



Universidad
Zaragoza



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Diseño y cálculo de una puerta de garaje seccional
para una plaza de aparcamiento de un garaje
comunitario

Design and calculation of a sectional garage door for a
parking space in a community garage

Autor:

Luis Viñés García

Directores:

Paula Canalís Martínez

José Manuel Auría Apilluelo

Grado de Ingeniería Mecánica
Escuela de Ingeniería y Arquitectura

ZARAGOZA, JUNIO 2024



Universidad
Zaragoza



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Diseño y cálculo de una puerta de garaje seccional
para una plaza de aparcamiento de un garaje
comunitario

Design and calculation of a sectional garage door for a
parking space in a community garage

ÍNDICE GENERAL

Autor:

Luis Viñés García

Directores:

Paula Canalís Martínez

José Manuel Auría Apilluelo

Grado de Ingeniería Mecánica
Escuela de Ingeniería y Arquitectura

ZARAGOZA, JUNIO 2024

ÍNDICE MEMORIA

1.	INTRODUCCIÓN.....	5
1.1.	OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO.....	5
1.2.	ANTECEDENTES.....	5
2.	NORMATIVA	7
3.	DEFINICIONES	8
3.1.	DEFINICIÓN DE PUERTA DE GARAJE.....	8
3.2.	TIPOS DE PUERTAS DE GARAJE.....	8
3.2.1.	Puerta batiente.....	8
3.2.2.	Puerta batiente de vaivén.....	8
3.2.3.	Puerta batiente plegable	8
3.2.4.	Puerta plegable.....	9
3.2.5.	Puerta plegable deslizante.....	9
3.2.6.	Puerta deslizante	9
3.2.7.	Puerta deslizante vertical.....	9
3.2.8.	Puerta seccional.....	10
3.2.9.	Puerta enrollable	10
3.2.10.	Puerta basculante.....	10
3.2.11.	Puerta plegable vertical.....	11
4.	SELECCIÓN DE LA PUERTA DE GARAJE.....	12
4.1.	ANÁLISIS DE OPCIONES	12
4.1.1.	Puerta batiente.....	12
4.1.2.	Puerta basculante no saliente	13
4.1.3.	Puerta plegable vertical	13
4.1.4.	Puerta seccional de plegado horizontal.....	14
4.2.	ESPECIFICACIÓN DE PUERTA SECCIONAL DE PLEGADO HORIZONTAL.....	15
4.2.1.	Partes de la puerta seccional	15
4.2.2.	Normativa aplicable.....	15
4.2.3.	Tipos de accionamientos	16
5.	DIMENSIONAMIENTO DE PUERTA SECCIONAL	18
5.1.	MARCO.....	18
5.2.	PANELES	20
5.3.	BISAGRAS Y PORTARRUEDAS	22
5.4.	RUEDAS	23
5.5.	DISTRIBUCIÓN DE LAS RUEDAS ENTRE LAS GUÍAS	24
5.6.	BARRA DEL ACCIONAMIENTO	26
5.7.	PIÑÓN Y CREMALLERA	27
5.8.	CARRO	28



5.9.	MUELLES TORSIONALES	29
5.10.	ELEMENTOS DE GOMA DE SEGURIDAD.....	30
6.	CÁLCULOS ANALÍTICOS	31
6.1.	CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE AVANCE	31
6.2.	CÁLCULO DEL MOTORREDUCTOR	31
6.3.	CÁLCULO DEL PIÑÓN-CREMALLERA	32
6.4.	CÁLCULO DE LOS MUELLES TORSIONALES	34
6.5.	CÁLCULO DE LAS GUÍAS.....	34
6.5.1.	Cálculo del perfil de las guías horizontales	35
6.5.2.	Cálculo del espesor del perfil de las guías horizontales.....	36
6.5.3.	Cálculo del perfil de las guías verticales	36
6.6.	CÁLCULO DE LAS UNIONES ATORNILLADAS DE LAS GUÍAS	37
6.6.1.	Cálculo de las uniones atornilladas de las guías horizontales inferiores	37
6.6.2.	Cálculo de las uniones atornilladas de las guías horizontales superiores.....	38
6.6.3.	Cálculo de las uniones atornilladas de las guías verticales	39
6.6.4.	Cálculo de rigidez de las guías horizontales inferiores	40
6.7.	CÁLCULO DE LAS PLETINAS DE UNIÓN DE LAS GUÍAS HORIZONTALES CON EL TECHO....	40
6.7.1.	Cálculo del espesor de las pletinas	40
6.7.2.	Cálculo de las uniones atornilladas de las pletinas	41
6.8.	CÁLCULO DE LA BARRA, EL PASADOR Y LA OREJETA.....	42
6.9.	CÁLCULO DE LAS UNIONES ATORNILLADAS DE LA OREJETA	43
6.10.	CÁLCULO DE LAS UNIONES ATORNILLADAS DEL MARCO.....	43
7.	CONCLUSIONES	45
8.	ORDEN DE PRIORIDAD DE LOS DOCUMENTOS BÁSICOS	46
9.	RESUMEN DEL PRESUPUESTO	47
10.	LUGAR, FECHA Y FIRMA	48
BIBLIOGRAFÍA		49

ÍNDICE ANEXOS

ANEXO A: CÁLCULOS DEL ACCIONAMIENTO	2
A.1 <i>CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE AVANCE.....</i>	<i>2</i>
A.2 <i>CÁLCULO DEL MOTORREDUCTOR.....</i>	<i>3</i>
A.3 <i>COMPROBACIÓN DE SEGURIDAD DEL MOTOR.....</i>	<i>5</i>
A.4 <i>CÁLCULO DEL PIÑÓN-CREMALLERA.....</i>	<i>6</i>
A.5 <i>CÁLCULO DE LOS MUELLES TORSIONALES.....</i>	<i>9</i>
ANEXO B: CÁLCULOS DE LAS GUÍAS	11
B.1 <i>CÁLCULO DEL PERFIL DE LAS GUÍAS HORIZONTALES.....</i>	<i>11</i>
B.2 <i>CÁLCULO DEL ESPESOR DEL PERFIL</i>	<i>14</i>
B.3 <i>CÁLCULO DEL PERFIL DE LAS GUÍAS VERTICALES.....</i>	<i>16</i>
B.4 <i>CÁLCULO DE LAS UNIONES ATORNILLADAS DE LAS GUÍAS.....</i>	<i>19</i>
B.4.1 <i>Cálculo de las uniones atornilladas de las guías horizontales inferiores</i>	<i>19</i>
B.4.2 <i>Cálculo de las uniones atornilladas de las guías horizontales superiores.....</i>	<i>22</i>
B.4.3 <i>Cálculo de las uniones atornilladas de las guías verticales</i>	<i>25</i>
B.5 <i>CÁLCULO DE RIGIDEZ DE LAS GUÍAS HORIZONTALES INFERIORES</i>	<i>29</i>
B.6 <i>CÁLCULO DE LAS PLETINAS DE UNIÓN DE LAS GUÍAS HORIZONTALES CON EL TECHO</i>	<i>30</i>
B.6.1 <i>Cálculo del espesor de las pletinas</i>	<i>30</i>
B.6.2 <i>Cálculo de las uniones atornilladas de las pletinas.....</i>	<i>31</i>
ANEXO C: CÁLCULOS DE LA BARRA, EL PASADOR Y LA OREJETA.....	34
C.1 <i>COMPROBACIÓN DE LAS DIMENSIONES.....</i>	<i>34</i>
C.2 <i>CÁLCULO DE LAS UNIONES ATORNILLADAS DE LA OREJETA</i>	<i>38</i>
ANEXO D: CÁLCULOS DE LAS UNIONES ATORNILLADAS DEL MARCO	40
D.1 <i>UNIÓN ATORNILLADAS ENTRE PERFIL EN L Y PERFIL EN U.....</i>	<i>41</i>
D.2 <i>UNIÓN ATORNILLADAS ENTRE PERFIL EN U Y PERFIL EN C.....</i>	<i>43</i>
D.3 <i>UNIÓN ATORNILLADAS ENTRE PERFIL EN C Y COLUMNA.....</i>	<i>46</i>
BIBLIOGRAFÍA ANEXOS	48



ÍNDICE PLANOS

Conjunto de la puerta seccional	Nº 1
Plaza de aparcamiento del garaje	Nº 2
Conjunto de las guías	Nº 3
Guía vertical izquierda	Nº 4
Guía horizontal inferior izquierda	Nº 5
Guía horizontal superior izquierda	Nº 6
Pletina de unión entre la guía vertical y la guía horizontal inferior	Nº 7
Pletina de unión entre guías horizontales y el techo	Nº 8
Tope goma	Nº 9
Conjunto del marco.....	Nº 10
Perfil en C del marco	Nº 11
Perfil en U izquierdo del marco	Nº 12
Perfil en L del marco	Nº 13
Embellecedor	Nº 14
Pletina de unión entre el embellecedor y el techo	Nº 15
Conjunto de paneles, bisagras y portarruedas	Nº 16
Orejeta.....	Nº 17
Conjunto del accionamiento	Nº 18
Guía del carro	Nº 19
Carro	Nº 20
Barra	Nº 21
Caja que contiene el motor	Nº 22
Pieza de unión entre el carro y la caja	Nº 23
Pletina de unión de la guía del carro	Nº 24
Pletina de unión entre la guía del carro y el techo	Nº 25

ÍNDICE PLIEGO DE CONDICIONES

1.	PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES	2
1.1.	OBJETO DEL PLIEGO	2
1.2.	RÉGIMEN JURÍDICO Y NORMATIVA DE APLICACIÓN	3
2.	PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS Y PARTICULARES.....	7
2.1.	CARACTERÍSTICAS EXIGIDAS A LOS EQUIPOS Y MATERIALES	7
2.1.1.	Motor	7
2.1.2.	Piñón y cremallera	7
2.1.3.	Guías de las puertas	8
2.1.4.	Pletinas de unión	8
2.1.5.	Elementos que componen el marco	8
2.1.6.	Paneles, bisagras, portarruedas y ruedas.	8
2.1.7.	Orejeta, pasador y barra	9
2.1.8.	Tornillos y tuercas.....	10
2.1.9.	Muelles torsionales.....	10
2.1.10.	Elementos de goma de seguridad	10
2.1.11.	Accionamiento.....	11
2.2.	CONTROL, INSPECCIONES Y PRUEBAS.....	11
2.3.	SEGURIDAD	11
2.4.	CONCLUSIÓN	12
3.	LUGAR, FECHA Y FIRMA	13



ÍNDICE MEDICIONES

Nº 1 ACTUACIONES PREVIAS	2
Nº 2 ESTRUCTURA	3
Nº 3 PANELES, PORTARRUEDAS Y BISAGRAS	4
Nº 4 MUELLES TORSIONALES	5
Nº 5 ACCIONAMIENTO	6
Nº 6 TORNILLOS Y TUERCAS	7
Nº 7 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN	8
Nº 8 MANO DE OBRA	9



ÍNDICE PRESUPUESTO

1.	PRECIOS UNITARIOS.....	2
2.	PRESUPUESTOS PARCIALES	4
	<i>Nº 1 ACTUACIONES PREVIAS.....</i>	<i>4</i>
	<i>Nº 2 ESTRUCTURA.....</i>	<i>5</i>
	<i>Nº 3 PANELES, PORTARRUEDAS Y BISAGRAS</i>	<i>6</i>
	<i>Nº 4 MUELLES TORSIONALES</i>	<i>7</i>
	<i>Nº 5 ACCIONAMIENTO.....</i>	<i>8</i>
	<i>Nº 6 TORNILLOS Y TUERCAS.....</i>	<i>9</i>
	<i>Nº 7 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN</i>	<i>10</i>
	<i>Nº 8 MANO DE OBRA.....</i>	<i>11</i>
3.	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	12
4.	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA IMPUESTOS INCLUIDOS.....	13
5.	LUGAR, FECHA Y FIRMA	14



Universidad
Zaragoza



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Diseño y cálculo de una puerta de garaje seccional
para una plaza de aparcamiento de un garaje
comunitario

Design and calculation of a sectional garage door for a
parking space in a community garage

MEMORIA

Autor:

Luis Viñés García

Directores:

Paula Canalís Martínez

José Manuel Auría Apilluelo

Grado de Ingeniería Mecánica
Escuela de Ingeniería y Arquitectura

ZARAGOZA, JUNIO 2024



RESUMEN

El siguiente proyecto tiene como objetivo diseñar, analizar y calcular una puerta de garaje seccional para una plaza de aparcamiento en un garaje comunitario. El diseño contempla una solución que no afecte el espacio compartido del garaje. Se abordará el diseño y dimensionamiento de cada componente de la puerta, incluyendo marcos, paneles, bisagras, ruedas y el sistema de accionamiento.

Durante el proceso de diseño, se garantizará la funcionalidad de la puerta, asegurando que los componentes estén posicionados correctamente para evitar interferencias durante su funcionamiento. La selección y dimensionamiento del sistema de accionamiento se realizarán según una serie de hipótesis que abordan el cálculo del motorreductor, el sistema piñón-cremallera y los muelles torsionales necesarios, entre otros.

Se ha realizado una simulación en 3D para generar los planos detallados de la puerta, utilizando SOLIDWORKS. Esto permite visualizar y ajustar cada componente antes de su fabricación.

Para asegurar la resistencia y durabilidad de la puerta, se seleccionarán materiales adecuados que soporten las cargas previstas y que cumplan con los requisitos de resistencia y buen comportamiento mecánico. Además, se determinará el tipo de accionamiento que facilitará la operación de la puerta, optando por sistemas que aseguren una apertura y cierre seguros.

Además, se ha elaborado un pliego de condiciones y un presupuesto detallado para el diseño de la puerta. Este documento incluye todos los aspectos técnicos y económicos necesarios para la implementación del proyecto.

Este proyecto ofrece una solución que no solo cumple con los estándares técnicos y normativos, sino que también se integra en el entorno del garaje comunitario.



SUMMARY

The objective of this project is to design, analyze, and calculate a sectional garage door for a parking space in a communal garage. The design envisions a solution that does not impact the shared space of the garage. The project will address the design and sizing of each component of the door, including frames, panels, hinges, rollers, and the drive system.

During the design process, the functionality of the door will be ensured by correctly positioning the components to avoid interferences during operation. The selection and sizing of the drive system will be carried out according to a series of hypotheses that cover the calculation of the gear motor, the rack and pinion system, and the necessary torsion springs, among others.

A 3D simulation has been performed to generate detailed plans of the door using SOLIDWORKS. This allows for the visualization and adjustment of each component before manufacturing.

To ensure the door's strength and durability, suitable materials will be selected to withstand the expected loads and meet the requirements for resistance and good mechanical performance. Additionally, the type of drive system that will facilitate the door's operation will be determined, opting for systems that ensure safe opening and closing.

Furthermore, a specification document and a detailed budget for the door's design have been prepared. This document includes all the technical and financial aspects necessary for the project's implementation.

This project offers a solution that not only meets technical and regulatory standards but also integrates well within the communal garage environment.

ÍNDICE MEMORIA

1.	INTRODUCCIÓN.....	5
1.1.	OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO.....	5
1.2.	ANTECEDENTES.....	5
2.	NORMATIVA	7
3.	DEFINICIONES	8
3.1.	DEFINICIÓN DE PUERTA DE GARAJE.....	8
3.2.	TIPOS DE PUERTAS DE GARAJE.....	8
3.2.1.	Puerta batiente.....	8
3.2.2.	Puerta batiente de vaivén.....	8
3.2.3.	Puerta batiente plegable	8
3.2.4.	Puerta plegable.....	9
3.2.5.	Puerta plegable deslizante.....	9
3.2.6.	Puerta deslizante	9
3.2.7.	Puerta deslizante vertical.....	9
3.2.8.	Puerta seccional.....	10
3.2.9.	Puerta enrollable	10
3.2.10.	Puerta basculante.....	10
3.2.11.	Puerta plegable vertical.....	11
4.	SELECCIÓN DE LA PUERTA DE GARAJE	12
4.1.	ANÁLISIS DE OPCIONES	12
4.1.1.	Puerta batiente	12
4.1.2.	Puerta basculante no saliente	13
4.1.3.	Puerta plegable vertical	13
4.1.4.	Puerta seccional de plegado horizontal.....	14
4.2.	ESPECIFICACIÓN DE PUERTA SECCIONAL DE PLEGADO HORIZONTAL.....	15
4.2.1.	Partes de la puerta seccional	15
4.2.2.	Normativa aplicable	15
4.2.3.	Tipos de accionamientos	16
5.	DIMENSIONAMIENTO DE PUERTA SECCIONAL	18
5.1.	MARCO	18
5.2.	PANELES	20
5.3.	BISAGRAS Y PORTARRUEDAS	22
5.4.	RUEDAS	23
5.5.	DISTRIBUCIÓN DE LAS RUEDAS ENTRE LAS GUÍAS	24
5.6.	BARRA DEL ACCIONAMIENTO	26
5.7.	PIÑÓN Y CREMALLERA	27
5.8.	CARRO	28



5.9.	MUELLES TORSIONALES	29
5.10.	ELEMENTOS DE GOMA DE SEGURIDAD.....	30
6.	CÁLCULOS ANALÍTICOS	31
6.1.	CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE AVANCE	31
6.2.	CÁLCULO DEL MOTORREDUCTOR	31
6.3.	CÁLCULO DEL PIÑÓN-CREMALLERA	32
6.4.	CÁLCULO DE LOS MUELLES TORSIONALES	34
6.5.	CÁLCULO DE LAS GUÍAS.....	34
6.5.1.	Cálculo del perfil de las guías horizontales	35
6.5.2.	Cálculo del espesor del perfil de las guías horizontales.....	36
6.5.3.	Cálculo del perfil de las guías verticales	36
6.6.	CÁLCULO DE LAS UNIONES ATORNILLADAS DE LAS GUÍAS	37
6.6.1.	Cálculo de las uniones atornilladas de las guías horizontales inferiores	37
6.6.2.	Cálculo de las uniones atornilladas de las guías horizontales superiores.....	38
6.6.3.	Cálculo de las uniones atornilladas de las guías verticales	39
6.6.4.	Cálculo de rigidez de las guías horizontales inferiores	40
6.7.	CÁLCULO DE LAS PLETINAS DE UNIÓN DE LAS GUÍAS HORIZONTALES CON EL TECHO....	40
6.7.1.	Cálculo del espesor de las pletinas	40
6.7.2.	Cálculo de las uniones atornilladas de las pletinas	41
6.8.	CÁLCULO DE LA BARRA, EL PASADOR Y LA OREJETA.....	42
6.9.	CÁLCULO DE LAS UNIONES ATORNILLADAS DE LA OREJETA	43
6.10.	CÁLCULO DE LAS UNIONES ATORNILLADAS DEL MARCO.....	43
7.	CONCLUSIONES	45
8.	ORDEN DE PRIORIDAD DE LOS DOCUMENTOS BÁSICOS	46
9.	RESUMEN DEL PRESUPUESTO	47
10.	LUGAR, FECHA Y FIRMA	48
BIBLIOGRAFÍA		49

1. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO

El objetivo del trabajo es el diseño y cálculo de los parámetros necesarios para definir una puerta de garaje individual en una plaza de aparcamiento en un garaje comunitario. El diseño tiene que ser adecuado para el cerramiento de la plaza de aparcamiento sin alterar el espacio comunitario. Para el diseño de esta puerta de garaje hay que tener en cuenta tanto el accionamiento capaz de realizar el trabajo de forma automática, como la estructura y elementos que componen la puerta de garaje, la cual tiene que ser capaz de soportar todas las cargas presentes.

