movimiento de apertura y cierre de puertas se realiza también con la herramienta *Translational Joint Motion*. Esta se usa cuatro veces, seleccionando de una en una las articulaciones prismáticas existentes: *T\_Puerta\_1*, *T\_Puerta\_2*, *T\_Puerta\_3* y *T\_Puerta\_4*. Se pulsa dos veces en los movimientos creados, se renombran y se le añade a cada uno las siguientes ecuaciones:

- *Mov\_Puerta\_1*:  $IF(\text{time}-19: STEP(\text{time}, 0, 0, 2, 500), 0, STEP(\text{time}, 19, 500, 21, 0))$ .
- *Mov\_Puerta\_2*:  $IF(\text{time}-19: STEP(\text{time}, 0, 0, 2, -500), 0, STEP(\text{time}, 19, -500, 21, 0))$ .
- *Mov\_Puerta\_3*:  $IF(\text{time}-19: STEP(\text{time}, 0, 0, 2, 205), 0, STEP(\text{time}, 19, 205, 21, 0))$ .
- *Mov\_Puerta\_4*:  $IF(\text{time}-19: STEP(\text{time}, 0, 0, 2, -205), 0, STEP(\text{time}, 19, -205, 21, 0))$ .

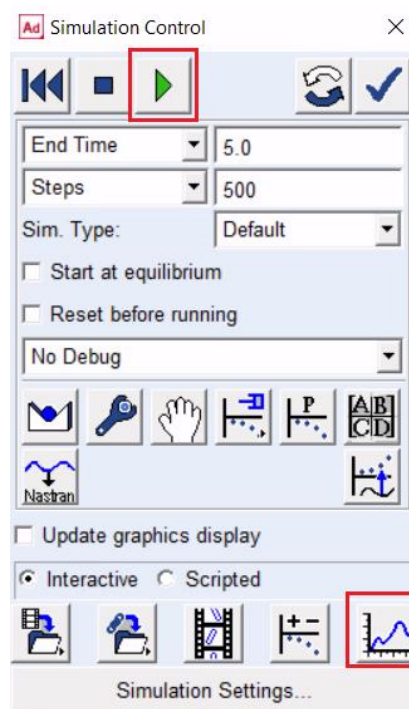


# 6

## Simulación

El siguiente paso previo a la obtención de los resultados del modelo dinámico es la realización de las simulaciones. Para ello se entra al menú *Simulation* de la barra superior y se clic en el icono con forma de engranaje *Run an Interactive Simulation*. A continuación, se despliega una nueva pestaña en la que se deben introducir parámetros como el tiempo de simulación o los pasos (steps) por segundo, entre otras cosas.

En las simulaciones con el motor síncrono, se introduce un tiempo de 5 segundos y 500 ‘steps’ y se desmarca la casilla *Update graphics display*. Para comenzar la simulación se clic en el botón verde (play) y, una vez haya terminado se selecciona el botón de abajo a la derecha en el que aparece una gráfica para obtener todos los resultados (Figura 6.1).



**Figura 6.1:** Menú de la herramienta *Run an Interactive Simulation*.

Por otro lado, la duración de las simulaciones de subida y de bajada con el motor eléctrico son menores que la realizada con el par de rotación, ya que en este último se representa la apertura y el cierre de puertas del ascensor, además de tener un tiempo de recorrido mayor. Por esta razón, en esta última simulación se introduce un tiempo de simulación de 21 segundos y 2100 ‘steps’.

Después de hacer la última simulación, se ha realizado un video montaje sobre esta. Este video se presenta en la Figura 6.2 mediante un enlace por código QR.



**Figura 6.2:** Código QR con enlace a video de la simulación.

# 7

## Resultados y análisis

En este apartado se presentan los resultados obtenidos en las diferentes simulaciones mediante las gráficas generadas en la herramienta *Results - Postprocessor*. En primer lugar, se analizan los valores obtenidos de la simulación de subida con motor síncrono, después los de la simulación de bajada con motor síncrono y finalmente, los del movimiento de subida con velocidad variable.

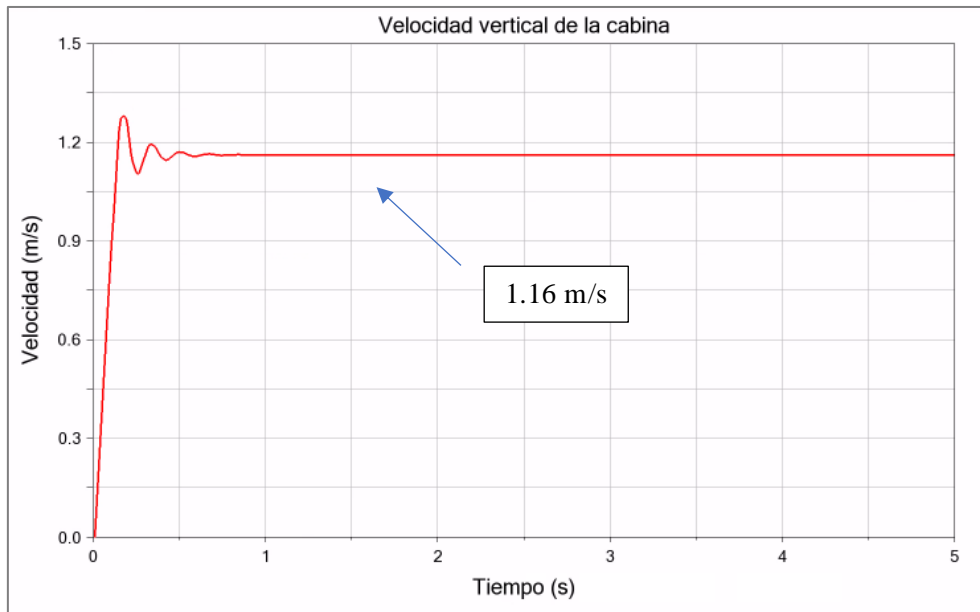
### 7.1 Simulación de subida con motor síncrono

La implementación de motores síncronos en el programa Adams y su complejo control, hace que estos tiendan a alcanzar la velocidad de funcionamiento inmediatamente. Esto provoca que en todas las gráficas que se muestran en este apartado se observe en el primer segundo de simulación, una serie de fuerzas de elevado valor. A continuación, estas se amortiguan y se establece una fase de valores constantes.

Por otro lado, se han tenido que ajustar los valores de rigidez y amortiguamiento en los contactos y en el sistema de engranajes formado por el tornillo sin fin y la rueda dentada, ya que estos valores afectaban a la visualización de los resultados.

#### 7.1.1 Velocidad vertical de la cabina

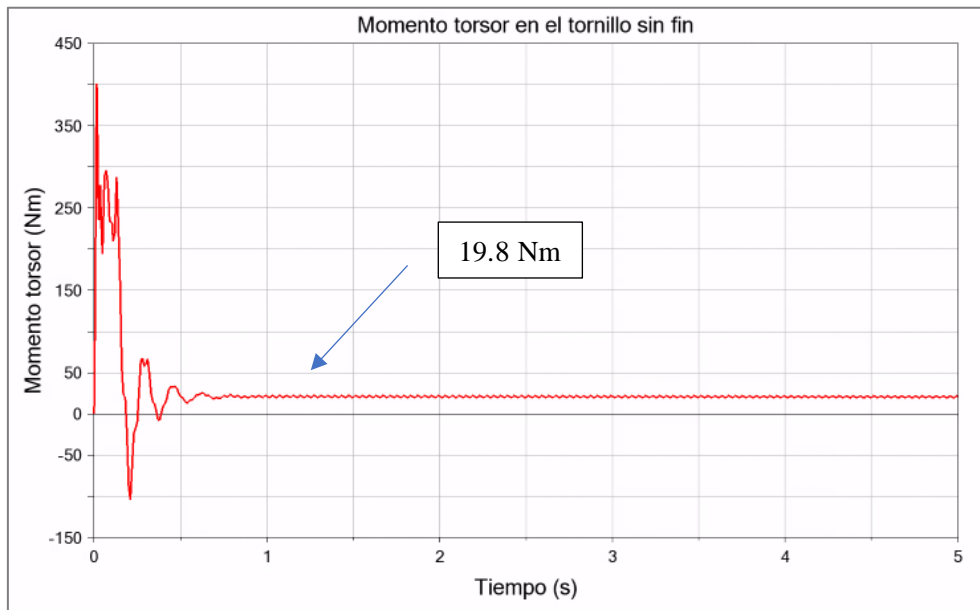
El primer valor mostrado es la velocidad de ascenso de la cabina, la cual como se ha comentado, alcanza su valor de funcionamiento en apenas medio segundo. Esta gráfica se muestra en la Figura 7.1.



**Figura 7.1:** Velocidad vertical de la cabina con motor síncrono en subida.

### 7.1.2 Momento torsor en el tornillo sin fin

El siguiente valor presentado es el momento torsor en el tornillo sin fin, el cual es prácticamente el mismo que realiza el motor. Este se muestra en la Figura 7.2 y su valor se estabiliza en 19.8 Nm, el cual coincide con el calculado en el diseño original.



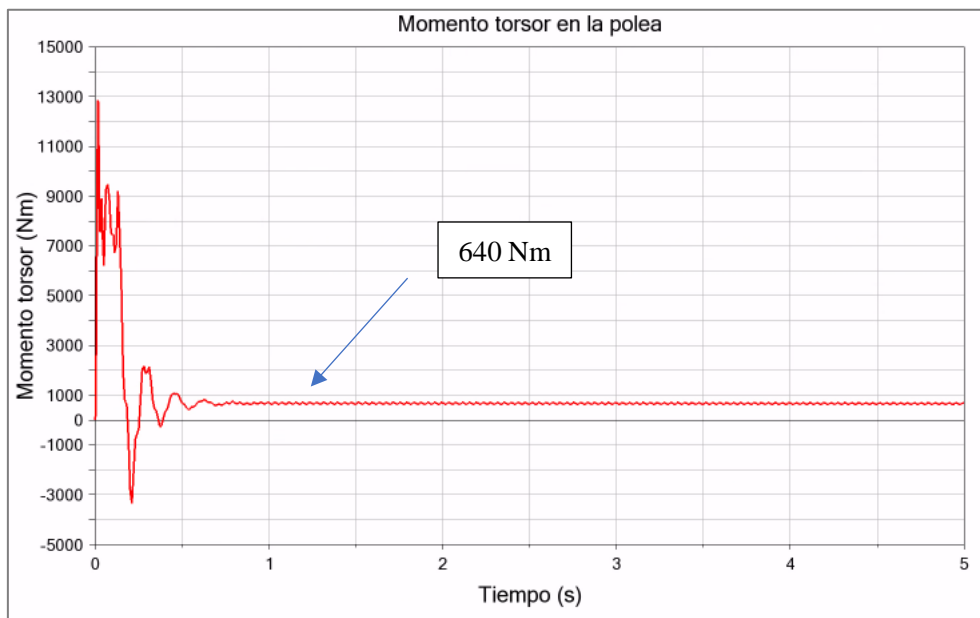
**Figura 7.2:** Momento torsor en el tornillo sin fin con motor síncrono en subida.

### 7.1.3 Momento torsor en la polea

De igual forma, se presenta en la Figura 7.3 el valor del momento torsor en la polea. Este alcanza en su fase constante un valor aproximado de 640 Nm. Aunque en la bibliografía de partida no aparece este parámetro como tal, se calcula mediante la Ecuación 7.1.

En esta ecuación se realiza un balance de fuerzas y, teniendo en cuenta la distancia de los cables al eje de la polea, se obtiene el momento necesario.

$$M_T = \frac{T_1 - T_2}{2} \cdot Dp = \frac{1300 \cdot 9.81 - 1120 \cdot 9.81}{2} \cdot 0.72 = 635.7 \text{ Nm} \quad (7.1)$$

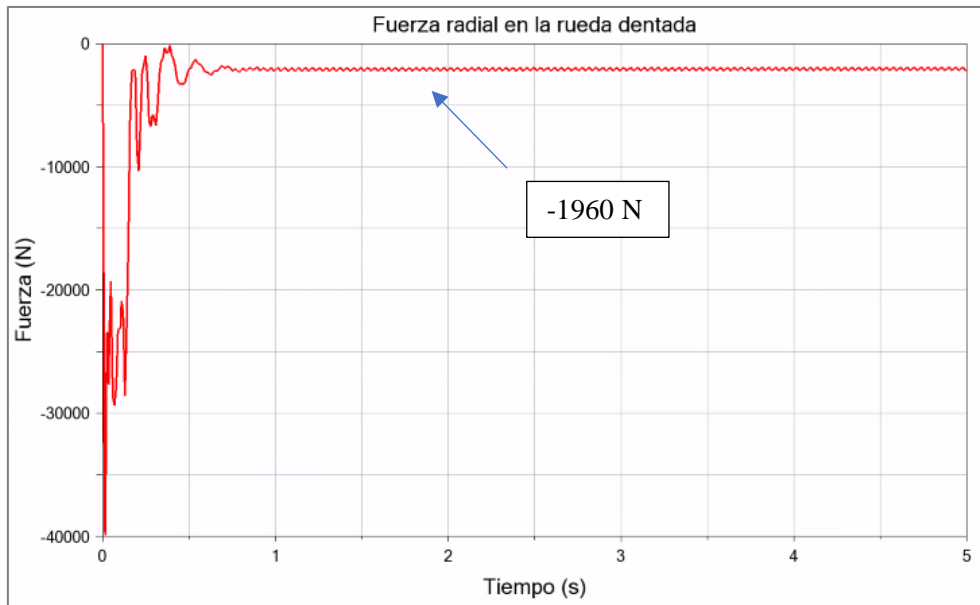


**Figura 7.3:** Momento torsor en la polea con motor síncrono en subida.

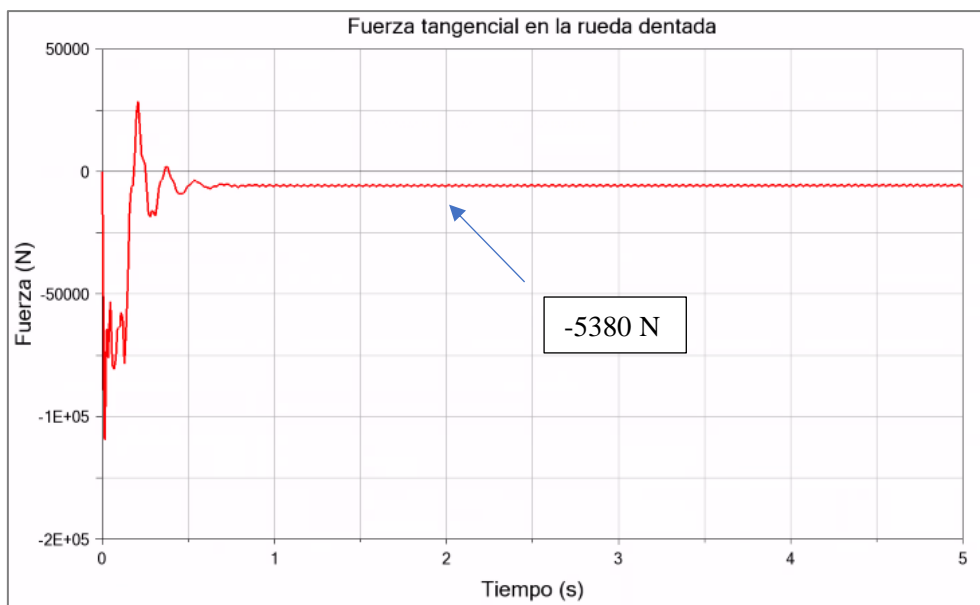
### 7.1.4 Fuerzas de reacción en la rueda dentada

Una de las partes más importantes en este tipo de diseños es comprobar las fuerzas a las que están sometidos los ejes. En Adams, el *Postprocessor* facilita el valor de las fuerzas de reacción en la rueda dentada, es decir, el engranaje de salida. Estos valores se han calculado previamente para la obtención de los rodamientos (ver Anexo B), y se concluye que la fuerza radial tiene un valor de 1935 N, la fuerza tangencial 5300 N y la fuerza axial 419 N. Estas dos primeras fuerzas (Figuras 7.4 y 7.5) corresponden a los valores obtenidos en Adams, pero la fuerza axial (Figura 7.6) tiene un valor distinto. Esto se debe a que el programa la ha calculado con el par proporcionado por el motor, el cual se ha comentado con anterioridad que es erróneo.

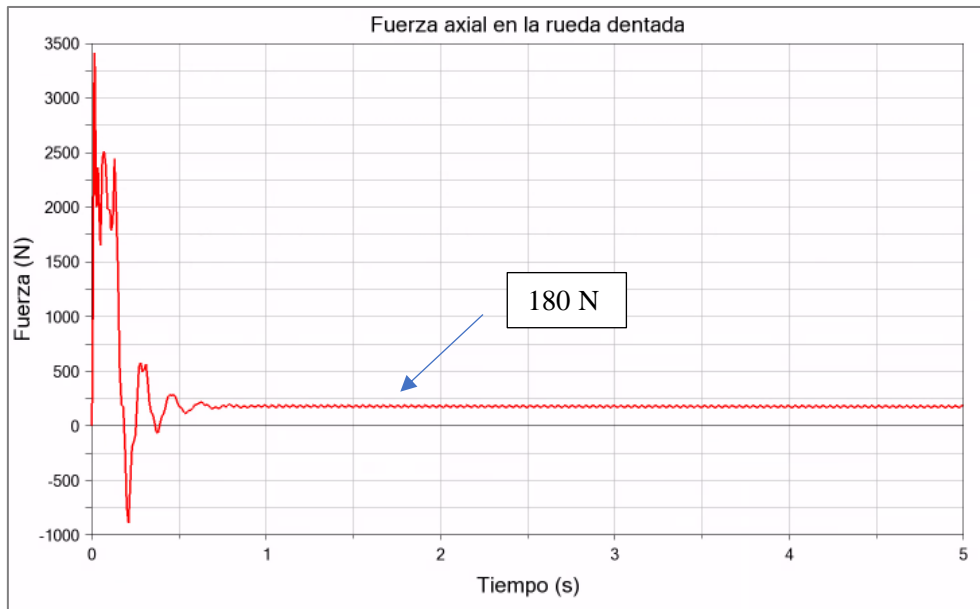




**Figura 7.4:** Fuerza radial en la rueda dentada con motor síncrono en subida.



**Figura 7.5:** Fuerza tangencial en la rueda dentada con motor síncrono en subida.



**Figura 7.6:** Fuerza axial en la rueda dentada con motor síncrono en subida.

### 7.1.5 Fuerzas en los rodamientos y cojinetes

Después de la realización en el Anexo B del análisis de fuerzas y del cálculo de las reacciones en los rodamientos, se busca contrastar estos resultados en Adams. Se entra en el *Postprocessor*, pero cuando se buscan estos datos de fuerzas aparece un problema, ya que el programa sólo es capaz de calcular ejes apoyados en dos rodamientos como máximo.

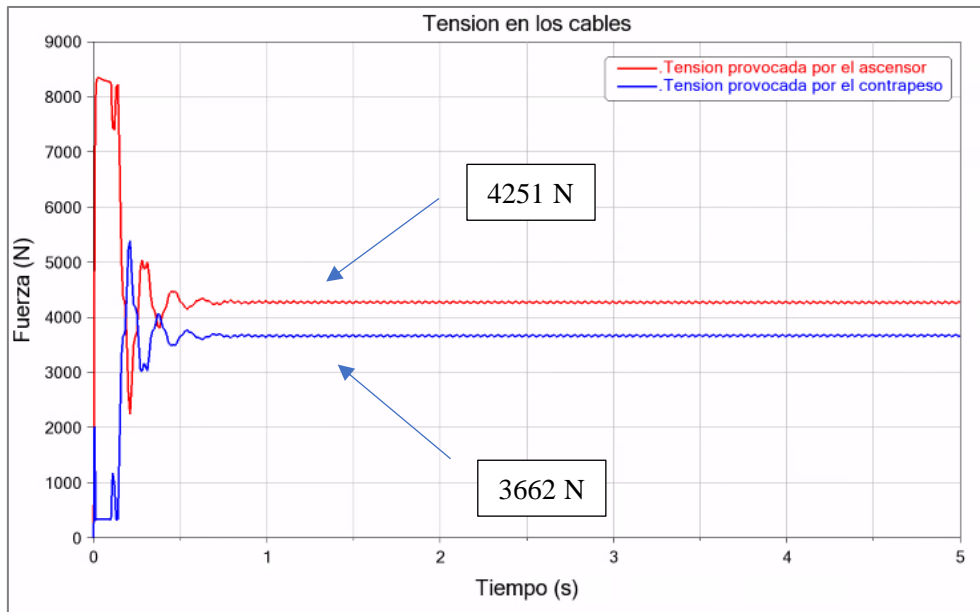
Por esta razón, los valores obtenidos en los rodamientos no se presentan en este documento, ya que no hay información con la que contrastarla. Quedaría pendiente para un desarrollo futuro el recalculer las reacciones con un máximo de dos rodamientos por eje y comprobarlo en Adams.

### 7.1.6 Tensión en los cables

El último de los valores que se obtiene de la simulación de subida con el motor síncrono son las tensiones producidas en los cables. Estas tensiones son el producto de la masa del contrapeso y de la cabina con la carga máxima por la aceleración de la gravedad y dividido entre el número de cables (Ecuación 7.2 y 7.3). En la Figura 7.7 se muestran los resultados de Adams.

$$\frac{T_1}{3} = \frac{1300 \cdot 9.81}{3} = 4251.0 \text{ N} \quad (7.2)$$

$$\frac{T_2}{3} = \frac{1120 \cdot 9.81}{3} = 3662.4 \text{ N} \quad (7.3)$$



**Figura 7.7:** Tensión en los cables.

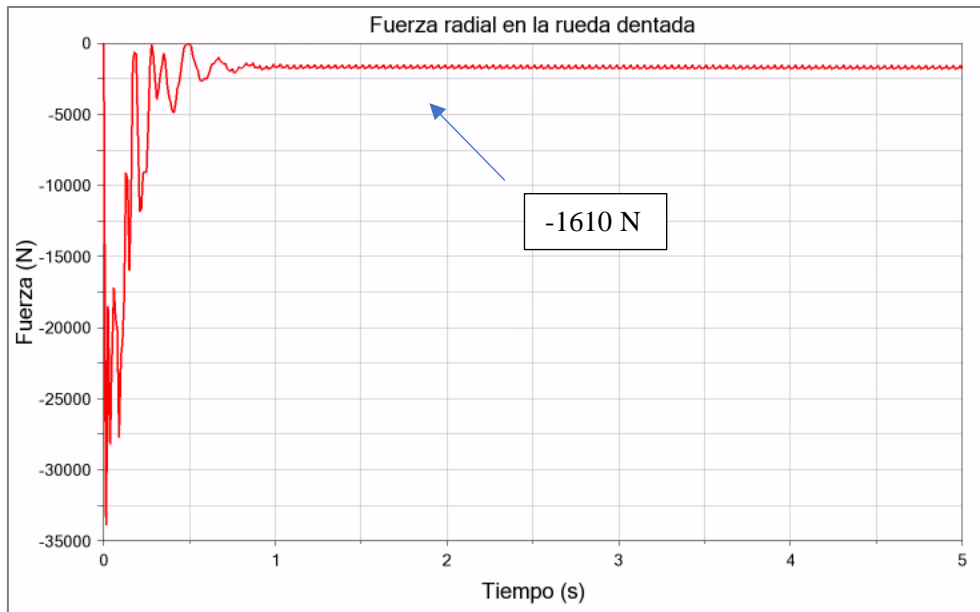
## 7.2 Simulación de bajada con motor síncrono

La simulación de bajada con motor síncrono se ha realizado de forma complementaria en el trabajo para comprobar que se trata de una situación más favorable que la de subida. Como se ha comentado anteriormente, existe un problema de visualización en los resultados del momento torsor en el tornillo sin fin. Por esto, a continuación, se muestra el valor de la fuerza tangencial y radial en la rueda dentada para comprobar que las fuerzas son menores y, por ende, el sistema más favorable.

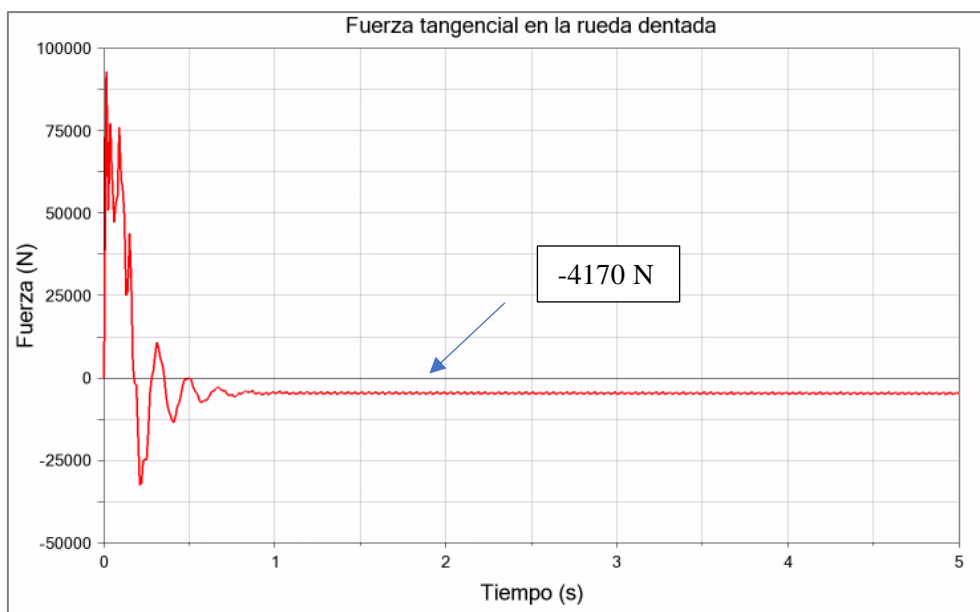
### 7.2.1 Fuerzas de reacción en la rueda dentada

En la siguiente Figura 7.8 se puede observar que cuando se establecen los valores, la fuerza radial alcanza un valor de 1610 N, en comparación con los 1960 N que aparecían en la simulación de subida.

Por otro lado, en la Figura 7.9 se muestra la fuerza tangencial en la rueda dentada. Esta alcanza un valor de 4170 N frente a los 5380 N que había en la simulación de subida.



**Figura 7.8:** Fuerza radial en la rueda dentada con motor síncrono en bajada.



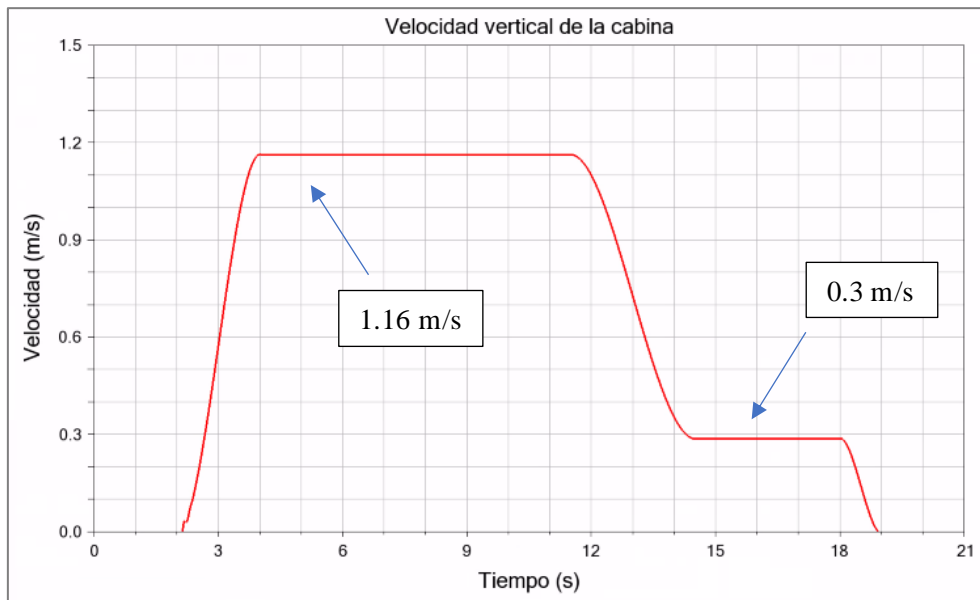
**Figura 7.9:** Fuerza tangencial en la rueda dentada con motor síncrono en bajada.

## 7.3 Simulación de subida con velocidad variable

La principal razón de la realización de una simulación con velocidad variable es el poder controlar la activación y desactivación del movimiento, así como poder hacer una apertura y cierre de las zapatas de manera controlada. En este apartado se presentan diferentes valores que justifican el correcto funcionamiento de la simulación.

### 7.3.1 Velocidad vertical de la cabina

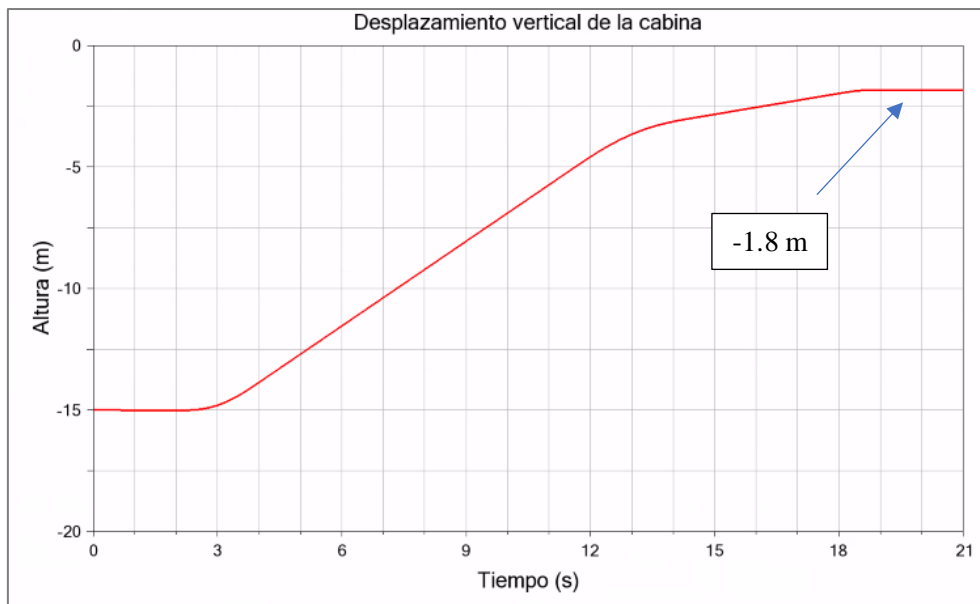
En primer lugar, en la Figura 7.10 se muestra la evolución temporal de la velocidad vertical de la cabina. En ella se observa una aceleración inicial hasta la velocidad de funcionamiento, la cual es aproximadamente de 1,16 m/s. Después de esto, en la cabina se produce una desaceleración hasta la velocidad de aproximación (0,3 m/s) y finalmente el frenado hasta velocidad cero. Esto demuestra que el ascensor ha sido bien programado y que en la vida real aportaría una mayor comodidad al pasajero que con el motor de velocidad síncrona visto anteriormente.