Para diseñar esta puerta de garaje a medida de la plaza de aparcamiento se han seguido los siguientes pasos:

Inicialmente, se ha hecho una búsqueda y recogida de la información y documentación técnica, así como de la normativa relativa a las puertas de garaje. Posteriormente se han evaluado distintos tipos de puertas de garaje, seleccionando la más adecuada para el problema a resolver. Una vez establecido el tipo de puerta de garaje se ha escogido el motorreductor y dimensionamiento de accionamiento necesario para su funcionamiento. Se ha diseñado la estructura mediante un modelado en 3D con el programa SOLIDWORKS, para crear los planos que definen dicha puerta de garaje. Finalmente se ha realizado el pliego de condiciones y el presupuesto.

Esta memoria donde se recoge todo este proceso se estructura de la siguiente manera. En el capítulo 1 se presentan los objetivos, el alcance del proyecto y el punto de partida del mismo. En el capítulo 2 se recapitulan las normativas técnicas a seguir. En el capítulo 3 y 4 se presenta un estudio de los distintos tipos de puertas de garaje y la selección de la más adecuada. En el capítulo 5 se dimensionan y seleccionan elementos que componen la puerta de garaje. En el capítulo 6 se presentan los cálculos que se han realizado.

1.2. ANTECEDENTES

El punto de partida de este trabajo es una plaza de aparcamiento concreta en un garaje comunitario, para la cual ya se disponen de las dimensiones pertinentes.

Este trabajo busca la aplicación de conocimientos teóricos y prácticos adquiridos en las asignaturas de “Cálculo de elementos de máquinas” y “Criterio de diseño de máquinas”.

La ejecución de este trabajo se enfocará en ofrecer una solución garantizando su plena integración con la plaza de aparcamiento.

El punto de partida de este trabajo es una plaza de garaje, diseñada para alojar dos vehículos, con unas dimensiones de $6\,050\text{mm} \times 4\,932,5\text{mm} \times 2\,725\text{mm}$ excluyendo las limitaciones impuestas por columnas o conductos de ventilación. Cuenta con cuatro columnas de $305\text{mm} \times 305\text{mm}$, dos de las cuales definen el ancho de la puerta, dejando un espacio de $5\,745\text{mm}$ para la cobertura de la misma.

Sin embargo, esta plaza de garaje presenta un inconveniente notable: su profundidad útil se limita a $4\,932,5\text{mm}$, lo que la convierte en un espacio de estacionamiento relativamente

pequeño. Por lo tanto, se requiere una cuidadosa selección de la puerta para maximizar el aprovechamiento del espacio disponible.

El plano de la plaza de aparcamiento, mostrado en la figura 1, proporciona todas las cotas y dimensiones relevantes para su visualización precisa.

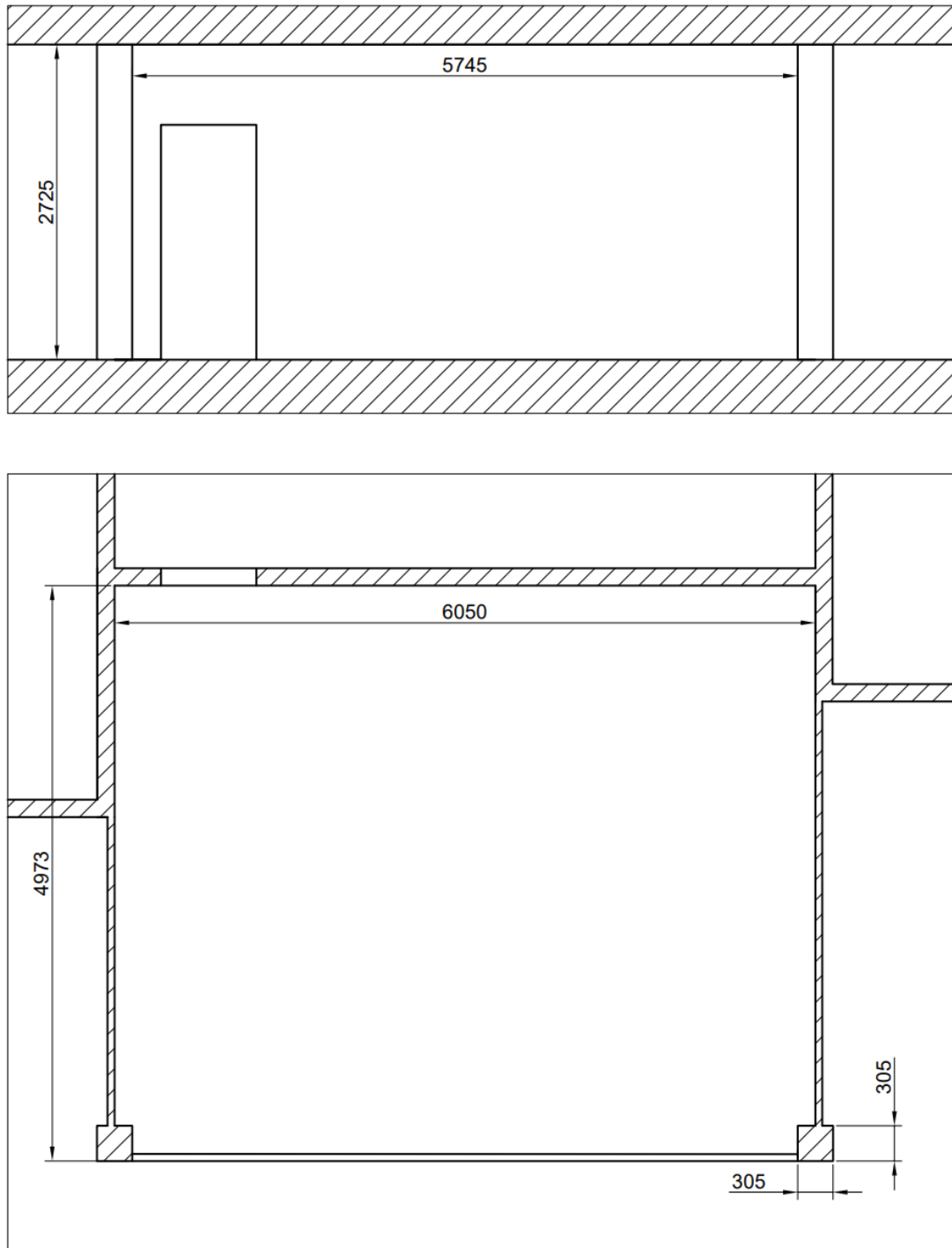


Figura 1: Extracto del plano de la plaza de aparcamiento del garaje

2. NORMATIVA

En la elaboración del proyecto, se ha tenido en cuenta la siguiente normativa:

- **UNE-EN 13241:2004+A2:2017** Puertas industriales, comerciales y de garaje y portones. Norma de producto, características de prestación.
- **UNE-EN 12604:2018+A1:2021** Puertas industriales, comerciales, de garaje y portones. Aspectos mecánicos. Requisitos y métodos de ensayo.
- **UNE-EN 12453:2018+A1:2022** Puertas y portones industriales, comerciales y de garaje. Seguridad de uso de puertas motorizadas. Requisitos y métodos de ensayo.
- **UNE-EN 12433-1:2000** Puertas industriales, comerciales y de garaje y portones. Terminología. Parte 1: Tipos de puertas.
- **UNE-EN 12433-2:2000** Puertas industriales, comerciales y de garaje y portones. Terminología. Parte 2: Componentes de puertas.
- **UNE-EN 12424:2000** Puertas industriales, comerciales, de garaje y portones. Resistencia a la carga de viento. Clasificación.
- **UNE-EN 12444:2000** Puertas industriales, comerciales, de garaje y portones. Resistencia a la carga de viento. Ensayo y cálculo.
- **UNE-EN 12489:2000** Puertas industriales, comerciales, de garaje y portones. Resistencia a la penetración de agua. Método de ensayo.
- **UNE-EN 12428:2013** Puertas industriales, comerciales y de garaje. Transmitancia térmica. Requisitos para el cálculo.
- **UNE-EN 12427:2000** Puertas industriales, comerciales, de garaje y portones. Permeabilidad al aire. Método de ensayo.
- **UNE-EN 12978:2003+A1:2010** Puertas industriales, comerciales, de garaje y portones. Dispositivos de seguridad para puertas y portones motorizados. Requisitos y métodos de ensayo.
- **UNE 85635:2012** Puertas industriales, comerciales, de garaje y portones ya instalados o de nueva instalación. Requisitos específicos de instalación, uso, mantenimiento y modificación.

3. DEFINICIONES

3.1. DEFINICIÓN DE PUERTA DE GARAJE

Las puertas de garaje son dispositivos estructurales diseñados para cerrar y asegurar las aberturas de acceso a aparcamientos o garajes residenciales, comerciales o industriales. Estas puertas están concebidas para proporcionar un cierre eficaz y seguro, resguardando el interior del garaje de factores ambientales adversos, intrusiones no deseadas y ofreciendo, al mismo tiempo, un medio para el ingreso y salida de vehículos. Pueden adoptar diversas formas y mecanismos de operación y pueden estar construidas con una variedad de materiales según las preferencias estéticas y las necesidades funcionales del usuario. Además, las puertas de garaje a menudo incorporan sistemas automatizados que facilitan la apertura y cierre, mejorando así la comodidad y la eficiencia en el uso diario.

3.2. TIPOS DE PUERTAS DE GARAJE

En la norma europea **UNE-EN 12433-1:2000** se especifica la terminología para puertas de garaje y su clasificación [1].

3.2.1. Puerta batiente

Puerta con una hoja abisagrada o pivotante en un lado, que se abre en un solo sentido. Puede ser de una (fig. 2) o dos hojas.

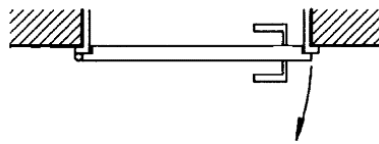


Figura 2: Puerta batiente de una hoja

3.2.2. Puerta batiente de vaivén

Puerta batiente que se abre en dos sentidos. Puede ser de una (fig. 3) o dos hojas.

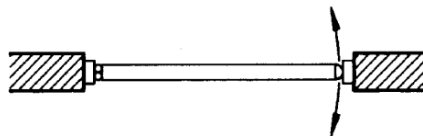


Figura 3: Puerta batiente de vaivén de una hoja

3.2.3. Puerta batiente plegable

Puerta batiente con una o más hojas batientes adicionales. Puede tener dos (fig. 4) o tres hojas plegables.

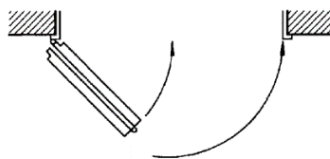


Figura 4: Puerta batiente plegable de dos hojas

3.2.4. Puerta plegable

Puerta de dos o más hojas articuladas, guiada y/o soportada por la parte superior y/o por la inferior (fig. 5).

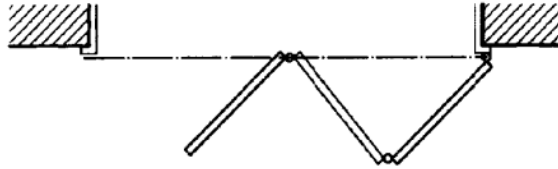


Figura 5: Puerta plegable de tres hojas

3.2.5. Puerta plegable deslizante

Puerta plegable, con la primera hoja no abisagrada en una posición fija, que permite que todas las hojas se muevan brevemente en el sistema de guía (fig. 6).



Figura 6: Puerta plegable deslizante

3.2.6. Puerta deslizante

La hoja de la puerta se desplaza horizontalmente en sus guías. Puede ser de una (fig. 7) o dos hojas, con paso múltiple, pivotante o giratoria.



Figura 7: Puerta deslizante de una hoja

3.2.7. Puerta deslizante vertical

Puerta con una (fig. 8) o más hojas guiadas verticalmente que se elevan y/o se bajan por partes, con paso múltiple o telescópico.

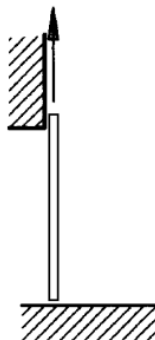


Figura 8: Puerta deslizante vertical de una hoja que se eleva

3.2.8. Puerta seccional

Puerta cuya hoja está formada por secciones conectadas entre ellas horizontalmente y que se abre verticalmente (fig. 9).

- Vertical (a)
- Horizontal (b)
- En ángulo (c)
- Plegado vertical (d)
- Plegado horizontal (e, f)

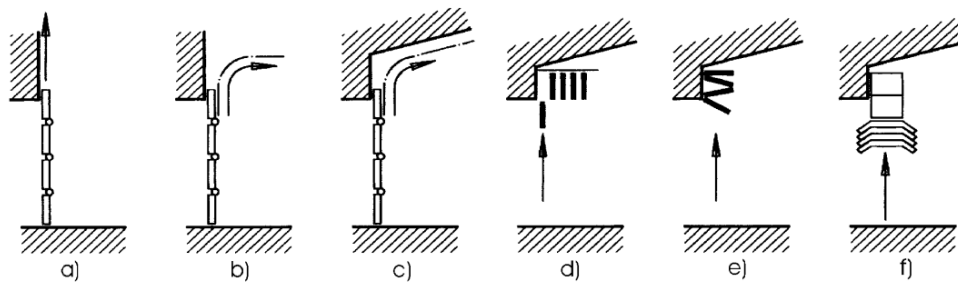


Figura 9: Tipos de puertas seccionales

3.2.9. Puerta enrollable

Puerta cuya hoja está formada de elementos conexionados y guiados que se enrollan alrededor de un eje o de un cilindro o tambor (fig. 10).

- Persiana enrollable (a)
- Reja enrollable (b)
- Puerta enrollable rápida (c)

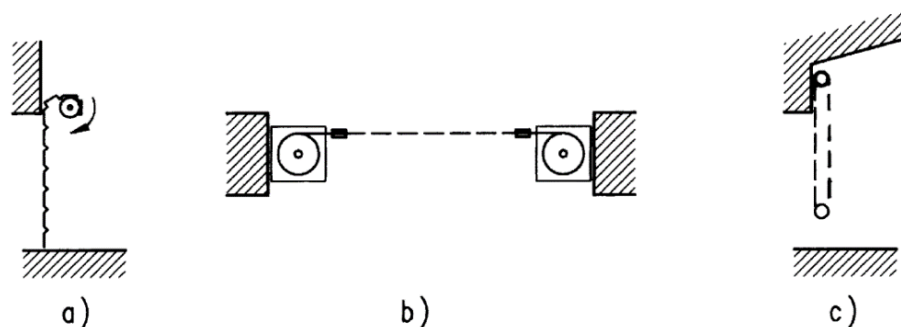


Figura 10: Tipos de puertas enrollables

3.2.10. Puerta basculante

Puerta con un solo panel guiado que se bascula y se coloca horizontalmente en posición totalmente abierta (fig. 11).

- Puerta no saliente (a)
- Puerta saliente (b)
- Puerta de dosel (c)

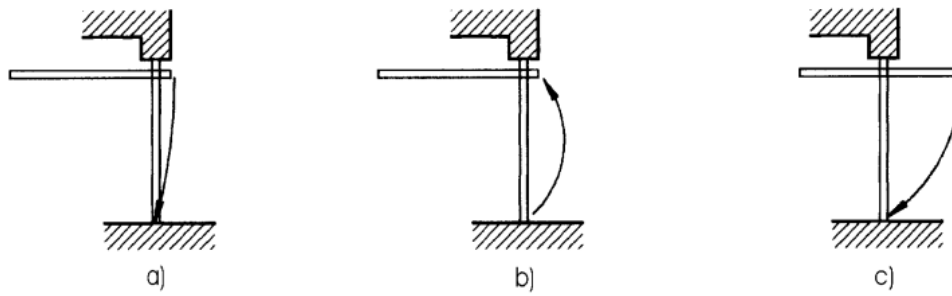


Figura 11: Tipos de puertas basculantes

3.2.11. Puerta plegable vertical

Puerta formada por dos hojas articuladas, guiadas verticalmente, plegándose hacia la parte alta del hueco (fig. 12).

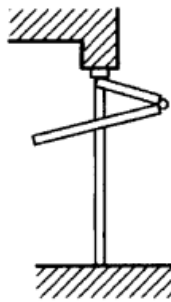


Figura 12: Puerta plegable vertical

4. SELECCIÓN DE LA PUERTA DE GARAJE

4.1. ANÁLISIS DE OPCIONES

Las dimensiones de la plaza de aparcamiento son el principal factor limitante al elegir una puerta de garaje, especialmente el espacio disponible en la plaza de aparcamiento, una vez los coches están aparcados en ella.

Entre los tipos de puertas de garaje mencionados en el apartado 3, muchas opciones son poco comunes en el mercado y pueden descartarse de inmediato. Aquí se detallan las más comunes y las que se han tenido en cuenta para el estudio:

- Puerta batiente
- Puerta basculante no saliente
- Puerta plegable vertical
- Puerta seccional horizontal

4.1.1. Puerta batiente

Las puertas batientes (fig. 13) son una elección popular en espacios al aire libre, siendo comúnmente empleadas en entornos abiertos. Aunque también pueden ser instaladas como puertas de garaje, donde su apertura se logra mediante un cilindro neumático o un motor eléctrico que impulsa la puerta hacia afuera.

El hueco en el que se colocará la puerta es de aproximadamente $5\,745\text{ mm}$; de modo que, la longitud de la puerta sería excesivamente grande, haciendo difícil su dimensionamiento y el del cilindro neumático. Además, con este tipo de puertas, nos encontramos con un problema de circulación. Al colocarse la puerta dentro de un garaje comunitario, cuando la puerta se encuentre abierta, impedirá el paso de otros coches e incluso el del propio coche aparcado en la plaza.

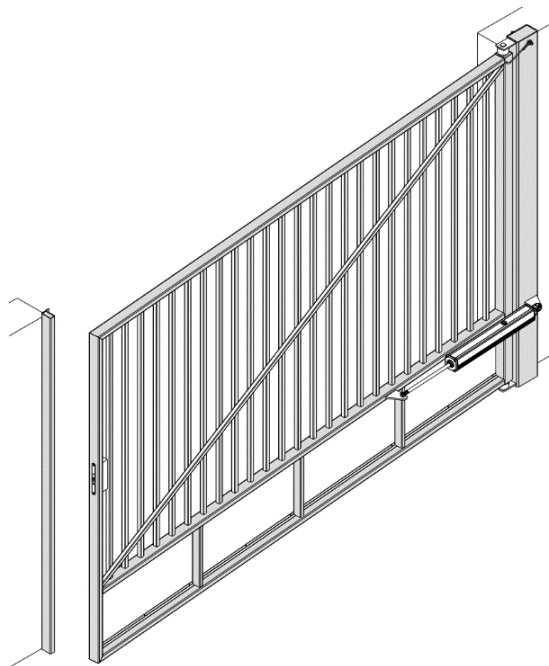


Figura 13: Puerta batiente

4.1.2. Puerta basculante no saliente

Las puertas basculantes (fig. 14) no salientes ofrecen una solución eficiente para el acceso del vehículo, ya que, durante el proceso de apertura o cuando están abiertas, no interfieren con la circulación dentro del garaje. Este tipo de puertas consta de un solo panel que, impulsado por un motor eléctrico, se desplaza a lo largo de guías en la parte superior. Además, suelen estar equipadas con dos muelles conectados en la base para facilitar el movimiento de apertura. Estas puertas no requieren espacio frontal al plegarse hacia afuera, las puertas basculantes se elevan hacia arriba, basculando desde la base y posicionándose de manera paralela al techo del garaje cuando están abiertas. Esta característica optimiza el espacio disponible y brinda una solución práctica para la accesibilidad del vehículo.