**Figura 7.10:** Velocidad vertical de la cabina con velocidad variable.

### 7.3.2 Desplazamiento vertical de la cabina

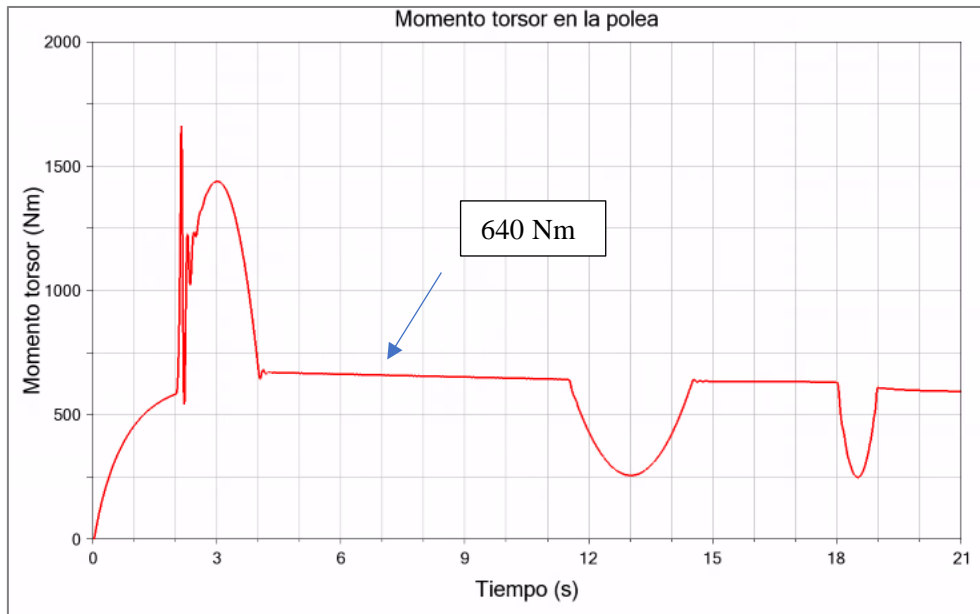
Al igual que se ha presentado con la velocidad vertical de la cabina, a continuación, se expone una gráfica donde se observa el desplazamiento que tiene la cabina en su trayecto (Figura 7.11). La cabina parte de una altura de -15 metros respecto al cuarto de máquinas y asciende aproximadamente a -1,8 metros. Durante los primeros y últimos 2 segundos, el ascensor permanece parado ya que se está realizando el cierre y la apertura de puertas. Con este movimiento, gracias a la velocidad variable aportada, se observa que el ascensor tiene una suave frenada.



**Figura 7.11:** Desplazamiento vertical de la cabina con velocidad variable.

### 7.3.3 Momento torsor en la polea

Al igual que ha ocurrido con las anteriores simulaciones con los motores, al comienzo del movimiento existe un aumento de las fuerzas debido al contacto entre superficies, el cual termina amortiguándose. Entre el gráfico del momento torsor en la polea o el del tornillo sin fin, se decide presentar el primero ya que estas fuerzas son menos acrecentadas y permiten visualizar mejor los resultados. En la Figura 7.12 se muestra este gráfico, en el cual se observa un primer pico en la zona de aceleración y los dos siguientes invertidos en los momentos de desaceleración. Al igual que en la simulación con el motor síncrono, el valor del momento en la polea en la zona estable es de 640 Nm.



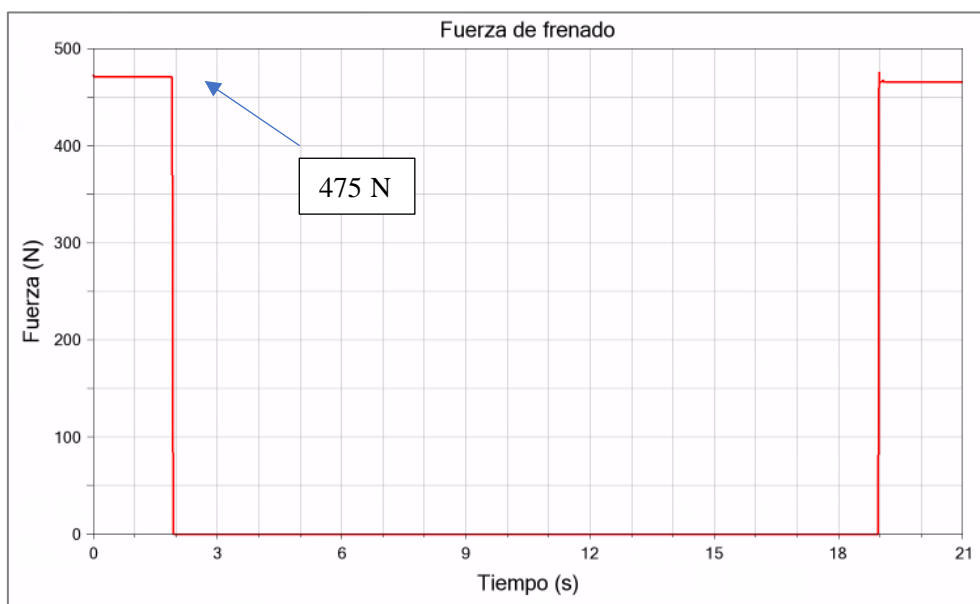
**Figura 7.12:** Momento torsor en la polea con velocidad variable.

### 7.3.4 Fuerza de frenado

En el proyecto de diseño de referencia el par de frenado es de 38,2 Nm. Si se realiza un cálculo sencillo, teniendo en cuenta que hay dos zapatas, un coeficiente de fricción de 0,45 y un radio del acoplamiento de 90 mm, se obtiene una fuerza de frenado necesaria de 471,6 N (Ecuación 7.4).

$$F = \frac{P}{2 \cdot \mu \cdot r} = \frac{38,2}{2 \cdot 0,45 \cdot 0,09} = 471,6 \text{ N} \quad (7.4)$$

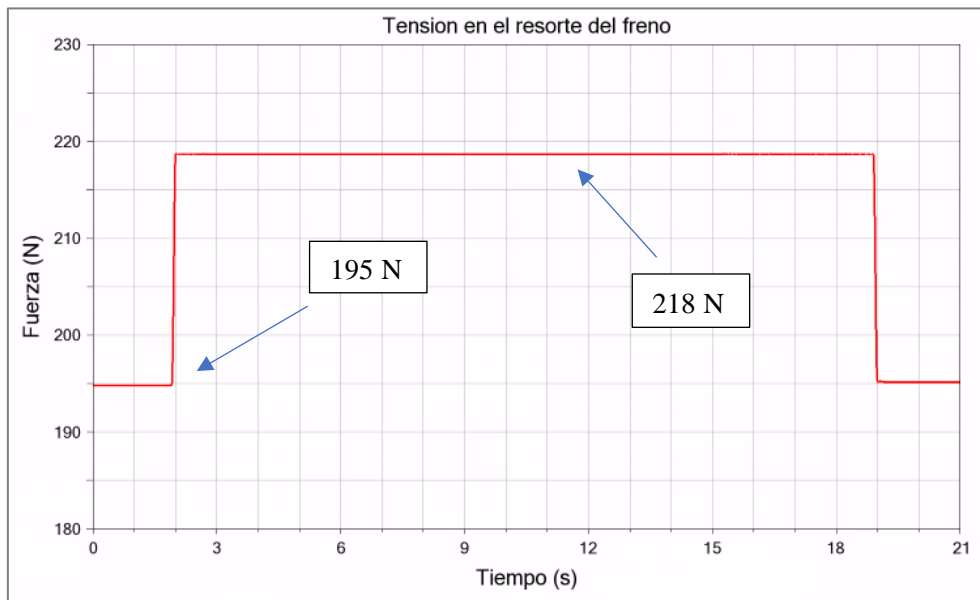
En la Figura 7.13 se observa como gracias al resorte, en el contacto creado entre la zapata y el acoplamiento, la fuerza de frenado es aproximadamente de 475 N.



**Figura 7.13:** Fuerza de frenado.

### 7.3.5 Tensión en el resorte del freno

Por último, en la Figura 7.14 se muestra como a consecuencia de la apertura o el cierre de los frenos por accionamiento de las palancas, el resorte varía su tensión. En la posición de frenado el resorte está precargado con unos 195 N, los cuales producen la fuerza de frenado anteriormente vista. Se observa que cuando, se activa el solenoide y, por lo tanto, se abren las zapatas, el resorte alcanza una tensión de 218 N. Finalmente, cuando se desactiva, esta fuerza actúa sobre las palancas inferiores y las zapatas vuelven a su posición inicial.



**Figura 7.14:** Tensión en el resorte del freno.





# 8

## Conclusiones y desarrollos futuros

Como se presenta al principio de este proyecto, el objetivo es dar validez mediante un modelo dinámico al diseño de un grupo reductor para ascensores. Según los resultados obtenidos y mostrados en el apartado anterior, se concluye en primera instancia que el proyecto de diseño está bien calculado. Se exceptúa el análisis de fuerzas realizado y, en consecuencia, los rodamientos y cojinetes. Esto es debido a un error de cálculo por la falta de un argumento en una ecuación del proyecto original.

En segundo lugar, se recalca que la bibliografía de partida tiene un objetivo didáctico, por lo que, a grandes rasgos muestra los pasos a seguir para la elaboración de un proyecto de esta tipología, pero sin entrar en todos los detalles técnicos. En él se presentan los elementos esenciales de un ascensor eléctrico con grupo reductor y su disposición en el conjunto.

Además, se destaca la importancia hoy en día de las simulaciones, ya que es un método efectivo para la identificación de problemas y es más visual y comprensivo que un modelo puramente analítico. Por otro lado, si se sustituye la experimentación física por la simulación, se ahorra en tiempo y se reducen los costes.

Por último, el proyecto queda abierto a la realización de desarrollos futuros para indagar aún más en la construcción y comprobación de los elementos que componen los sistemas de elevación. A continuación, se expone una lista de posibles opciones de trabajo.

- Cálculo de las reacciones en los ejes teniendo en cuenta un máximo de dos rodamientos por eje y su posterior comprobación en Adams mediante una simulación dinámica.
- Diseño e introducción de una polea de desvío para analizar la distribución de fuerzas en los ejes y de esta forma también poder disminuir el diámetro de la polea principal.
- Diseño del sistema limitador de velocidad de un ascensor y la posterior comprobación a diferentes velocidades de disparo.

- Aumento de la altura de elevación para que el peso de los cables adopte un papel importante en el diseño y la consecuente implementación de un cable de compensación.
- Diseño de guías normalizadas y la creación de un contacto en Adams entre estas y la cabina y el contrapeso para analizar las fuerzas provocadas.
- Rediseño de las chavetas con las fórmulas actuales de diseño de máquinas y comprobación de los ejes con criterios de diseño a fatiga como Goodman modificado o Soderberg.
- Programación de un motor de inducción con el software Matlab y su posterior introducción en Adams, realizando simulaciones en diferentes condiciones para comprobar su funcionamiento.
- Introducción de más de un ascensor y utilización de las opciones de control de sistemas que ofrece Adams para controlar el tráfico vertical, realizando diferentes situaciones de llamadas en pisos.
- Modelado y simulación de un proyecto de un ascensor hidráulico para la posterior comparación de las dos principales tipologías de ascensores en las mismas condiciones de funcionamiento.

# 9

## Anexos

En este apartado aparece aquella documentación complementaria en la elaboración del proyecto que no ha sido presentada en la memoria debido a su extensión. Se presenta, por un lado, la documentación de partida, en este caso, los planos de las piezas y, por otro lado, los cálculos de los rodamientos y cojinetes.

### Anexo A. Documentación de partida

A continuación, se introducen los planos del proyecto original que han servido de referencia en la construcción de las piezas para la simulación.

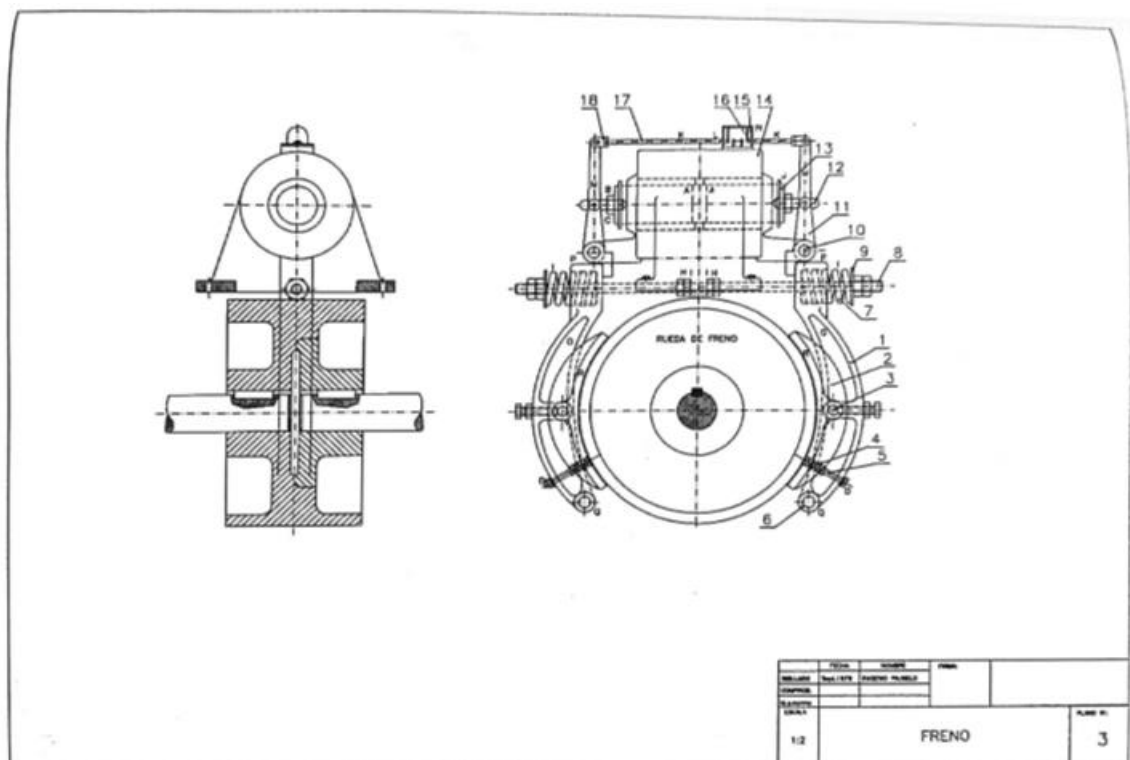


Figura 9.1: Plano del freno electromagnético [1]

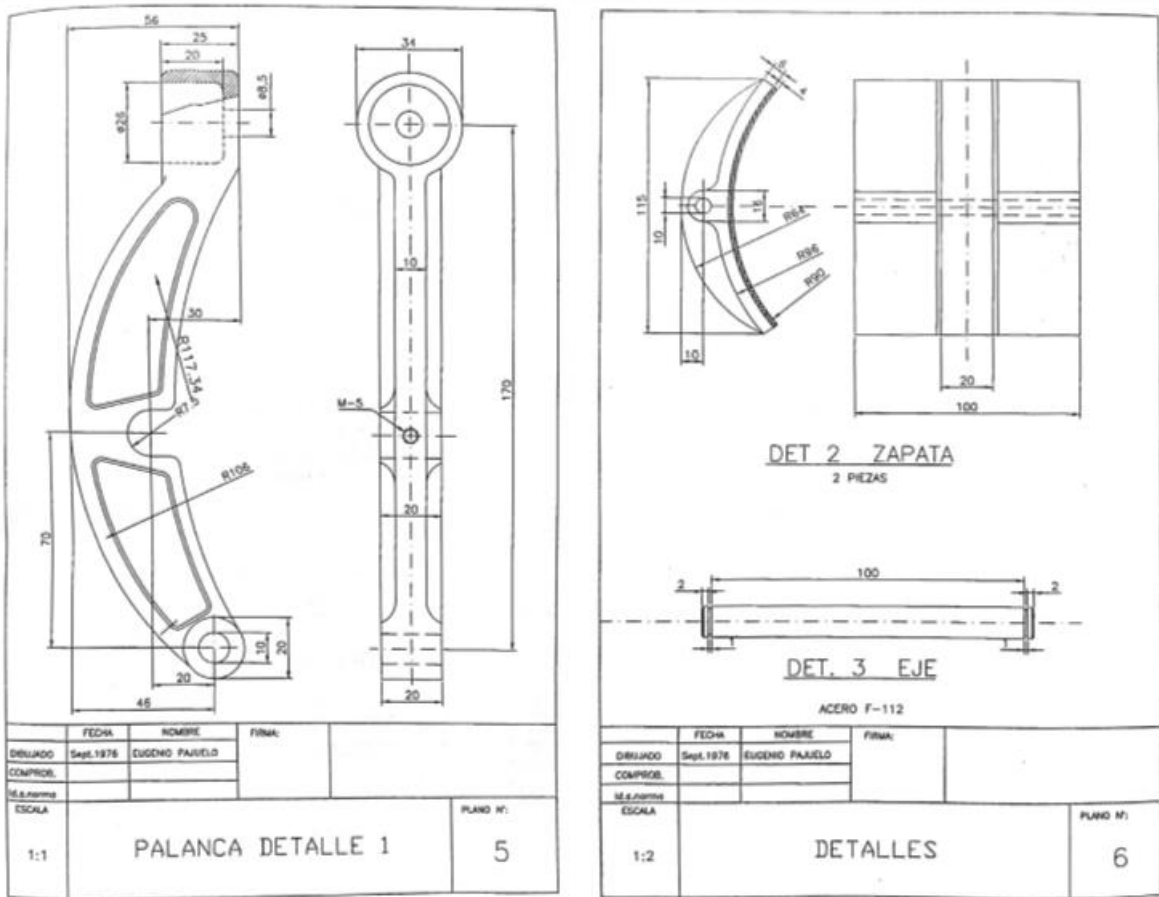


Figura 9.2: Planos de la palanca inferior, la zapata y el eje de la zapata [1].

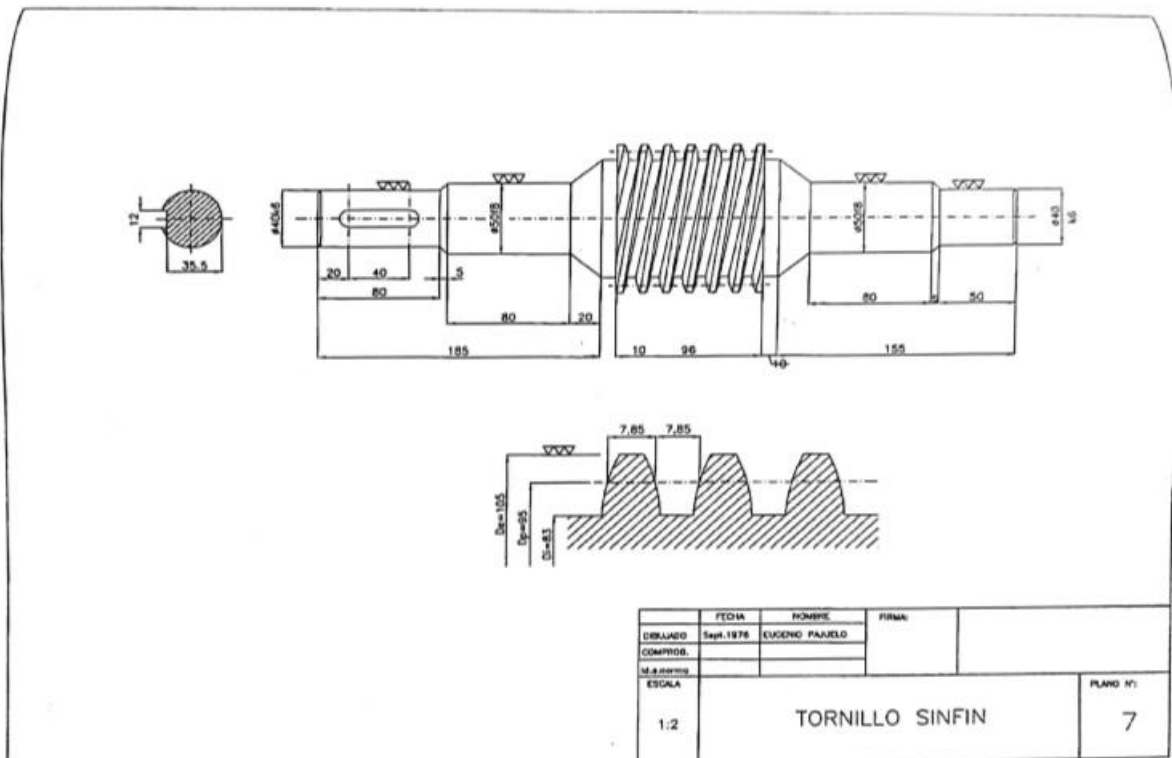


Figura 9.3: Plano del tornillo sin fin [1].

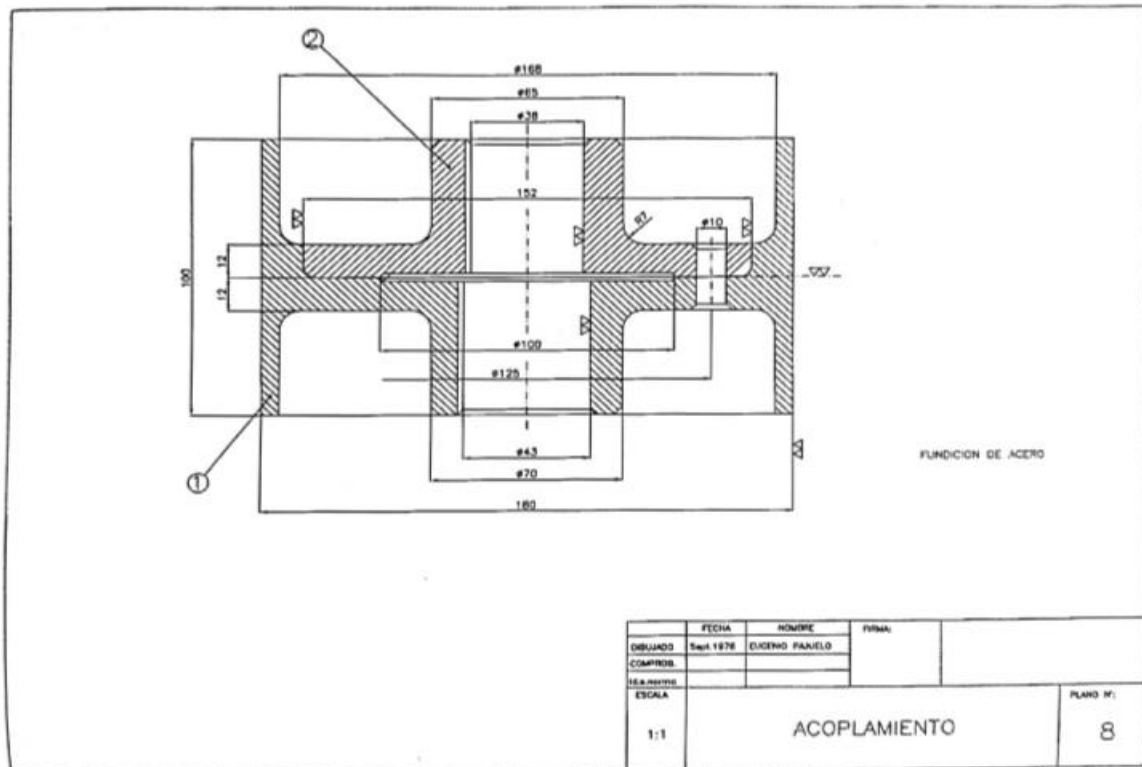


Figura 9.4: Plano del acoplamiento [1].

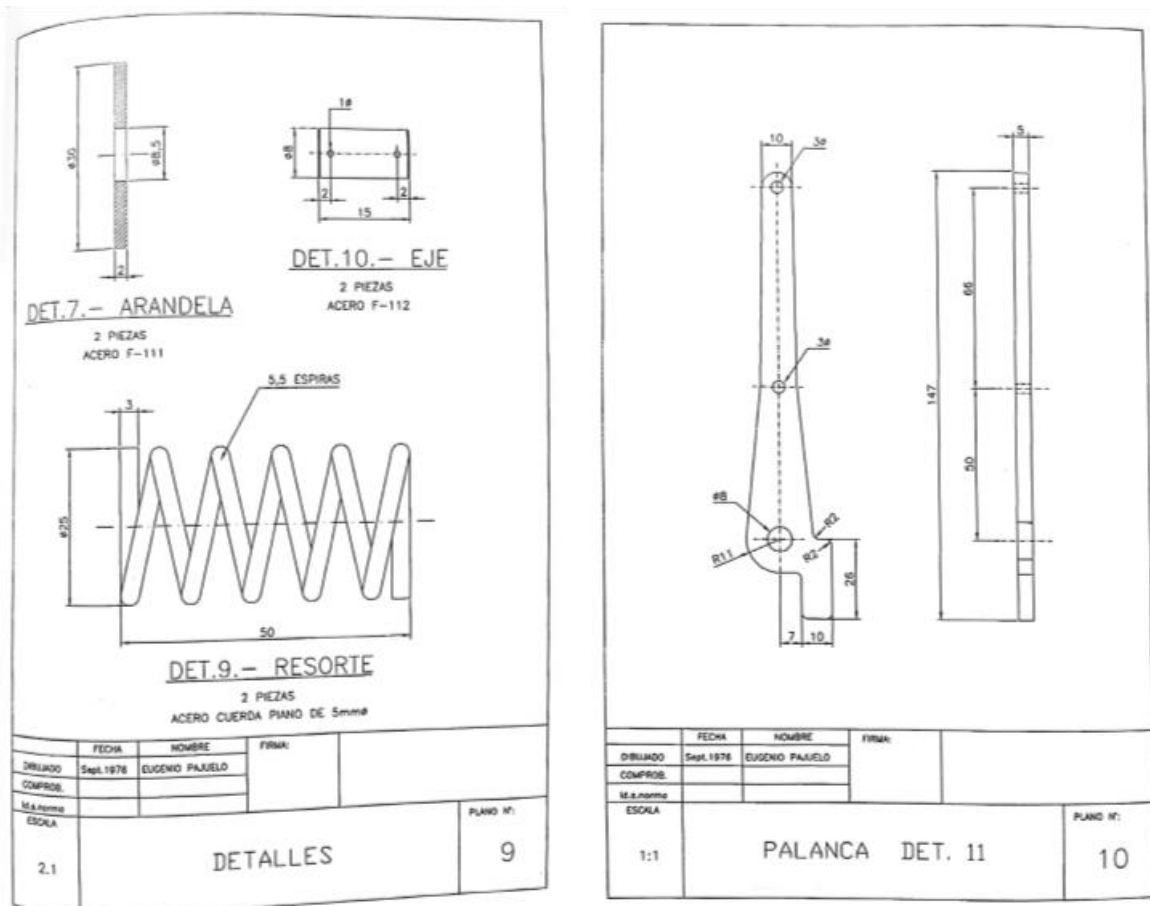


Figura 9.5: Planos de la arandela, el eje de la palanca, el resorte y la palanca superior [1].

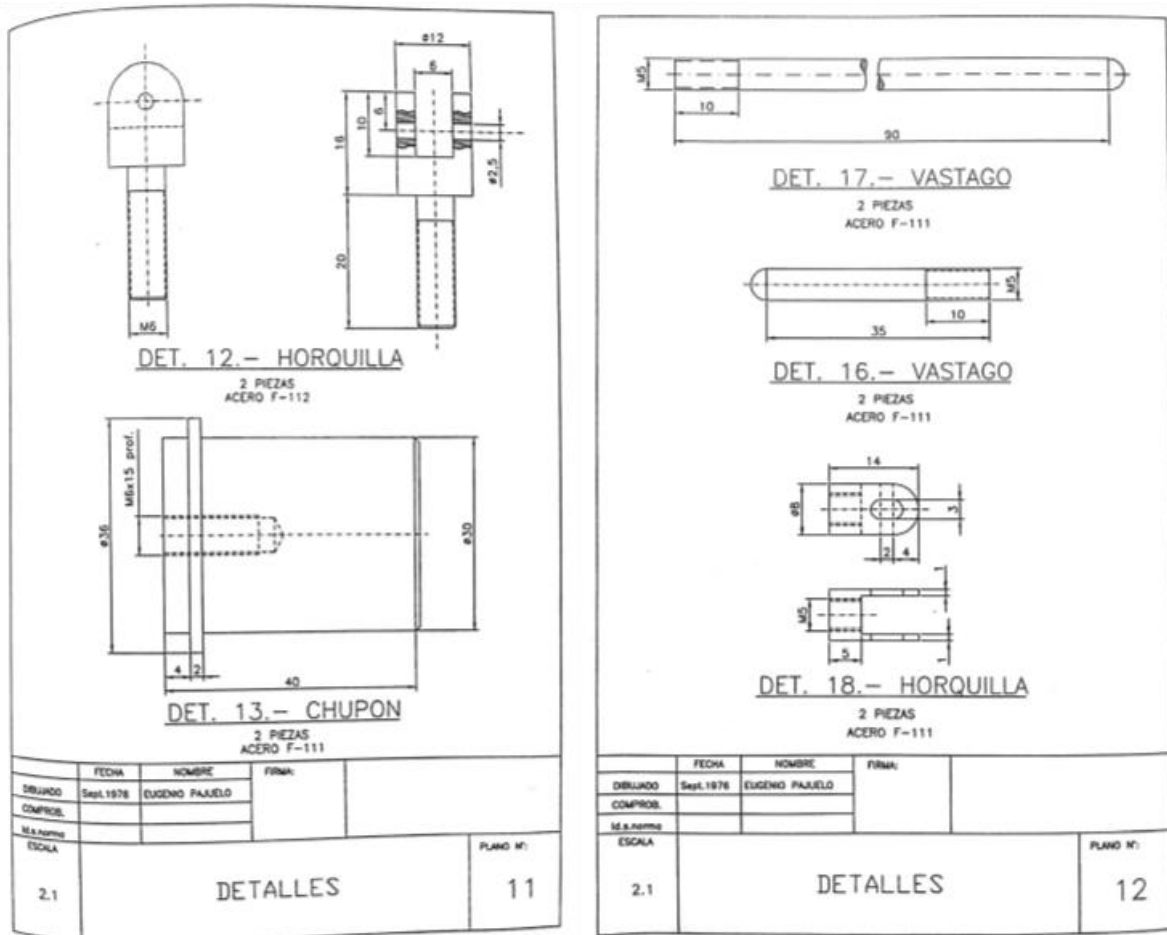


Figura 9.6: Planos de las horquillas, el chupón y los vástagos [1].

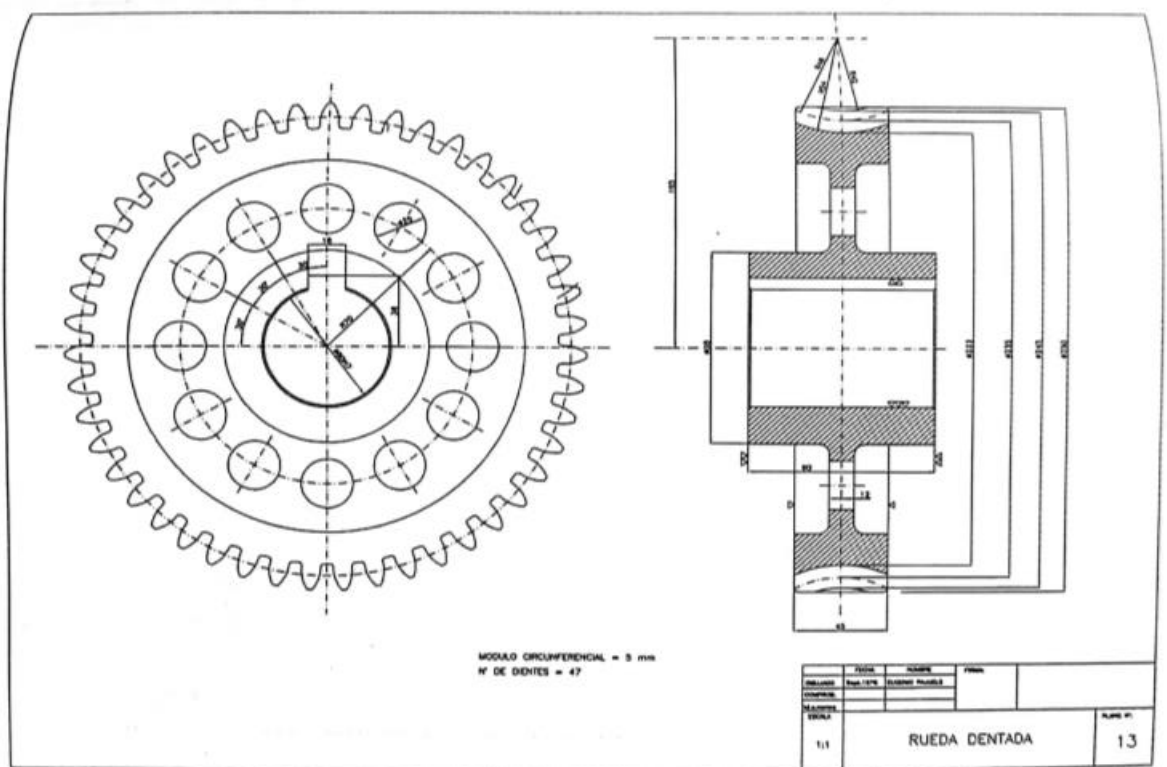


Figura 9.7: Plano de la rueda dentada [1].

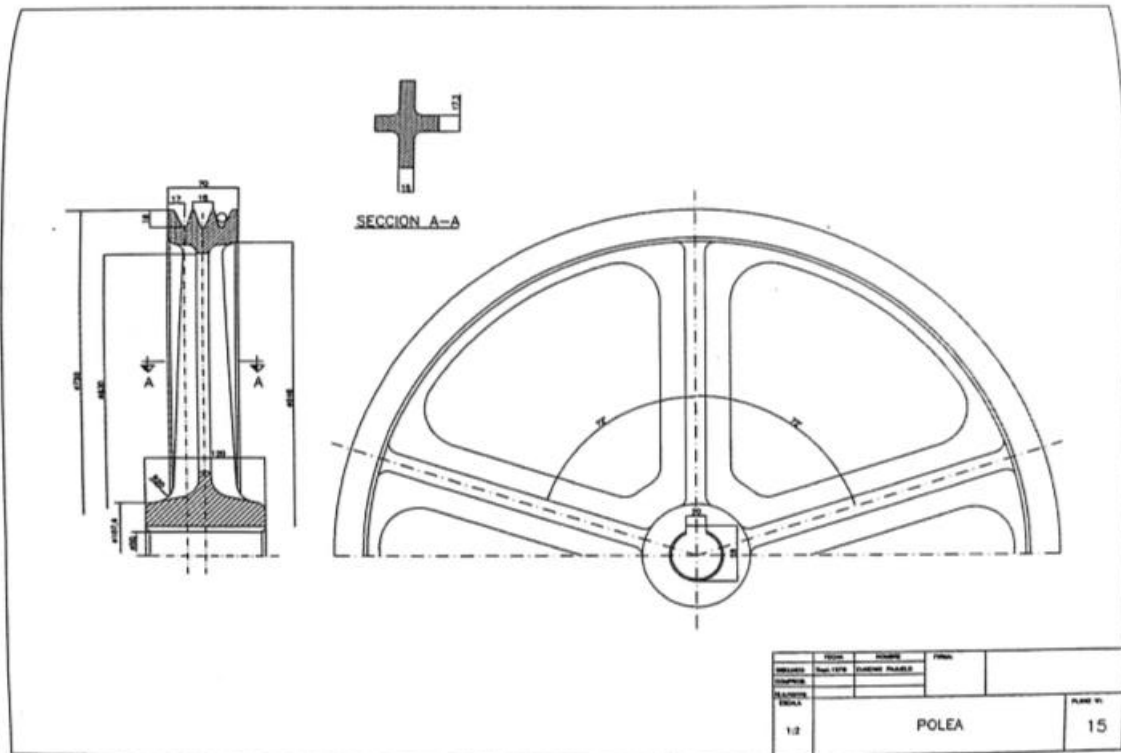


Figura 9.8: Plano de la polea [1].

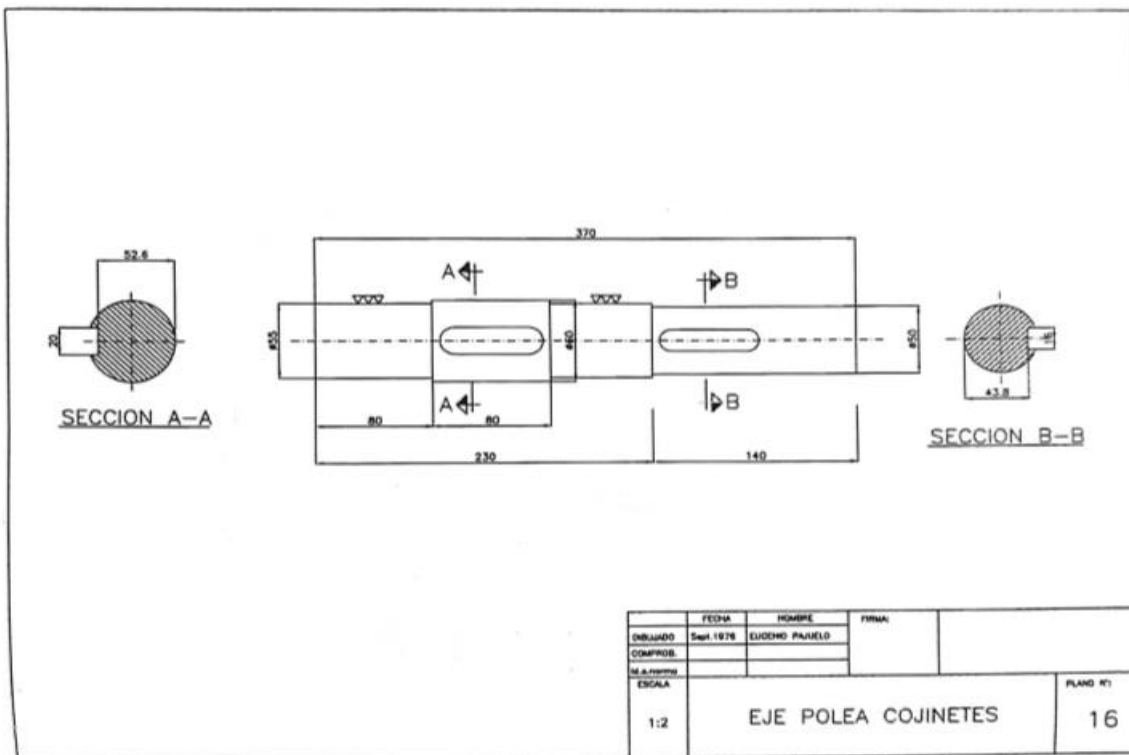


Figura 9.9: Plano del eje de la polea [1].



## Anexo B. Cálculo de los rodamientos y cojinetes

### Índice

Introducción .....	81
B.1 Reacciones en el eje del tornillo sin fin .....	81
B.2 Cojinetes del eje del tornillo sin fin.....	86
B.3 Rodamiento de empuje del eje del tornillo sin fin .....	87
B.4 Reacciones en el eje de la polea.....	90
B.5 Cojinetes del eje de la polea .....	94
B.6 Rodamiento del eje de la polea .....	95
B.7 Tablas y documentación consultada.....	98

## Introducción

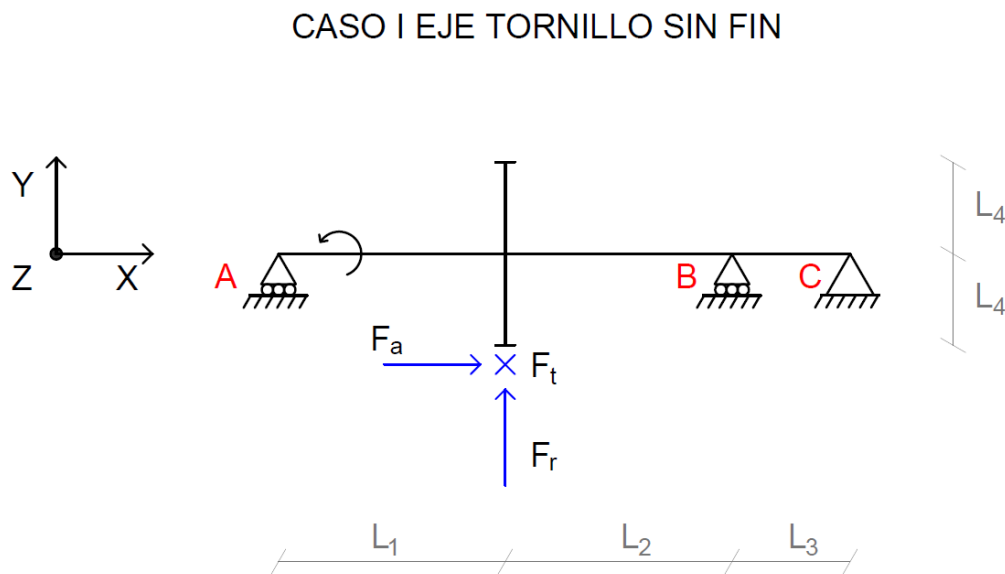
En el proyecto original la información aportada relativa a los rodamientos y cojinetes se encuentra obtenida de una forma errónea y debido a esto se vuelve a calcular. En primer lugar, se realiza un análisis de fuerzas y obtención de las reacciones en cada uno de los rodamientos y, en segundo lugar, se calculan los rodamientos y cojinetes necesarios. La tipología y ubicación de los rodamientos sigue la intención de diseño del proyecto de referencia.

### B.1 Reacciones en el eje del tornillo sin fin

Para la obtención de las reacciones en el eje del sin fin se van a suponer dos casos: cuando el ascensor sube (en adelante I) y cuando el ascensor baja (en adelante II). Una vez realizados los dos casos, se utilizará para el cálculo de los rodamientos el mayor valor.

#### Caso I

En el caso I las fuerzas actúan como se muestra en la Figura 9.10. En el punto A y B se situarán dos cojinetes de fricción y en el punto C un rodamiento de empuje que absorba carga combinada (radial y axial simultáneamente).



**Figura 9.10:** Esquema de fuerzas caso I eje tornillo sin fin.

$$L_1 = 0.118 \text{ m} \quad L_2 = 0.118 \text{ m} \quad L_3 = 0.0615 \text{ m} \quad L_4 = 0.0475 \text{ m}$$

Las fuerzas tangencial, radial y axial vienen dadas por las siguientes ecuaciones [7].

$$F_t = \frac{2 \cdot M_{SF}}{d_{SF}} \quad (9.1)$$

$$F_r = \frac{F_t \cdot \operatorname{tg} \alpha_n \cdot \cos \phi}{\operatorname{sen} (\lambda + \phi)} \quad (9.2)$$

$$F_a = \frac{F_t}{\operatorname{tg} (\lambda + \phi)} \quad (9.3)$$

donde  $M_{SF}$  es el momento en el eje del tornillo sin fin,  $d_{SF}$  es el diámetro del sin fin,  $\alpha_n$  es el ángulo de presión normal,  $\lambda$  es el ángulo de avance del tornillo sin fin y  $\phi$  es el ángulo de fricción. A continuación, se muestran los datos deducidos del proyecto original [1] y se sustituyen en las fórmulas.

- Momento en el sin fin: 19.91 Nm
- Diámetro del sin fin: 95 mm
- Ángulo de presión normal: 20°
- Ángulo de avance: 3°
- Ángulo de fricción: 1.52°

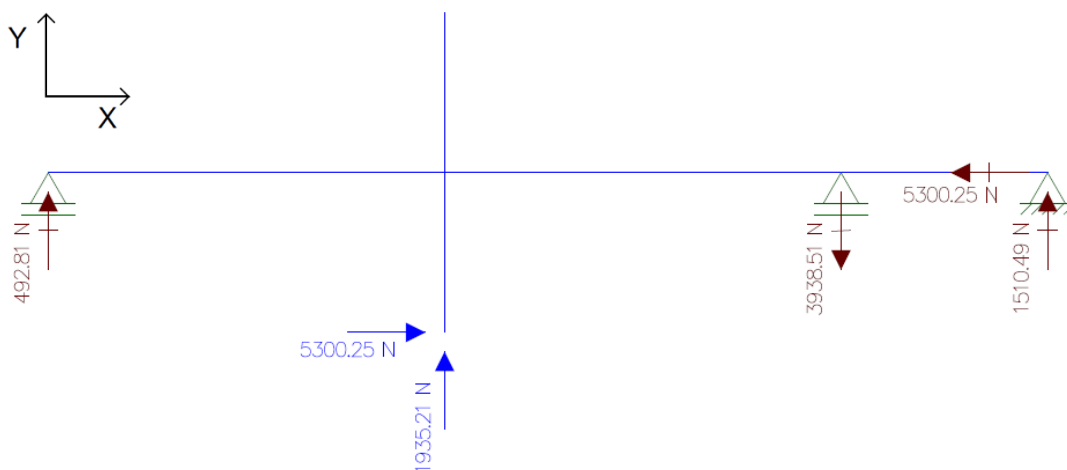
$$F_t = \frac{2 \cdot M_{SF}}{d_{SF}} = \frac{2 \cdot 19.91}{0.095} = 419.16 \text{ N}$$

$$F_r = \frac{F_t \cdot \operatorname{tg} \alpha_n \cdot \cos \phi}{\operatorname{sen} (\lambda + \phi)} = \frac{419.16 \cdot \operatorname{tg} 20 \cdot \cos 1.52}{\operatorname{sen} (3 + 1.52)} = 1935.21 \text{ N}$$

$$F_a = \frac{F_t}{\operatorname{tg} (\lambda + \phi)} = \frac{419.16}{\operatorname{tg} (3 + 1.52)} = 5300.25 \text{ N}$$

Para el cálculo de las reacciones se hace uso del software Ftool [49], una herramienta para cálculo estructural.

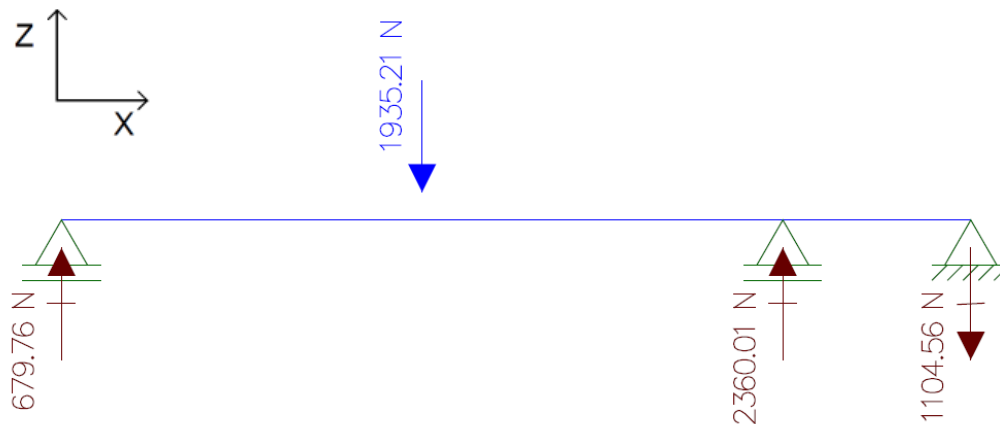
En primer lugar, se insertan en el programa las fuerzas del plano XY y se obtienen las reacciones mostradas en la Figura 9.11.



**Figura 9.11:** Reacciones apoyos caso I tornillo sin fin plano XY.

$$R_{AY} = 492.81 \text{ N} \quad R_{BY} = -3938.51 \text{ N} \quad R_{CY} = 1510.49 \text{ N} \quad R_{CX} = -5300.25 \text{ N}$$

En segundo lugar, se introducen las fuerzas del plano XZ y se obtienen las reacciones mostradas en la Figura 9.12.



**Figura 9.12:** Reacciones apoyos caso I tornillo sin fin plano XZ.

$$R_{AZ} = 679.76 \text{ N} \quad R_{BZ} = 2360.01 \text{ N} \quad R_{CZ} = -1104.56 \text{ N}$$

Por último, se obtiene el módulo de la reacción radial en los apoyos con la Ecuación 9.4.

$$R = \sqrt{R_Y^2 + R_Z^2} \quad (9.4)$$

$$R_A = \sqrt{R_{AY}^2 + R_{AZ}^2} = \sqrt{492.81^2 + 679.76^2} = 839.60 \text{ N}$$

$$R_B = \sqrt{R_{BY}^2 + R_{BZ}^2} = \sqrt{(-3938.51)^2 + 2360.01^2} = 4591.46 \text{ N}$$

$$R_C = \sqrt{R_{CY}^2 + R_{CZ}^2} = \sqrt{1510.49^2 + (-1104.56)^2} = 1871.27 \text{ N}$$

## **Caso II**

En el caso II las fuerzas cambian de dirección y aunque puedan cambiar de valor debido al momento en el sin fin, se toman estos valores por ser el caso más desfavorable. Esto se muestra en la Figura 9.13.

CASO II EJE TORNILLO SIN FIN

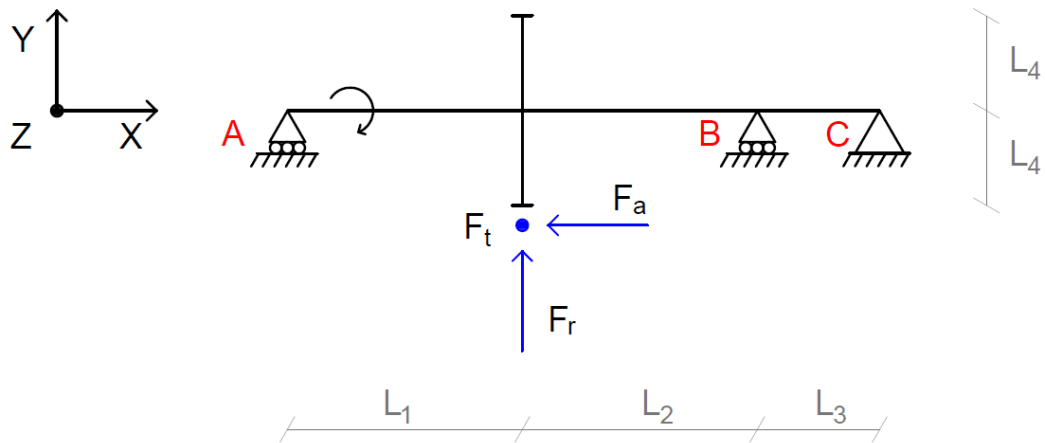


Figura 9.13: Esquema de fuerzas caso II eje tornillo sin fin.

$$L_1 = 0.118 \text{ m} \quad L_2 = 0.118 \text{ m} \quad L_3 = 0.0615 \text{ m} \quad L_4 = 0.0475 \text{ m}$$

$$F_t = 419.16 \text{ N} \quad F_a = 5300.25 \text{ N} \quad F_r = 1935.21 \text{ N}$$

En la siguiente Figura 9.14 se muestran las reacciones en los apoyos causadas por las fuerzas en el plano XY.

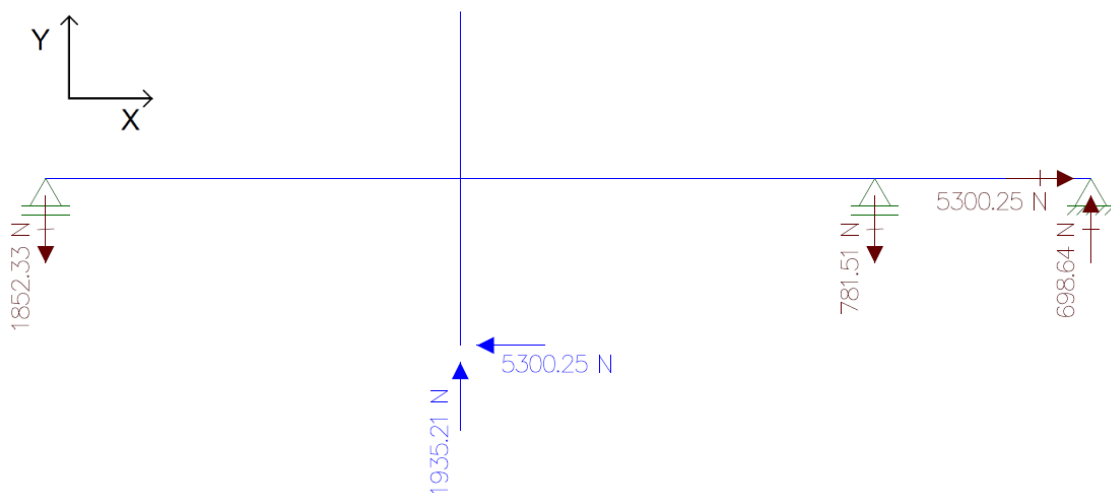
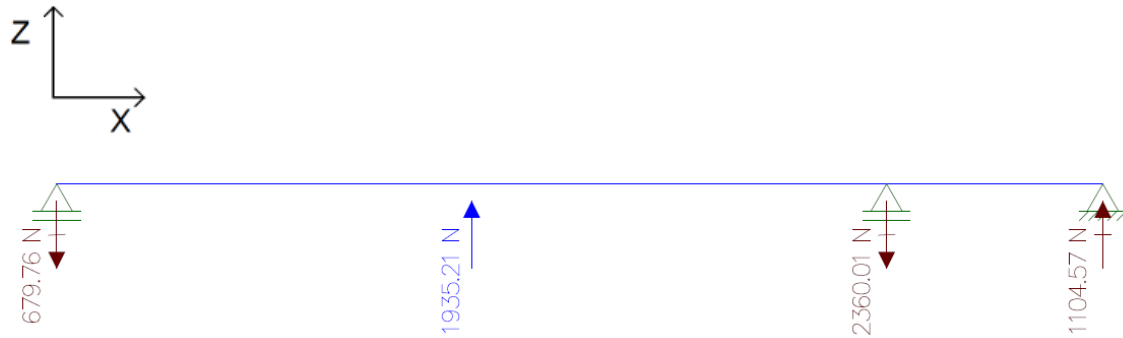


Figura 9.14: Reacciones apoyos caso II tornillo sin fin plano XY.

$$R_{AY} = -1852.33 \text{ N} \quad R_{BY} = -781.51 \text{ N} \quad R_{CY} = 698.64 \text{ N} \quad R_{CX} = 5300.25 \text{ N}$$

A continuación, se introducen las fuerzas del plano XZ y se obtienen las reacciones mostradas en la Figura 9.15.



**Figura 9.15:** Reacciones apoyos caso II tornillo sin fin plano XZ.

$$R_{AZ} = -679.76 \text{ N} \quad R_{BZ} = -2360.01 \text{ N} \quad R_{CZ} = 1104.57 \text{ N}$$

Por último, se obtiene el módulo de la reacción radial en los apoyos con la Ecuación 9.4.

$$R_A = \sqrt{R_{AY}^2 + R_{AZ}^2} = \sqrt{(-1852.33)^2 + (-679.76)^2} = 1973.12 \text{ N}$$

$$R_B = \sqrt{R_{BY}^2 + R_{BZ}^2} = \sqrt{(-781.51)^2 + (-2360.01)^2} = 2486.04 \text{ N}$$

$$R_C = \sqrt{R_{CY}^2 + R_{CZ}^2} = \sqrt{698.64^2 + 1104.57^2} = 1306.97 \text{ N}$$

En la siguiente Tabla 9.1 se muestran los valores obtenidos en los dos casos y el valor que se utiliza para el cálculo de los rodamientos y cojinetes.

	Caso I	Caso II	Valor de cálculo
<b>Reacción radial A</b>	839.60 N	1973.12 N	<b>1973.12 N</b>
<b>Reacción radial B</b>	4591.46 N	2486.04 N	<b>4591.46 N</b>
<b>Reacción radial C</b>	1871.27 N	1306.97 N	<b>1871.27 N</b>
<b>Reacción axial C</b>	-5300.25 N	5300.25 N	<b>±5300.25 N</b>

**Tabla 9.1:** Reacciones en apoyos del eje del tornillo sin fin.

## B.2 Cojinetes del eje del tornillo sin fin

Como se ha comentado con anterioridad, en el punto de apoyo A y en el punto B se colocan cojinetes de fricción. Los datos más relevantes para tener en cuenta en la elección del cojinete son la velocidad de deslizamiento, la carga específica y el valor PV máximo.

En primer lugar, se calcula la velocidad de deslizamiento mediante la Ecuación 9.5, donde  $n$  es la velocidad de giro en rpm y  $d$  el diámetro en milímetros.

$$v = \frac{n \cdot d \cdot \pi}{60 \cdot 1000} \quad (9.5)$$

Se sustituye teniendo en cuenta que los dos cojinetes giran a una velocidad de 1500 rpm y tienen un diámetro de eje de 50 mm.

$$v = \frac{1500 \cdot 50 \cdot \pi}{60 \cdot 1000} = 3.93 \text{ m/s}$$

En segundo lugar, se calcula la carga específica utilizando la Ecuación 9.6, donde  $F$  es la fuerza radial y  $A$  el área de contacto del cojinete con el eje. El área de contacto es el producto del diámetro interior por el ancho del cojinete de fricción.

$$P = \frac{F}{A} = \frac{F}{d \cdot B} \quad (9.6)$$

La fuerza en el apoyo A es de 1973.12 N y en el apoyo B de 4591.46 N. El diámetro interior tiene un valor de 50 mm y se adopta un valor de ancho de cojinete de 50 mm. A continuación, se sustituye en la Ecuación 9.6 para obtener los valores de las cargas específicas.

$$P_A = \frac{1973.12}{50 \cdot 50} = 0.789 \text{ N/mm}^2$$

$$P_B = \frac{4591.46}{50 \cdot 50} = 1.840 \text{ N/mm}^2$$

Por último, el valor PV es la multiplicación de la carga específica y la velocidad de deslizamiento del cojinete en las condiciones normales de funcionamiento. Este valor es proporcionado por los fabricantes y se define como el calor máximo que puede disipar por unidad de tiempo. Es un valor importante ya que, de superar el valor máximo el cojinete acabaría fallando.

$$PV_A = 3.93 \cdot 0.789 = 3.10 \text{ N/mm}^2 \cdot \text{m/s}$$

$$PV_B = 3.93 \cdot 1.840 = 7.23 \text{ N/mm}^2 \cdot \text{m/s}$$

Se selecciona del catálogo de la empresa Picazo [50] el cojinete DP4™ ya que va a trabajar con una lubricación continua y porque cumple con los valores de velocidad de deslizamiento, carga específica y PV. El coeficiente de fricción según el catálogo es de 0.02. Las características se muestran en la Figura 9.22.

### B.3 Rodamiento de empuje del eje del tornillo sin fin

El rodamiento del punto C debe soportar cargas radiales y axiales en ambas direcciones, por lo que, dentro de las opciones de rodamientos que ofrece la herramienta de Adams, se decide introducir un rodamiento de rodillos a rótula.

Una vez conocido el tipo de rodamiento, se realiza una búsqueda introduciendo un diámetro de agujero de 40 mm y con un diseño de agujero cilíndrico en la web de SKF [51]. Se selecciona el rodamiento **22308 E**, el cual posee las características presentadas en las Figuras 9.23 y 9.24.

Para la comprobación de las cargas y la vida nominal de esta tipología de rodamiento se va a utilizar la información proporcionada en la página de SKF [52].

$$F_r = 1871.27 \text{ N} \quad F_a = 5300.25 \text{ N}$$

- **Carga dinámica equivalente del rodamiento:** su obtención en este tipo de rodamientos está determinada por las Ecuaciones 9.7 y 9.8.

$$F_a / F_r \leq e \rightarrow P = F_r + Y_1 F_a \quad (9.7)$$

$$F_a / F_r > e \rightarrow P = 0.67 F_r + Y_2 F_a \quad (9.8)$$

$$e = 0.37 \quad Y_1 = 1.8 \quad Y_2 = 2.7$$

Se comprueba la relación con el valor 'e' y se obtiene el valor de la carga dinámica equivalente.