Este tipo de puerta tiene una gran limitación, y es el espacio disponible dentro de la plaza de garaje. Cuando la puerta se encuentra abierta, no supone ningún problema; pero en el proceso de apertura, el panel describe una trayectoria que ocupa gran parte del espacio disponible dentro de esta. Como ya se ha expuesto en el apartado 1, el espacio disponible es muy escaso y hace este modelo inviable.



Figura 14: Puerta basculante

4.1.3. Puerta plegable vertical

Las puertas plegables verticales (fig. 15) se caracterizan por constar de dos hojas articuladas, guiadas verticalmente para facilitar su recogido plegado en la parte superior. Un motor eléctrico ubicado en la parte superior de la estructura se encarga de recoger la cadena a la cual está conectada la hoja inferior. Este diseño permite un movimiento suave y eficiente, ofreciendo una solución práctica.

Este diseño es una solución válida para la situación expuesta porque no provocaría colisiones con los vehículos estacionados. Aunque a pesar de no significar un gran obstáculo en la circulación del garaje, el hecho de sobresalir de la plaza de aparcamiento, podría provocar golpes con otros vehículos circulantes al ser abierta. De modo que, tiene que ser descartada por precaución.

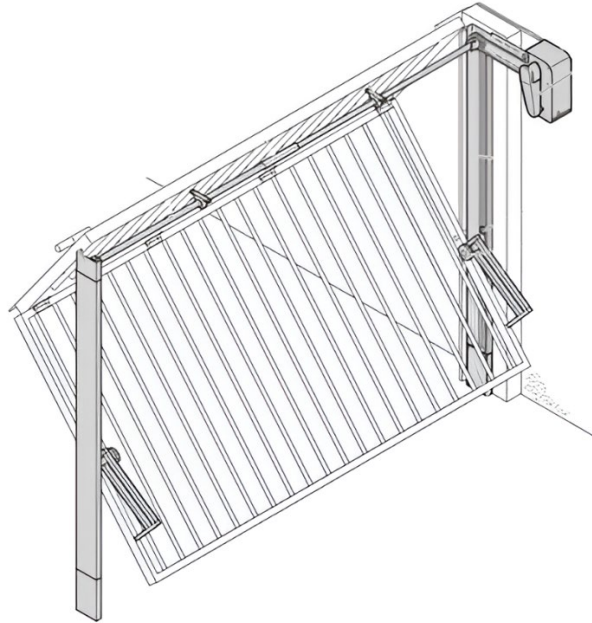


Figura 15: Puerta plegable vertical

4.1.4. Puerta seccional de plegado horizontal

Las puertas seccionales (fig. 16) para garajes son un diseño innovador que se estructura mediante paneles interconectados entre sí. Estos paneles, dispuestos de manera individual, se desplazan verticalmente a lo largo de rieles integrados. La funcionalidad de estas puertas radica en su capacidad para plegarse hacia arriba, deslizándose de manera suave a lo largo de una guía ubicada en el techo del garaje. Este sistema proporciona una solución práctica para el acceso del vehículo, aprovechando de manera óptima el espacio disponible en el entorno del garaje.

Las puertas seccionales son inevitablemente la mejor opción. No se impide la circulación de otros vehículos del garaje cuando se encuentra abierta o en proceso de ser abierta, y tampoco colisiona con el coche aparcado al ser abierta. Por ello es la escogida para este trabajo.

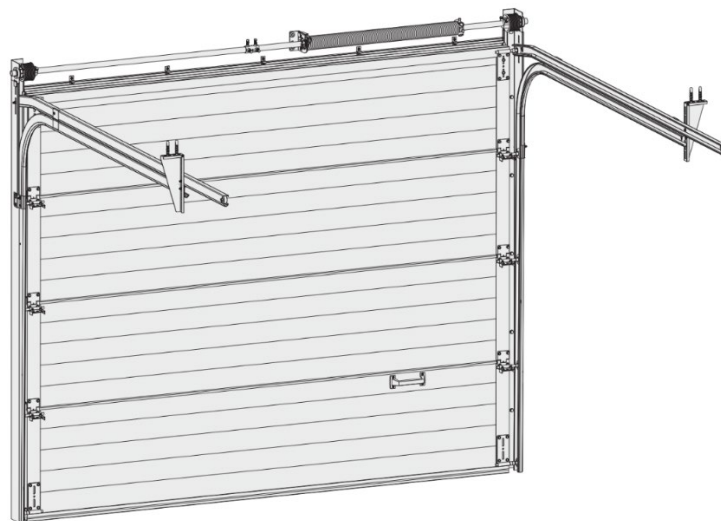


Figura 16: Puerta seccional de plegado horizontal

4.2. ESPECIFICACIÓN DE PUERTA SECCIONAL DE PLEGADO HORIZONTAL

4.2.1. Partes de la puerta seccional

Para el cálculo de la puerta seccional, hay que diferenciar entre las partes que la componen, distinguiendo entre el accionamiento y la estructura. La estructura se compone de varias piezas (fig. 17):

- Paneles.
- Bisagras, portarruedas y ruedas.
- Guías horizontales superiores.
- Guías horizontales inferiores.
- Guías verticales.
- Pletinas de unión.
- Marcos.

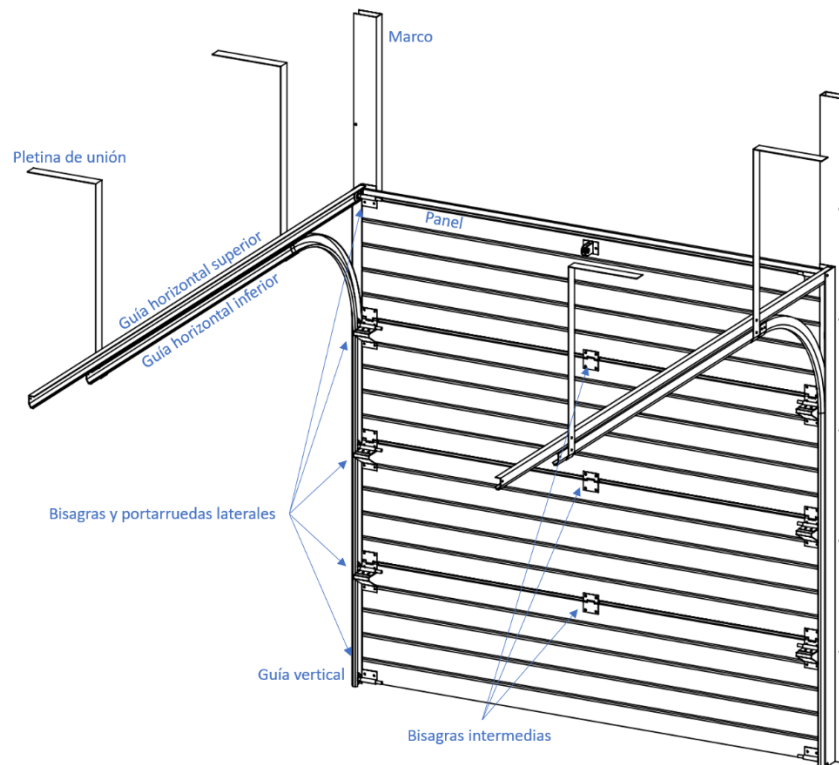


Figura 17: Partes que componen una puerta seccional

4.2.2. Normativa aplicable

Basándose en la normativa vigente, a la hora de diseñar una puerta de garaje seccional de plegado horizontal, hay que fijarse en la **UNE-EN 13241:2004+A2:2017**. En ella se explica la normativa y las características de prestación del producto. En esta norma se exigen unos requisitos mecánicos, como la resistencia y durabilidad mecánica. En esta norma también se hace referencia a requisitos de penetración de agua, viento, resistencia térmica y permeabilidad del agua; pero se ha decidido obviarlos por el hecho de que esta puerta no se encontrará expuesta al exterior, al ser diseñada para una plaza de aparcamiento dentro de un garaje subterráneo.

Los aspectos de resistencia y durabilidad mecánica se encuentran en la norma **UNE-EN 12604:2018+A1:2021**. En ella se especifica los coeficientes de seguridad de los materiales para el cálculo según la tabla 1.

Tabla 1: Coeficientes de seguridad de los materiales para el cálculo

Coeficiente de seguridad para el límite elástico	Coeficiente de seguridad para el límite de rotura
Mínimo 2,0	Mínimo 3,5

Tal y como se exige en la norma, el coeficiente de seguridad mínimo que se exige a rotura en todos los cálculos que se han realizado en este trabajo es de 3,5.

Dentro de esta normativa, hay también muchas restricciones de diseño [2]: El movimiento de la hoja de puerta debe estar limitado por topes. Los topes mecánicos en las posiciones finales del movimiento de la puerta deben resistir la energía producida por un posible impacto de la hoja de la puerta. En esta norma también se hace referencia a la velocidad de la puerta. No se llega a determinar una velocidad exacta, pero en algunos apartados se exige una velocidad menor de $0,3 \text{ m/s}$.

Además, en el anexo B de la norma se muestran ejemplos de protección mecánica y distancias de seguridad en puertas seccionales, según la figura 18:

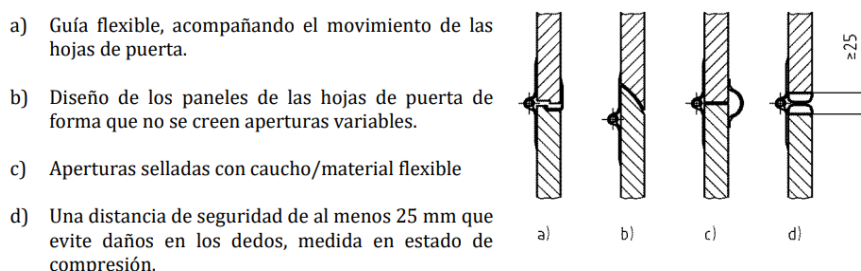


Figura 18: Protección en puertas seccionales

Los aspectos de seguridad se especifican en la norma **UNE-EN 12453:2018+A1:2022** [3]. En esta norma se especifica que, en puertas de movimiento vertical, para evitar el arrastre cuando se mueve la puerta, la puerta no debe poder levantar una masa de 20 kg desde su posición de cierre; o bien, si la puerta puede levantar una masa de 20 kg , la puerta debe detenerse mediante un equipo de protección antes de que el cuerpo levantado alcance cualquier lugar de peligro, como el dintel u otras partes fijas del edificio o componentes del mecanismo de la puerta.

4.2.3. Tipos de accionamientos

El accionamiento de este tipo de puertas requiere de un motorreductor, una barra que agarra la hoja por su pliegue superior y una guía por la que se desplaza un carro, como puede verse en la figura 19. Para abrir o cerrar la puerta, el motor permite que el carro que tiene la barra unida mediante una orejeta y un pasador, se desplace por la guía arrastrando con él los paneles de la puerta.

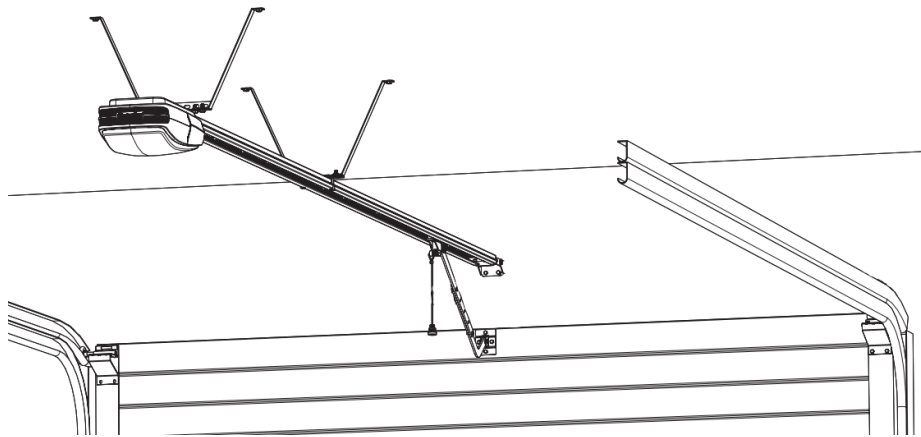


Figura 19: Conjunto de accionamiento [24]

La relación de movimiento entre el motor y el carro puede ser llevada a cabo de dos maneras distintas. En una de ellas, (fig. 20) se tiene una cadena colocada en dos engranajes, uno de ellos conectado al motorreductor, y el carro está unido a esta cadena. De modo que, cuando el motor ejerce un par sobre un engranaje, la cadena comienza a girar, provocando el movimiento del carro por la guía en un sentido u otro, dependiendo del sentido de giro del motor.

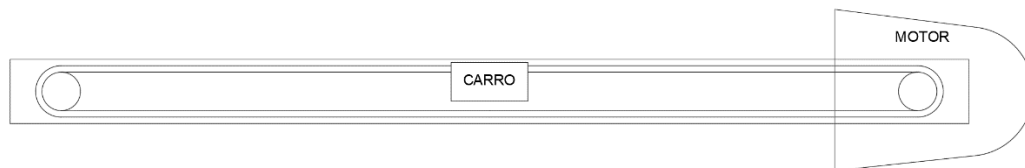


Figura 20: Accionamiento basado en la rotación de la cadena

En el otro caso (fig. 21), es el motorreductor el que se desplaza a lo largo de la guía, es decir, el motorreductor está en el carro que sujeta el brazo. Normalmente, se tiene una cadena extendida en línea recta a lo largo de la guía y cuando el motor ejerce un par, este y el carro, se desplazan por la cadena, como si se tratara de un piñón cremallera.

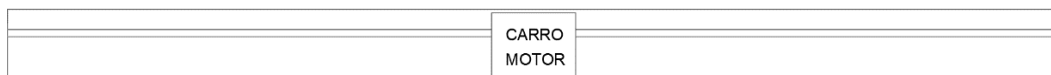


Figura 21: Accionamiento basado en una cadena actuando como cremallera

En este trabajo, se ha optado por basarse en este último modelo, pero en vez de usar una cadena, se hace uso de una cremallera acoplada a la guía (fig. 22). De modo que, el movimiento angular del motorreductor, se traduce en un movimiento lineal del carro y el motor a lo largo de la guía.



Figura 22: Accionamiento basado en la transmisión piñón-cremallera

5. DIMENSIONAMIENTO DE PUERTA SECCIONAL

5.1. MARCO

Debido a la geometría de la plaza de garaje, se necesita instalar unos marcos que sirven para ocultar el interior del garaje y proporcionar una base donde sujetar la estructura a las columnas. El marco está compuesto por varias piezas:

Hay diez piezas en forma de C de 50 mm de alto, con las dimensiones definidas en la figura 23.

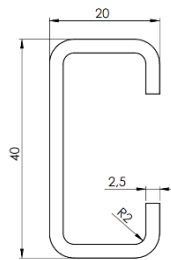


Figura 23: Perfil de la pieza en forma de C (Extracto del plano del perfil en C del marco)

Estos perfiles son taladrados a las columnas mediante tornillos M8 como en la representación de la figura 24.

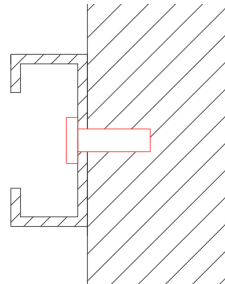


Figura 24: Unión del perfil en C con la columna

Se usan cinco perfiles de este tipo en cada columna, distribuidos equitativamente como en la figura 25.

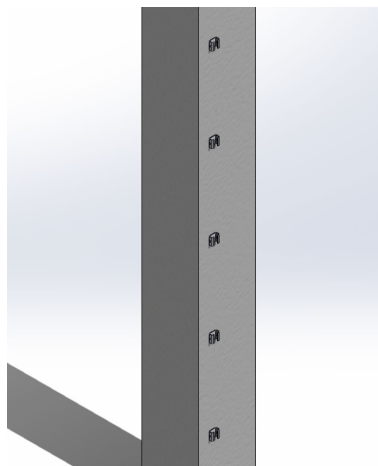


Figura 25: Distribución de las piezas en C en la columna

También se tienen dos piezas en forma de U (una en cada columna) de 2 725 mm de alto, con las dimensiones de la figura 26. Estas piezas recorren toda la columna de la plaza de aparcamiento.

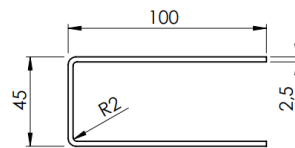


Figura 26: Perfil de la pieza en forma de U (Extracto del plano del perfil en U del marco)

Para unir las guías donde van las ruedas con estas piezas en U se utilizan dos piezas en L (una en cada columna) de 2 032 mm de alto, con las dimensiones de la figura 27.

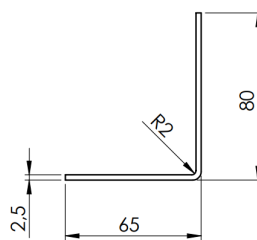


Figura 27: Perfil de la pieza en forma de L (Extracto del plano del perfil en L del marco)

Estas piezas en L se atornillan a las de forma en U mediante tres tornillos M8 según la figura 28. Los perfiles en forma de L, a su vez, se atornillan a cada guía vertical mediante dos tornillos M6 y a cada guía horizontal mediante un tornillo M6.

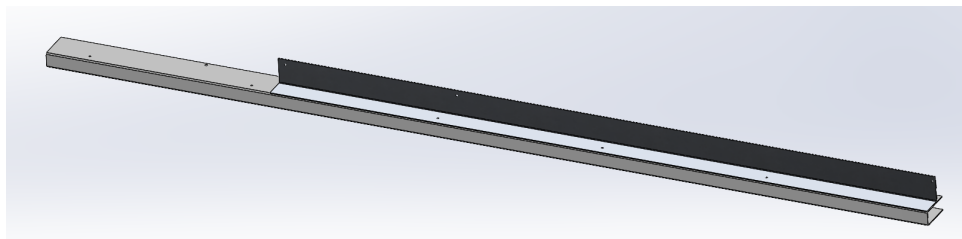


Figura 28: Unión entre las piezas en L y en U

La unión entre las piezas en L y U se puede ver más claramente en la figura 29.

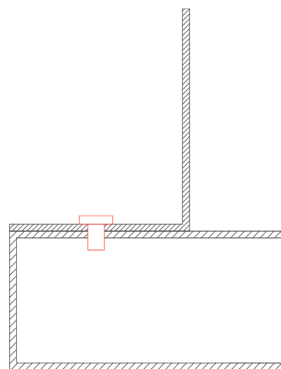


Figura 29: Representación simplificada de la unión entre las piezas en L y en U

Para poder unir el conjunto de las piezas L y U con las columnas, se debe anclar este conjunto con las piezas en C, atornilladas previamente a la columna. Esta unión se realiza mediante unos tornillos M8 que van de un lado al otro del perfil en U como se puede ver en la representación de la figura 30.

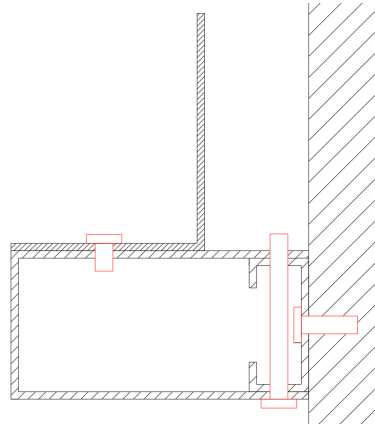


Figura 30: Representación simplificada de la unión entre las piezas de los marcos

Es importante que la unión entre las piezas en L y en U se haga antes que la unión con la pieza en C, para permitir que se puedan colocar las tuercas de las uniones.

También hace falta un embellecedor que tiene que cubrir la distancia al techo que los paneles no cubren. Se trata de una chapa de acero de $725\text{mm} \times 5745\text{mm} \times 2,5\text{mm}$ que se atornilla mediante dos tornillos M6 a cada uno de los perfiles en U y otros dos tornillos M6 a una pletina que lo une con el techo.

Todos los elementos están definidos en sus respectivos planos.

5.2. PANELES

Para que se cubra toda la fachada frontal, los paneles que componen la puerta deberán tener una anchura menor al hueco entre las columnas ($5\,745\text{ mm}$) y mayor que el hueco entre el marco ($5\,545\text{ mm}$). De modo que, su anchura será de aproximadamente $5\,605\text{ mm}$.

Los paneles pueden tener una altura de 500 mm o 610 mm , por lo que, con cuatro paneles de 500 mm se consigue una puerta seccional de 2 m de altura. Siendo así suficiente para la entrada de la mayoría de vehículos y personas. Además, estos paneles suelen tener un espesor de 40 mm .

En resumen, mediante cuatro paneles de $5\,605 \times 500 \times 40\text{ mm}^3$, haciendo un total de $5,605 \times 2\text{ m}^2$ se puede cubrir toda la fachada.

Estos paneles están compuestos por dos chapas de acero galvanizado y prelacado de alta resistencia a la oxidación. En el hueco entre ambas chapas hay una espuma de poliuretano de alta densidad que consigue un alto factor de aislamiento térmico y acústico y una gran resistencia mecánica.

En la figura 31 se muestra una representación simplificada de la estructura de la puerta de garaje.

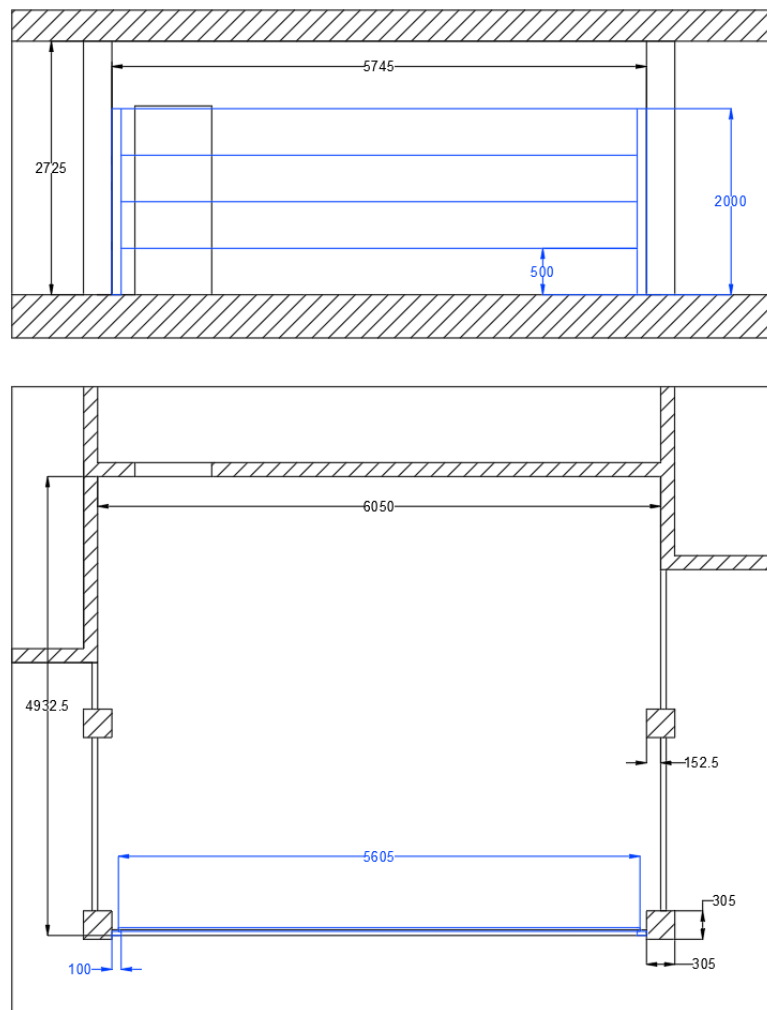


Figura 31: Representación simplificada de la puerta de garaje

Los paneles seleccionados son los paneles de Marcegaglia Buildtech con superficie externa unicanal que se pueden ver en [10] y [11] y en la figura 32.



Figura 32: Paneles Marcegaglia Buildtech

Los fabricantes de estos paneles estipulan que, por su geometría, se impide el aplastamiento accidental de las manos u otros cuerpos extraños durante el cierre del portón, conforme a la norma UNE 12604. Esto significa que la condición que se establecía en el apartado 2, se cumple.

Para algunos cálculos hay que conocer el peso de la puerta. Este peso consiste, mayoritariamente, en la suma de todos los paneles que conforman la puerta. Como estipula el fabricante, la densidad de la espuma oscila entre 40 y 42 kg/m^3 , pero hay que tener en cuenta

el peso de las chapas de acero. En este catálogo no se indica cual es el peso por metro cuadrado, pero si recurrimos a otros catálogos de paneles con densidades parecidas [25], se estipula que el peso por metro cuadrado es de $9,83 \text{ kg/m}^2$.

Como ya se ha expuesto anteriormente, se tienen cuatro paneles de $5605 \times 500 \times 40 \text{ mm}^3$, es decir, una superficie de $11,21 \text{ m}^2$ con un espesor de 40 mm . De modo que, con esta área y con un peso por metro cuadrado de $9,83 \text{ kg/m}^2$, el peso correspondiente a los paneles es de $110,2 \text{ kg}$, es decir, $1\,080 \text{ N}$.

5.3. BISAGRAS Y PORTARRUEDAS

La puerta seccional del garaje se compone de paneles que se conectan entre sí para formar una estructura sólida. Estos paneles están asegurados mediante dos tipos de bisagras estratégicamente ubicadas. Uno de estos tipos son las bisagras intermedias (fig. 33), que se colocan cuando la puerta es muy ancha como en este caso. Se sitúan en el centro de la anchura de los paneles, garantizando un ensamblaje estable. Las bisagras elegidas se encuentran en [12].

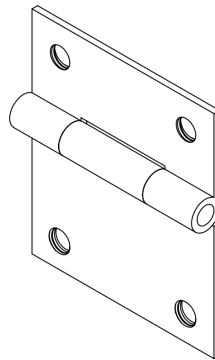


Figura 33: Bisagra intermedia

Por otro lado, el segundo tipo de bisagra son las bisagras y portarruedas laterales (fig. 34), que se sitúan en los extremos de cada panel. Estas bisagras, además de unir los paneles, desempeñan una función crucial al servir como soporte para las ruedas que permiten que la puerta seccional se desplace a lo largo de las guías. Las bisagras y portarruedas elegidas se encuentran en [13].

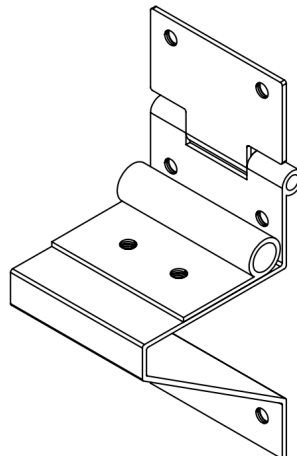


Figura 34: Bisagra y portarruedas lateral

También es importante tener portarruedas (fig. 35) en la parte inferior del panel más bajo y en la parte superior del panel más alto, en ambos laterales. Estas ruedas garantizan un movimiento fluido y uniforme de la puerta, mientras que las ruedas ubicadas en la unión entre paneles, donde se encuentran las bisagras, aseguran una transición sin inconvenientes a lo largo de toda la longitud de la puerta. Los portarruedas elegidos se encuentran en [14].

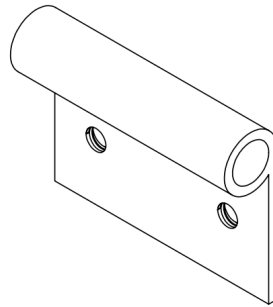


Figura 35: Portarruedas lateral inferior y superior

En la figura 36 se puede ver la distribución de las bisagras y los portarruedas en los paneles, y en la tabla 2 se muestran el número de elementos necesarios de cada tipo de bisagra y portarruedas.

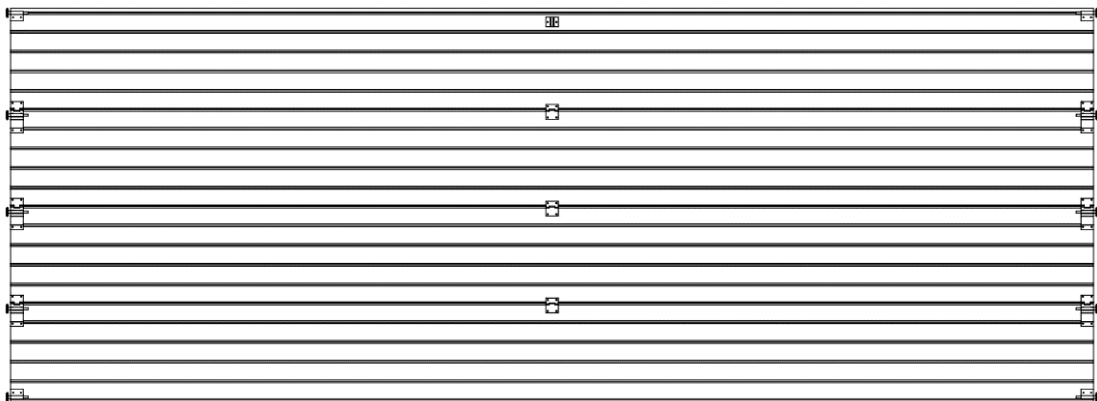


Figura 36: Ubicación de las bisagras y los portarruedas (Extracto del plano del conjunto de paneles, bisagras y portarruedas)

Tabla 2: Número de elementos de cada tipo de bisagra o portarruedas

Bisagra intermedia	3
Bisagra y portarruedas laterales	6
Portarruedas lateral	4

5.4. RUEDAS

Las ruedas permiten a los paneles deslizarse por las guías cuando la puerta es accionada. Las ruedas que se eligen, tienen que ser compatibles con las portarruedas previamente seleccionadas. Los ejes de las ruedas tienen que ser compatibles con los portarruedas, es decir, de 11 mm. Se eligen las ruedas de nylon de [15], que se pueden ver en la figura 37. Se necesitan tantas ruedas como portarruedas, es decir, diez ruedas en total.



Figura 37: Rueda de nylon

5.5. DISTRIBUCIÓN DE LAS RUEDAS ENTRE LAS GUÍAS

En total hay diez ruedas distribuidas entre las guías. Estas guías se dividen en tres partes: guía vertical, guía horizontal inferior y guía horizontal superior. La división de estas guías se ve en la representación simplificada de la figura 38.

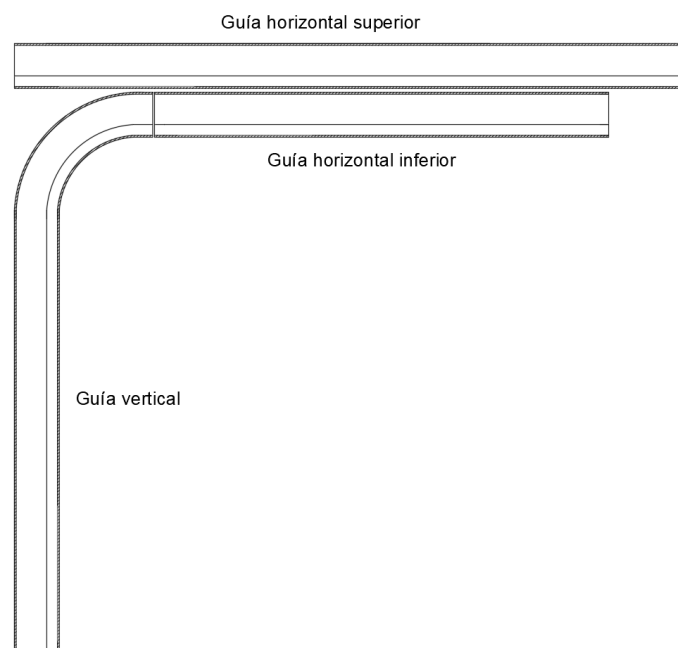


Figura 38: Representación simplificada de la distinción entre los tipos de guías

Ocho de las ruedas (cuatro a cada lado) siguen la trayectoria de las guías verticales y las guías horizontales inferiores, y las otras dos restantes (una a cada lado), siguen las guías horizontales superiores. Cuando la puerta se encuentra cerrada, las únicas ruedas que apoyan sobre las guías son las dos ruedas superiores en las guías superiores. Mientras que cuando la puerta se encuentra abierta, ocho ruedas apoyan sobre las guías horizontales inferiores y las otras dos apoyan sobre las guías horizontales superiores.

Distinguir estas dos situaciones es importante para entender los cálculos, porque el peso de la puerta se divide equitativamente entre las ruedas que apoyan en ese momento. En la situación de puerta cerrada, se tiene la situación más desfavorable para la guía horizontal superior. En esta situación el peso se reparte entre las dos ruedas que apoyan, de modo que, en cada una de las guías horizontales, se tiene una carga puntual que corresponde a la mitad del peso total. Esta distribución se puede ver en la figura 39.

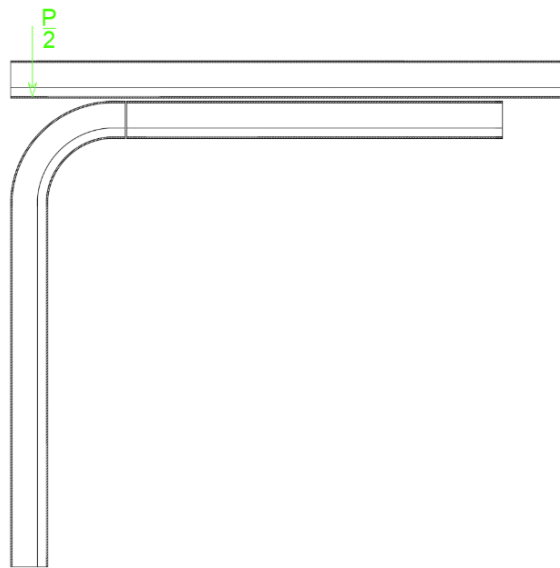


Figura 39: Cargas en situación de puerta cerrada

En la situación de puerta abierta, se tiene la situación más desfavorable para la guía horizontal inferior. En esta situación el peso se reparte entre las diez ruedas que apoyan, de modo que, se tienen diez cargas puntuales, que corresponde a la décima parte del peso total, repartidas por las guías horizontales inferiores. Es decir, en cada una de las guías horizontales inferiores, se tienen cuatro cargas puntuales que corresponde a la décima parte del peso total. Esta distribución se puede ver en la figura 40.

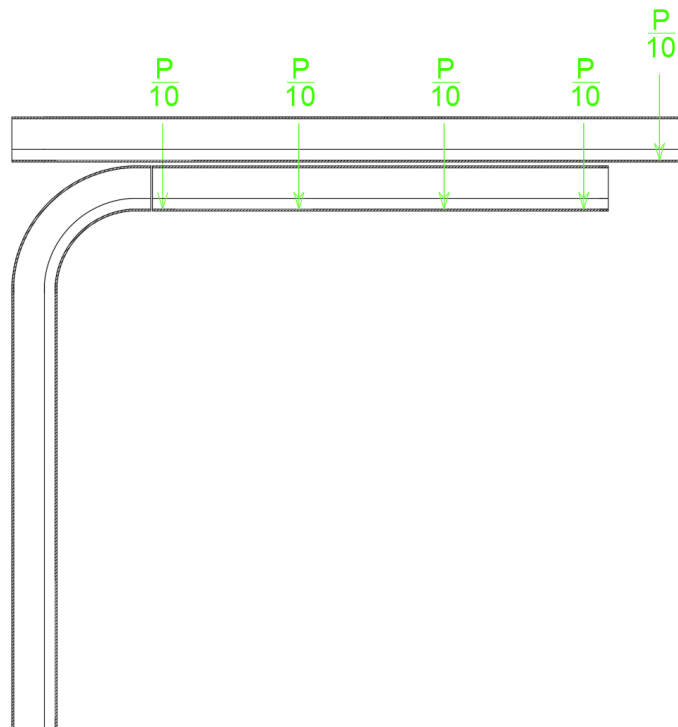


Figura 40: Cargas en situación de puerta abierta

5.6. BARRA DEL ACCIONAMIENTO

Como ya se ha expuesto en el apartado 4.2.3, se parte de un diseño de transmisión por piñón-cremallera. En esa situación, se tiene un carro que se desplaza junto con el motor a lo largo de la guía. Cuando este carro se desplaza, arrastra tras de sí los paneles que componen la puerta mediante una barra. Esta barra agarra los paneles por su hoja superior mediante una orejeta y un pasador, formando un ángulo con la horizontal. Este ángulo es elegido por diseño y cuando la puerta se encuentra en posición cerrada, es de aproximadamente 30° . En la figura 41 se puede ver la simplificación de esta unión.

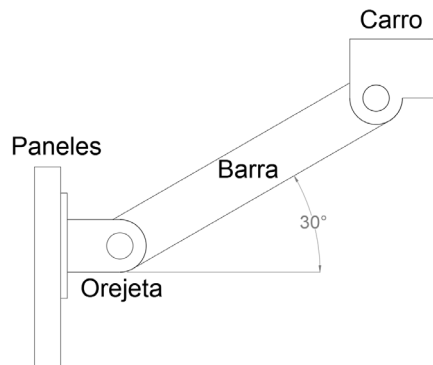


Figura 41: Unión entre el carro y los paneles

Para poder definir la longitud de la barra, además del ángulo, hay que definir la posición de la guía por la que se desliza el carro. Se parte de que la altura a la que se coloca esta guía es de aproximadamente 2186 mm , de modo que, para que la barra forme un ángulo de 30° cuando se encuentra cerrada (fig. 42), esta barra tiene que tener una longitud entre articulaciones de aproximadamente 653 mm .

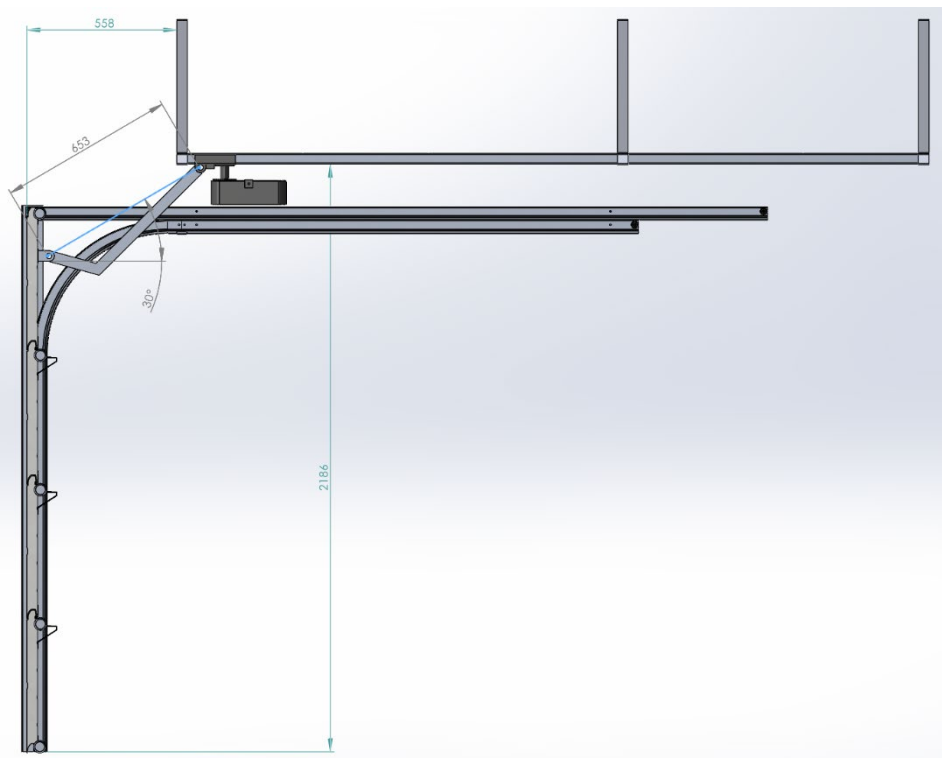


Figura 42: Puerta cerrada

Además, para que no colisione la barra con el panel superior de la puerta cuando se encuentra abierta (fig. 43), la barra no puede ser de un único tramo, debe estar hecha por dos tramos que formen un ángulo.