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{5300.25}{1871.27} = 2.83 > e$$

$$P = 0.67 F_r + Y_2 F_a = 0.67 \cdot 1871.27 + 2.7 \cdot 5300.25 = 15.57 \text{ kN} < 155 \text{ kN}$$

- **Carga estática equivalente del rodamiento:** este valor viene determinado por la Ecuación 9.9.

$$P_0 = F_r + Y_0 F_a \quad (9.9)$$



$$Y_0 = 1.8$$

Se calcula el valor de la carga estática sustituyendo los valores en la Ecuación 9.9.

$$P_0 = F_r + Y_0 F_a = 1871.27 + 1.8 \cdot 5300.25 = 11.41 \text{ kN} < 140 \text{ kN}$$

- **Coefficiente de seguridad estática:** cuantifica la seguridad de la operación y depende de las condiciones de funcionamiento y la tipología de rodamiento.

$$X_0 = \frac{C_0}{P_0} = \frac{140}{11.41} = 12.27 \quad (9.10)$$

Se trata de un coeficiente aceptable ya que para los rodamientos de rodillos en ascensores se estipula necesario un coeficiente mayor o igual a 4 (Tabla 9.3).

- **Carga mínima:** para asegurar un funcionamiento adecuado en el rodamiento, se debe comprobar que se encuentre sometido a mínima carga. Se comprueba que se cumpla con este requisito, el cual viene determinado por la Ecuación 9.11.

$$P_m = 0.01 C_0 \quad (9.11)$$

$$P_m = 0.01 \cdot 140 = 1.4 \text{ kN} < 15.57 \text{ kN}$$

- **Vida nominal del rodamiento:** en el proyecto original el cálculo del rodamiento se diseñó para una vida de 10000 horas, por lo que para este nuevo rodamiento se comprobará que su vida nominal sea mayor a este valor. Para el cálculo las horas de uso se utiliza la fórmula simplificada y se le aplican los factores de corrección  $a_1$  y  $a_{ISO}$  (Ecuación 9.12) [53].

$$L_{nm} = a_1 \cdot a_{ISO} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (9.12)$$

El factor de corrección  $a_1$  es un valor que varía según la fiabilidad del rodamiento y tiende a decrecer según disminuye la probabilidad de fallo. Se adopta un valor de 0.093 en este proyecto para una fiabilidad del 99.9% (Tabla 9.4).

El factor  $a_{ISO}$  es un valor que depende de las condiciones de trabajo del rodamiento y que se halla mediante una gráfica, conociendo previamente la relación de viscosidad  $\kappa$  y el factor de contaminación  $\eta_c$ .

El valor de la relación de viscosidad  $\kappa$  se calcula mediante la Ecuación 9.13, siendo  $\nu$  ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) la viscosidad real de funcionamiento del lubricante y  $\nu_1$  ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) la viscosidad nominal en función del diámetro y la velocidad de giro [54].

$$\kappa = \frac{\nu}{\nu_1} \quad (9.13)$$

La viscosidad real de funcionamiento  $\nu$  se calcula con la Ecuación 9.14, una ecuación experimental que define la viscosidad mínima necesaria para un rodamiento dependiendo de su tamaño y de su velocidad de funcionamiento [55].

$$\nu = 2 \cdot (27878 \cdot n^{-0.7114} \cdot d_m^{-0.52}) \quad (9.14)$$

Se sustituye con los valores de velocidad de 1500 rpm y diámetro medio de 65 mm y se obtiene una viscosidad real de funcionamiento de 35  $\text{mm}^2/\text{s}$ . Por otro lado, la viscosidad nominal se determina mediante la gráfica de la Figura 9.25. Leyendo la gráfica con los valores de velocidad y diámetro medio, la viscosidad nominal adopta un valor de 12  $\text{mm}^2/\text{s}$ .

$$\nu = 2 \cdot (27878 \cdot 1500^{-0.7114} \cdot 65^{-0.52}) = 35 \text{ cSt} = 35 \text{ mm}^2/\text{s}$$

Se introducen estos valores en la Ecuación 9.13 y se observa una relación de viscosidad de aproximadamente 3.

$$\kappa = \frac{35}{12} = 2.92$$

Para el factor de contaminación  $\eta_c$  se toma un valor de 0.6 ya que se asumen unas condiciones de limpieza normal (Tabla 9.5). A continuación, este valor se multiplica por la relación de la carga límite de fatiga  $P_u$  (15 kN) y la carga dinámica equivalente  $P$  (14.84 kN) (Ecuación 9.15).

$$\eta_c \cdot \frac{P_u}{P} = 0.6 \cdot \frac{15}{15.57} = 0.58 \quad (9.15)$$

A continuación, con el valor de 2.92 de la relación de viscosidad y este último valor de 0.58, en la gráfica de la Figura 9.28 se obtiene un valor de  $a_{ISO}$  de 5.

Finalmente, se sustituye en la Ecuación 9.12, siendo la velocidad de giro  $n$  1500 rpm, la capacidad de carga dinámica básica  $C$  155 kN, la carga dinámica equivalente  $P$  15.57 kN y el exponente  $p$  de valor 10/3 para rodamientos de rodillos.

$$L_{nm} = 0.093 \cdot 5 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 1500} \cdot \left( \frac{155}{15.57} \right)^{\frac{10}{3}} = 10965 \text{ horas} > 10000 \text{ horas}$$

Se comprueba que el rodamiento introducido es válido en todos sus aspectos.

## B.4 Reacciones en el eje de la polea

Al igual que se ha realizado en el apartado anterior, se estudian las fuerzas en el caso de subida del ascensor (caso I) y en la bajada (caso II).

### Caso I

En el caso I las fuerzas actúan como se muestra en la Figura 9.16. En el punto D y E se situarán dos cojinetes de fricción y en el punto F un rodamiento que permita la carga combinada.

CASO I EJE POLEA

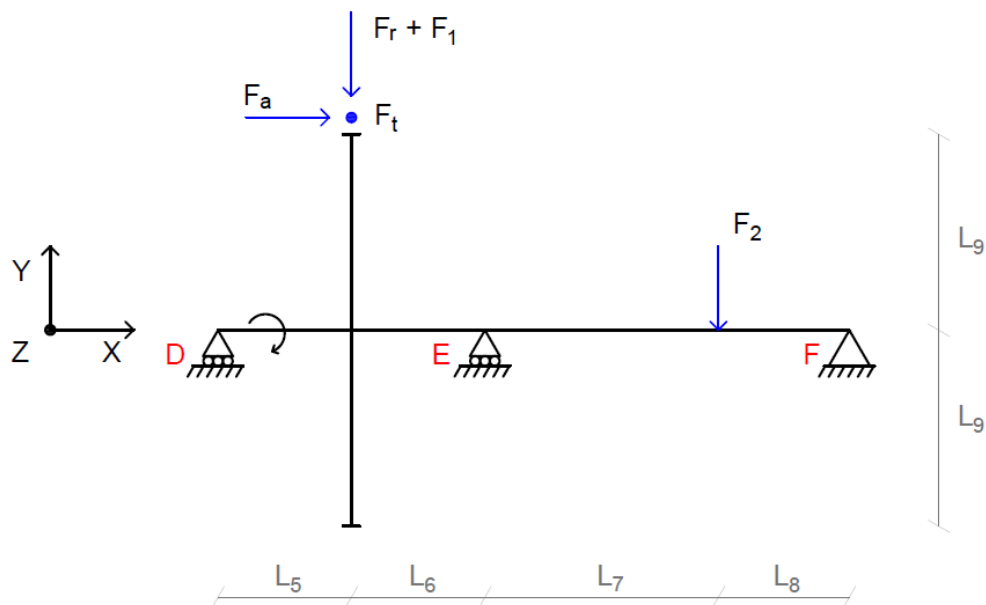


Figura 9.16: Esquema de fuerzas caso I eje polea.

$$L_5 = 0.08 \text{ m} \quad L_6 = 0.08 \text{ m} \quad L_7 = 0.14 \text{ m} \quad L_8 = 0.0785 \text{ m} \quad L_9 = 0.1175 \text{ m}$$

En primer lugar, la fuerza tangencial en la rueda dentada tiene el mismo módulo que la fuerza axial en el tornillo sin fin. En segundo lugar, la fuerza axial tiene el mismo módulo que la fuerza tangencial en el tornillo sin fin. Por último, la fuerza radial tiene el mismo módulo que en el tornillo sin fin.

$$F_t = 5300.25 \text{ N} \quad F_a = 419.16 \text{ N} \quad F_r = 1935.21 \text{ N}$$

La fuerza 1 (Ecuación 9.16) es el peso que ejerce la masa de la rueda dentada  $m_{rd}$ .

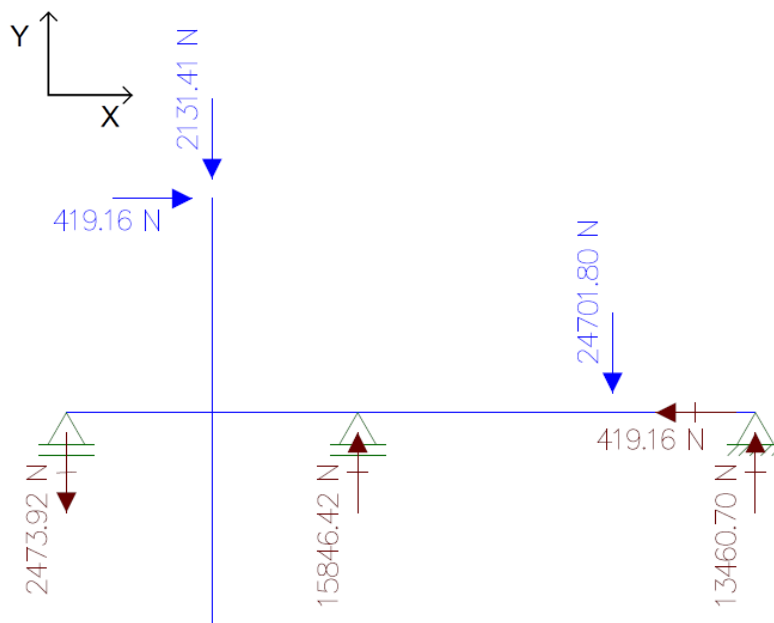
$$F_1 = m_{rd} \cdot g = 20 \cdot 9.81 = 196.20 \text{ N} \quad (9.16)$$

La fuerza 2 (Ecuación 9.17) es el sumatorio del peso que ejerce la masa de la carga útil  $Q_u$ , el contrapeso  $Q_c$ , la cabina  $Q_b$ , la polea  $m_p$  y los cables  $m_c$ . Los cables tienen una densidad lineal de 0.717 kg/m [56] y una longitud de aproximadamente 20 metros cada uno de los 3 cables.

$$F_2 = (Q_u + Q_c + Q_b + m_p + m_c) \cdot g \quad (9.17)$$

$$F_2 = (300 + 1120 + 1000 + 55 + 3 \cdot 20 \cdot 0.717) \cdot g = 24701.78 \text{ N}$$

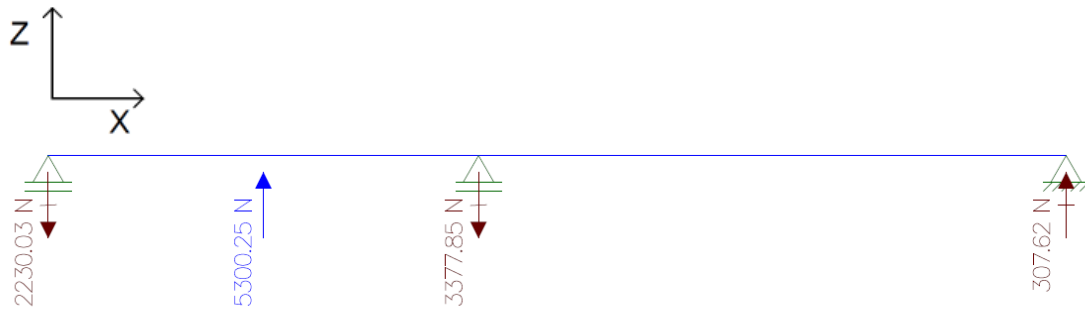
En primer lugar, se insertan en el programa las fuerzas del plano XY y se obtienen las reacciones mostradas en la Figura 9.17.



**Figura 9.17:** Reacciones apoyos caso I eje polea plano XY.

$$R_{DY} = -2473.92 \text{ N} \quad R_{EY} = 15846.42 \text{ N} \quad R_{FY} = 13460.70 \text{ N} \quad R_{FX} = -419.16 \text{ N}$$

En segundo lugar, se introducen las fuerzas del plano XZ y se obtienen las reacciones mostradas en la Figura 9.18.



**Figura 9.18:** Reacciones apoyos caso I eje polea plano XZ.

$$R_{DZ} = -2230.03 \text{ N} \quad R_{EZ} = -3377.85 \text{ N} \quad R_{FZ} = 307.62 \text{ N}$$

Por último, se obtiene el módulo de la reacción radial en los apoyos con la Ecuación 9.4.

$$R_D = \sqrt{R_{DY}^2 + R_{DZ}^2} = \sqrt{(-2473.92)^2 + (-2230.03)^2} = 3330.66 \text{ N}$$

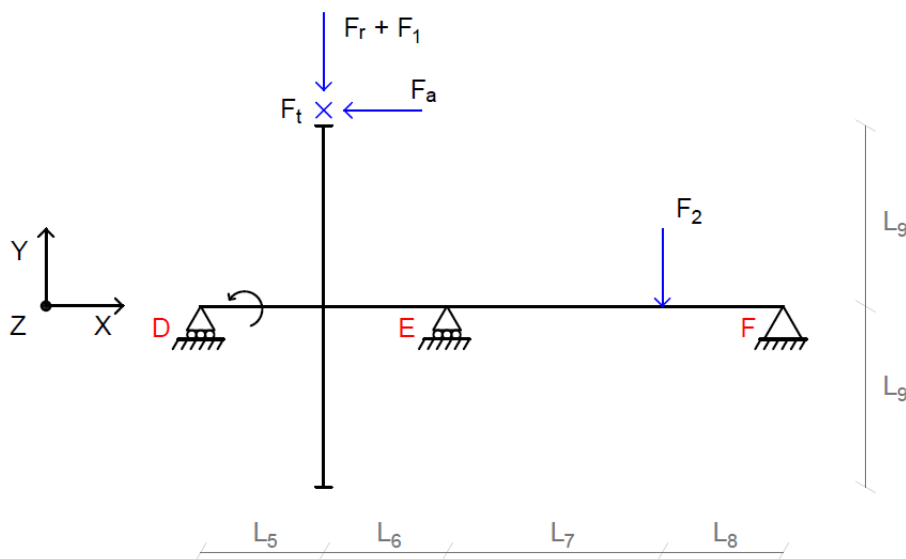
$$R_E = \sqrt{R_{EY}^2 + R_{EZ}^2} = \sqrt{15846.42^2 + (-3377.85)^2} = 16202.44 \text{ N}$$

$$R_F = \sqrt{R_{FY}^2 + R_{FZ}^2} = \sqrt{13460.70^2 + 307.62^2} = 13464.21 \text{ N}$$

**Caso II**

En el caso II las fuerzas cambian de dirección como se observa en la Figura 9.19.

CASO II EJE POLEA

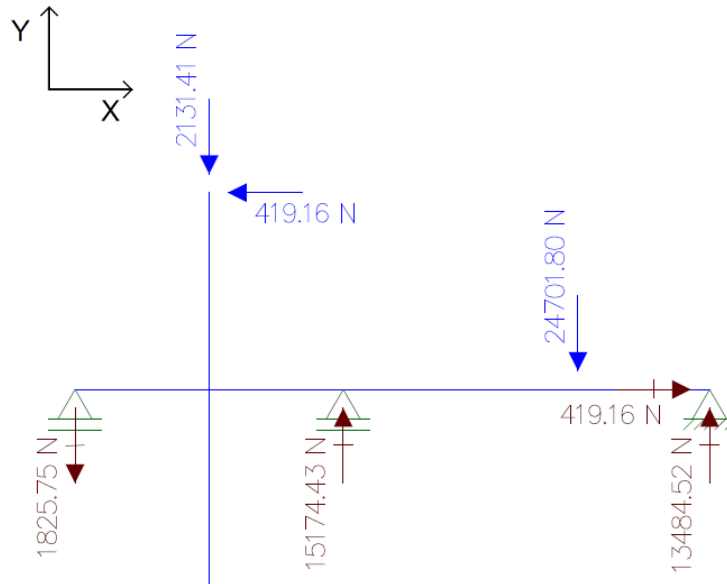


**Figura 9.19:** Esquema de fuerzas caso II eje polea.

$$L_5 = 0.08 \text{ m} \quad L_6 = 0.08 \text{ m} \quad L_7 = 0.14 \text{ m} \quad L_8 = 0.0785 \text{ m} \quad L_9 = 0.1175 \text{ m}$$

$$F_t = 5300.25 \text{ N} \quad F_a = 419.16 \text{ N} \quad F_r = 1935.21 \text{ N} \quad F_1 = 196.20 \text{ N} \quad F_2 = 24701.78 \text{ N}$$

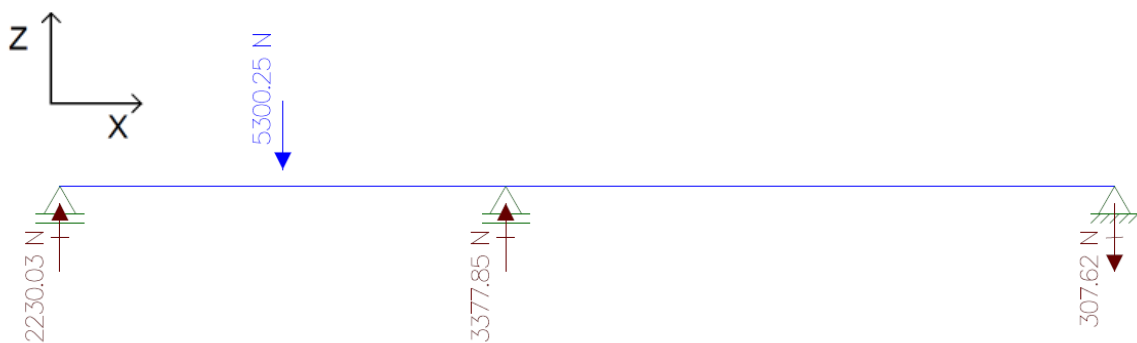
En la siguiente Figura 9.20 se muestran las reacciones en los apoyos causadas por las fuerzas en el plano XY.



**Figura 9.20:** Reacciones apoyos caso II eje polea plano XY.

$$R_{DY} = -1825.75 \text{ N} \quad R_{EY} = 15174.43 \text{ N} \quad R_{FY} = 13484.52 \text{ N} \quad R_{FX} = 419.16 \text{ N}$$

A continuación, se introducen las fuerzas del plano XZ y se obtienen las reacciones mostradas en la Figura 9.21.



**Figura 9.21:** Reacciones apoyos caso II eje polea plano XZ.

$$R_{DZ} = 2230.03 \text{ N} \quad R_{EZ} = 3377.85 \text{ N} \quad R_{FZ} = -307.62 \text{ N}$$

Por último, se obtiene el módulo de la reacción radial en los apoyos con la Ecuación 9.4.

$$R_D = \sqrt{R_{DY}^2 + R_{DZ}^2} = \sqrt{(-1825.75)^2 + 2230.03^2} = 2882.08 \text{ N}$$

$$R_E = \sqrt{R_{EY}^2 + R_{EZ}^2} = \sqrt{15174.43^2 + 3377.85^2} = 15545.84 \text{ N}$$

$$R_F = \sqrt{R_{FY}^2 + R_{FZ}^2} = \sqrt{13484.52^2 + (-307.62)^2} = 13488.03 \text{ N}$$

En la siguiente Tabla 9.2 se muestran los valores obtenidos en los dos casos y el valor que se utiliza para el cálculo de los rodamientos y cojinetes.

	Caso I	Caso II	Valor de cálculo
<b>Reacción radial D</b>	3330.66 N	2882.08 N	<b>3330.66 N</b>
<b>Reacción radial E</b>	16202.44 N	15545.84 N	<b>16202.44 N</b>
<b>Reacción radial F</b>	13464.21 N	13488.03 N	<b>13488.03 N</b>
<b>Reacción axial F</b>	-419.16 N	419.16 N	<b>±419.16 N</b>

**Tabla 9.2:** Reacciones en apoyos del eje de la polea.

## B.5 Cojinetes del eje de la polea

Al igual que se ha realizado con los cojinetes del eje del tornillo sin fin, en los apoyos D y E se introducen también cojinetes de fricción. Los cálculos necesarios se hacen de la misma forma que se ha realizado en el apartado B.2

En primer lugar, se calcula la velocidad de deslizamiento mediante la Ecuación 9.5, donde la velocidad de giro es 32 rpm y el diámetro 55 mm.

$$v = \frac{n \cdot d \cdot \pi}{60 \cdot 1000} = \frac{32 \cdot 55 \cdot \pi}{60 \cdot 1000} = 0.92 \text{ m/s}$$

En segundo lugar, se calcula la carga específica utilizando la Ecuación 9.6. La fuerza en el apoyo D es de 1000 N y en el apoyo E de 1000 N. El diámetro interior tiene un valor de 55 mm y se adopta un valor de ancho de cojinete de 50 mm.

$$P_D = \frac{F}{A} = \frac{3330.66}{55 \cdot 50} = 1.21 \text{ N/mm}^2$$

$$P_E = \frac{F}{A} = \frac{16202.44}{55 \cdot 50} = 5.89 \text{ N/mm}^2$$

Por último, se obtiene el valor PV multiplicando la carga específica por la velocidad de deslizamiento del cojinete en las condiciones normales de funcionamiento.

$$PV_D = 0.92 \cdot 1.21 = 1.11 \text{ N/mm}^2 \cdot \text{m/s}$$

$$PV_E = 0.92 \cdot 5.89 = 5.42 \text{ N/mm}^2 \cdot \text{m/s}$$

Se selecciona del catálogo de la empresa Picazo [50] el cojinete DP4™ ya que va a trabajar con una lubricación continua y porque cumple con los valores de velocidad de deslizamiento, carga específica y PV. El coeficiente de fricción según el catálogo es de 0.02. Las características se muestran en la Figura 9.22.

## B.6 Rodamiento del eje de la polea

Por último, se va a diseñar el rodamiento del punto F, el cual soporta una gran carga radial, combinada con una pequeña carga axial. Al igual que se ha realizado con el rodamiento de empuje del eje del tornillo sin fin, se introduce un rodamiento de rodillos a rótula.

Se realiza una búsqueda en la web de SKF [51] para este tipo de rodamiento con un diámetro interior de 50 mm y un diseño de agujero cilíndrico. Se selecciona el rodamiento **22210 E**, el cual posee las características presentadas en las Figuras 9.26 y 9.27.

Para la comprobación de las cargas y la vida nominal de esta tipología de rodamiento se va a utilizar la información proporcionada en la página de SKF [52]. Al ser el mismo tipo de rodamiento que el anterior, se utilizan las fórmulas presentadas con anterioridad.

$$F_r = 13488.03 \text{ N} \quad F_a = 419.16 \text{ N}$$

- **Carga dinámica equivalente del rodamiento:** su obtención en este tipo de rodamientos está determinada por las anteriores Ecuaciones 9.7 y 9.8. Se comprueba la relación con el valor de 'e' y se obtiene el valor de la carga dinámica equivalente.

$$e = 0.24 \quad Y_1 = 2.8 \quad Y_2 = 4.2$$

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{419.16}{13488.03} = 0.03 < e$$



$$P = F_r + Y_1 F_a = 13488.03 + 2.8 \cdot 419.16 = 14.66 \text{ kN} < 107 \text{ kN}$$

- **Carga estática equivalente del rodamiento:** se calcula el valor de la carga estática sustituyendo los valores en la Ecuación 9.9.

$$Y_0 = 2.8$$

$$P_0 = F_r + Y_0 F_a = 13488.03 + 2.8 \cdot 419.16 = 14.66 \text{ kN} < 108 \text{ kN}$$

- **Coefficiente de seguridad estática:** se obtiene el valor mediante la Ecuación 9.10.

$$X_0 = \frac{C_0}{P_0} = \frac{108}{14.66} = 7.37$$

Se considera un coeficiente adecuado ya que para los rodamientos de rodillos en ascensores se estipula necesario un coeficiente mayor o igual a 4 (Tabla 9.3).

- **Carga mínima:** para asegurar un funcionamiento adecuado en el rodamiento, se debe comprobar que se encuentre sometido a mínima carga. Se comprueba que se cumpla con este requisito, el cual viene determinado por la Ecuación 9.11.

$$P_m = 0.01 \cdot 108 = 1.08 \text{ kN} < 14.66 \text{ kN}$$

- **Vida nominal del rodamiento:** en el proyecto original el cálculo del rodamiento se diseñó para una vida de 10000 horas, por lo que para este nuevo rodamiento se comprobará que su vida nominal sea mayor a este valor. Para el cálculo las horas de uso se utiliza la fórmula simplificada y se le aplican los factores de corrección  $a_1$  y  $a_{ISO}$  (Ecuación 9.12) [53].

El factor de corrección  $a_1$  adopta un valor de 0.093 en este proyecto para una fiabilidad del 99.9% (Tabla 9.4).

Para la obtención del coeficiente  $a_{ISO}$ , primero calculamos mediante la Ecuación 9.13 la viscosidad real de funcionamiento  $\nu$  teniendo en cuenta una velocidad de 32 rpm y un diámetro medio de 70 mm.

$$\nu = 2 \cdot (27878 \cdot 32^{-0.7114} \cdot 70^{-0.52}) = 520 \text{ cSt} = 520 \text{ mm}^2/\text{s}$$

En segundo lugar, leyendo la gráfica de la Figura 9.25 con los valores de velocidad y diámetro medio, la viscosidad nominal adopta un valor de 400 mm<sup>2</sup>/s.

Se introducen estos valores en la Ecuación 9.14 y se observa una relación de viscosidad de 1.3.

$$\kappa = \frac{520}{400} = 1.3$$

Para el factor de contaminación  $\eta_c$  se toma un valor de 0.6 ya que se asumen unas condiciones de limpieza normal (Tabla 9.5). A continuación, este valor se multiplica por la relación de la carga límite de fatiga  $P_u$  (11.8 kN) y la carga dinámica equivalente  $P$  (14.66 kN) (Ecuación 9.15).

$$\eta_c \cdot \frac{P_u}{P} = 0.6 \cdot \frac{11.8}{14.66} = 0.48$$

Con el valor de 1.3 de la relación de viscosidad y este último valor de 0.48, en la gráfica de la Figura 9.28 se obtiene un valor de  $a_{ISO}$  de 2.

Por último, se sustituye en la Ecuación 9.12, siendo la velocidad de giro  $n$  32 rpm, la capacidad de carga dinámica básica  $C$  107 kN, la carga dinámica equivalente  $P$  14.66 kN y el exponente  $p$  de valor 10/3 para rodamientos de rodillos.

$$L_{nm} = 0.093 \cdot 2 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 32} \cdot \left( \frac{107}{14.66} \right)^{\frac{10}{3}} = 73065 \text{ horas} > 10000 \text{ horas}$$

Se comprueba que el rodamiento introducido es válido en todos sus aspectos.

## B.7 Tablas y documentación consultada

**DP4™**





**MICROSECCIÓN**



PTFE + CaF2 + Fibras de polímeros

Bronce sinterizado

Dorso de acero

**CARACTERÍSTICAS**

Libre de plomo.  
Excelente para lubricación con aceite y grasa.  
Buena resistencia química.

Propiedades	Unidad	Valor
<b>Trabajo en seco</b>		
Velocidad máx. deslizamiento	m/s	2,5
Factor PV máximo	N/mm <sup>2</sup> ·m/s	1
Coefficiente de fricción	-	0,04 a 0,25
<b>Lubricación con aceite</b>		
Velocidad máx. deslizamiento	m/s	5
Factor PV máximo	N/mm <sup>2</sup> ·m/s	10
Coefficiente de fricción	-	0,02
<b>General</b>		
Temperatura máxima	°C	280
Temperatura mínima	°C	-200
Carga estática máxima	N/mm <sup>2</sup>	250
Carga dinámica máxima	N/mm <sup>2</sup>	140
Rugosidad del eje Ra	µm	0,4
Dureza del eje	HB	>200

Condiciones operativas		
	Seco	Bueno
	Lubricado con aceite	Muy bueno
	Lubricado con grasa	Bueno
	Agua	No recomendado
	Otros fluidos	Bueno

**APLICACIONES**

**Automoción:** Amortiguadores y columnas McPherson, guías de horquillas selectoras de caja de cambios, bombas de dirección, etc.

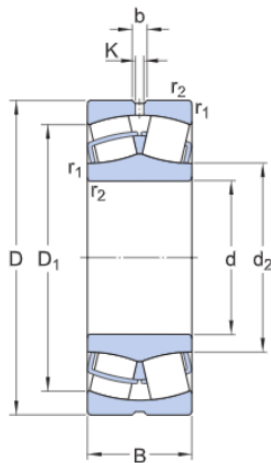
**Industria:** equipos de elevación, bombas y motores hidráulicos, equipos neumáticos, equipos médicos, maquinaria textil, maquinaria agrícola, equipos de laboratorio, equipos de oficina, etc.

**GAMA DE FABRICACIÓN ESTÁNDAR**

Los cojinetes de material DP4 se fabrican con las mismas dimensiones y tolerancias que los cojinetes DU.



Figura 9.22: Características cojinete de fricción DP4™ [50].



DIMENSIONES

d	40 mm	Diámetro del agujero
D	90 mm	Diámetro exterior
B	33 mm	Ancho
$d_2 \approx$	49.9 mm	Diámetro del resalte del aro interior
$D_1 \approx$	74.3 mm	Diámetro del resalte/rebaje del aro exterior
b	6 mm	Ancho de la ranura de lubricación
K	3 mm	Diámetro del agujero de lubricación
$r_{1,2}$	min. 1.5 mm	Dimensión del chaflán

Figura 9.23: Dimensiones del rodamiento 22308 E [45].

DATOS DEL CÁLCULO

Capacidad de carga dinámica básica	C	155 kN
Capacidad de carga estática básica	$C_0$	140 kN
Carga límite de fatiga	$P_u$	15 kN
Velocidad de referencia		6 000 r/min
Velocidad límite		8 000 r/min
Valor límite	e	0.37
Factor de carga axial	$Y_1$	1.8
Factor de carga axial	$Y_2$	2.7
Factor de carga axial	$Y_0$	1.8

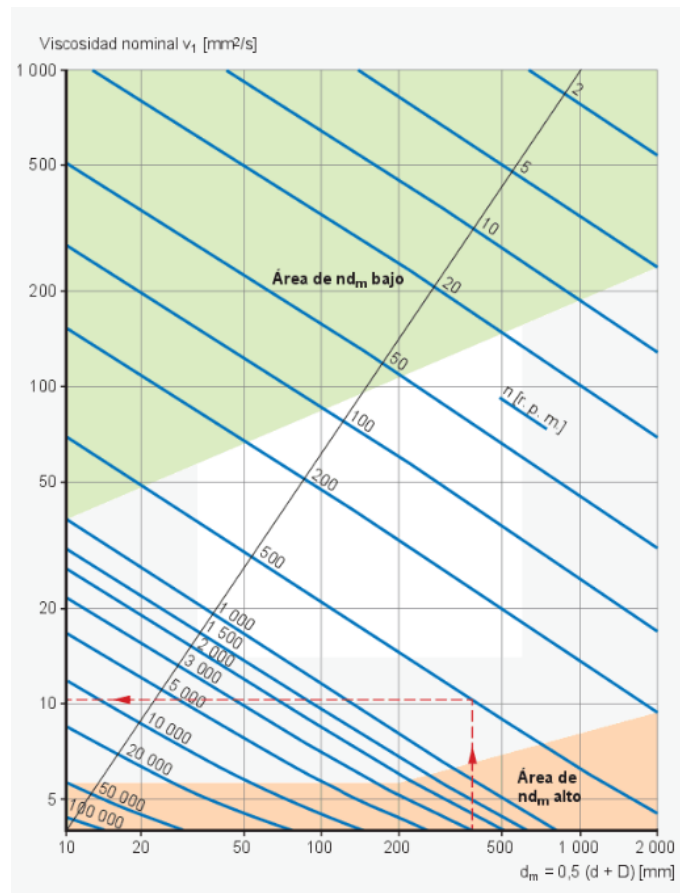
Figura 9.24: Datos de cálculo del rodamiento 22308 E [45].

Condiciones de funcionamiento	Coeficiente de seguridad estática $X_0$	
	Rodillos	Bolas
Carga uniforme, bajas vibraciones, requisitos poco severos para la suavidad de marcha	$\geq 1.0$	$\geq 0.5$
Carga uniforme, bajas vibraciones, con requisitos más elevados para la suavidad de marcha	$\geq 2.0$	$\geq 1.0$
Funcionamiento con considerables cargas de impacto o choques	$\geq 3.0$	$\geq 2.0$
Rodadura con elevados requisitos de precisión de rotación y suavidad de marcha	$\geq 4.0$	$\geq 3.0$

Tabla 9.3: Coeficiente de seguridad estática en función del uso [57].

Fiabilidad %	$a_1$
90	1
95	0.64
96	0.55
97	0.47
98	0.37
99	0.25
99.2	0.22
99.4	0.19
99.6	0.16
99.8	0.12
99.9	0.093
99.92	0.087
99.94	0.080
99.95	0.077

**Tabla 9.4:** Coeficiente  $a_1$  en función de la fiabilidad [57].



**Figura 9.25:** Viscosidad nominal en función de la velocidad y el diámetro medio [54].

Condición	$d_m < 100 \text{ mm}$	$d_m \geq 100 \text{ mm}$
<b>Limpieza extrema</b> Tamaño de las partículas del orden del espesor de la película de lubricante Condiciones de laboratorio	1	1
<b>Gran limpieza</b> Aceite filtrado a través de un filtro extremadamente fino Condiciones típicas de los rodamientos engrasados de por vida y obturados	0,8 ... 0,6	0,9 ... 0,8
<b>Limpieza normal</b> Aceite filtrado a través de un filtro fino Condiciones típicas de los rodamientos engrasados de por vida y con placas de protección	0,6 ... 0,5	0,8 ... 0,6
<b>Contaminación ligera</b>	0,5 ... 0,3	0,6 ... 0,4
<b>Contaminación típica</b> Condiciones típicas de los rodamientos sin obturaciones integrales, filtrado grueso, partículas de desgaste y entrada de partículas del exterior	0,3 ... 0,1	0,4 ... 0,2
<b>Contaminación alta</b> Entorno del rodamiento muy contaminado y disposición de rodamientos con obturación inadecuada	0,1 ... 0	0,1 ... 0
<b>Contaminación muy alta</b> $\eta_c$ puede estar fuera de la escala produciendo una reducción mayor de la vida útil de lo establecido por la ecuación Ec. 7	0	0

**Tabla 9.5:** Factor de contaminación  $\eta_c$  en función de la condición de uso [57].



**Figura 9.26:** Dimensiones del rodamiento 22210 E [46].

DATOS DEL CÁLCULO

Capacidad de carga dinámica básica	C	107 kN
Capacidad de carga estática básica	$C_0$	108 kN
Carga límite de fatiga	$P_u$	11.8 kN
Velocidad de referencia		7 000 r/min
Velocidad límite		9 500 r/min
Valor límite	e	0.24
Factor de carga axial	$Y_1$	2.8
Factor de carga axial	$Y_2$	4.2
Factor de carga axial	$Y_0$	2.8

Figura 9.27: Datos de cálculo del rodamiento 22210 E [46].

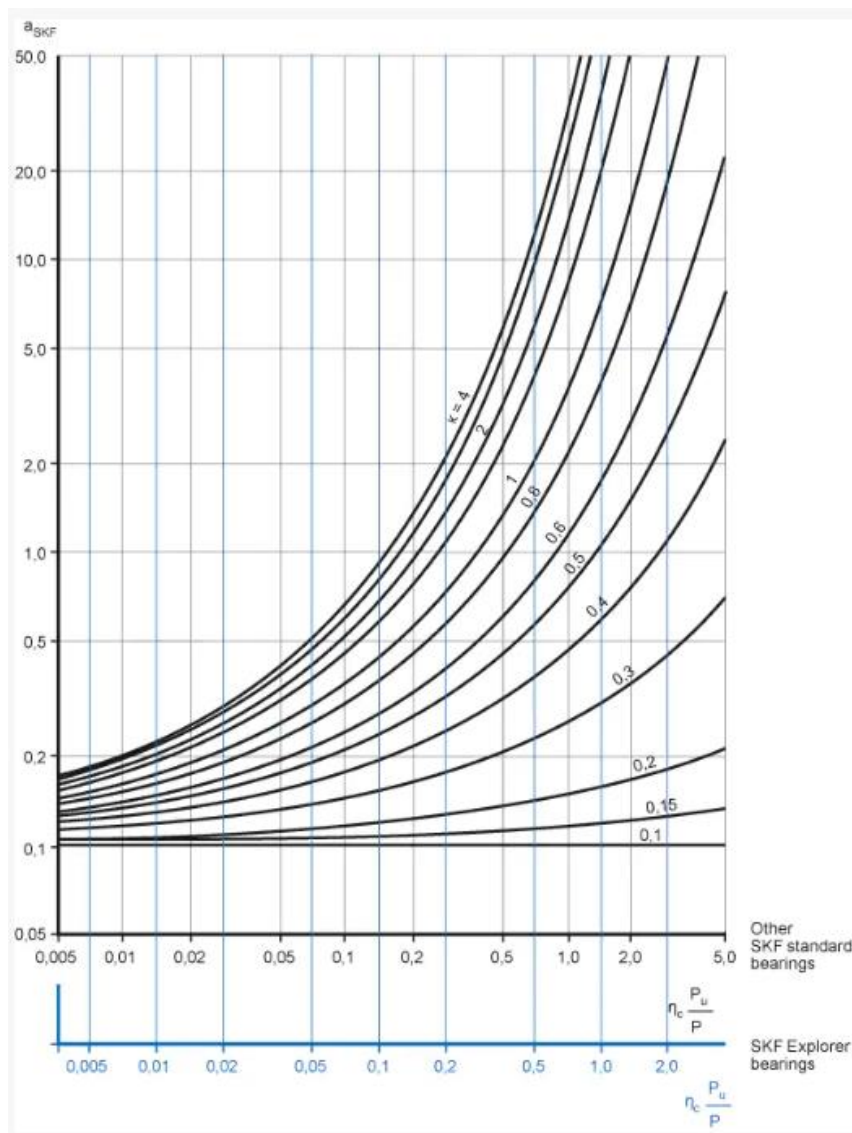


Figura 9.28: Factor de corrección  $a_{ISO}$  [58].

# 10

## Bibliografía

- [1] Rosanes Soto. (2017). Grupo reductor para ascensores. *5 proyectos de elementos mecánicos* (pp. 431-491). Bellisco.
- [2] *Competencias transversales*. Universidad Politécnica de Valencia. (2020). URL: <https://www.upv.es/contenidos/COMPTRAN/info/955693normalc.html> (consultado el 06/04/2022).
- [3] *Foro Económico Mundial*. Wikipedia. (2022). URL: [https://es.wikipedia.org/wiki/Foro\\_Econ%C3%B3mico\\_Mundial](https://es.wikipedia.org/wiki/Foro_Econ%C3%B3mico_Mundial) (consultado el 01/04/2022).
- [4] Astigarraga, Eugenio. *A vueltas con las competencias transversales*. Universidad, sí. (2019). URL: <https://www.universidadsi.es/a-vueltas-con-las-competencias-transversales/> (consultado el 01/04/2022).
- [5] *¿Se puede caer un ascensor? Descubre por qué no*. Fain ascensores. (2019). URL: <https://fain.es/blog/seguridad-ascensor-2/> (consultado el 02/04/2022).
- [6] *Programas CAD, indispensables en ingeniería*. GP3 ingenieros. (2020). URL: <https://gp3ingenieros.es/programas-cad-indispensables-en-ingenieria/> (consultado el 03/04/2022).
- [7] Miravete, & Larrodé E. (2007). Ascensores y montacargas. *Elevadores: principios e innovaciones* (pp. 7-284). Reverté.
- [8] *España supera el millón cien mil de ascensores por primera vez*. FEEDA. (2019). URL: <https://www.feeda.es/espana-supera-millon-cien-mil-ascensores-primera-vez/> (consultado el 29/04/2022).
- [9] *Montacoches para vehículos*. Aicon Elevadores. URL: <https://www.aiconelevadores.es/montacoches-para-vehiculos/> (consultado el 29/04/2022).
- [10] *Normativa para ascensores y elevadores*. Ficherotecnia. (2021). URL: <https://ficherotecnia.es/normativa-de-ascensores/> (consultado el 29/04/2022).



- [11] *¿Qué es el cuarto de máquinas del ascensor?* Ascensores y más. (2018). URL: <https://ascensoresymas.com/cuarto-de-maquinas-ascensor/> (consultado el 29/04/2022).
- [12] *¿Cuánto cuesta cambiar la maquinaria de un ascensor?* Ascensores y más. (2018). URL: <https://ascensoresymas.com/cuanto-cuesta-cambiar-la-maquinaria-de-un-ascensor/> (consultado el 29/04/2022).
- [13] *Ascensor sin cuarto de máquinas.* Ascensores De Vitel. (2017). URL: <https://www.ascensoresdevitel.com/instalacion/ascensor-sin-cuarto-de-maquinas/> (consultado el 29/04/2022).
- [14] *Posición del pistón y tipo de tracción.* MV Euro lift. (2009). URL: <http://blog.gmveurolift.es/posicion-del-piston-y-tipos-de-traccion/> (consultado el 29/04/2022).
- [15] *Sistemas de tracción.* Universidade da Coruña. URL: <https://www.udc.es/dep/dtcon/estructuras/ETSAC/Descarga/ascensores/C-1%20Sistemas%20de%20Traccion.pdf> (consultado el 29/04/2022).
- [16] *Ascensor TWIN.* ThyssenKrupp Elevator. URL: <https://www.tkelevator.com/es-es/productos/ascensores/twin/> (consultado el 30/04/2022).
- [17] *Modelos de ascensores.* Revista del ascensor. URL: <https://revdelascensor.com/modelos-ascensores/> (consultado el 28/04/2022).
- [18] *Los distintos modelos de ascensores.* Schindler. (2021). URL: <https://www.schindler.es/es/medios-de-comunicacion/noticias/distintos-modelos-de-ascensores.html> (consultado el 28/04/2022).
- [19] *Ascensor unifamiliar.* Accesibilidad 4 all. (2020). URL: <https://accesibilidad4all.com/ascensor-unifamiliar/> (consultado el 28/04/2022).
- [20] *Por qué y cuando instalar un ascensor para vivienda unifamiliar.* Ascensores Sales. (2021). URL: <https://www.ascensorssales.com/es/por-que-y-cuando-instalar-un-ascensor-para-vivienda-unifamiliar/> (consultado el 28/04/2022).
- [21] *Ascensores con foso reducido.* Eninter. (2018). URL: <https://www.eninter.com/blog/ascensores-foso-reducido/> (consultado el 28/04/2022).
- [22] *Montacargas industrial.* Disel Studio. URL: <https://diselstudio.es/ascensor-o-montacargas-industrial/> (consultado el 28/04/2022).
- [23] *Minicargas / Montaplatos.* Solution Lift. URL: <https://www.solutionlift.com/instalaciones/minicargas-montaplatos/> (consultado el 28/04/2022).

- [24] *Elevador vertical de corto recorrido*. Asmon. URL: [https://asmon.com/es/productos/soluciones\\_de\\_accesibilidad/elevador\\_vertical\\_de\\_corto\\_recorrido/16/](https://asmon.com/es/productos/soluciones_de_accesibilidad/elevador_vertical_de_corto_recorrido/16/) (consultado el 28/04/2022).
- [25] *Tipos y usos de los elevadores de automóviles*. Tecnomax equipamientos. (2020). URL: <https://tecnomaxequip.com.ar/tipos-y-usos-de-los-elevadores-de-automoviles/> (consultado el 28/04/2022).
- [26] *Guía Cepillada T89/B*. Keltek Elevation. URL: <https://keltekelevation.com/producto/guia-cepillada-t89-b/> (consultado el 02/05/2022).
- [27] *Zapata de guía deslizante para elevador Mitsubishi*. Aliexpress. URL: <https://es.aliexpress.com/item/4001232106013.html> (consultado el 02/05/2022).
- [28] *Elevator roller guide shoe*. Alibaba. URL: [https://www.alibaba.com/product-detail/Elevator-roller-guide-shoe-roller-guide\\_62170347061.html?spm=a2700.pc\\_countrysearch.main07.141.41bb55ccskKFwJ](https://www.alibaba.com/product-detail/Elevator-roller-guide-shoe-roller-guide_62170347061.html?spm=a2700.pc_countrysearch.main07.141.41bb55ccskKFwJ) (consultado el 02/05/2022).
- [29] Close, Mike. *So, what is wire rope?* American Cranes & Transport. (2018). URL: <https://www.americancranesandtransport.com/news/so-what-is-wire-rope-/2136123.article> (consultado el 02/05/2022).
- [30] *Aplicaciones de los cables de acero en un ascensor eléctrico*. Ascensores J Pascual. (2014). URL: <https://ascensoresjpascual.blogspot.com/2014/03/cables-que-se-pueden-encontrar-en-un.html> (consultado el 02/05/2022).
- [31] *Unidirectional progressive safety gear*. Wittur. URL: <https://www.wittur.com/es/productos/dispositivos-de-seguridad/csgb-010203---uni-direccional.aspx> (consultado el 02/05/2022).
- [32] *Amortiguadores para ascensores*. P+S Polyurethan Elastomere. URL: <https://www.pus-polyurethan.de/es/amortiguadores-para-ascensores.html> (consultado el 02/05/2022).
- [33] *Buffer spring components*. Harries Companies. URL: <https://www.harriscompanies.com/product-category/elevators/buffer-springs-components/> (consultado el 02/05/2022).
- [34] *Amortiguador hidráulico de elevación*. Alibaba. URL: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Lift-Hydraulic-Buffer-Lift-Oil-Buffer-1758908410.html> (consultado el 02/05/2022).
- [35] *Partes del ascensor*. Eninter Ascensores. (2015). URL: <https://www.eninter.com/blog/partes-del-ascensor/> (consultado el 02/05/2022).

- [36] Castillo Muñoz, JF. (2017). Modelatge i simulació dinàmica de la retroexcavadora Caterpillar M315C. Universitat Politècnica de València. URL: <http://hdl.handle.net/10251/89563>.
- [37] Ros Bou, N. (2019). Modelado y simulación dinámica de una grúa hidráulica para camiones. Universitat Politècnica de València. URL: <http://hdl.handle.net/10251/127943>.
- [38] Campos García, JM. (2017). Modelado y simulación dinámica del robot industrial Fanuc M-410iB/700. Universitat Politècnica de València. URL: <http://hdl.handle.net/10251/86963>.
- [39] Llanes Corbatón, A. (2017). Modelatge i simulació dinàmica d'un robot paral·lel amb estructura de plataforma de Stewart. Universitat Politècnica de València. URL: <http://hdl.handle.net/10251/87591>.
- [40] Espi Mompó, J. (2018). Modelado y simulación dinámica de un robot paralelo con estructura articulada. Universitat Politècnica de València. URL: <http://hdl.handle.net/10251/112318>.
- [41] *¿Por qué elegir SolidWorks?* Talentum digital. (2020). URL: <https://talentumdigital.cl/2020/01/20/por-que-elegir-solidworks/> (consultado el 03/04/2022).
- [42] *MSC Software*. Indielec. URL: <https://www.indielec.com/adams-msc-software-cms-450-352/> (consultado el 03/04/2022).
- [43] Biały, Michał y Szlachetka, Marcin. (2017). Crank-piston model of internal combustion engine using CAD/CAM/CAE in the MSC Adams. (13 pp. 51-60). URL: [https://www.researchgate.net/publication/318653206\\_Crank-piston\\_model\\_of\\_internal\\_combustion\\_engine\\_using\\_CADCAMCAE\\_in\\_the\\_MSC\\_Adams](https://www.researchgate.net/publication/318653206_Crank-piston_model_of_internal_combustion_engine_using_CADCAMCAE_in_the_MSC_Adams)
- [44] *ATM C50500*. Matmach. URL: <https://matmatch.com/es/materials/alky3509-astm-c50500> (consultado el 22/05/2022).
- [45] *22308 E*. SKF. URL: <https://www.skf.com/es/products/rolling-bearings/roller-bearings/spherical-roller-bearings/productid-22308%20E> (consultado el 18/05/2022).
- [46] *22210 E*. SKF. URL: <https://www.skf.com/es/products/rolling-bearings/roller-bearings/spherical-roller-bearings/productid-22210%20E> (consultado el 18/05/2022).
- [47] *Permanent-magnet synchronous motors*. VEM. (2017) URL: [https://www.vem.fi/wp-content/uploads/2018/03/12-General-catalogue\\_2017\\_pms-motors.pdf](https://www.vem.fi/wp-content/uploads/2018/03/12-General-catalogue_2017_pms-motors.pdf) (consultado el 25/05/2022).
- [48] Cortés, Pablo & Onieva, Luis & Muñuzuri, Jesús & Guadix, José. (2018). Una revisión del estado del arte de los problemas asociados al transporte vertical mediante ascensores

- en edificios. Dirección y Organización. 36-59. URL: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Variacion-de-la-velocidad-y-su-variacion-respecto-del-tiempo-en-el\\_fig1\\_343248834](https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Variacion-de-la-velocidad-y-su-variacion-respecto-del-tiempo-en-el_fig1_343248834).
- [49] *Ftool*. Ftool. URL: <https://www.ftool.com.br/Ftool/> (consultado el 18/05/2022).
- [50] *Catálogo Cojinetes*. Picazo. URL: <https://www.picazosl.com/media/uploads/Transmisi%C3%B3n%20de%20Potencia/ROTACI%C3%93N/TRANSMISION%20DE%20POTENCIA%20-%20ROTACION%20-%20COJINETES.pdf> (consultado el 18/05/2022).
- [51] *Rodamientos de rodillos a rótula*. SKF. URL: <https://www.skf.com/es/products/rolling-bearings/roller-bearings/spherical-roller-bearings> (consultado el 18/05/2022).
- [52] *Cargas*. SKF. URL: <https://www.skf.com/es/products/rolling-bearings/roller-bearings/spherical-roller-bearings/loads> (consultado el 18/05/2022).
- [53] *Vida nominal del rodamiento*. SKF. URL: <https://www.skf.com/es/products/rolling-bearings/principles-of-rolling-bearing-selection/bearing-selection-process/bearing-size/size-selection-based-on-rating-life/bearing-rating-life> (consultado el 18/05/2022).
- [54] *Condición de lubricación: la relación de viscosidad,  $\kappa$* . SKF. URL: <https://www.skf.com/es/products/rolling-bearings/principles-of-rolling-bearing-selection/bearing-selection-process/bearing-size/size-selection-based-on-rating-life/lubrication-condition-the-viscosity-ratio-k> (consultado el 18/05/2022).
- [55] *Cálculo de la viscosidad mínima requerida para lubricar un rodamiento con aceite*. Predictiva21. URL: <https://predictiva21.com/calculo-viscosidad-minima-requerida-lubricar-rodamiento-aceite/> (consultado el 18/05/2022).
- [56] *6x19+1 14,4 mm*. Tenso. URL: <http://www.tenso.es/calculos/cables/din-caracteristicas.asp?composicion=6x19%2B1&superficie=Galvanizada&arrollamiento=Cruzado+derecha+%28sZ%29&resistencia=130&diámetro=14.4> (consultado el 18/05/2022).
- [57] Rubio, F.J. (2021). *Rodamientos [Material de aula]*. Diseño de Máquinas II. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- [58] *Factor de modificación de la vida útil*. SKF. URL: <https://www.skf.com/es/products/rolling-bearings/principles-of-rolling-bearing-selection/bearing-selection-process/bearing-size/size-selection-based-on-rating-life/life-modification-factor-a-skf> (consultado el 18/05/2022).



**Documento II**

**Planos**



# Planos

En este documento se exponen los planos de las partes diseñadas para la simulación del grupo reductor. A continuación, se muestran una serie de directrices que se toman para la realización de estos.

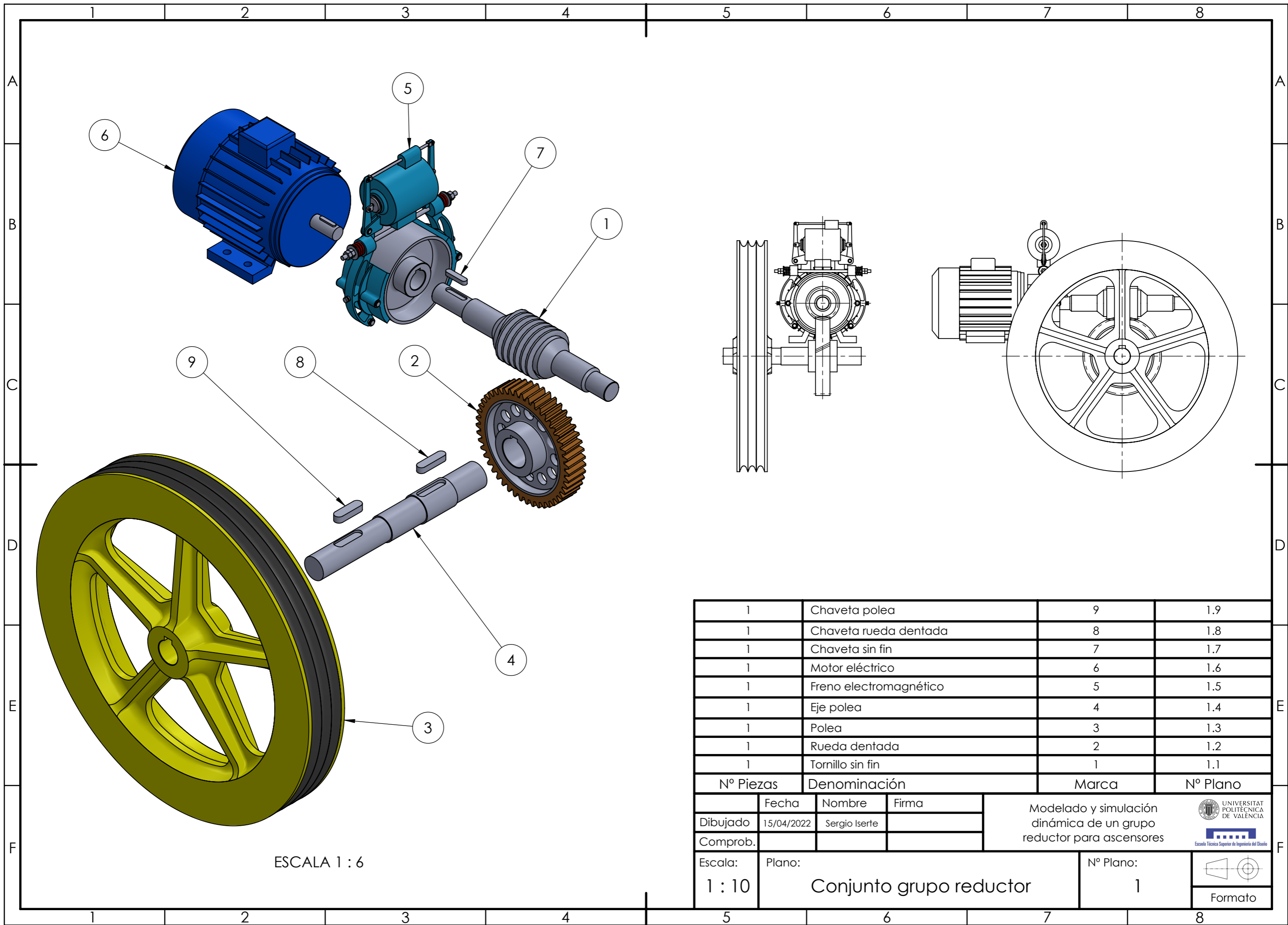
- Las cotas existentes tienen su valor en milímetros a no ser que indique lo contrario.
- No se especifican los materiales, las tolerancias y las rugosidades superficiales de las piezas, ya que su finalidad no es la de fabricación.
- No se presentan aquellos planos que su finalidad sea únicamente estética y no intervengan en el movimiento.
- El formato y la presentación de los planos se realiza según la norma UNE-EN ISO 5457:2000.
- El cajetín se realiza según la norma UNE-EN ISO 7200:2004.
- La representación de vistas, líneas y secciones se realiza según la norma UNE 1032:1982.
- La acotación se realiza según la norma UNE-EN ISO 129-1:2019.
- El plegado de planos se realiza según la norma UNE 1027:1995.

En la siguiente Tabla 1.1 se muestra la lista de los planos realizados que se exponen inmediatamente después.