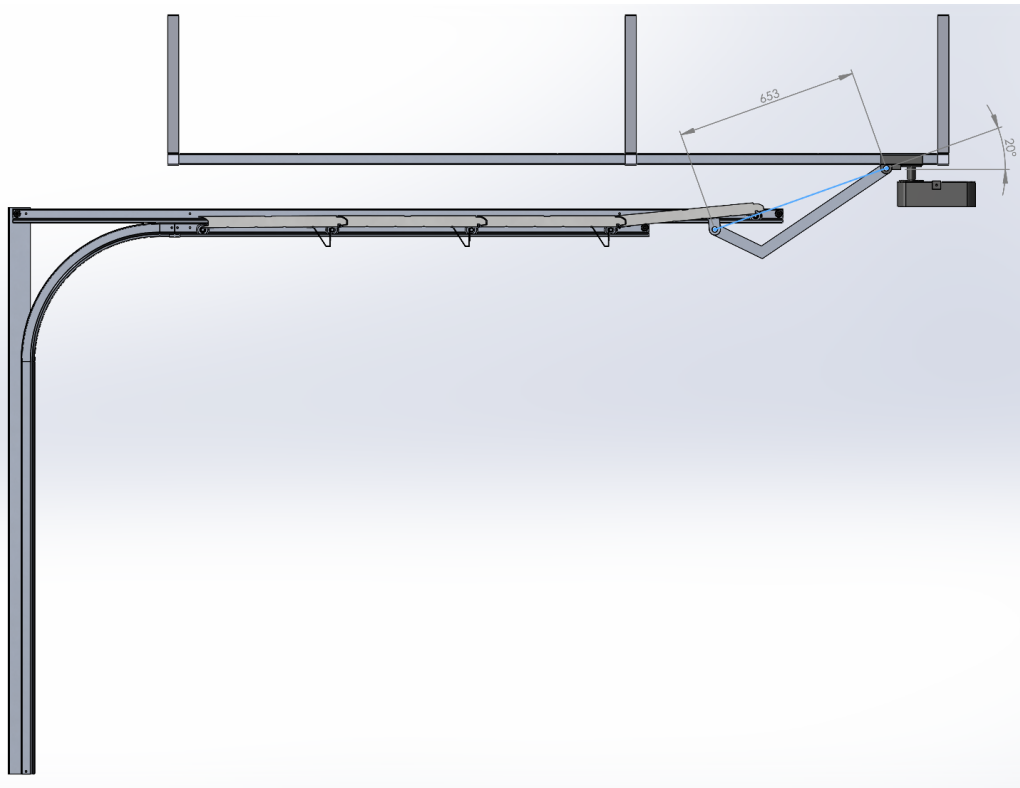


Figura 43: Puerta abierta

Las dimensiones de la barra se pueden ver en la figura 44.

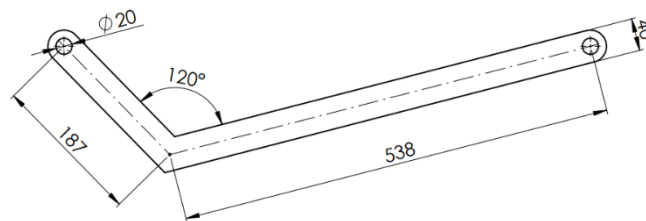


Figura 44: Extracto del plano de la barra

5.7. PIÑÓN Y CREMALLERA

Elegida la transmisión entre el motor y los paneles que componen la puerta, queda dimensionar la cremallera y definir el anclaje de esta.

La longitud de la cremallera tiene que ser suficiente para que el conjunto piñón-carro que se desplaza por ella, pueda arrastrar la puerta la distancia necesaria. Como la puerta se desplaza 2,27 m, después de añadir un margen de seguridad, la cremallera y la guía del carro tendrán que ser de al menos 2,8 m.

Esta cremallera va anclada a la guía que recorre el carro (de la misma longitud) mediante cinco uniones atornilladas de métrica 6 a lo largo de la parte superior de la guía del carro, según la figura 45.

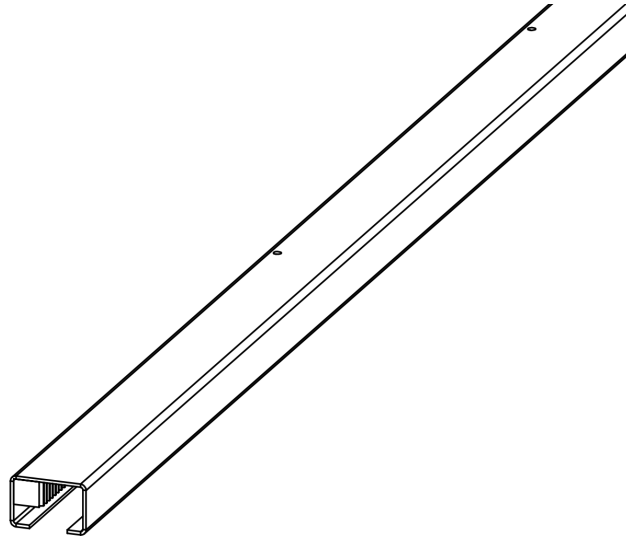


Figura 45: Unión entre la cremallera y la guía del carro

5.8. CARRO

El carro (fig. 46) es el elemento que sostiene el piñón, mediante el cual recorre la guía, y que sostiene la barra de accionamiento por uno de sus extremos. Este carro tiene que tener una geometría que permita ajustarse a las dimensiones internas de la guía y de la cremallera atornillada.

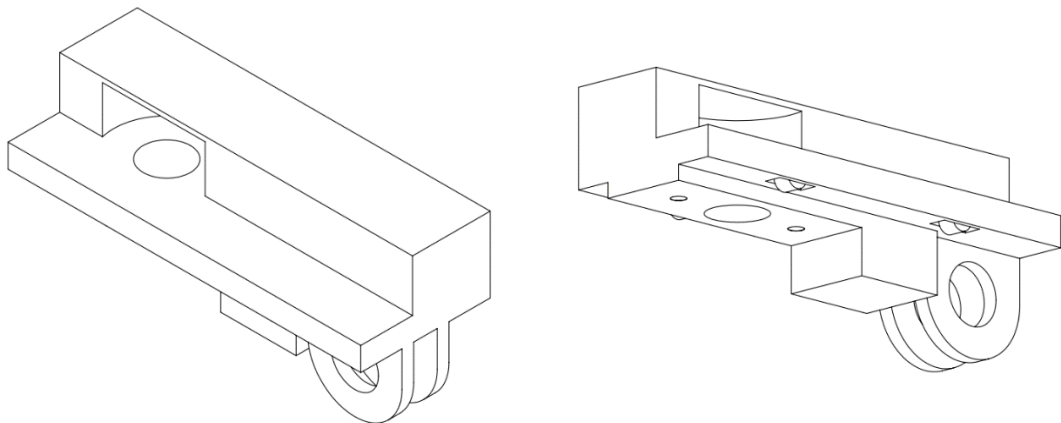


Figura 46: Carro

Este carro tiene unos rodamientos que actúan como ruedas y tiene dos orejetas que permiten unir la barra de accionamiento. También tiene que tener dos agujeros de métrica 6 que permiten atornillar la pieza de unión entre la caja que contiene el motor y el propio carro.

Las dimensiones de este carro se pueden apreciar en su plano.

5.9. MUELLES TORSIONALES

Los muelles de torsión (fig. 47) están diseñados para almacenar energía mecánica cuando se enrollan. Al abrir la puerta, los muelles se desenrollan y liberan esa energía, lo que ayuda a levantar la puerta con facilidad. De manera similar, al cerrar la puerta, los muelles se enrollan de nuevo, lo que permite que la puerta baje de forma controlada y segura.

Los muelles de torsión mantienen el equilibrio de la puerta para evitar que se tambalee o se incline durante su movimiento y reducen el esfuerzo necesario para operar la puerta, y de esta forma, protegen el motor y el sistema de apertura de la puerta al absorber parte del estrés y evitar el desgaste excesivo.

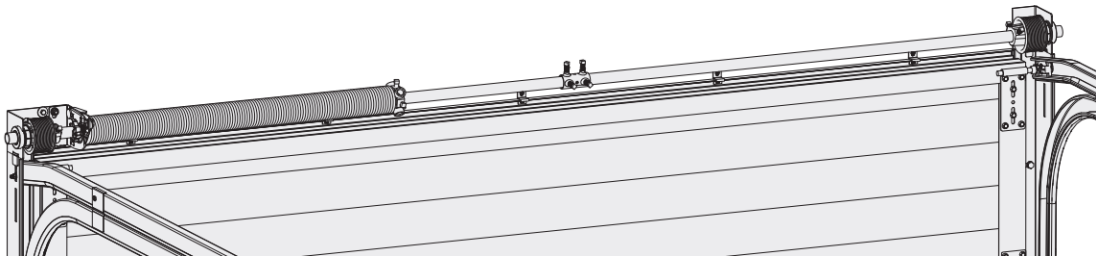


Figura 47: Muelle torsional [26]

La selección de muelles torsionales está definida en el apartado 6, donde se estima que estos muelles se encargan de hacer frente a un veinte por ciento del peso total. Los muelles finalmente seleccionados están definidos en [16].

Para que los muelles hagan su función, necesitan un eje en el que colocarse. Además, necesitan ser unidos a las ruedas inferiores mediante un cable de acero y este cable de acero se enrolla en el tambor definido en [17]. También necesita unos apoyos para sujetar los muelles torsionales a la estructura: por un lado, dos pletinas que sujetan el muelle [18] y por otro, un apoyo con rodamiento [19] que permite unir el eje a las columnas. Estos elementos y sus posiciones se pueden ver en la figura 48.

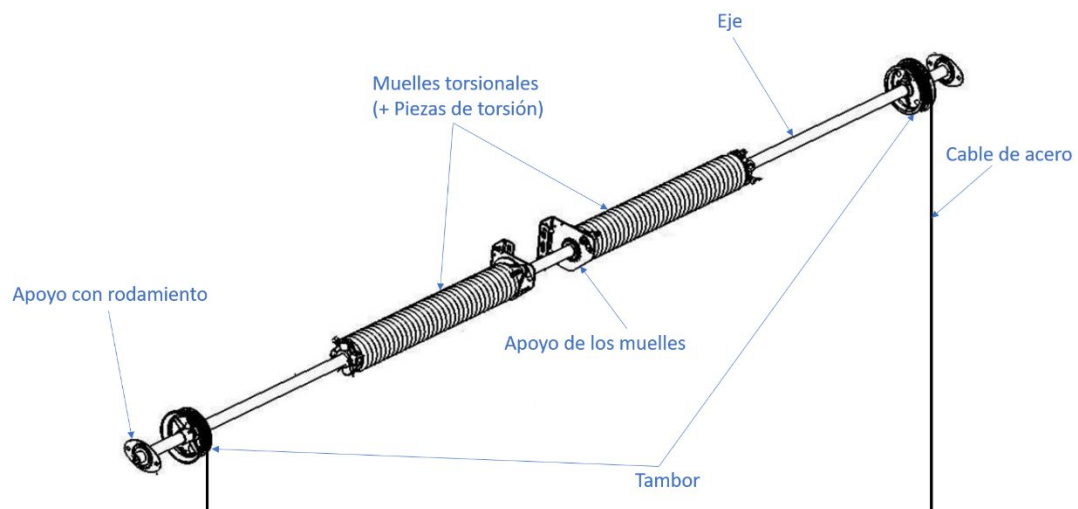


Figura 48: Partes del conjunto de los muelles torsionales

5.10. ELEMENTOS DE GOMA DE SEGURIDAD

Hay ciertos elementos de seguridad que no son obligatorios pero que sirven para garantizar que no surjan accidentes en pleno funcionamiento. Estos elementos están en la tabla 3 y son accesorios para dificultar el acceso de individuos a zonas de peligro o servir de amortiguador ante golpes. Estos elementos seleccionados están presentes en [20], [21] y [22].

Tabla 3: Elementos de goma de seguridad

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	IMAGEN
Goma de las guías verticales	2	
Goma del panel inferior	1	
Goma del panel superior	1	

6. CÁLCULOS ANALÍTICOS

6.1. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE AVANCE

Para poder dimensionar la puerta de garaje, hay que calcular la velocidad de avance de la puerta.

Para ello, a partir del radio del piñón, que se estima de 36 mm , y el número de dientes del piñón, que se estima de 18 dientes , se obtiene que el módulo es igual a 4.

Con el módulo, se calcula el paso circunferencial, que es el inverso del número de dientes por longitud que tiene la cremallera. La cremallera tiene $0,8\text{ dientes/cm}$

Con el número de dientes por milímetro, se obtiene que el número de vueltas que da el piñón para recorrer toda la longitud de la cremallera es de 10.

Para determinar la velocidad angular, se fija un tiempo de 25 s , que corresponde al tiempo que le costará a la puerta abrirse o cerrarse, y se obtiene una velocidad angular de 24 rpm .

Con la velocidad angular y el radio del piñón, se obtiene que la velocidad de avance del piñón por la cremallera es de $0,09\text{ m/s}$.

Los cálculos planteados están desarrollados en el apartado A.1 del Anexo A.

6.2. CÁLCULO DEL MOTORREDUCTOR

Conocido el dato del peso total de la puerta ($P = 1\,080\text{ N}$), se procede a elaborar el diagrama de sólido libre del sistema simplificado (fig. 49), donde se estima que el coeficiente de rozamiento de las ruedas de nylon es $0,45$ [23] y del carro es de $0,47$ [8], y el ángulo que forma el brazo con la horizontal es de 30° .

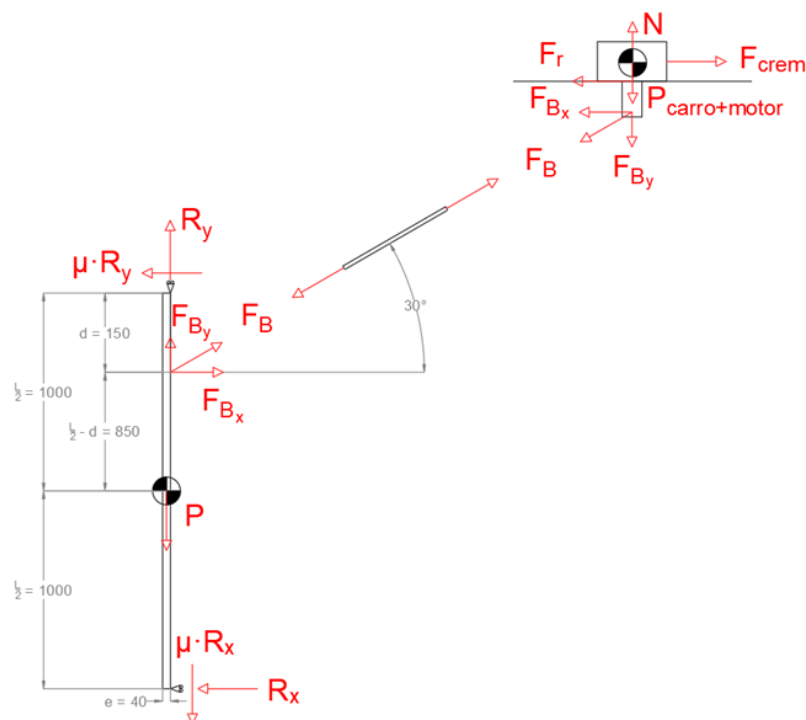


Figura 49: Diagrama de sólido libre del conjunto simplificado

Aplicando las ecuaciones A.8-A.14 del Anexo A, se resuelve el diagrama de sólido libre y se obtienen los valores de las fuerzas.

$$\begin{aligned} F_B &= 479,8 \text{ N} & F_{B_x} &= 415,5 \text{ N} & F_{B_y} &= 239,9 \text{ N} & R_x &= 31,16 \text{ N} \\ R_y &= 854 \text{ N} & F_r &= 140,4 \text{ N} & F_{crem} &= 555,9 \text{ N} & N &= 298,7 \text{ N} \end{aligned}$$

Se obtiene que el par mínimo necesario para elevar la puerta es de $20\,012,4 \text{ Nmm}$, siendo el par útil de $22\,236 \text{ Nmm}$.

Para cumplir con las especificaciones, se elige el *motorreductor DC Doga serie 259* (fig. 50 y tabla 4) de 25 Nm y 25 rpm [9].



Figura 50: Motorreductor DC Doga serie 259

Tabla 4: Especificaciones del motorreductor DC Doga 259.9008.30.00

REFERENCIA REFERENCE NUMBER REFERENZNUMMERN	TENSION NOMINAL NOMINAL VOLTAGE NOMINALE NENNSPANNUNG	POTENCIA NOMINAL NOMINAL TORQUE NOMINALE DREHMOMENT	VELOCIDAD NOMINAL NOMINAL SPEED NOMINALE GEWINDIGKEIT	CORRIENTE NOMINAL NOMINAL CURRENT NOMINALE LAUFSTROM	POTENCIA DE ARRANQUE STARTING TORQUE ANFAHRTDREHMOMENT	CORRIENTE DE ARRANQUE STARTING CURRENT ANFAHRTSTROM	EJE SHAFT WELLE	CONEXIONES CONNECTIONS ANSCHLÜSSE	ESQUEMA ELECTRICO WIRING DIAGRAM SCHALTBILD	REDUCCION REDUCTION REDUKTION	TRANSMISION RATIO RAPPORT DE REDUCTEUR UNTERSETZUNG	PESO APROXIMADO APPROXIMATE WEIGHT PODS APPROXIMATIF GEWICHT (ca.)	GRADO DE ESTANQUEIDAD WATER TIGHTNESS TAUGLICHKEIT FÜR FEUCHTIGKEITSSCHUTZKLASSE	MATERIAL RUEDA WHEEL MATERIAL MATERIAL ROUE	DISEÑO A.B.C DESIGN A.B.C ABBILDUNG A.B.C	CURVA CURVE COURBE
	Un (V)	Mn (N.m./lbf.in)	n (r.p.m.)	In (A)	Ma (N.m./lbf.in)	Ia (A)				i		P (kg/lb)	IP			
259.3710.20.00	12	20 / 177	22	13.8	130 / 1150	60	E37	C34	EE2	50:1	5.90 / 13	IP53	PLA	A	20	
259.3710.30.00	24	20 / 177	22	6	130 / 1150	30	E37	C34	EE2	50:1	5.90 / 13	IP53	PLA	A	20	
259.9001.20.00	12	15 / 132.7	40	18	120 / 1062	98	E37	C34	F2	50:1	5.90 / 13	IP53	PLA	A	21	
259.9001.30.00	24	15 / 132.7	40	9	120 / 1062	49	E37	C34	F2	50:1	5.90 / 13	IP53	PLA	A	21	
259.9008.30.00	24	25 / 221	25	7	135 / 1195	30	E37/E51	C34	EE2	50:1	5.90 / 13	IP40	PLA	B	22	
259.9016.30.00	24	20 / 177	22	6	130 / 1150	30	E37	C34	EE2	50:1	5.90 / 13	IP53	CEL	A	20	

Como la velocidad máxima que se estipula en la norma es de $0,3 \text{ m/s}$ y el motor ofrece $0,09375 \text{ m/s}$, se confirma que el motor reductor elegido es capaz de hacer el trabajo con las especificaciones del diseño deseadas.