<b>N° Plano</b>	<b>Planos</b>
1	Conjunto grupo reductor
1.1	Tornillo sin fin
1.2	Rueda dentada
1.3	Polea
1.4	Eje polea
1.5	Subconjunto freno electromagnético
1.5.1	Acoplamiento
1.5.2	Zapata
1.5.3	Eje zapata
1.5.4	Palanca inferior
1.5.5	Eje palanca inferior
1.5.6	Palanca superior
1.5.7	Eje palanca superior
1.5.8	Vástago 1
1.5.9	Vástago 2
1.5.10	Eje vástago
1.5.11	Chupón
1.5.12	Eje chupón
1.6	Motor eléctrico
1.7	Chaveta tornillo sin fin
1.8	Chaveta rueda dentada
1.9	Chaveta polea

**Tabla 1.1:** Lista de planos.

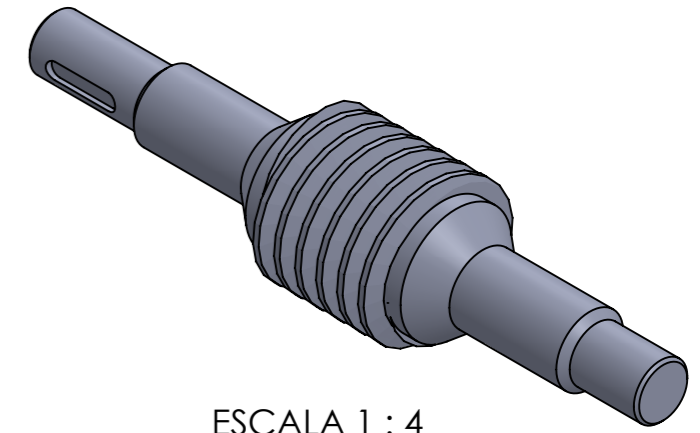


ESCALA 1 : 6

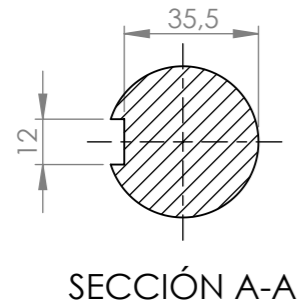
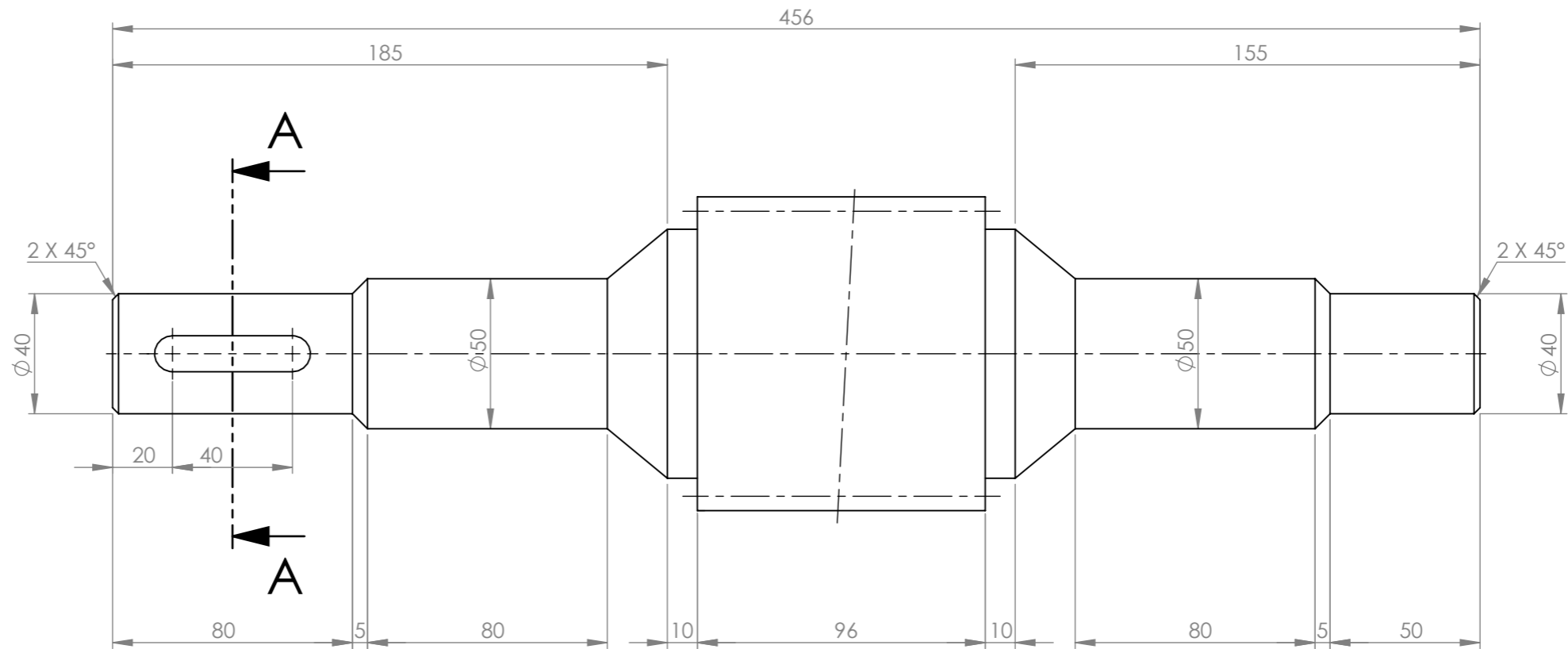
1	Chaveta polea	9	1.9
1	Chaveta rueda dentada	8	1.8
1	Chaveta sin fin	7	1.7
1	Motor eléctrico	6	1.6
1	Freno electromagnético	5	1.5
1	Eje polea	4	1.4
1	Polea	3	1.3
1	Rueda dentada	2	1.2
1	Tornillo sin fin	1	1.1
Nº Piezas	Denominación	Marca	Nº Plano
	Fecha	Nombre	Firma
Dibujado	15/04/2022	Sergio Iserte	
Comprob.			
Escala:	Plano:	Nº Plano:	
1 : 10	Conjunto grupo reductor	1	
			Formato

Modelado y simulación  
dinámica de un grupo  
reductor para ascensores





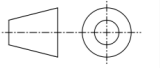


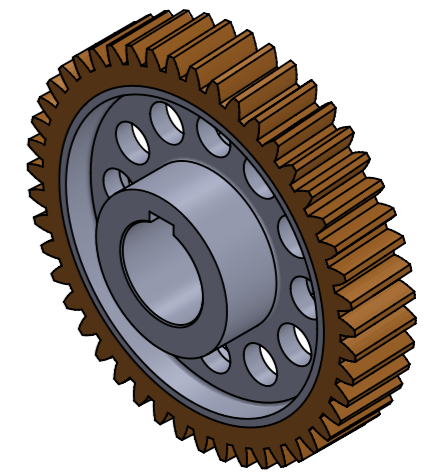
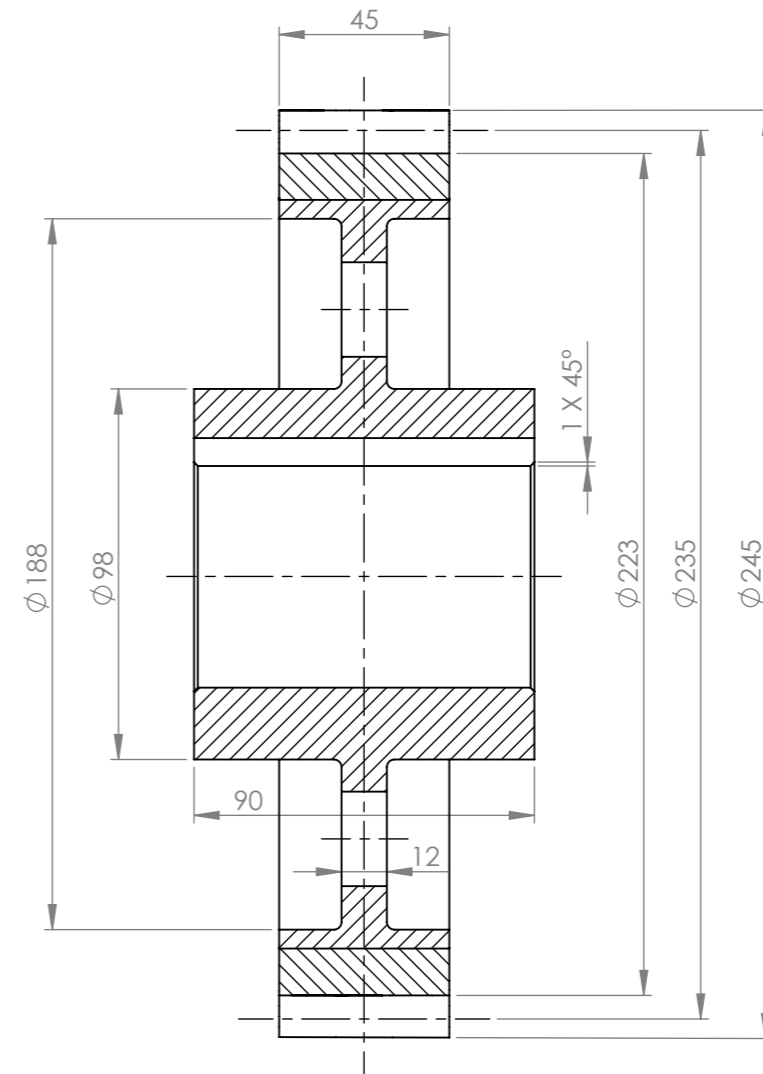
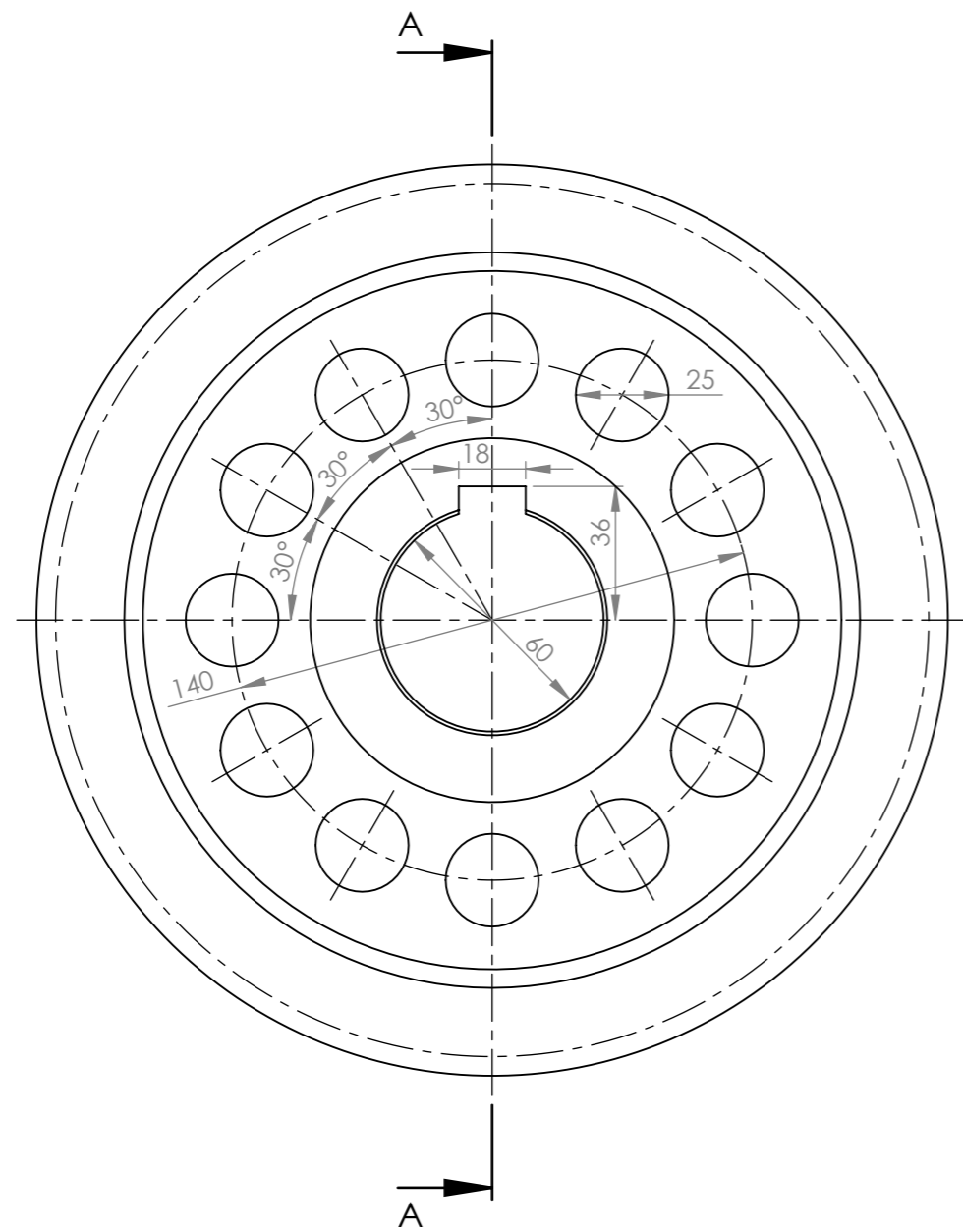
ESCALA 1 : 4



SECCIÓN A-A

Características tornillo sin fin	
Módulo axial	5 mm
Nº de filetes	1
Diámetro primitivo	95 mm
Diámetro exterior	105 mm
Diámetro interior	83 mm
Distancia entre ejes	165 mm
Ángulo de presión	20°
Ángulo de hélice	87°
Engranaje conjugado	Nº Plano: 1.2



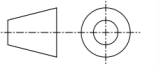
	Fecha	Nombre	Firma	Modelado y simulación dinámica de un grupo reductor para ascensores	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño
Dibujado	15/04/2022	Sergio Iserte			
Comprob.					
Escala:	Plano:			Nº Plano:	 Formato
1 : 2	Tornillo sin fin			1.1	

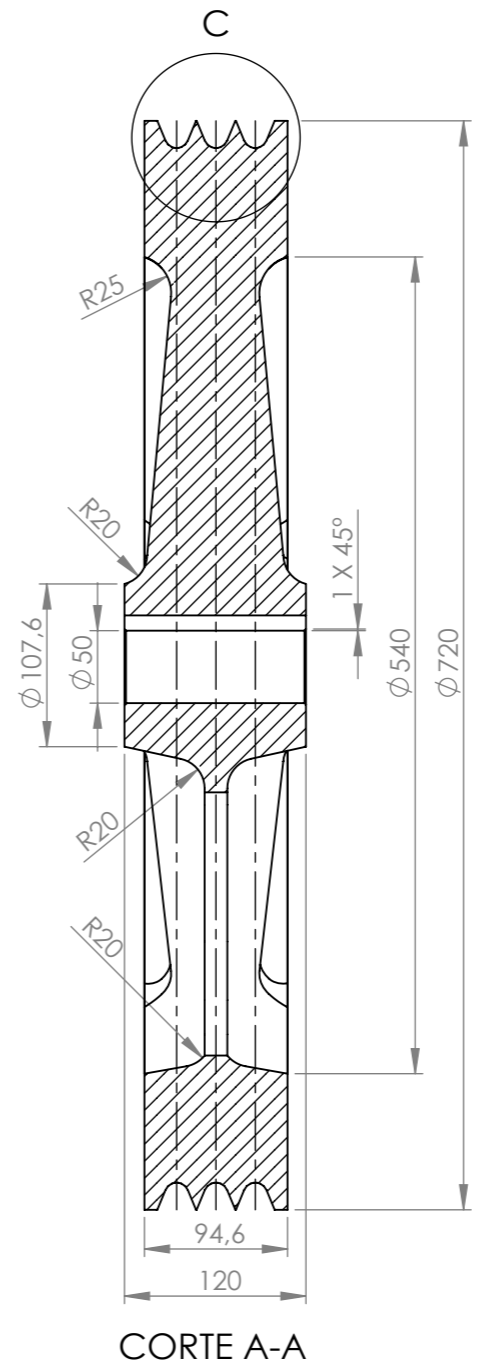
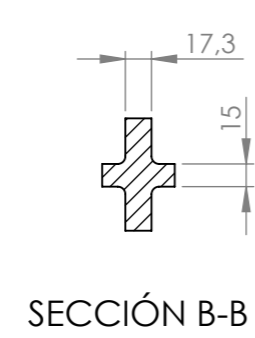
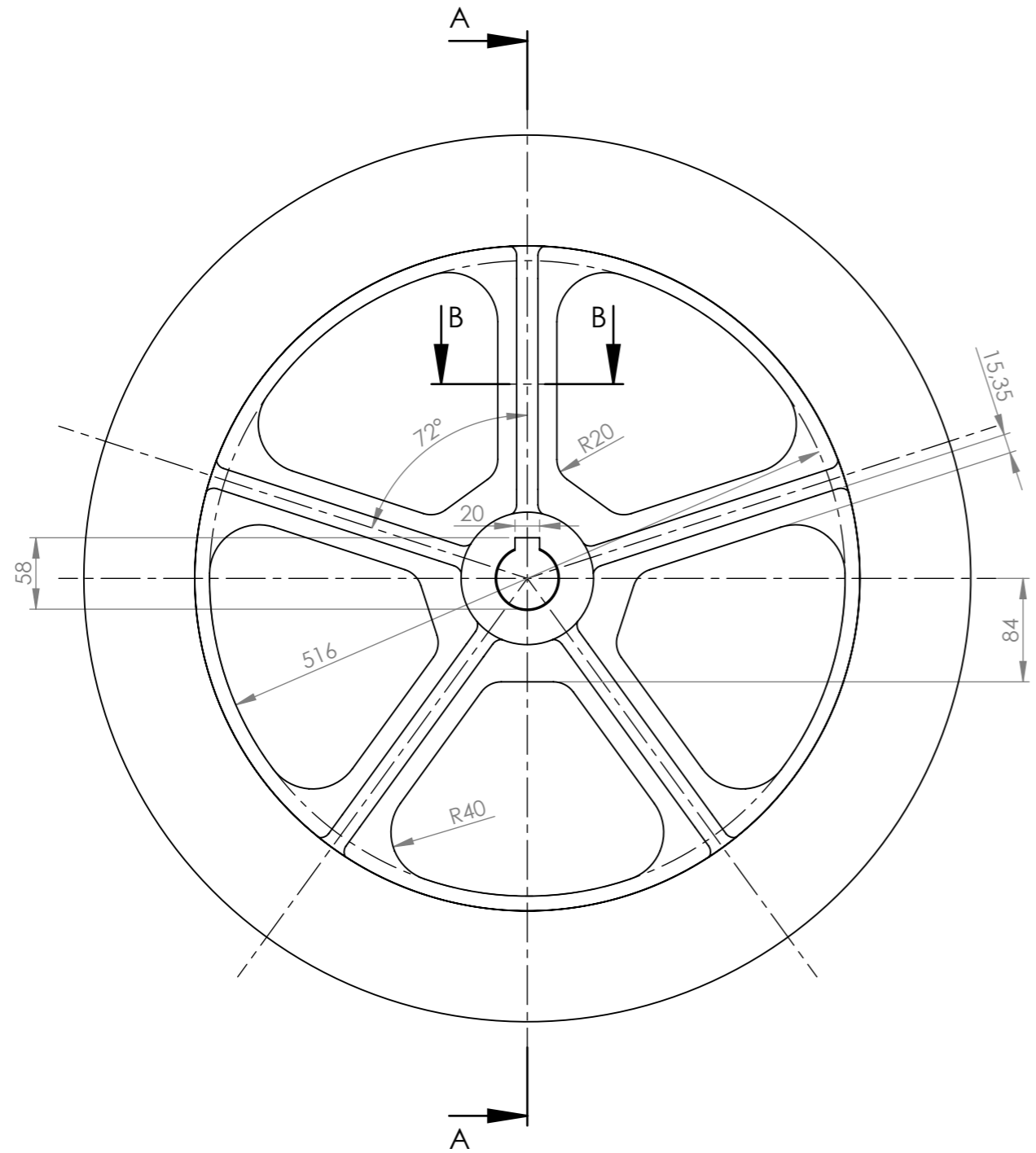


ESCALA 1 : 4

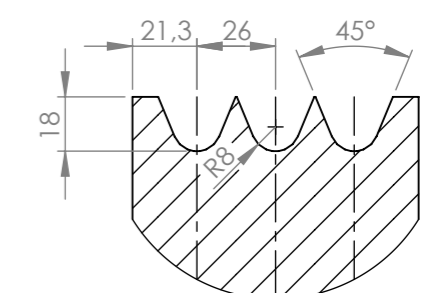
CORTE A-A

Características rueda dentada	
Módulo circunferencial	5 mm
Nº de dientes	47
Diámetro primitivo	235 mm
Diámetro exterior	245 mm
Diámetro interior	223 mm
Distancia entre ejes	165 mm
Ángulo de presión	20°
Ángulo de hélice	3°
Engranaje conjugado	Nº Plano: 1.1



	Fecha	Nombre	Firma	Modelado y simulación dinámica de un grupo reductor para ascensores	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño
Dibujado	15/04/2022	Sergio Iserte			
Comprob.					
Escala:	Plano:			Nº Plano:	 Formato
1 : 2	Rueda dentada			1.2	

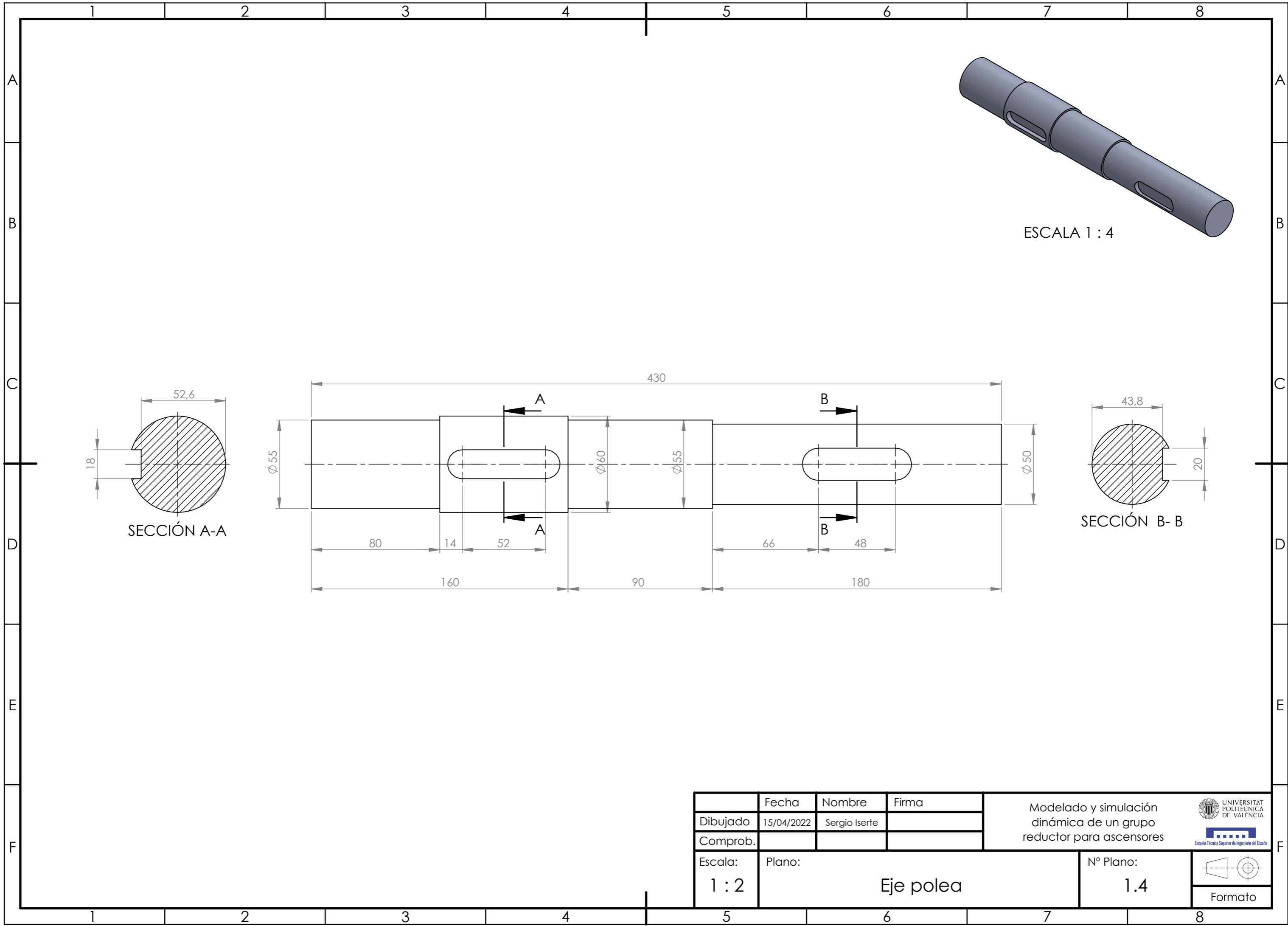


ESCALA 1 : 10



DETALLE C  
ESCALA 2 : 5

	Fecha	Nombre	Firma	Modelado y simulación dinámica de un grupo reductor para ascensores	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA   Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño
Dibujado	15/04/2022	Sergio Iserte			
Comprob.					
Escala:	Plano:			Nº Plano:	 Formato
1 : 5	Polea			1.3	

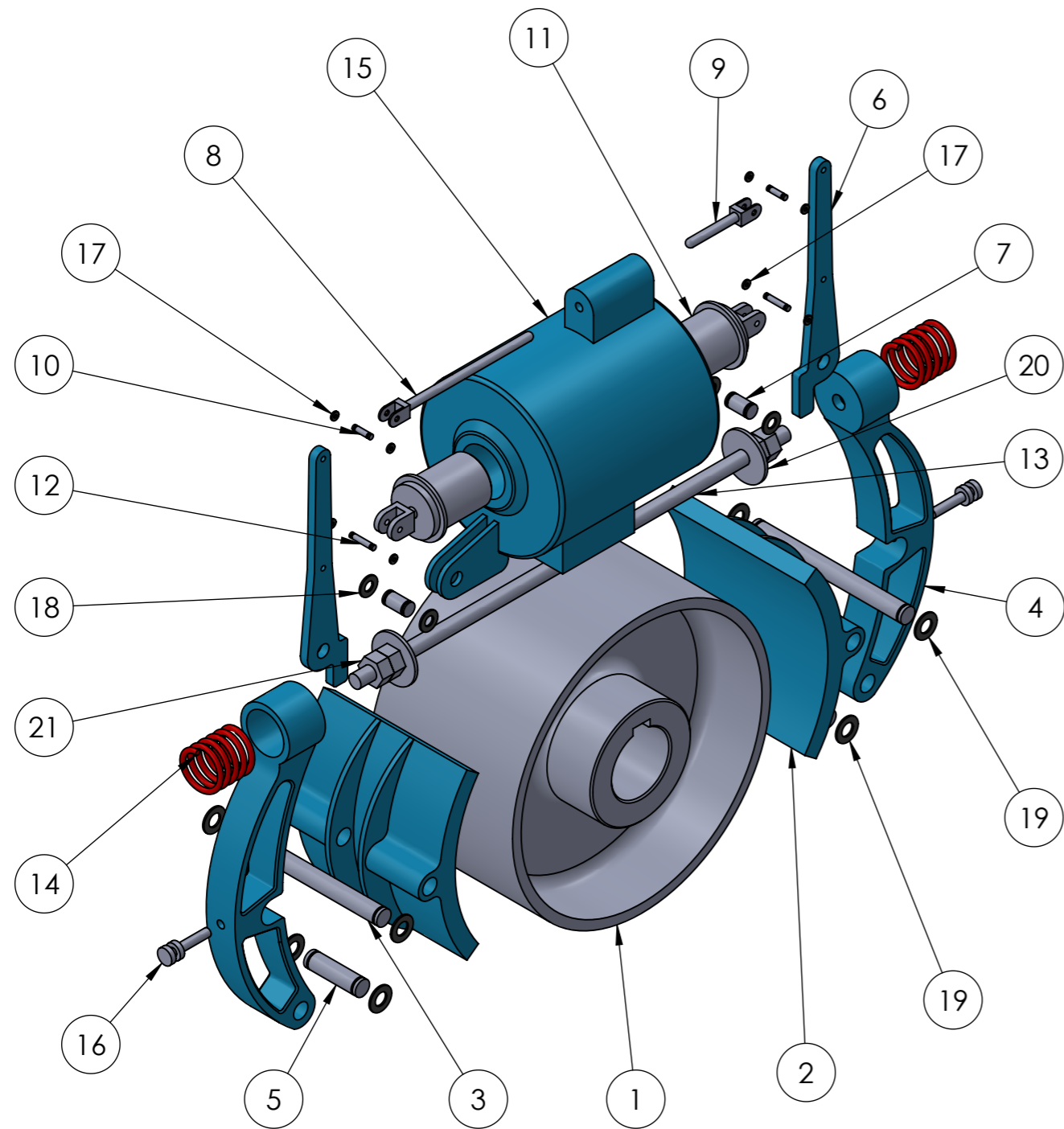


ESCALA 1 : 4

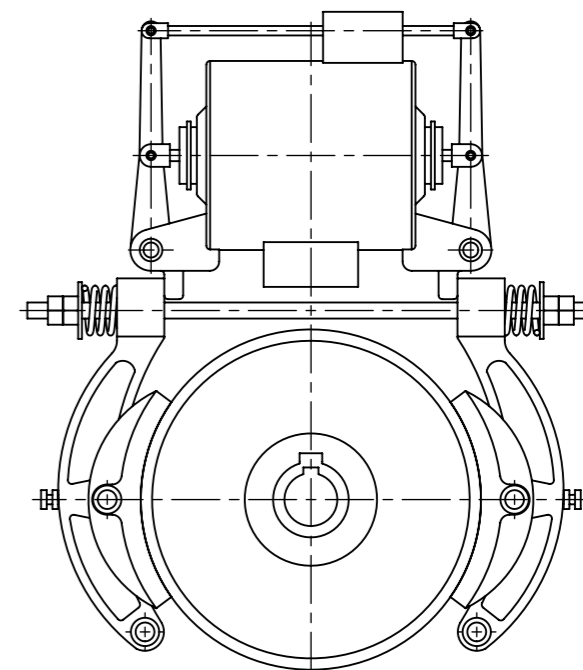
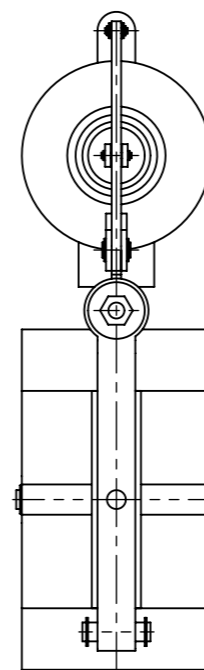
SECCIÓN A-A

SECCIÓN B-B



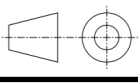
	Fecha	Nombre	Firma	Modelado y simulación dinámica de un grupo reductor para ascensores	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
Dibujado	15/04/2022	Sergio Iserte			
Comprob.					
Escala:	Plano:			Nº Plano:	 Formato
1 : 2	Eje polea			1.4	



ESCALA 1 : 3



4	Tuerca 8,5mm	21		
2	Arandela 8,5x30x2mm	20		
8	Arandela M8	19		
4	Arandela M6	18		
8	Arandela M2	17		
2	Tornillo M5	16		
1	Solenoides	15		
2	Resorte	14		
1	Eje 8,5x300mm	13		
2	Eje chupón	12	1.5.12	
2	Chupón	11	1.5.11	
2	Eje vástago	10	1.5.10	
1	Vástago 2	9	1.5.9	
1	Vástago 1	8	1.5.8	
2	Eje palanca superior	7	1.5.7	
2	Palanca superior	6	1.5.6	
2	Eje palanca inferior	5	1.5.5	
2	Palanca inferior	4	1.5.4	
2	Eje zapata	3	1.5.3	
2	Zapata	2	1.5.2	
1	Acoplamiento	1	1.5.1	
Nº Piezas		Denominación	Marca	Nº Plano

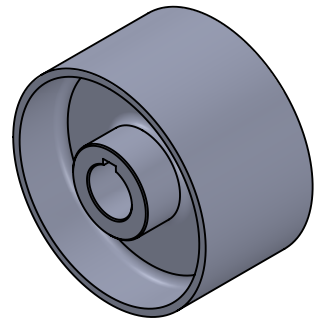
	Fecha	Nombre	Firma	Modelado y simulación dinámica de un grupo reductor para ascensores	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA   Escola Tècnica Superior d'Enginyeria del Disseny
Dibujado	15/04/2022	Sergio Iserte			
Comprob.					
Escala:	Plano:		Nº Plano:	 Formato	
1 : 5	Subconjunto freno electromagnético		1.5		

1

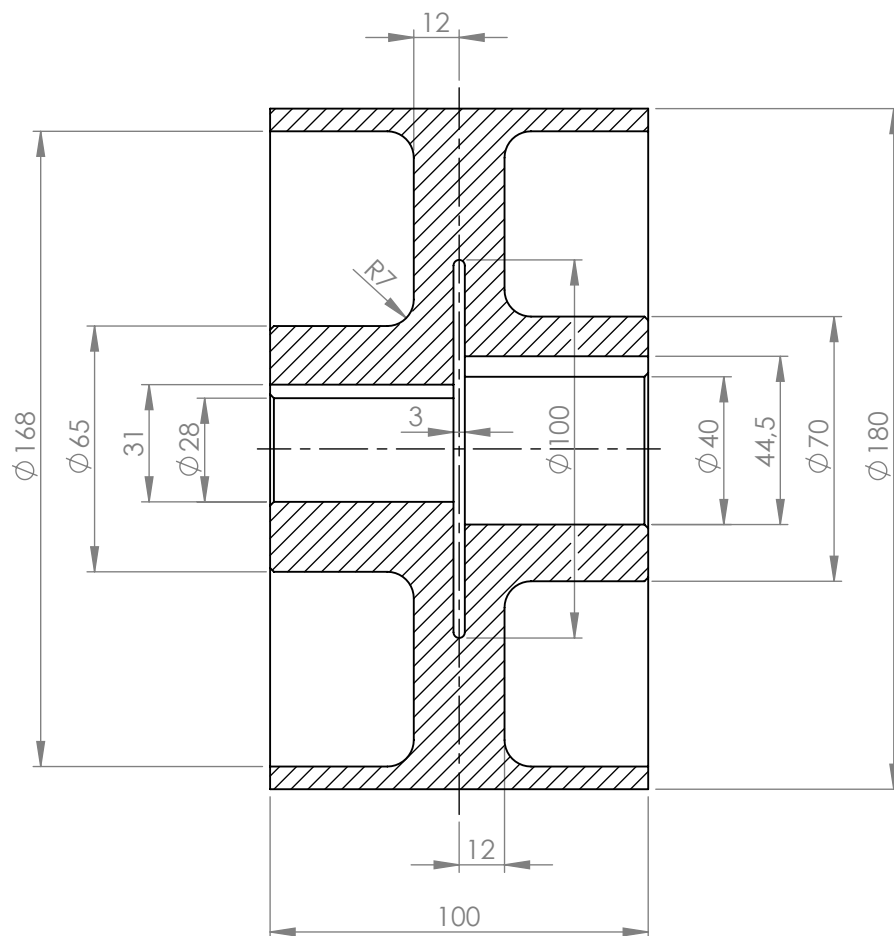
2

3

4



ESCALA 1 : 5



A

B

C

D

E

F

	Fecha	Nombre	Firma
Dibujado	15/04/2022	Sergio Iserte	
Comprob.			

Modelado y simulación  
dinámica de un grupo  
reductor para ascensores



Escala:	Plano:	Acoplamiento
1 : 2		

Nº Plano:	1.5.1
-----------	-------



Formato



1 2 3 4

A

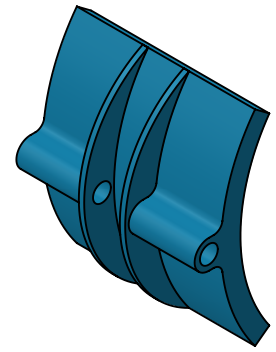
B

C

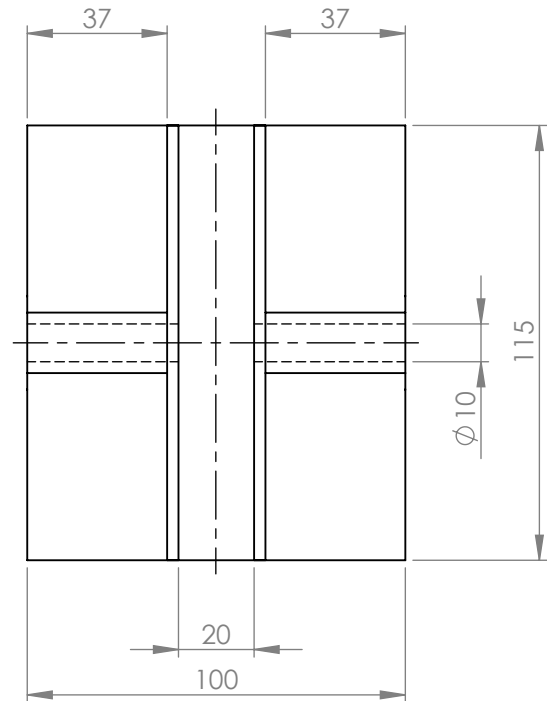
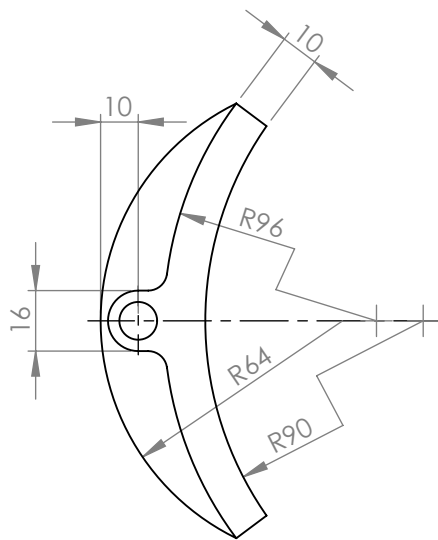
D

E

F



ESCALA 1 : 3



	Fecha	Nombre	Firma
Dibujado	15/04/2022	Sergio Iserte	
Comprob.			

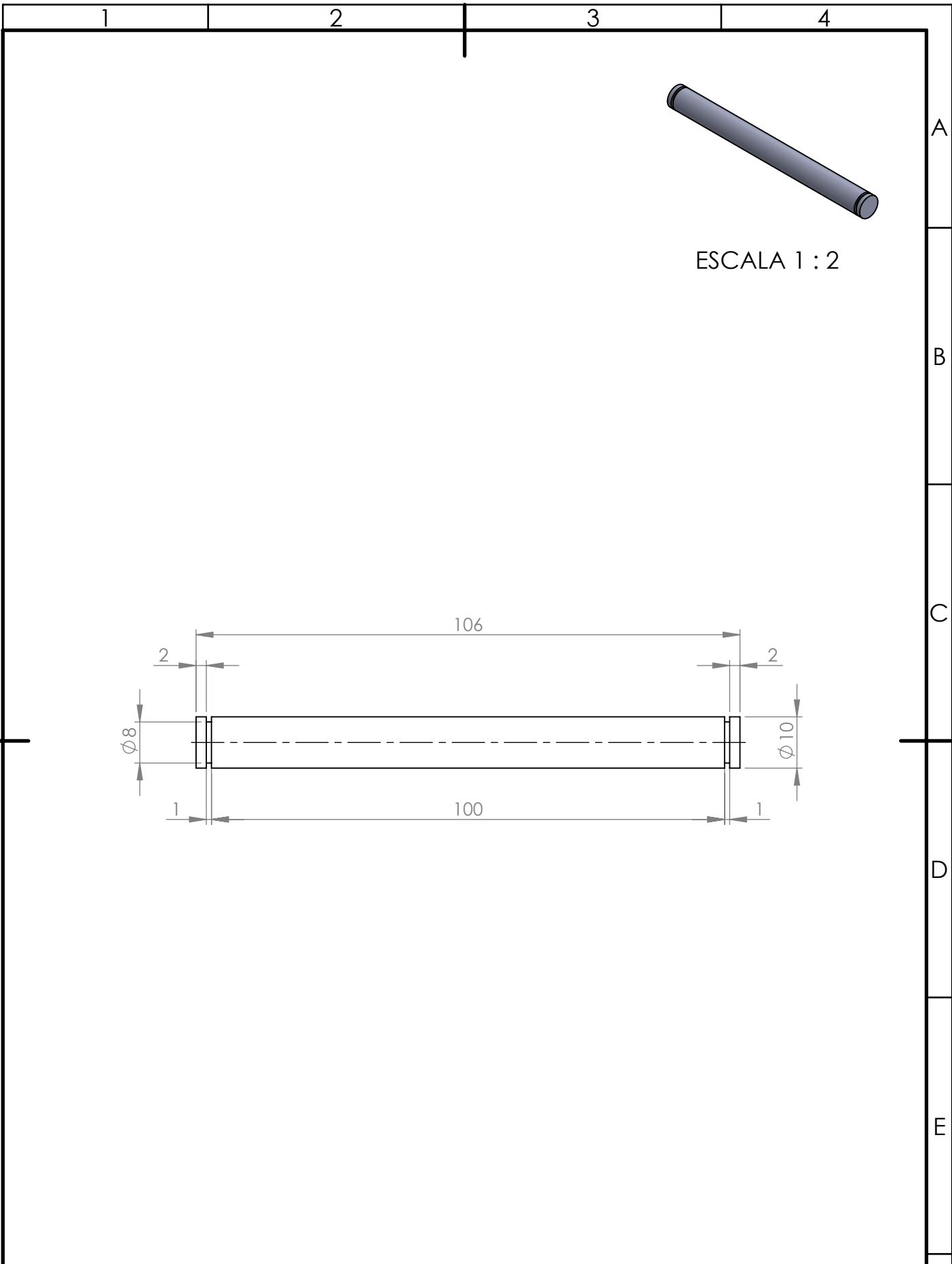
Modelado y simulación  
dinámica de un grupo  
reductor para ascensores



Escala:	Plano:	Zapata
1 : 2		

Nº Plano:
1.5.2

Formato



	Fecha	Nombre	Firma	Modelado y simulación dinámica de un grupo reductor para ascensores	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño
Dibujado	15/04/2022	Sergio Iserte			
Comprob.					
Escala:	Plano:			Nº Plano:	 Formato
1 : 1	Eje zapata			1.5.3	

1

2

3

4

A

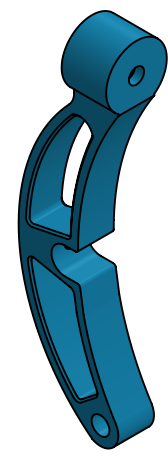
B

C

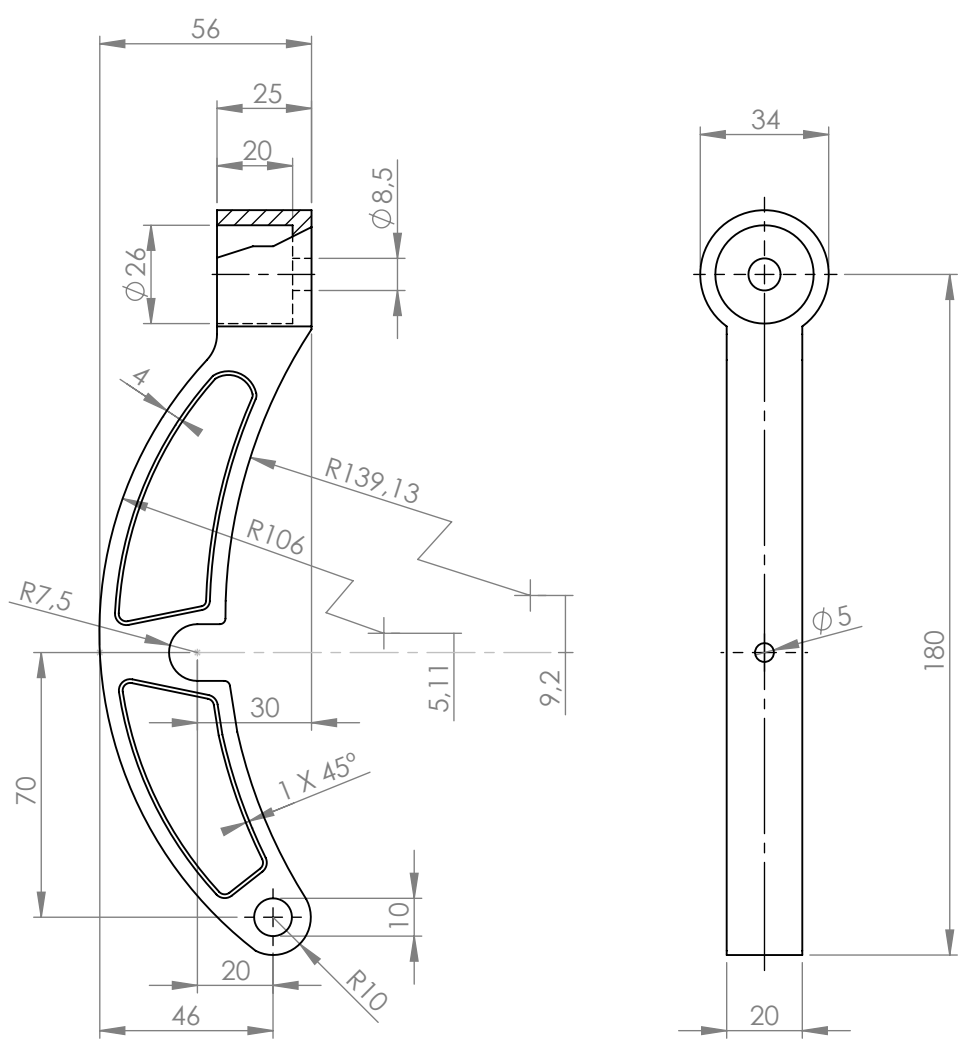
D

E

F



ESCALA 1 : 3



	Fecha	Nombre	Firma
Dibujado	15/04/2022	Sergio Iserte	
Comprob.			

Modelado y simulación  
dinámica de un grupo  
reductor para ascensores



Escala:	Plano:
1 : 2	Palanca inferior

Nº Plano:
1.5.4

Formato

1

2

3

4

A

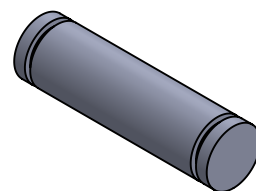
B

C

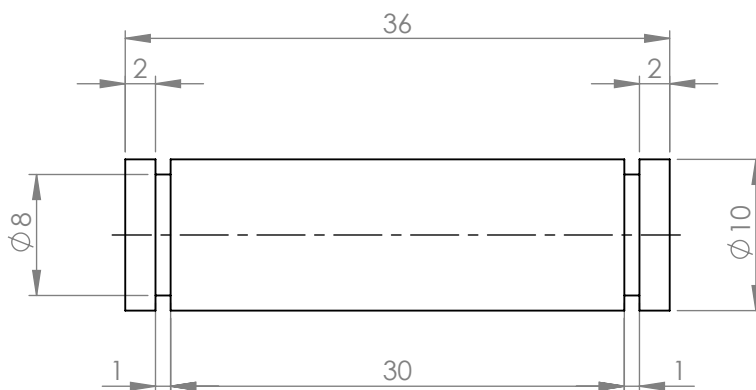
D

E

F



ESCALA 1 : 1



	Fecha	Nombre	Firma
Dibujado	15/04/2022	Sergio Iserte	
Comprob.			

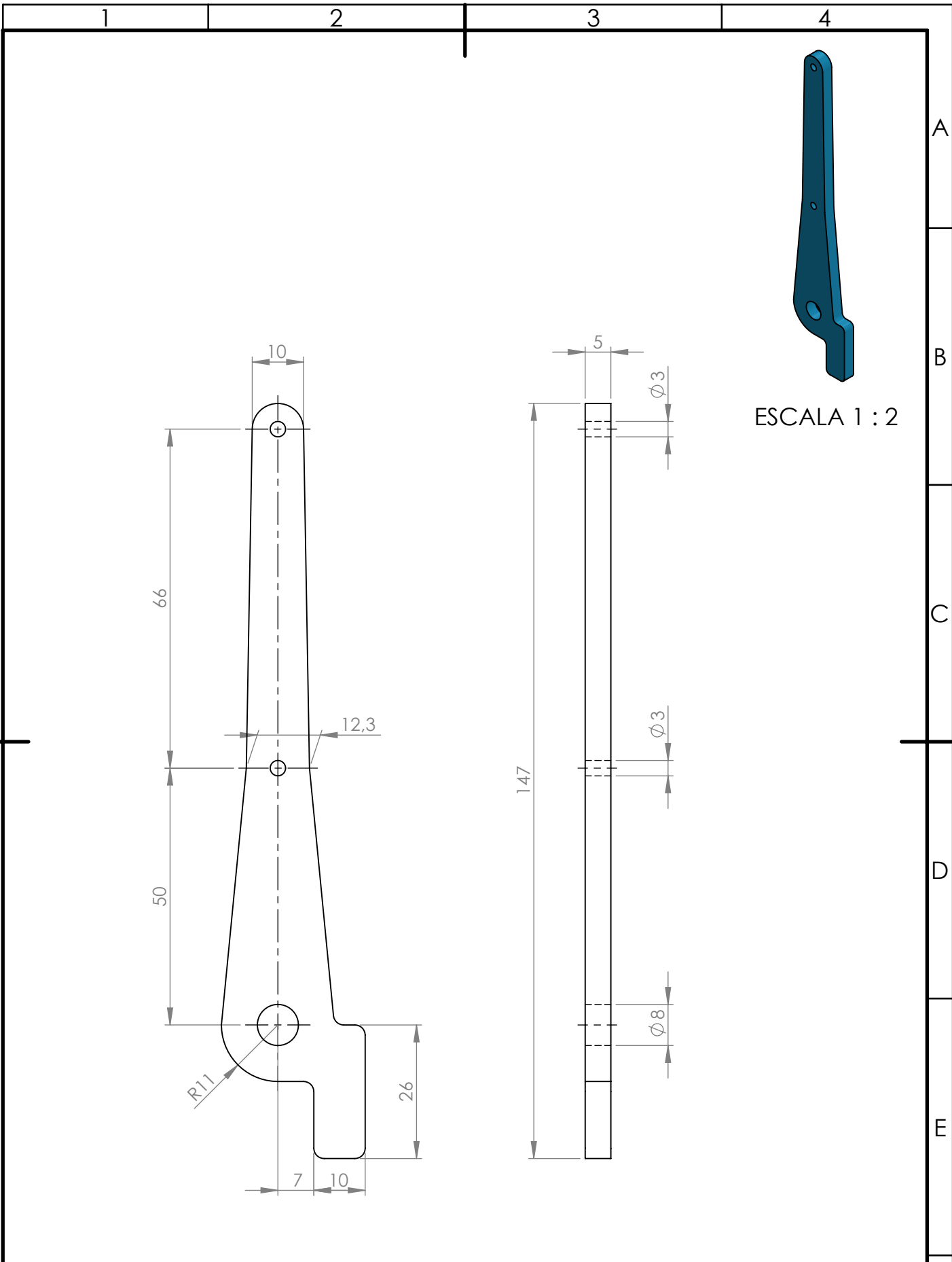
Modelado y simulación  
dinámica de un grupo  
reductor para ascensores






Escala: <b>2 : 1</b>	Plano: <b>Eje palanca inferior</b>
-------------------------	---------------------------------------

Nº Plano: <b>1.5.5</b>
---------------------------

Formato



ESCALA 1 : 2

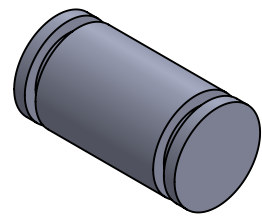
	Fecha	Nombre	Firma	Modelado y simulación dinámica de un grupo reductor para ascensores	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño
Dibujado	15/04/2022	Sergio Iserte			
Comprob.					
Escala:	Plano:			Nº Plano:	 Formato
1 : 1	Palanca superior			1.5.6	

1

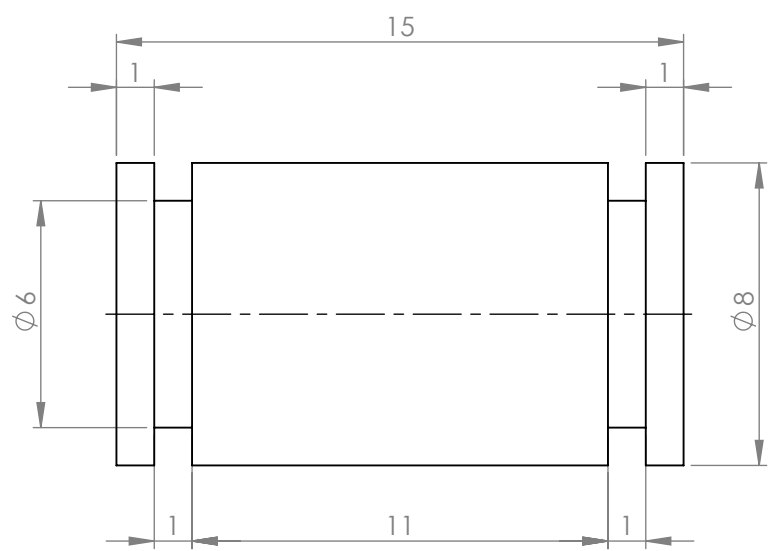
2

3

4



ESCALA 2 : 1



A

B

C

D

E

F

	Fecha	Nombre	Firma
Dibujado	15/04/2022	Sergio Iserte	
Comprob.			

Modelado y simulación  
dinámica de un grupo  
reductor para ascensores



Escala: <b>5 : 1</b>	Plano: <b>Eje palanca superior</b>
-------------------------	---------------------------------------

Nº Plano: <b>1.5.7</b>
---------------------------

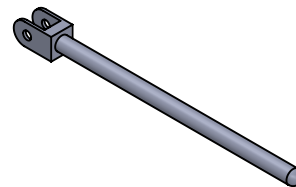
Formato

1

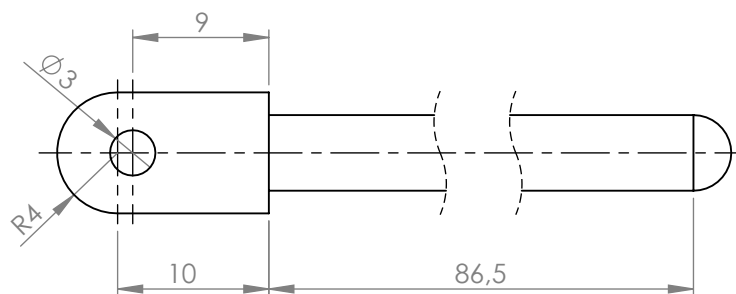
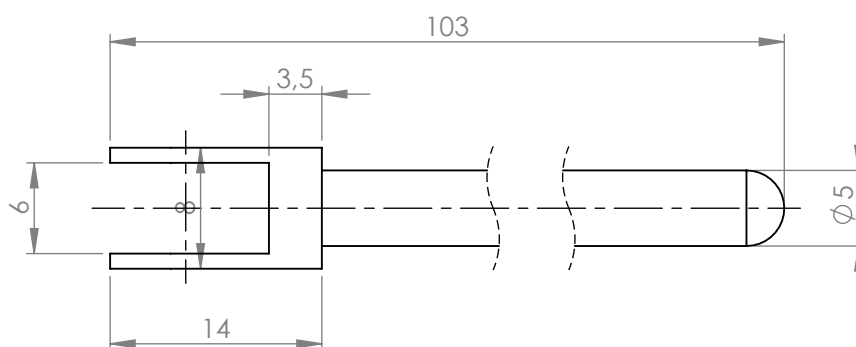
2

3

4



ESCALA 1 : 2



A

B

C

D

E

F

	Fecha	Nombre	Firma
Dibujado	15/04/2022	Sergio Iserte	
Comprob.			

Modelado y simulación  
dinámica de un grupo  
reductor para ascensores



Escola Tècnica Superior de Enginyeria del Disseny

Escala:  
2 : 1

Plano:

Vástago 1

Nº Plano:

1.5.8



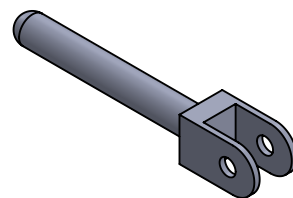
Formato

1

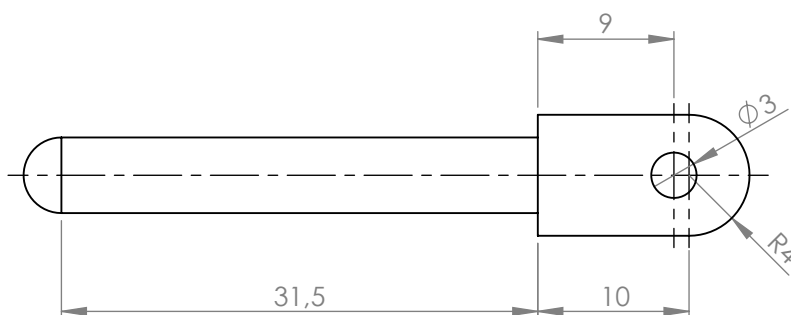
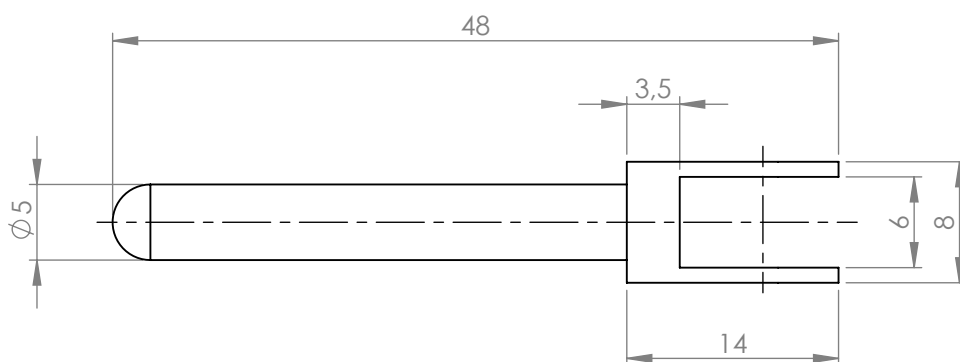
2

3

4



ESCALA 1 : 1



A

B

C

D

E

F

	Fecha	Nombre	Firma
Dibujado	15/04/2022	Sergio Iserte	
Comprob.			

Modelado y simulación  
dinámica de un grupo  
reductor para ascensores



Escola Tècnica Superior de Enginyeria del Disseny

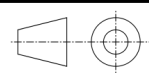
Escala:  
2 : 1

Plano:

Vástago 2

Nº Plano:

1.5.9



Formato

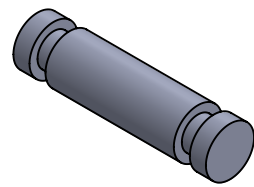


1

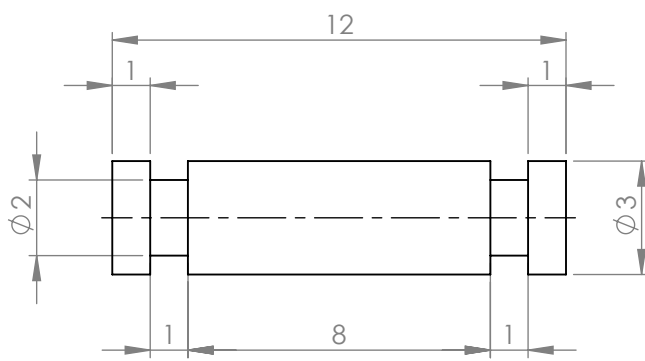
2

3

4



ESCALA 3 : 1



A

B

C

D

E

F

	Fecha	Nombre	Firma
Dibujado	15/04/2022	Sergio Iserte	
Comprob.			

Modelado y simulación  
 dinámica de un grupo  
 reductor para ascensores



Escala:	Plano:	Nº Plano:
5 : 1	Eje vástago	1.5.10

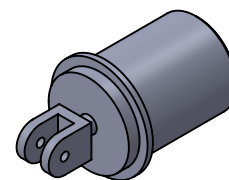
Formato

1

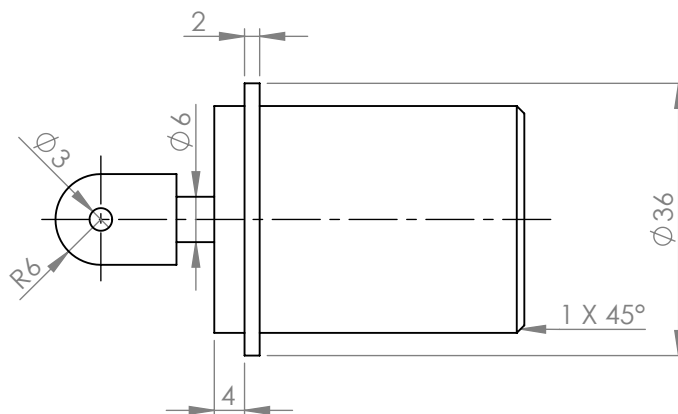
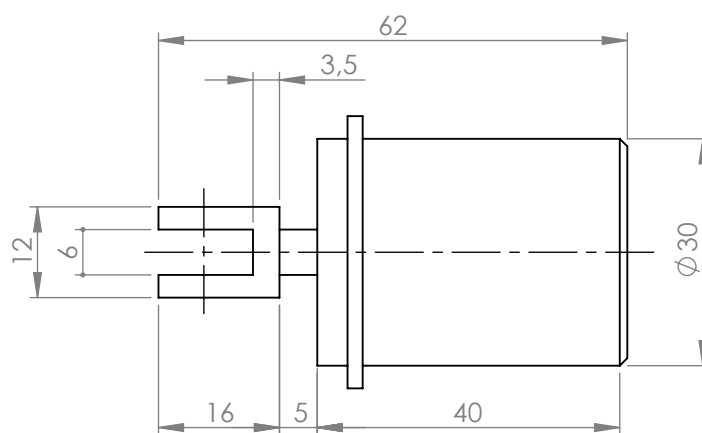
2

3

4



ESCALA 1 : 2



A

B

C

D

E

F

	Fecha	Nombre	Firma
Dibujado	15/04/2022	Sergio Iserte	
Comprob.			

Modelado y simulación  
dinámica de un grupo  
reductor para ascensores



Escola Tècnica Superior de Enginyeria del Disseny

Escala:  
1 : 1

Plano:

Chupón

Nº Plano:

1.5.11



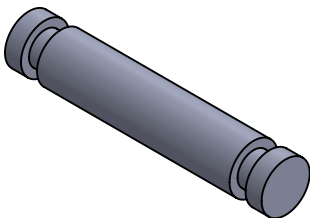
Formato

1

2

3

4



ESCALA 3 : 1



A

B

C

D

E

F

	Fecha	Nombre	Firma
Dibujado	15/04/2022	Sergio Iserte	
Comprob.			