Los cálculos planteados están desarrollados en el apartado A.2 del Anexo A.

También es pertinente comprobar que si el motor finalmente elegido es capaz de elevar un cuerpo de 20 kg tal y como dicta la norma UNE-EN 12453:2018+A1:2022. Se repiten los cálculos con un peso total de $1\,276 \text{ N}$, que corresponden al peso de la puerta y los 20 kg extra.

Se obtiene que el motor necesita ejercer un par útil de $26\,068 \text{ Nmm}$ para elevar todo el peso establecido y como el motor elegido no es capaz de ejercer un par superior a 25 Nmm , se puede confirmar que no se necesitarán elementos de protección en este aspecto.

Los cálculos planteados están desarrollados en el apartado A.3 del Anexo A.

6.3. CÁLCULO DEL PIÑÓN-CREMALLERA

Una vez obtenida la velocidad que debe tener el piñón, se hace el cálculo a flexión y a desgaste de la transmisión por piñón-cremallera.

Se necesita conocer el par del piñón corregido, que corresponde al par del piñón multiplicado por dos factores de corrección: el factor de servicio (f_s) y el factor de esfuerzos dinámicos (f_d). Estos factores se obtienen de tablas definidas en [5].

Otro factor importante para hacer el cálculo a flexión y a desgaste, es el cálculo de la rigidez y para ello se necesita conocer el ancho de la cara, que en este caso se considera de 20 mm por consideraciones de diseño.

Para obtener el coeficiente de Lewis se utilizan las tablas disponibles en [5], donde para un engranaje de 20º y 18 dientes, se determina que el valor del coeficiente de Lewis (y) es de 0,098.

Con los datos necesarios calculados, se puede obtener con la ecuación 1 que la tensión admisible que tiene que tener el material del piñón para poder soportar a flexión es de 32,67 MPa.

$$M = 0,86 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{tc}}{\delta \cdot Z \cdot y \cdot \sigma_{adm}}} \rightarrow \sigma_{adm} = 32,67 \text{ MPa} \quad \text{Ec. 1}$$

Una vez hecho el cálculo a flexión, toca hacer el cálculo a desgaste. Para este cálculo hay que determinar que el material es un acero, por lo que su módulo de elasticidad, es igual a 210 GPa.

Hay que tener en cuenta que como la relación de transmisión entre el piñón y la cremallera es de infinito, el cociente de $\frac{1+i}{i}$ será aproximadamente la unidad. Aplicando la ecuación 2, se calcula el coeficiente de presión de rodadura.

$$M = \sqrt[3]{\frac{1}{\delta \cdot Z^2} \cdot \frac{4 \cdot M_{tc}}{k_r \cdot \sin(2\alpha)} \cdot \frac{1+i}{i}} \rightarrow k_r = 1,74 \text{ MPa} \quad \text{Ec. 2}$$

Un parámetro necesario es la duración en horas de funcionamiento, que en este caso se considera de aproximadamente de 390,7 horas, por considerar que la puerta se usa 8 veces al día durante 10 años. De este valor se puede obtener la duración en millones de vueltas.

La condición que se debe cumplir para que no exista fallo por desgaste, es que el coeficiente de presión de rodadura admisible sea igual o mayor al coeficiente de presión de rodadura calculado. Por lo que, mediante la ecuación 3 se obtiene que la dureza que tiene que tener el material del piñón es de 672,3 MPa.

$$k_r = k_r^{adm} = 0,677 \frac{HB^2}{E \cdot L^{1/3}} \rightarrow HB = 672,3 \text{ MPa} \quad \text{Ec. 3}$$

Como conclusión, para el piñón se necesita un material con una tensión superior a 32,67 MPa y una dureza superior a 672,3 MPa. Por ejemplo, un acero al carbono válido es el F-111 [5], que tiene una tensión de 140 MPa y una dureza de entre 1 100 MPa y 1 350 MPa.

En el caso de la cremallera, se toma el mismo material que el piñón, ya que, en una transmisión, la conducida puede permitirse tener menor o igual resistencia y dureza.

Los cálculos planteados están desarrollados en el apartado A.4 del Anexo A.

6.4. CÁLCULO DE LOS MUELLES TORSIONALES

Para calcular los muelles torsionales, se considera que los muelles hacen frente a aproximadamente $4,5 \text{ Nm}$, el 20% del par útil.

Se toman unas dimensiones del muelle torsional preliminares, siendo el diámetro del alambre 6 mm y el diámetro de la espira de 67 mm .

Con la geometría definida, se calcula K_i y con esta, la tensión debida a la torsión a la que está sometido el muelle mediante la ecuación 4 de [6].

$$\sigma = \frac{32 \cdot K_i \cdot M}{\pi \cdot d^3} = 227,5 \text{ MPa} \quad \text{Ec. 4}$$

Otro parámetro necesario es la tensión de fluencia del material. Para obtenerlo se toma el material menos resistente, el alambre estirado puro ($A_p = 1750 \text{ MPa}$ y $m = 0,192$) de [6], y se obtiene que su tensión de fluencia es de $930,5 \text{ MPa}$.

Una vez se tienen calculadas las tensiones, se obtiene que el coeficiente de seguridad es 4,09. Como es mayor que 3,5 se puede garantizar su seguridad.

Para terminar de definir los muelles, se calcula que su número de espiras mínimo es de 532 espiras, mediante la ecuación 5 de [6].

$$n^{\circ} \text{ vueltas} = \frac{32 \cdot M \cdot D \cdot N_a}{\pi \cdot E \cdot d^4} \rightarrow N_a \approx 532 \text{ espiras} \quad \text{Ec. 5}$$

Con el número de espiras calculado, se obtiene que la longitud mínima de los muelles debe ser de $3,2 \text{ m}$. Como la longitud es muy grande, se cogen dos muelles de las dimensiones antes establecidas, pero con la mitad de la longitud obtenida.

En resumen, se seleccionan dos muelles de diámetro de espira de 67 mm , diámetro de alambre de 6 mm y de longitud 1610 mm de [16].

Los cálculos planteados están desarrollados en el apartado A.5 del Anexo A.

6.5. CÁLCULO DE LAS GUÍAS

Las guías están compuestas por perfiles abiertos de aluminio con una forma parecida a una C. A partir de unas dimensiones preliminares se exponen a diversas situaciones desfavorables donde puede traducirse en fallo para comprobar su seguridad. Las dimensiones inicialmente propuestas del perfil se pueden ver en la figura 51.

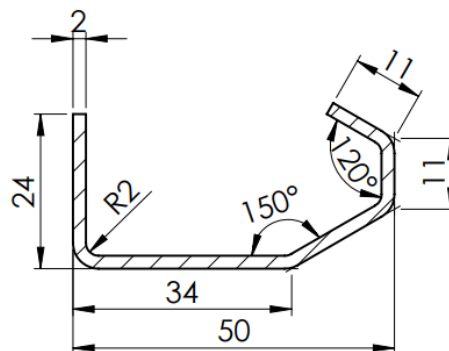


Figura 51: Perfil de las guías acotado (Extracto del plano de la guía horizontal inferior izquierda)

6.5.1. Cálculo del perfil de las guías horizontales

Un cálculo que se puede hacer para comprobar que el perfil de las guías horizontales soporta los esfuerzos a los que está sometido, es hacer el diagrama de esfuerzos de la guía y analizar el perfil más desfavorable. Para hacer este cálculo se recurre a la guía horizontal inferior cuando la puerta se encuentra totalmente abierta, porque está sometida a mayores esfuerzos (fig. 52).

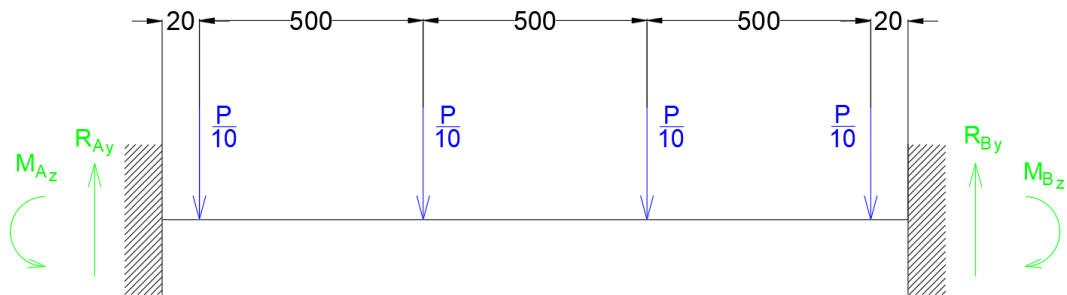


Figura 52: Representación simplificada de la guía horizontal inferior en situación de puerta abierta

De la guía horizontal inferior se obtienen las reacciones en los empotramientos y los diagramas de esfuerzos (fig. 53).

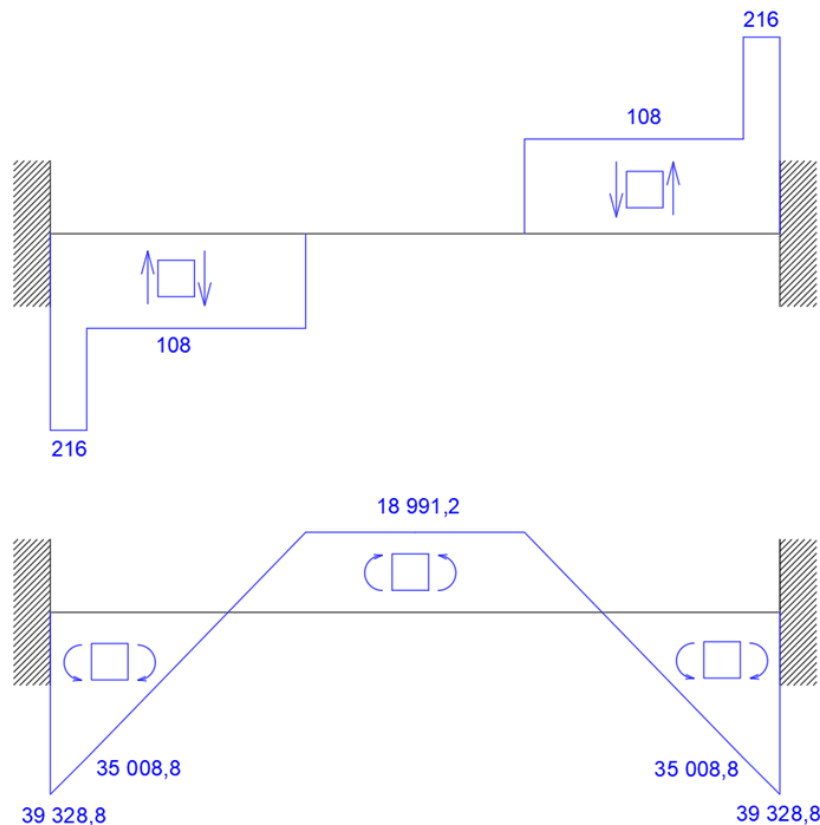


Figura 53 Diagramas de esfuerzos de cortante y flector de la guía horizontal inferior

Con los diagramas de esfuerzos calculados, se identifica cual es la sección de la guía más desfavorable, que en este caso es el empotramiento, sometida a un cortante de 216 N y a un momento flector de 39 328,8 Nmm. Se calcula la tensión máxima y se obtiene que la tensión de fluencia mínima es de 48,1 MPa siguiendo las ecuaciones 6 y 7.

$$\sigma_x^{max} = \frac{M_z}{I_z} y_{max} = 13,74 \text{ MPa} \quad \text{Ec. 6}$$

$$CS = \frac{\sigma_F}{\sigma_x^{max}} \rightarrow \sigma_F = 48,1 \text{ MPa} \quad \text{Ec. 7}$$

Los cálculos planteados están desarrollados en el apartado B.1 del Anexo B.

6.5.2. Cálculo del espesor del perfil de las guías horizontales

Para afirmar que el espesor del perfil de las guías horizontales puede soportar el peso total de la puerta, hay que comprobar que la sección del perfil puede soportar la fuerza a tracción y el momento flector generados por el peso.

Su comprobación se vuelve a basar en la guía horizontal inferior cuando la puerta se encuentra en posición de apertura. Esta guía se divide en 4 segmentos iguales y a cada uno se le aplica la fuerza puntual que le corresponde (fig. 54).

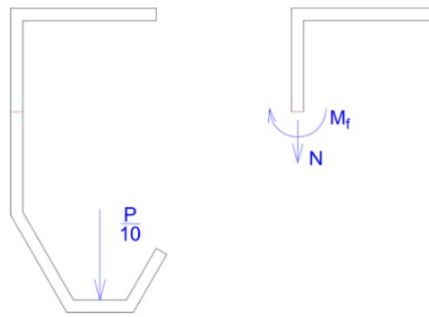


Figura 54: Perfil sometido a la carga puntual

Una vez detectada la sección más desfavorable, se obtiene la tensión máxima y la tensión de fluencia mínima que permite la selección del material necesario para garantizar que no rompa. Estos resultados se obtienen de las ecuaciones 8 y 9.

$$\sigma_x^{max} = \frac{N}{A} + \frac{M_f}{I_z} y_{max} = 4,487 \text{ MPa} \quad \text{Ec. 8}$$

$$CS = \frac{\sigma_F}{\sigma_x^{max}} \rightarrow \sigma_F = 15,7 \text{ MPa} \quad \text{Ec. 9}$$

Los cálculos planteados están desarrollados en el apartado B.2 del Anexo B.

6.5.3. Cálculo del perfil de las guías verticales

Para calcular el perfil de las guías verticales se repite el mismo procedimiento que con el cálculo del perfil de las guías horizontales. Se hace el diagrama de esfuerzos de la guía, se analiza el perfil más desfavorable y se calcula la tensión de fluencia mínima exigida.

Para hacer este cálculo, se tiene en cuenta la fuerza del viento, que, para una velocidad del viento de 17 m/s [28], es de 180,6 N/m² según la ecuación 10 de [27].

$$Q_v = 0,5 \cdot \rho_{aire} \cdot v^2 = 180,6 \text{ N/m}^2 \quad \text{Ec. 10}$$

El área que va a ser expuesta es de 11,49 m², por lo que, la fuerza puntual que se transmite al perfil es de 1 037,7 N.

Se repiten los cálculos y se obtiene que la tensión de fluencia mínima que debe tener el material del que están fabricadas las guías verticales es de $155,5 \text{ MPa}$.

Después de comprobar todas las guías, se toma como tensión de fluencia común de las guías verticales y horizontales, la tensión máxima obtenida. Por lo que, la tensión de fluencia, que permite la selección del material necesario para garantizar que no rompa las guías, es de $155,5 \text{ MPa}$.

Los cálculos planteados están desarrollados en el apartado B.3 del Anexo B.

6.6. CÁLCULO DE LAS UNIONES ATORNILLADAS DE LAS GUÍAS

Para el cálculo de las uniones atornilladas de las guías, se va a diferenciar entre las uniones de las guías horizontales inferiores y superiores, y las guías verticales según el modelo simplificado en la figura 55.

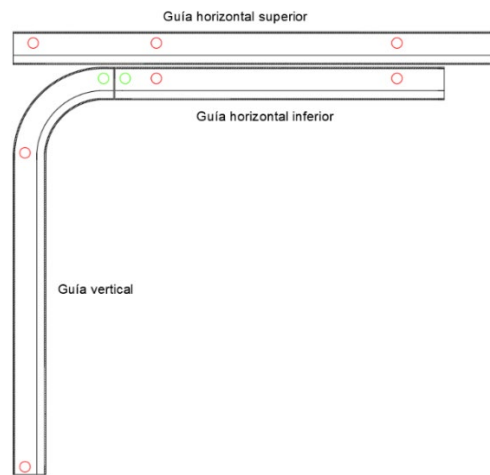


Figura 55: Representación simplificada de las guías y sus uniones

En la figura 55 también se puede distinguir las uniones que se consideran para los cálculos (en rojo) y las uniones que no son consideradas (en verde). Estas uniones no se tienen en cuentas porque son uniones que solo sirven para unir las guías verticales y las guías horizontales inferiores, no tienen tanta importancia en su sujeción e inmovilización como el resto de uniones.

6.6.1. Cálculo de las uniones atornilladas de las guías horizontales inferiores

El cálculo de las uniones atornilladas de las guías horizontales inferiores se realiza considerando la situación más crítica, cuando la puerta está en posición de apertura (fig. 56).

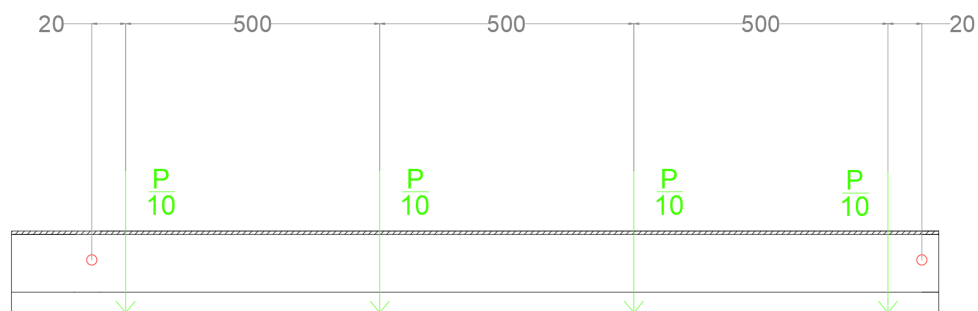


Figura 56: Representación simplificada de la guía inferior en situación de puerta abierta

Para esta unión se eligen tornillos M6x1, con un diámetro nominal de 6 mm y un paso de 1 mm, fabricados con un acero de calidad 4.8 que tienen una tensión de fluencia de 340 MPa.

Una vez seleccionados los tornillos, se procede a identificar las tensiones a las que están sujetas las uniones. Se considera tanto la fuerza de cortadura; como la tracción debida a la flexión, considerando la fuerza de apriete con un coeficiente de separación específico de 3,5 y una constante de reparto de 0,2.

Se calculan las tensiones normales debido a la tracción y las tensiones cortantes debido al cortante siguiendo las ecuaciones entre 11 y 13.

$$\tau = \frac{F_{cort}}{A_r} = 10,73 \text{ MPa} \quad \text{Ec. 11}$$

$$\sigma = \frac{F_{tracc,total}}{A_r} = 26,03 \text{ MPa} \quad \text{Ec. 12}$$

$$\tau^{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} = 16,87 \text{ MPa} \quad \text{Ec. 13}$$

Con la tensión máxima calculada, se aplica la ecuación 14 y se obtiene que el coeficiente de seguridad de la unión atornillada es de 10,08. El coeficiente de seguridad obtenido confirma que la unión con los tornillos M6 es lo suficientemente resistente al ser superior a 3,5.

$$CS = \frac{\sigma_{F,tor}}{2 \cdot \tau^{max}} = 10,08 \quad \text{Ec. 14}$$

Los cálculos planteados están desarrollados en el apartado B.4.1 del Anexo B.

Para que los tornillos usados en estas uniones no interfieran con el paso de la rueda, se seleccionan unos tornillos con poca longitud de cabeza y con una forma abombada. Los tornillos finalmente seleccionados para todas las uniones con las guías son los ISO 7380.

6.6.2. Cálculo de las uniones atornilladas de las guías horizontales superiores

El análisis de las uniones atornilladas de las guías horizontales superiores se centra en la situación más crítica, cuando la puerta se encuentra en posición de cierre, siendo esta la condición más desfavorable para dichas uniones. Se puede ver la representación en la figura 57.

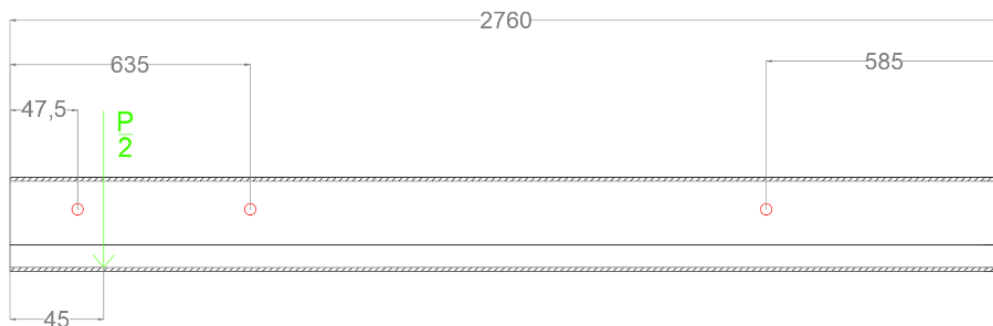


Figura 57: Representación simplificada de la guía superior en situación de puerta cerrada

Para esta unión se eligen tornillos M6x1, con un diámetro nominal de 6 mm y un paso de 1 mm, fabricados con un acero de calidad 4.8 que tienen una tensión de fluencia de 340 MPa.

Se procede a identificar las tensiones a las que están sujetas las uniones. Por un lado, se evalúan las tensiones por cortante primario y secundario, y por otro lado, el cortante primario y la tracción debida a la flexión.

El cortante secundario surge como resultado de la torsión generada por el cortante primario.

Se analiza el tornillo más crítico, que enfrenta las mayores cargas de cortante total, y se obtiene que este tornillo tiene un coeficiente de seguridad de 9,5.

En la tracción, se tiene en cuenta la fuerza de apriete, calculada utilizando un coeficiente de separación de 3,5 y una constante de reparto de 0,2. De las acciones del cortante primario y la flexión, se obtiene un coeficiente de seguridad de 12,09.

Los coeficientes de seguridad obtenidos confirman la resistencia de la unión con tornillos M6x1.

Los cálculos planteados están desarrollados en el apartado B.4.2 del Anexo B.

6.6.3. Cálculo de las uniones atornilladas de las guías verticales

El cálculo de las uniones atornilladas de las guías verticales se realiza considerando la fuerza del viento (fig. 58).

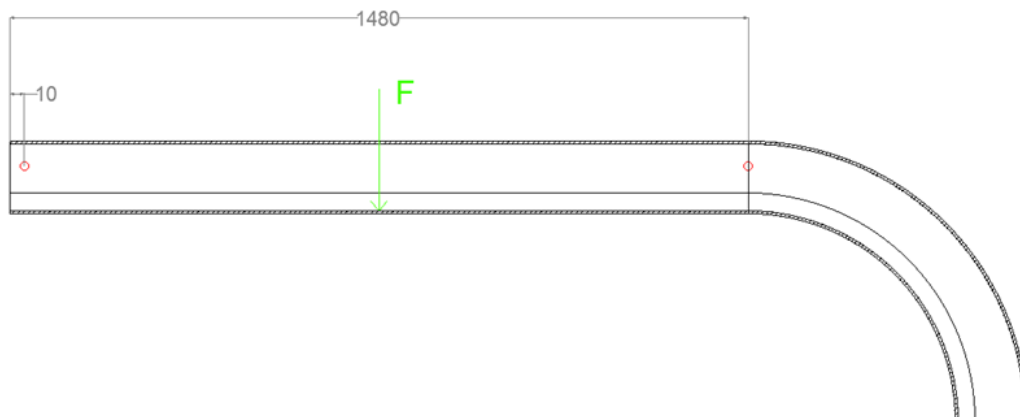


Figura 58: Representación simplificada de la guía vertical sometida a la fuerza del viento

La fuerza del viento que se toma es de 1 037,7 N, calculada previamente en el apartado 6.5.3.

Para esta unión se eligen tornillos M6x1, con un diámetro nominal de 6 mm y un paso de 1 mm, fabricados con un acero de calidad 4.8 que tienen una tensión de fluencia de 340 MPa.

Una vez seleccionados los tornillos, se procede a identificar las tensiones a las que están sujetas las uniones. Se considera tanto la fuerza de cortadura; como la tracción debida a la flexión, considerando la fuerza de apriete con un coeficiente de separación específico de 3,5 y una constante de reparto de 0,2.

Se calculan las tensiones normales debido a la tracción y las tensiones cortantes debido al cortante siguiendo las ecuaciones entre 15 y 17.

$$\tau = \frac{F_{cort}}{A_r} = 25,78 \text{ MPa}$$

Ec. 15

$$\sigma = \frac{F_{tracc,total}}{A_r} = 66,42 \text{ MPa} \quad \text{Ec. 16}$$

$$\tau^{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} = 42,04 \text{ MPa} \quad \text{Ec. 17}$$

Con la tensión máxima calculada, se aplica la ecuación 18 y se obtiene que el coeficiente de seguridad de la unión atornillada es de 4,043. El coeficiente de seguridad obtenido confirma que la unión con los tornillos M6 es lo suficientemente resistente al ser superior a 3,5.

$$CS = \frac{\sigma_{F,tor}}{2 \cdot \tau^{max}} = 4,043 \quad \text{Ec. 18}$$

En este caso, el coeficiente de seguridad es muy próximo al valor mínimo exigido de 3,5. Como se ha considerado una fuerza de apriete para evitar la separación, es posible que, si se le añade una precarga superior, la unión no cumpla el coeficiente de seguridad mínimo exigido. Por lo que se añade un tornillo más a la unión y se repiten los cálculos.

Una vez se han repetido los cálculos con una unión de tres tornillos, el valor obtenido del coeficiente de seguridad es de 6,065, un valor más alejado del mínimo y que ofrece una seguridad extra.

Los cálculos planteados están desarrollados en el apartado B.4.3 del Anexo B.

6.6.4. Cálculo de rigidez de las guías horizontales inferiores

Para asegurarse de que las guías soportan el peso y no se curvan, se hace un cálculo de rigidez de las guías inferiores en situación de puerta abierta. Este cálculo permite conocer la flecha vertical que aparece en las guías al estar sometidas al peso de los paneles.

Recurriendo al prontuario [7], se obtiene un valor de flecha de 0,5469 mm, que es lo mismo que 0,3551 mm/m. Este es un valor razonablemente alto, si tenemos en cuenta que los tornillos no son realmente apoyos empotrados. Por lo que, para evitar problemas, se coloca un apoyo extra en el punto medio.

Los cálculos planteados están desarrollados en el apartado A.6.4 del Anexo A.

6.7. CÁLCULO DE LAS PLETINAS DE UNIÓN DE LAS GUÍAS HORIZONTALES CON EL TECHO

6.7.1. Cálculo del espesor de las pletinas

Para afirmar que las pletinas de unión pueden soportar el peso total de la puerta, hay que comprobar que la sección del perfil puede soportar la fuerza a tracción y el momento flector generados por el peso.

Como se utilizan seis pletinas de este tipo para hacer las uniones, el peso se reparte equitativamente entre ellas. Por lo que, los cálculos se hacen evaluando una pletina que tiene una fuerza puntual de $P/6$ (fig. 59).

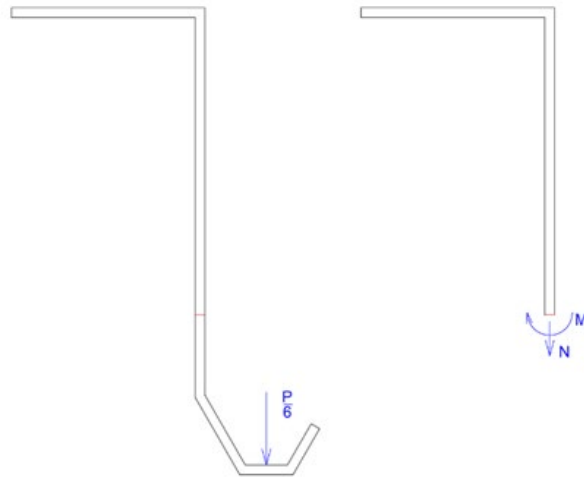


Figura 59: Pletina sometida a la carga puntual

Una vez detectada la sección más desfavorable, con las dimensiones definidas en su plano, se obtiene la tensión máxima y, finalmente, la tensión de fluencia mínima. Esta tensión de fluencia es de $195,6 \text{ MPa}$ y permite la selección del material necesario para garantizar que no rompa.

Los cálculos planteados están desarrollados en el apartado B.6.1 del Anexo A.

6.7.2. Cálculo de las uniones atornilladas de las pletinas

El cálculo de las uniones atornilladas de las guías horizontales con el techo se hace mediante cuatro pletinas de unión (fig. 60).

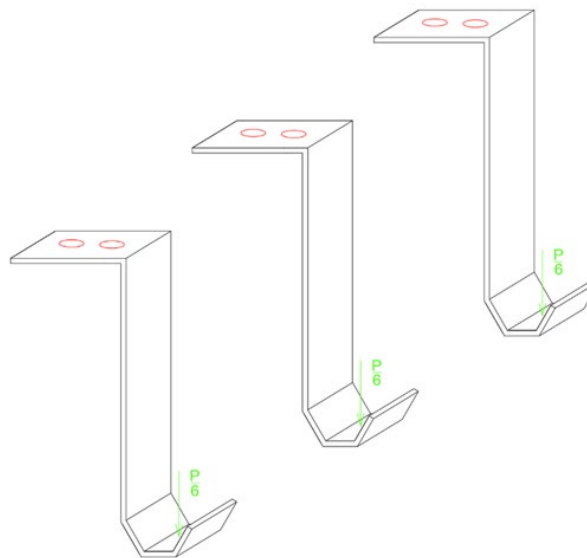


Figura 60: Pletinas de unión de las guías horizontales y el techo (lado izquierdo)

Para esta unión se eligen tornillos M8x1.25, fabricados con un acero de calidad 4.8 que tienen una tensión de fluencia de 340 MPa .

Una vez seleccionados los tornillos, se procede a identificar las tensiones a las que están sujetas las uniones. Se considera la tracción pura y la tracción debida a la flexión, considerando

la fuerza de apriete con un coeficiente de separación específico de 3,5 y una constante de reparto de 0,2.

Se calculan la tensión normal debido a la tracción siguiendo la ecuación 19.

$$\sigma = \frac{F_{tracc,total}}{A_r} = 25,94 \text{ MPa} \quad \text{Ec. 19}$$

Una vez determinadas las fuerzas actuantes sobre los tornillos, se analiza el tornillo más crítico, que enfrenta las mayores cargas. Se obtiene que este tornillo tiene un coeficiente de seguridad de 13,1 (ec. 20). El coeficiente de seguridad obtenido confirma la resistencia adecuada de la unión con los tornillos M10x1,5.

$$CS = \frac{\sigma_{F,tor}}{\sigma_{max}} = 13,1 \quad \text{Ec. 20}$$

Los cálculos planteados están desarrollados en el apartado B.6.2 del Anexo B.

6.8. CÁLCULO DE LA BARRA, EL PASADOR Y LA OREJETA

Para hacer el cálculo de la barra, el pasador y la orejeta, se parte de unas dimensiones previamente establecidas (tabla 5 Y figura 61). La fuerza con la que se obtiene la tensión de fluencia mínima que debe tener estos elementos tras evaluarlos a cortadura, aplastamiento y tracción (tabla 6), es la fuerza de la barra calculada en el apartado 6.2.

Tabla 5: Dimensiones del pasador, de la barra y de la orejeta

PASADOR	$d_p = 20 \text{ mm}$	—	—
BARRA	$h_b = 40 \text{ mm}$	$e_b = 10 \text{ mm}$	—
OREJETA	$h_o = 40 \text{ mm}$	$e_o = 5 \text{ mm}$	$L_o = 40 \text{ mm}$

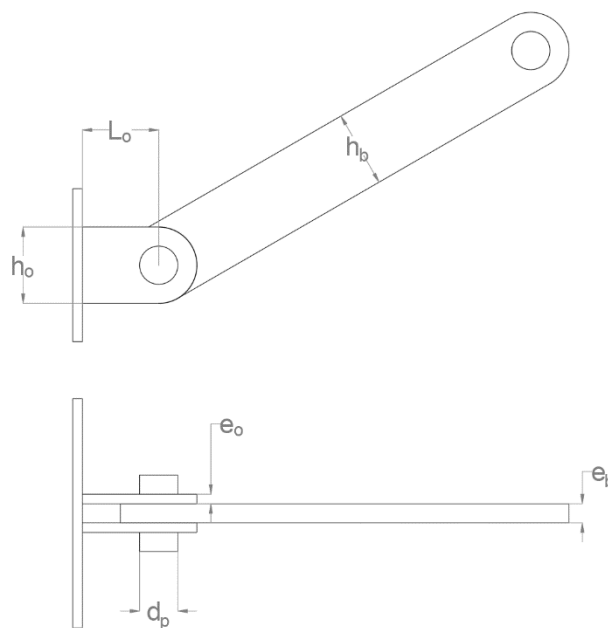


Figura 61: Dimensiones de orejeta, pasador y barra



Tabla 6: Coeficientes de seguridad ante cortadura, aplastamiento y tracción

	$\sigma_{pasador} (MPa)$	$\sigma_{barra} (MPa)$	$\sigma_{orejeta} (MPa)$
CORTADURA	5,345	—	—
APLASTAMIENTO	—	8,4	8,4
TRACCIÓN	—	8,4	23,91

Con las tensiones de fluencia determinadas, se puede elegir un material para estos elementos que tenga una tensión de fluencia superior a la obtenida.

Los cálculos planteados están desarrollados en el apartado C.1 del Anexo C.

6.9. CÁLCULO DE LAS UNIONES ATORNILLADAS DE LA OREJETA

Para las uniones atornilladas de la orejeta con el panel superior de los paneles que componen la puerta, se toma un tornillo de rosca de M6x1 de calidad 4.8.

La fuerza a la que tiene que hacer frente es la fuerza de la barra obtenida en el apartado 6.1 ($F_B = 479,8 N$).

Primero se evalúan las fuerzas a cortadura a las que está expuesta por la fuerza descompuesta en el “eje y” ($F_{By} = 240 N$) y seguidamente, se evalúa la situación de tracción.

La tracción en este caso proviene de dos aspectos. Por un lado, existe tracción pura, proveniente de la descompuesta en el “eje x” ($F_{Bx} = 415,5 N$) y, por otro lado, existe tracción debida a la flexión.

Una vez se tienen todas las fuerzas a las que está expuesta la unión, se pueden obtener su tensión normal y cortante, con las que se obtiene el coeficiente de seguridad de la unión que es de 4,406. Para garantizar su resistencia, se repiten los cálculos con tornillos M8x1,25 y se obtiene un coeficiente de seguridad de 8,014.

Los cálculos planteados están desarrollados en el apartado C.2 del Anexo C.

6.10. CÁLCULO DE LAS UNIONES ATORNILLADAS DEL MARCO

Tal y como se ha explicado en el apartado 5.1, se pueden diferenciar tres tipos de uniones atornilladas.

El primer tipo une el perfil con forma de L y el perfil con forma de U (tres tornillos).

El segundo une el perfil con forma de U con el perfil en forma de C (cinco tornillos).

El tercero une el perfil en forma de C con la columna (cinco tornillos).

Inicialmente se plantea que todas las uniones se hacen mediante tornillos M8x1 con una calidad 4.8.

La representación de las uniones del marco se puede ver en la figura 62.

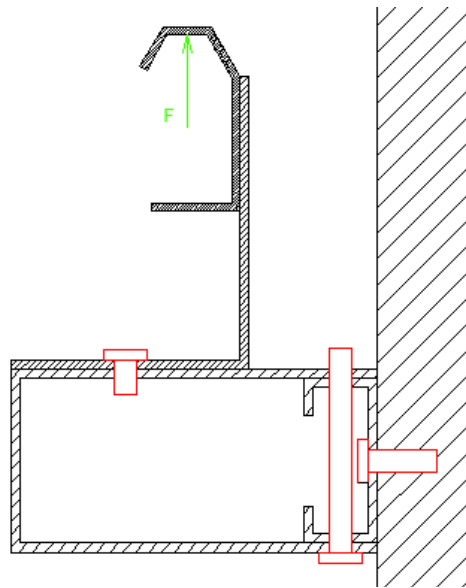


Figura 62: Tipos de uniones atornilladas del marco

La fuerza del viento que se toma es de 1 037,7 N, calculada previamente en el apartado 6.5.3.

Los resultados de los cálculos de estas uniones se pueden ver en la tabla 7.

Tabla 7: Tensiones y coeficientes de seguridad de las uniones del marco

	τ (MPa)	σ (MPa)	CS
Unión entre L y U	—	43,69	7,782
Unión entre U y C	—	65,75	5,171 (M10x1,5)
Unión entre C y columna	5,699	39,19	8,334

Los coeficientes de seguridad están por encima de 3,5 por lo que se puede confirmar que estas uniones soportan la carga del viento previsible.

Los cálculos planteados están desarrollados en el Anexo D.

7. CONCLUSIONES

La realización de este proyecto surgió como un reto para poder aplicar el máximo de conocimientos adquiridos durante todos estos años de estudio en el grado de Ingeniería Mecánica. El objetivo era diseñar y calcular una puerta de garaje seccional que no solo cumpliera con los requisitos técnicos, sino que también mejorara la funcionalidad y seguridad en el entorno de un garaje comunitario.

Se ha trabajado en todo momento con la meta de crear una solución efectiva, capaz de resolver el problema planteado inicialmente. Para lograrlo, se han seleccionado materiales y componentes que soporten adecuadamente los esfuerzos y tensiones esperados. En primer lugar, se realizó un estudio analítico para dimensionar todos los elementos del sistema, asegurando que cada parte de la puerta pueda manejar las cargas y condiciones operativas de manera segura.

Basados en estos cálculos, y utilizando perfiles que cumplan con las especificaciones requeridas, se diseñaron todos los componentes estructurales de la puerta, incluyendo marcos, paneles y sistemas de bisagras. Se prestó especial atención al diseño de los puntos críticos de conexión, como los muelles torsionales y el sistema de piñón-cremallera, que son esenciales para el funcionamiento seguro de la puerta.

Además, se han seleccionado elementos comerciales claves para el funcionamiento del sistema, como el motorreductor y los elementos de seguridad, siempre buscando opciones que se ajustaran a las necesidades específicas del proyecto y que estuvieran disponibles en el mercado.

Una vez dimensionada la puerta de forma analítica, se ha realizado un modelado en 3D con SOLIDWORKS para generar los planos detallados y verificar la precisión del diseño. Esta etapa permitió asegurar que la estructura propuesta se integrase adecuadamente en el garaje.

Para completar el proyecto, se elaboró un pliego de condiciones y un presupuesto para la fabricación e instalación de la puerta, garantizando que cada aspecto del proyecto esté bien documentado y sea económicamente viable.