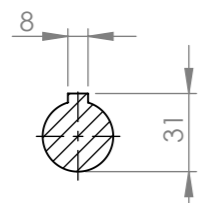
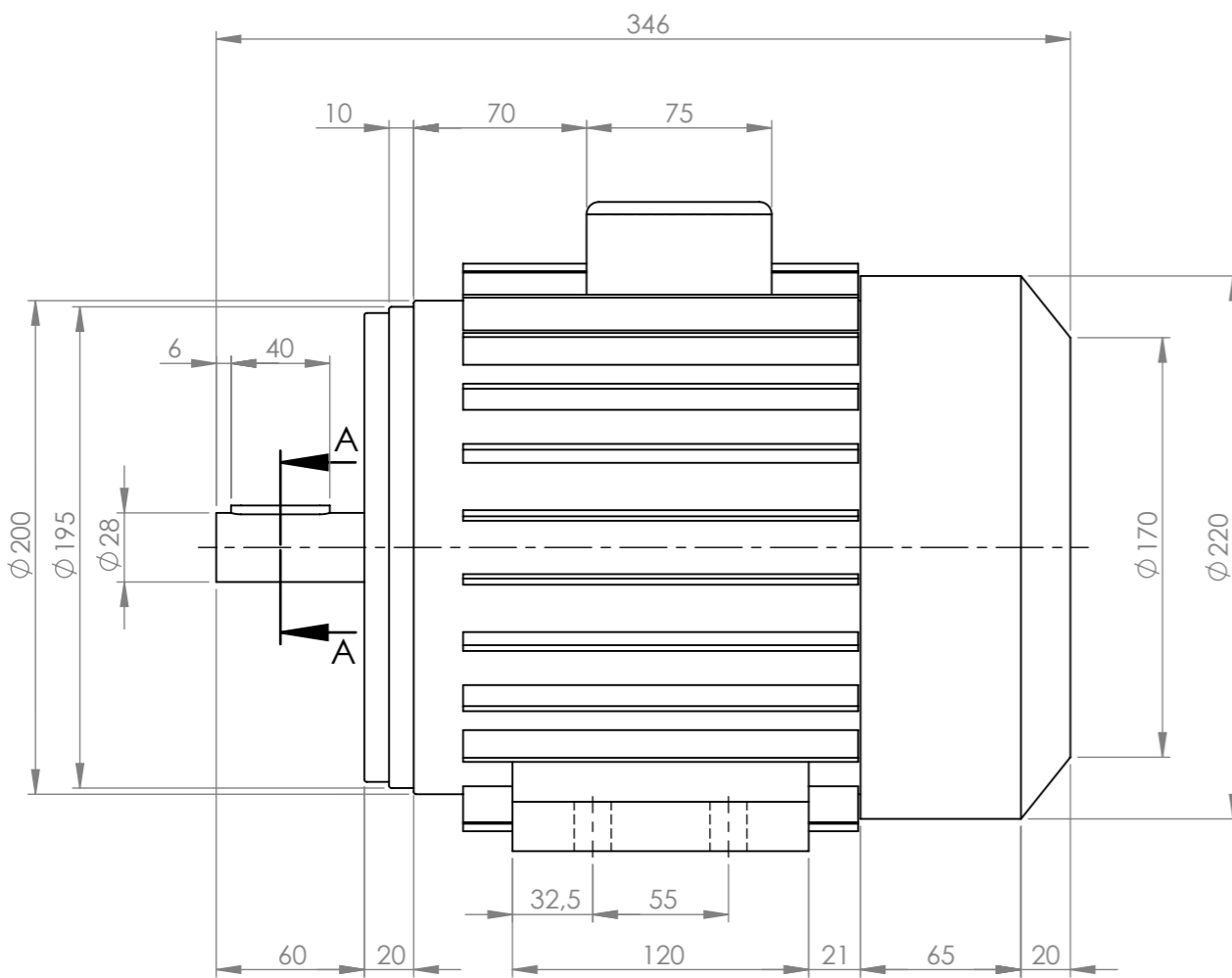
Modelado y simulación  
dinámica de un grupo  
reductor para ascensores



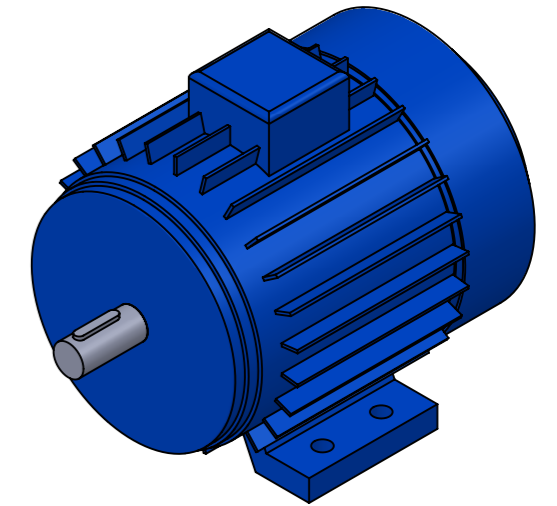
Escala:	Plano:	Eje chupón
5 : 1		

Nº Plano:	1.5.12
-----------	--------

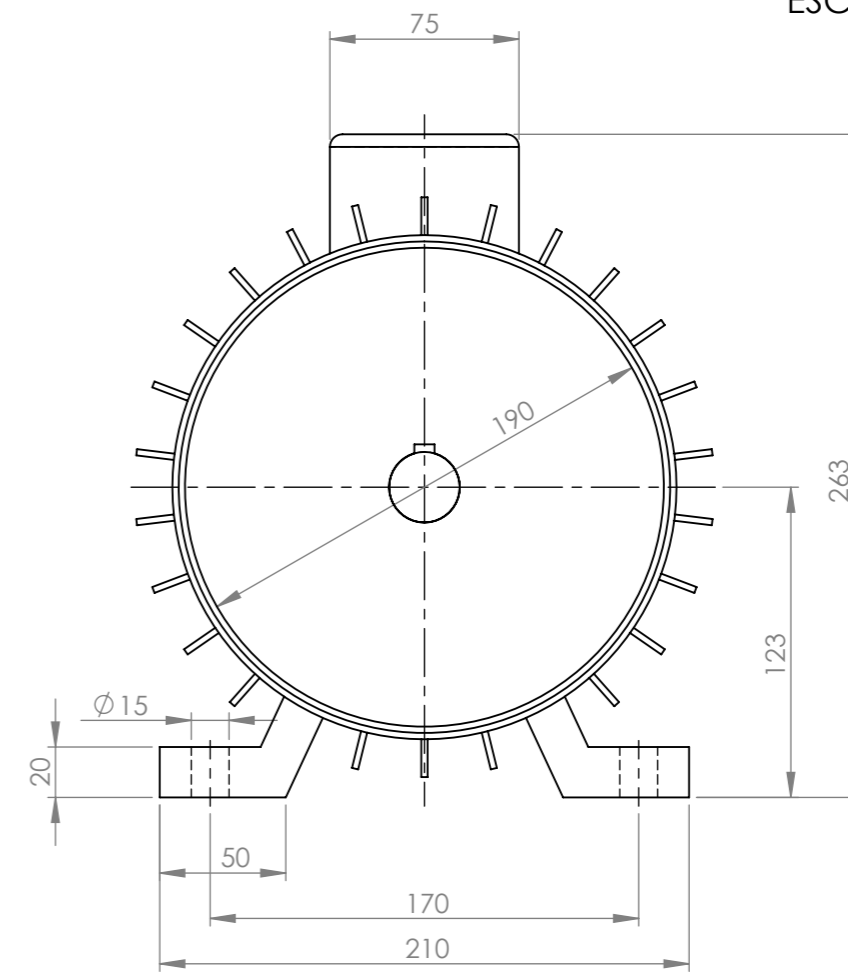
Formato



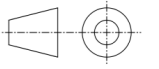


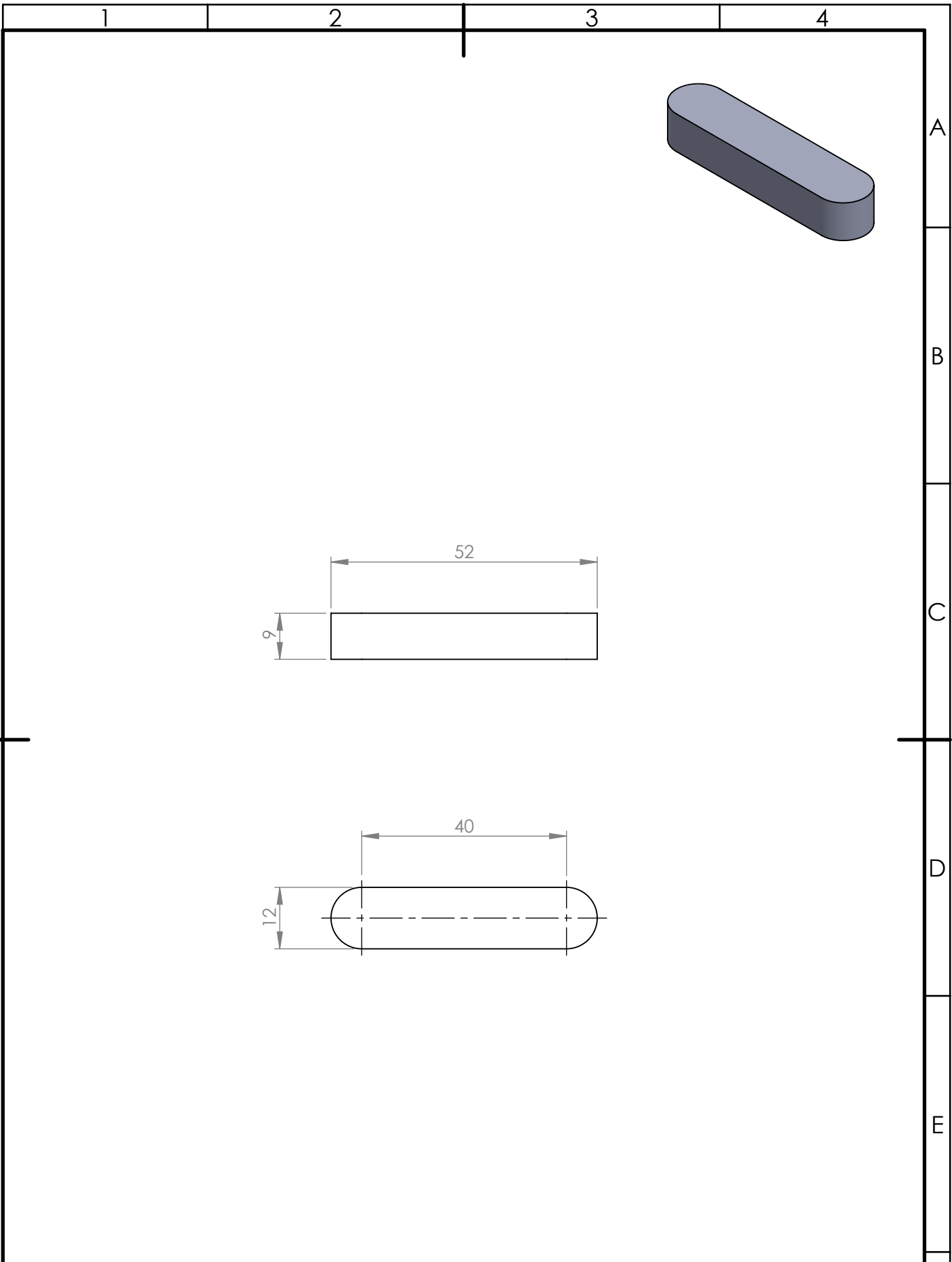
SECCIÓN A-A




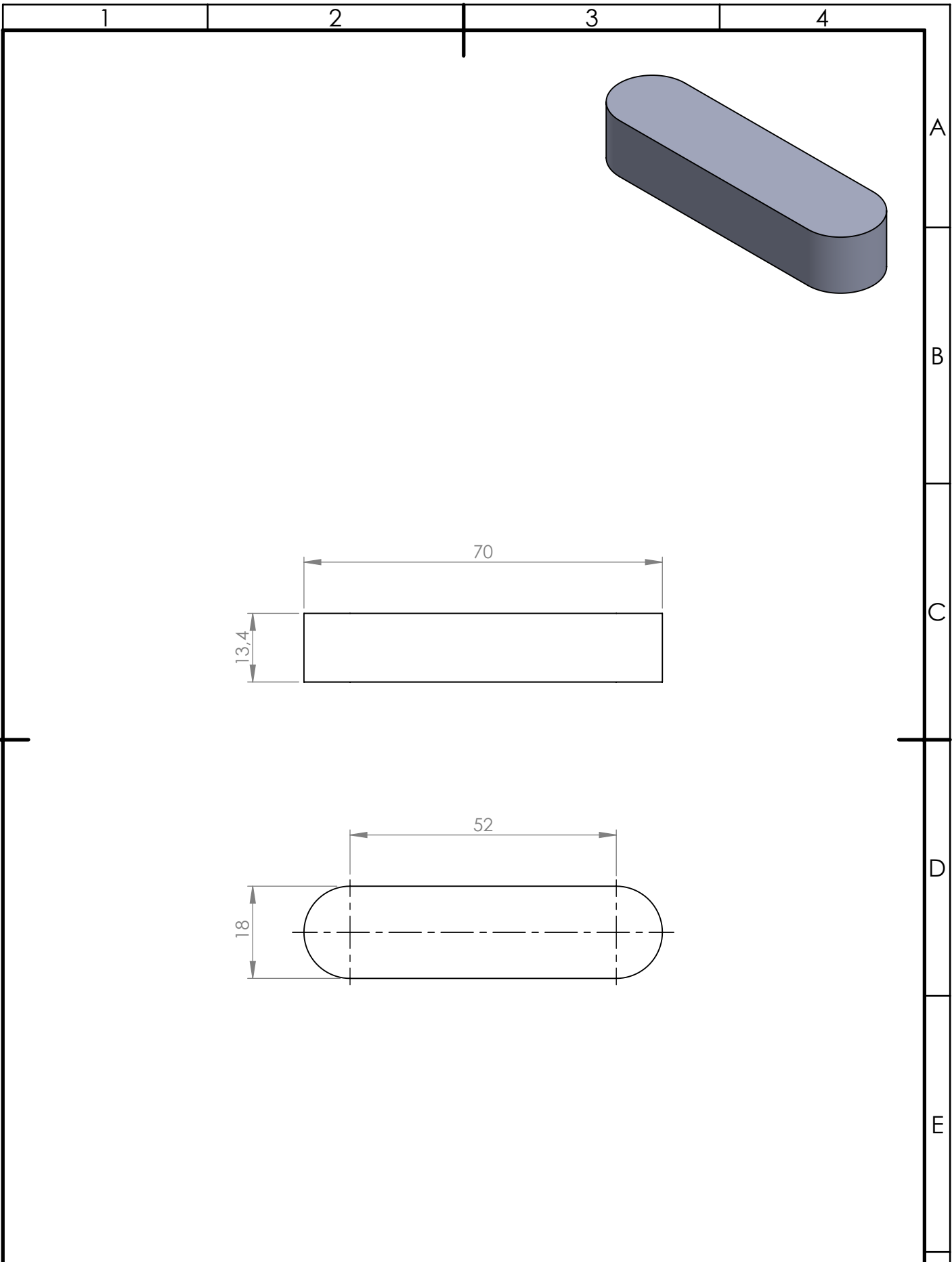
ESCALA 1 : 5



	Fecha	Nombre	Firma	Modelado y simulación dinámica de un grupo reductor para ascensores	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño
Dibujado	15/04/2022	Sergio Iserte			
Comprob.					
Escala:	Plano:			Nº Plano:	 Formato
1 : 3	Motor eléctrico			1.6	



	Fecha	Nombre	Firma	Modelado y simulación dinámica de un grupo reductor para ascensores	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA   Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño
Dibujado	15/04/2022	Sergio Iserte			
Comprob.					
Escala:	Plano:			Nº Plano:	 Formato
1 : 1	Chaveta sin fin			1.7	



	Fecha	Nombre	Firma	Modelado y simulación dinámica de un grupo reductor para ascensores	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA   Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño
Dibujado	15/04/2022	Sergio Iserte			
Comprob.					
Escala:	Plano:			Nº Plano:	 Formato
1 : 1	Chaveta rueda dentada			1.8	

1

2

3

4

A

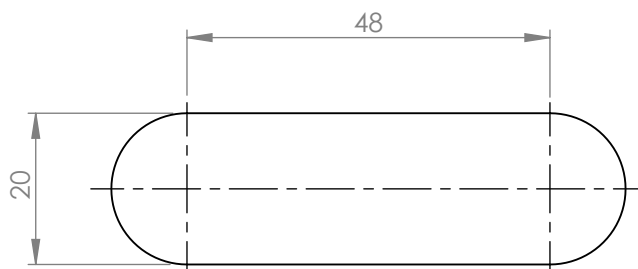
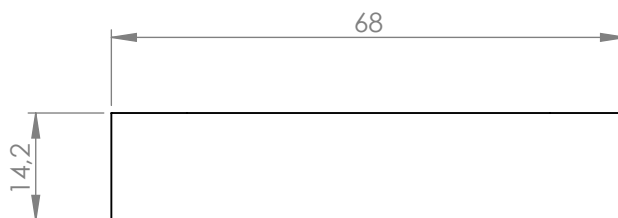
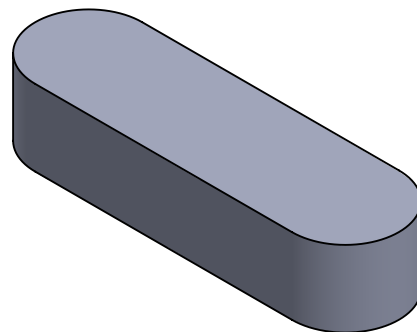
B

C

D

E

F



	Fecha	Nombre	Firma
Dibujado	15/04/2022	Sergio Iserte	
Comprob.			

Modelado y simulación  
dinámica de un grupo  
reductor para ascensores



Escala:	Plano:
1 : 1	Chaveta polea

Nº Plano:
1.9

Formato

**Documento III**

**Pliego de condiciones**





# Índice

<b>1</b>	<b>Requerimientos informáticos</b>	<b>1</b>
1.1	Software .....	1
1.2	Hardware .....	1
<b>2</b>	<b>Condiciones mínimas de trabajo</b>	<b>2</b>
2.1	Iluminación .....	2
2.2	Espacio .....	2
2.3	Temperatura y humedad .....	3
2.4	Seguridad.....	3
2.5	Ruido.....	3
2.6	Otras recomendaciones .....	4



# Pliego de condiciones

En este documento se recopilan una serie de especificaciones mínimas y recomendaciones que permiten la correcta realización del proyecto. Por un lado, se tratan los requerimientos informáticos y, por otro lado, las condiciones mínimas del lugar de trabajo.

## 1. Requerimientos informáticos

Es imprescindible el uso de un software y un hardware que posibiliten la ejecución y desarrollo del trabajo.

### 1.1 Software

En primer lugar, para la realización del proyecto, el software necesario es el programa SolidWorks 2021, MSC Adams 2021 y Microsoft 365. El sistema operativo necesario debe ser Windows 10 (64 bits), macOS Big Sur (11.0) o macOS Catalina (10.15) ya que siendo el programa más restrictivo el SolidWorks, son los únicos sistemas operativos que soporta. Además, se necesita acceso a las máquinas virtuales de la UPV mediante la aplicación de PoliLabs para la ejecución de los programas anteriormente mencionados. Por otro lado, se utiliza el programa de uso abierto Ftool para el cálculo de estructuras.

### 1.2 Hardware

En segundo lugar, el hardware utilizado se trata del equipo del alumno, en este caso el ordenador portátil Asus ZenBook UX310U, que se usa para la redacción del proyecto y para la conexión mediante la aplicación PoliLabs a los programas anteriormente mencionados.

## 2. Condiciones mínimas de trabajo

En la actualidad, las oficinas son uno de los lugares más comunes para trabajar, es por ello por lo que en el Real Decreto 486/97 se establecieron una serie de condiciones de seguridad y salud de las personas en su lugar de trabajo. Además, en la guía de buenas prácticas NTP 503: *Confort acústico: el ruido en las oficinas*, se fijan una serie de recomendaciones para tener en cuenta en relación con el ruido.

El presente proyecto tiene lugar en una oficina, por lo que se deben aplicar las condiciones de iluminación, espacio, temperatura, humedad, seguridad y ruido que se muestran a continuación.

### 2.1 Iluminación

Se recomienda que la iluminación se lleve a cabo mediante luz natural, con un nivel mínimo de, aproximadamente, 500 lux. Para evitar deslumbramientos, las fuentes de iluminación han de ser paralelas al puesto de trabajo. En caso de luz natural, se recomienda la iluminación cenital mediante lucernarios o la orientación Norte de la fachada. En caso de requerir del uso de luz artificial, para evitar que se produzcan sombras, se debe distribuir en el espacio lo más uniformemente posible.

Las pantallas de los ordenadores deben tener la opción de ajustar el nivel de brillo y contraste para una buena situación visual de trabajo, evitando de esta manera los posibles reflejos.

### 2.2 Espacio

El espacio mínimo por empleado se establece en una superficie de trabajo de «2 metros cuadrados de superficie libre y un volumen de 10 metros cúbicos no ocupados. La altura mínima es de 2,5 metros entre forjados.»

Las medidas recomendadas para la mesa de trabajo son las siguientes:

- Profundidad entre 90 y 100 cm.
- Anchura entre 130 y 160 cm.
- Altura entre 70 y 75 cm.

## 2.3 Temperatura y humedad

En cuanto a la temperatura y la humedad el Real Decreto 486/97 estipula:

- «La temperatura de los locales donde se realicen trabajos sedentarios propios de oficinas o similares estará comprendida entre 17 y 27 °C.»
- «La humedad relativa estará comprendida entre el 30 y el 70 por 100, excepto en los locales donde existan riesgos por electricidad estática en los que el límite inferior será el 50 por 100.»

## 2.4 Seguridad

El suelo del local de trabajo debe ser «fijo, estable y no resbaladizo, sin irregularidades ni pendientes peligrosas y deberán protegerse aquellas aberturas que puedan suponer un riesgo para las personas.»

Para las vías de circulación se establece una «anchura mínima de 1 metro para los pasillos y de 80 cm para las puertas exteriores.»

En cuanto a las rampas, estas «tendrán una pendiente máxima del 12 por 100 cuando su longitud sea menor que 3 metros, del 10 por 100 cuando su longitud sea menor que 10 metros o del 8 por 100 en el resto de los casos.»

Se prestará especial atención al CTE DB-SI, donde se establecen las exigencias básicas de seguridad en caso de incendio.

## 2.5 Ruido

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) el ruido en las oficinas no debe superar el valor de 65 dB. Según el NTP 503, en las oficinas se exige un máximo de 40 dB. Si se supera este valor, una exposición continua en estas condiciones tendría consecuencias graves para la salud de los trabajadores.

Se recomienda situar las impresoras en una sala especial apartada del lugar de trabajo, para que no afecte al rendimiento y a la concentración de los usuarios. Además, una posible alternativa para mejorar el confort sería adecuar la sala con paneles acústicos.

## 2.6 Otras recomendaciones

A continuación, se expone otra selección de recomendaciones a tener en cuenta a la hora de alcanzar una situación ergonómica y confortable en el trabajo de oficina.

Por un lado, la silla debe permitir un correcto apoyo de la espalda, manteniéndola recta, y el cuello en una postura natural. Debe ser ajustable en altura e inclinación y es recomendable que sea giratoria para permitir un fácil movimiento en todas las direcciones. Se recomienda el uso de reposapiés para las personas a las que, en su posición correcta de altura de la silla, sus pies no alcancen el suelo.

Se recomienda situar la pantalla a una distancia de los ojos mayor a 40 cm, situando también la parte superior de esta a la altura de los ojos.

El teclado debe situarse de forma que, por un lado, los brazos se coloquen en un ángulo de 90° y, por otro lado, las letras se diferencien con claridad. Por último, la mesa debe estar despejada de manera que no haya objetos que impidan el correcto uso del ratón.

**Documento IV**

**Presupuesto**





# Índice

<b>1</b>	<b>Obtención de costes</b>	<b>1</b>
1.1	Coste software.....	1
1.2	Coste hardware.....	2
1.3	Coste mano de obra.....	2
<b>2</b>	<b>Obtención del presupuesto</b>	<b>3</b>



# Índice de Tablas

2.1	Precios elementales .....	3
2.2	Precios descompuestos .....	4
2.3	Presupuesto total .....	4



# Presupuesto

El objetivo de este documento es obtener un presupuesto del proyecto realizado, lo más aproximado a la realidad. En el cálculo se va a suponer que tanto el alumno como el profesor trabajan en un despacho de oficina técnica. Para su obtención se tienen en cuenta diversos factores como son los materiales utilizados, la mano de obra, los costes indirectos y finalmente se aplica un porcentaje del 21% para el IVA.

## 1. Obtención de costes

A continuación, se realiza la obtención de diversos costes involucrados en el proyecto para el cálculo del presupuesto.

### 1.1 Coste software

Para la realización de este proyecto han sido necesarias tres licencias de software, comenzando por el programa de simulación MSC Adams, el programa para el diseño de piezas SolidWorks y por último el software de Microsoft 365 para la redacción del proyecto.

Para la obtención del coste de cada software se calcula la amortización lineal diaria (Ecuación 1.1) teniendo en cuenta que, la duración de las licencias es de 1 año, el valor residual de 0 € y los precios son los siguientes:

- Licencia software MSC Adams UPV 2021: 2.000,00 €
- Licencia software SolidWorks Student Edition 2021: 119,79 €
- Licencia software Microsoft 365 Personal: 69,00 €

$$\text{Amortización diaria } \left(\frac{\text{€}}{\text{día}}\right) = \frac{\text{Precio de compra } (\text{€}) - \text{Valor residual } (\text{€})}{\text{Vida útil (días)}} \quad (1.1)$$

## 1.2 Coste hardware

A la hora de realizar el proyecto, además de los costes de los programas, se tienen en cuenta las amortizaciones del material informático utilizado. Este se compone de un ordenador portátil, una pantalla externa, un ratón y un teclado.

El material mencionado, según la *Normativa Tributaria* en España, está clasificado dentro del grupo de ‘Equipos para procesos de información’ y la amortización se calcula con un coeficiente lineal máximo del 25% o un período máximo de 8 años. Para este proyecto se tiene en cuenta una vida útil de 6 años, un valor residual de 0 € y los siguientes precios del material:

- Ordenador portátil Asus ZenBook UX310U: 899,00 €
- Ratón Inalámbrico Logitech M330 Silent Plus: 41,50 €
- Teclado USB Logitech K120: 17,99 €
- Monitor Philips 221S3L: 159,00 €

Del mismo modo que se ha realizado en el apartado anterior, se calcula la amortización diaria mediante la Ecuación 1.1.

## 1.3 Coste mano de obra

Uno de los costes con más peso en el presupuesto es el de la mano de obra; en él se contemplan las horas de trabajo del proyectista (ingeniero junior) y del director del proyecto (ingeniero senior).

El coste por hora es la suma del sueldo bruto más la cotización a la Seguridad Social que tiene que abonar la empresa. El sueldo bruto de cada trabajador se obtiene del *Convenio colectivo del sector de empresas de ingeniería y oficinas de estudios técnicos (BOE 2019)*, siendo este de 20.424,25 € anuales -con pagas extras incluidas- para el ingeniero junior y de 26.323,57 € anuales para el ingeniero senior. Las horas anuales de trabajo según convenio son 1.792 horas, por lo que el sueldo por hora se deduce con la Ecuación 1.2.

$$\text{Sueldo bruto } \left(\frac{\text{€}}{h}\right) = \frac{\text{Sueldo bruto anual } (\text{€})}{\text{Horas trabajo } (h)} \quad (1.2)$$

La cotización a la Seguridad Social por parte de la empresa se obtiene de las *Bases y tipos de cotización 2022* y se trata de un 32,4 % de la base (Ecuación 1.3), ya que el sueldo según convenio se encuentra entre el mínimo y el máximo.

La Ecuación 1.4 muestra la obtención del coste total de la mano de obra.

$$\text{Cotización Seguridad Social } \left(\frac{\text{€}}{\text{h}}\right) = \frac{\text{Sueldo bruto anual (€)} \cdot 0,324}{\text{Horas trabajo (h)}} \quad (1.3)$$

$$\text{Coste mano obra } \left(\frac{\text{€}}{\text{h}}\right) = \text{Sueldo bruto} + \text{Cotización S.S.} \quad (1.4)$$

## 2. Obtención del presupuesto

Una vez se ha analizado cada una de las partes que intervienen en el cálculo del presupuesto se presenta la tabla de precios elementales (Tabla 2.1).

Ref	Ud	Descripción	Precio
<b>Materiales</b>			
m1	día	Licencia software MSC Adams UPV 2021	5,48 €
m2	día	Licencia software SolidWorks Student Edition 2021	0,33 €
m3	día	Licencia software Microsoft 365 Personal	0,19 €
m4	día	Asus ZenBook UX310U	0,41 €
m5	día	Ratón Inalámbrico Logitech M330 Silent Plus	0,02 €
m6	día	Teclado USB Logitech K120	0,01 €
m7	día	Monitor Philips 221S3L	0,07 €
<b>Mano de obra</b>			
h1	h	Ingeniero Senior	19,45 €
h2	h	Ingeniero Junior	15,09 €

**Tabla 2.1:** Precios elementales

En la posterior Tabla 2.2 se muestra el precio total realizado por precios descompuestos, remarcando que la duración del proyecto se calcula teniendo en cuenta una jornada laboral de 8 horas al día, 5 días a la semana.

En este proyecto se ha trabajado durante 400 horas, que equivalen a 50 días de trabajo y, considerando los fines de semana, la duración final del proyecto equivale a 70 días naturales.



Ref	Ud	Descripción	Precio	Cantidad	Parcial
<b>d1</b>	<b>ud</b>	<b>Modelado y simulación dinámica de un grupo reductor para ascensores</b>			
<b>MATERIALES</b>					
m1	día	Licencia software MSC Adams/Machinery 2021	5,48 €	70	383,56 €
m2	día	Licencia software SolidWorks Student Edition 2021	0,33 €	70	22,97 €
m3	día	Licencia software Microsoft 365 Personal	0,19 €	70	13,23 €
m4	día	Asus ZenBook UX310U	0,41 €	70	28,74 €
m5	día	Ratón Inalámbrico Logitech M330 Silent Plus	0,02 €	70	1,33 €
m6	día	Teclado USB Logitech K120	0,01 €	70	0,58 €
m7	día	Monitor Philips 221S3L	0,07 €	70	5,08 €
<b>MANO DE OBRA</b>					
h1	h	Ingeniero Senior	19,45 €	50	972,44 €
h2	h	Ingeniero Junior	15,09 €	400	6.036,10 €
<b>PRECIO TOTAL</b>					<b>7.464,03 €</b>

**Tabla 2.2:** Precios descompuestos

Finalmente, se muestra en la Tabla 2.3 el presupuesto total que cuenta con un 5% de costes indirectos (luz, gasolina, impresiones, etc.) y un 21% de IVA.

Ref	Descripción	Importe
d1	Modelado y simulación dinámica de un grupo reductor para ascensores	7.464,03 €
PRECIO TOTAL		7.464,03 €
5%	Costes indirectos	373,20 €
SUMA PARCIAL		7.837,23 €
21%	IVA	1.645,82 €
<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>		<b>9.483,05 €</b>

**Tabla 2.3:** Presupuesto total

Asciende el presupuesto total a la expresada cantidad de 9.483,05 € (NUEVE MIL CUATROCIENTOS OCHENTA Y TRES EUROS Y CINCO CÉNTIMOS).