Este proyecto ha significado la culminación de un proceso de aprendizaje, demostrando que los conocimientos adquiridos pueden ser aplicados de manera práctica. La experiencia de diseñar una puerta de garaje seccional, desde el concepto inicial hasta los cálculos finales y la preparación para su implementación, ha demostrado el valor de la ingeniería en la vida cotidiana. La realización de este trabajo de fin de grado no solo ha validado años de esfuerzo y estudio, sino que también ha proporcionado una gran satisfacción personal, dejando claro que el camino recorrido ha tenido un propósito y una utilidad.



8. ORDEN DE PRIORIDAD DE LOS DOCUMENTOS BÁSICOS

Se establece un criterio de prioridad para resolver discrepancias entre los documentos fundamentales que conforman el proyecto, dando preeminencia en el siguiente orden. En caso de que una disposición haga mención a otra que haya sido modificada o anulada, se considerará que dicha alteración o anulación se aplica a la parte correspondiente de la primera disposición que haya sido afectada.

1. Pliego de condiciones
2. Planos
3. Mediciones y presupuesto
4. Memoria

9. RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Proyecto: PUERTA SECCIONAL EN PLAZA DE APARCAMIENTO

Capítulo	Importe
1 ACTUACIONES PREVIAS	62,83
2 ESTRUCTURA	219,28
3 PANELES, PORTARRUEDAS Y BISAGRAS	1.380,57
4 MUELLES TORSIONALES	581,49
5 ACCIONAMIENTO	543,52
6 TORNILLOS Y TUERCAS	37,27
7 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN	32,87
8 MANO DE OBRA	260,88
Presupuesto de ejecución material	3.118,71
16% de gastos generales	498,99
6% de beneficio industrial	187,12
Suma	3.804,82
21% IVA	799,01
Presupuesto de ejecución por contrata	4.603,83

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata a la expresada cantidad de CUATRO MIL SEISCIENTOS TRES EUROS CON OCHENTA Y TRES CÉNTIMOS.



10.LUGAR, FECHA Y FIRMA

Firma del autor en Zaragoza, a 26 de junio de 2024.

Luis Viñés García

BIBLIOGRAFÍA

NORMAS

- [1] **UNE-EN 12433-1:2000** Puertas industriales, comerciales y de garaje y portones. Terminología. Parte 1: Tipos de puertas. <https://www.une.org/>
- [2] **UNE-EN 12604:2018+A1:2021** Puertas industriales, comerciales, de garaje y portones. Aspectos mecánicos. Requisitos y métodos de ensayo. <https://www.une.org/>
- [3] **UNE-EN 12453:2018+A1:2022** Puertas y portones industriales, comerciales y de garaje. Seguridad de uso de puertas motorizadas. Requisitos y métodos de ensayo. <https://www.une.org/>

LIBROS Y APUNTES

- [4] **Criterios de diseño de máquinas** (2022/2023). P. Canalís Martínez, J. Abad Blasco, D. Valladares Hernando.
- [5] **Cálculo (y Selección) de Elementos de Máquinas** (2023/2024). P. Canalís Martínez, J. Abad Blasco.
- [6] **Sistemas mecánicos en máquinas** (2023/2024). J. Abad Blasco.
- [7] **Prontuario básico de estructuras simples**.
- [8] **R.A. Física McGraw-Hill** (1992). Serway.

ELEMENTOS COMERCIALES

Motorreductor

- [9] Catálogo de Motorreductores DC Doga: <https://docs.rs-online.com/cb0c/A700000006812175.pdf>

Paneles

- [10] Catálogo de paneles Marcegaglia Buildtech: https://catalogs.edilportale.com/MB-Door---insulated-panels-for-sectional-doors-it-en-fr-de-es_LjQTtl4FHC.pdf
- [11] Dimensiones de paneles Marcegaglia Buildtech con superficie externa unicanal: <https://catalogs.edilportale.com/Panels-with-middle-groove-it-en-fr-de-es-Marcegaglia-Buildtech-270548-catc2bca7b.pdf>

Bisagras, portarruedas y ruedas

- [12] Bisagra intermedia: <https://dopromatic.com/bisagra-intermedia-puertas-seccionales/>
- [13] Bisagra y portarruedas lateral: https://dopromatic.com/bisagra-lateral-puertas-seccionales/?utm_source=Google%20Shopping&utm_campaign=Feed%20Google%20Merchant&utm_medium=cpc&utm_term=117411



[14] Portarruedas superior e inferior: <https://suitdoors.com/producto/porta-ruedas-ajustable/>

[15] Rueda de nylon: <https://www.recambiosparapuertas.com/producto/rueda-para-puerta-seccional-2-46/>

Muelles torsionales

[16] Muelles torsionales: <https://catalogue.flexiforce.com/es/en-el-eje/muelles-de-torsion/custom-torsion-spring.html>

[17] Tambor: <https://catalogue.flexiforce.com/es/en-el-eje/tambores-para-cables/ff05n132-125.html>

[18] Apoyo de los muelles torsionales: <https://repuestos-puertasautomaticas.com/repuestos/repuesto-cojinete-central-completo-iso-40-45-958.html>

[19] Apoyo con rodamiento: <https://l1nq.com/www-sp-recambios-apoyodemuelles>

Elementos de seguridad

[20] Goma de seguridad de las guías verticales: <https://suitdoors.com/producto/goma-proteccion-guias-laterales/>

[21] Goma de seguridad del panel inferior:
<https://www.recambiosparapuertas.com/producto/goma-inferior-negro/>

[22] Goma de seguridad del panel superior:
<https://www.recambiosparapuertas.com/producto/goma-superior-negro/>

EXTRA

[23] Nylon: <https://www.sanmetal.es/productos/termoplasticos/nylon-poliamida-6/9>

[24] Manual de usuario de motor de puerta seccional (Motorline): <https://alsidoor-automatismos.com/pdf/MOTORLINE/rosso-pdf-motor-techo-motorline.pdf>

[25] Catálogo de puertas seccionales (Inkema):
<https://www.inkema.com/images/cms/puerta-seccional-de-muelle-pmdv.pdf>

[26] Manual de instrucciones puerta seccional (Artens):
<https://media.adeo.com/marketplace/LMES/82184059/2560384.pdf>

[27] Documento Básico SE-AE: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SE/DBSE-AE.pdf>

[28] Hoja técnica de la velocidad del aire: <https://www.solerpalau.com/es-es/hojas-tecnicas-velocidad-del-aire/>



Universidad
Zaragoza



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Diseño y cálculo de una puerta de garaje seccional
para una plaza de aparcamiento de un garaje
comunitario

Design and calculation of a sectional garage door for a
parking space in a community garage

ANEXOS

Autor:

Luis Viñés García

Directores:

Paula Canalís Martínez

José Manuel Auría Apilluelo

Grado de Ingeniería Mecánica
Escuela de Ingeniería y Arquitectura

ZARAGOZA, JUNIO 2024

ÍNDICE ANEXOS

ANEXO A: CÁLCULOS DEL ACCIONAMIENTO	2
A.1 <i>CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE AVANCE.....</i>	<i>2</i>
A.2 <i>CÁLCULO DEL MOTORREDUCTOR.....</i>	<i>3</i>
A.3 <i>COMPROBACIÓN DE SEGURIDAD DEL MOTOR.....</i>	<i>5</i>
A.4 <i>CÁLCULO DEL PIÑÓN-CREMALLERA.....</i>	<i>6</i>
A.5 <i>CÁLCULO DE LOS MUELLES TORSIONALES.....</i>	<i>9</i>
ANEXO B: CÁLCULOS DE LAS GUÍAS	11
B.1 <i>CÁLCULO DEL PERFIL DE LAS GUÍAS HORIZONTALES.....</i>	<i>11</i>
B.2 <i>CÁLCULO DEL ESPESOR DEL PERFIL</i>	<i>14</i>
B.3 <i>CÁLCULO DEL PERFIL DE LAS GUÍAS VERTICALES.....</i>	<i>16</i>
B.4 <i>CÁLCULO DE LAS UNIONES ATORNILLADAS DE LAS GUÍAS.....</i>	<i>19</i>
B.4.1 <i>Cálculo de las uniones atornilladas de las guías horizontales inferiores</i>	<i>19</i>
B.4.2 <i>Cálculo de las uniones atornilladas de las guías horizontales superiores.....</i>	<i>22</i>
B.4.3 <i>Cálculo de las uniones atornilladas de las guías verticales</i>	<i>25</i>
B.5 <i>CÁLCULO DE RIGIDEZ DE LAS GUÍAS HORIZONTALES INFERIORES</i>	<i>29</i>
B.6 <i>CÁLCULO DE LAS PLETINAS DE UNIÓN DE LAS GUÍAS HORIZONTALES CON EL TECHO</i>	<i>30</i>
B.6.1 <i>Cálculo del espesor de las pletinas</i>	<i>30</i>
B.6.2 <i>Cálculo de las uniones atornilladas de las pletinas.....</i>	<i>31</i>
ANEXO C: CÁLCULOS DE LA BARRA, EL PASADOR Y LA OREJETA.....	34
C.1 <i>COMPROBACIÓN DE LAS DIMENSIONES.....</i>	<i>34</i>
C.2 <i>CÁLCULO DE LAS UNIONES ATORNILLADAS DE LA OREJETA</i>	<i>38</i>
ANEXO D: CÁLCULOS DE LAS UNIONES ATORNILLADAS DEL MARCO	40
D.1 <i>UNIÓN ATORNILLADAS ENTRE PERFIL EN L Y PERFIL EN U.....</i>	<i>41</i>
D.2 <i>UNIÓN ATORNILLADAS ENTRE PERFIL EN U Y PERFIL EN C.....</i>	<i>43</i>
D.3 <i>UNIÓN ATORNILLADAS ENTRE PERFIL EN C Y COLUMNA.....</i>	<i>46</i>
BIBLIOGRAFÍA ANEXOS	48

ANEXO A: CÁLCULOS DEL ACCIONAMIENTO

A.1 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE AVANCE

Para poder dimensionar la puerta de garaje, se tiene que determinar la velocidad de avance de la puerta. Para obtenerla, primero hay que calcular el módulo de la transmisión piñón cremallera (ec. A.1).

Para ello, se determina el radio del piñón como 36 mm y el número de dientes del piñón como el número mínimo de dientes que tiene que tener un piñón para que no ocurra interferencia con la cremallera, es decir, 18 *dientes*.

$$M = \frac{D_p}{Z} = \frac{2 \cdot 36}{18} = 4 \quad \text{Ec. A. 1}$$

Con el módulo, se puede calcular el paso circunferencial (ec. A.2) y de esta forma, obtener el número de dientes por longitud que tiene la cremallera (ec. A.3).

$$P_c = M \cdot \pi = 4 \cdot \pi = 12,57 \text{ mm/diente} \quad \text{Ec. A. 2}$$

$$d = \frac{1}{P_c} = \frac{1}{12,57 \text{ mm/diente}} = 0,08 \frac{\text{dientes}}{\text{mm}} = 0,8 \frac{\text{dientes}}{\text{cm}} \quad \text{Ec. A. 3}$$

Con el número de dientes por milímetro, se calcula la longitud que recorre el piñón por cada vuelta que da, mediante la ecuación A.4 y con esta, se obtiene el número de vueltas que da el piñón para recorrer toda la longitud de la cremallera (ec. A.5). La longitud de la cremallera de 2,27 m, corresponde a la longitud que se desplaza la puerta por las guías, desde su posición de puerta cerrada a puerta abierta, o viceversa.

$$L_{\text{por vuelta}} = \frac{Z}{d} = \frac{18 \text{ dientes}}{0,08 \text{ dientes/mm}} = 225 \frac{\text{mm}}{\text{rev}} \quad \text{Ec. A. 4}$$

$$n_{\text{vueltas}} = \frac{L_{\text{total}}}{L_{\text{por vuelta}}} = \frac{2 \text{ 270 mm}}{225 \text{ mm/rev}} = 10 \text{ rev} \quad \text{Ec. A. 5}$$

Para determinar la velocidad angular (ec. A.6), se fija un tiempo de 25 s, que corresponde al tiempo que le costará a la puerta abrirse o cerrarse.

$$n = \frac{n_{\text{vueltas}}}{t} = \frac{10}{25} = 0,4 \frac{\text{rev}}{\text{s}} = 24 \text{ rpm} \quad \text{Ec. A. 6}$$

De modo que, para que se cumplan las especificaciones propuestas, la puerta debe avanzar a una velocidad de 24 rpm. Con todo definido, se calcula la velocidad de avance de la puerta mediante la ecuación A.7.

$$v = n \cdot L_{\text{por vuelta}} = \frac{24}{60} \text{ rps} \cdot \frac{225 \text{ m}}{1000 \text{ rev}} = 0,09 \text{ m/s} \quad \text{Ec. A. 7}$$

A.2 CÁLCULO DEL MOTORREDUCTOR

Primero hay que conocer el peso de la puerta para realizar el diagrama de sólido libre. Este peso consiste en la suma de todos los paneles que conforman la puerta. Como ya se ha expuesto en el apartado 5.2 de la memoria, con una superficie de $11,21 \text{ m}^2$ y un peso de $9,83 \text{ kg/m}^2$, el peso correspondiente a los paneles es de $110,2 \text{ kg}$, es decir, 1080 N .

Conocido este dato, se procede a elaborar el diagrama de sólido libre del sistema simplificado (fig. A.1), donde se estima que el coeficiente de rozamiento de las ruedas de nylon es de 0,45 según [10] y el de las ruedas del carro es de 0,47 según [5].

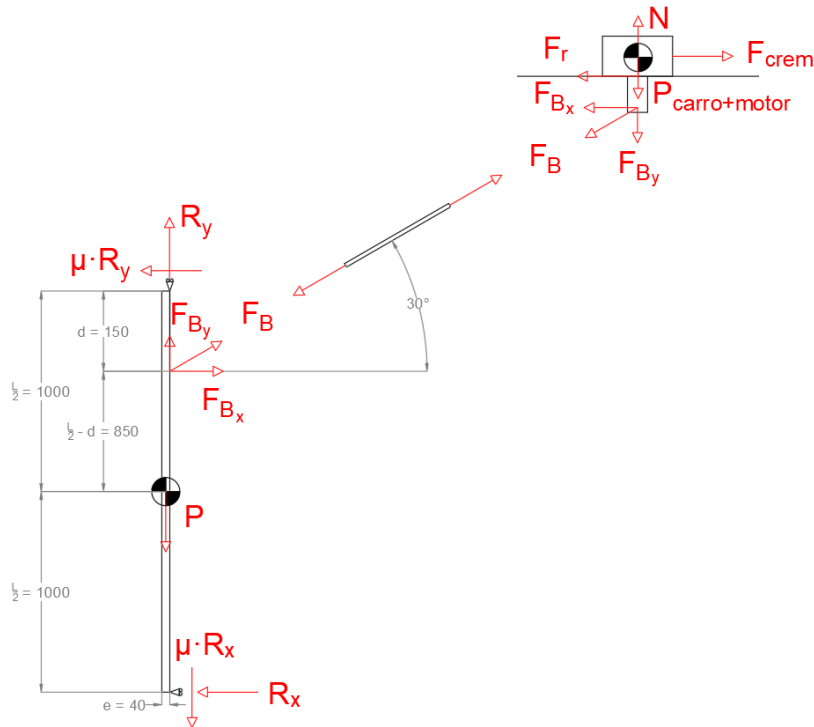


Figura A.1: Diagrama de fuerzas del accionamiento simplificado

Se plantean los sumatorios de fuerzas en el “eje x” y en el “eje y” de la puerta y del carro y el sumatorio de momentos en el centro de gravedad de la puerta (ecs. A.8-14).

$$\begin{aligned} \sum F_x^{puerta} &= F_{Bx} - R_x - \mu_r R_y = 0 & \sum F_y^{puerta} &= F_{By} - P + R_y - \mu_r R_x = 0 \\ \sum M_z^{cdg,puerta} &= \frac{L}{2} (\mu_r R_y - R_x) - \left(\frac{L}{2} - d \right) F_{Bx} = 0 & & \\ \sum F_x^{carro} &= F_r - F_{crem} + F_{Bx} = 0 & \sum F_y^{carro} &= -F_{By} + N - P_{carro+motor} = 0 \\ F_B &= \frac{F_{By}}{\sin(\alpha)} = \frac{F_{Bx}}{\cos(\alpha)} & Fr &= \mu_{carro} \cdot N \end{aligned}$$

Ec. A.8-14

Se resuelven las ecuaciones y se obtienen los valores de las fuerzas.

$$\begin{aligned} F_B &= 479,8 \text{ N} & F_{Bx} &= 415,5 \text{ N} & F_{By} &= 239,9 \text{ N} & R_x &= 31,16 \text{ N} \\ R_y &= 854 \text{ N} & F_r &= 140,4 \text{ N} & F_{crem} &= 555,9 \text{ N} & N &= 298,7 \text{ N} \end{aligned}$$

Se obtiene que la fuerza transmitida al piñón cremallera es de $555,9\text{ N}$, lo que permite calcular el par de salida necesario del motor reductor en función del diámetro del piñón con la ecuación A.15.

$$M_{\text{motorreductor}} = F_{\text{crem}} \cdot R_{\text{piñón}} = 555,9\text{ N} \cdot 36\text{ mm} = 20\,012,4\text{ Nmm} \quad \text{Ec. A.15}$$

Para poder elegir el motor necesario, hay que calcular el par útil necesario para elevar la puerta. Para este cálculo se toma un rendimiento que contabiliza las posibles pérdidas en el sistema de 0,9 y se aplica la ecuación A.16.

$$M_{\text{útil}} = \frac{M_{\text{motorreductor}}}{\eta} = \frac{20\,012,4}{0,9} = 22\,236\text{ Nmm} \quad \text{Ec. A.16}$$

De modo que, se necesita un motor capaz de ejercer un par superior a $22\,236\text{ Nmm}$ y, tal y como se ha detallado en el apartado A.1, con una velocidad angular de 25 rpm . Se elige el *motorreductor DC Doga serie 259* (fig. A2) de 25 Nm de par nominal y 25 rpm de velocidad nominal de [6]. En la tabla A.1 se pueden ver las especificaciones del motorreductor elegido.



Figura A.2: Motorreductor DC Doga serie 259

Tabla A.1: Especificaciones del motorreductor DC Doga 259.9008.30.00

REFERENCIA REFERENCE REFERENZNUMMERN	TENSION NOMINAL NOMINAL VOLTAGE NOMINALE NOMINALE	POTENCIA NOMINAL NOMINAL POWER NOMINALE NOMINALE	VELOCIDAD NOMINAL NOMINAL SPEED NOMINALE NOMINALE	CORRIENTE NOMINAL NOMINAL CURRENT NOMINALE NOMINALE	POTENCIA DE ARRANQUE STARTING TORQUE ANZUGSDREHMOMENT	CORRIENTE DE ARRANQUE STARTING CURRENT ANZUGSSTROM	EJE SHAFT ARBRE WELLE	CONEXIONES CONNECTIONS ANSCHLÜSSE	ESQUEMA ELÉCTRICO WIRING DIAGRAM SCHALTPLAN	RELACION DE REDUCCIÓN REDUCTION RATIO RANGABVERHÄLTNISS	PESO APROXIMADO APPROXIMATE WEIGHT GEWICHT (ca.)	GRADO DE ESTANQUEIDAD WATERTIGHTNESS FELCHTIGKEITSSCHUTZKLASSE	MATERIAL RUEDA WHEEL MATERIAL MATERIAL ROUE	DISEÑO: A.B.C DESIGN: A.B.C ABSTUFUNG: A.B.C	CURVA CURVE KURVE
	Un (V)	Mn (N.m./lbf.in)	nn (r.p.m.)	In (A)	Ma (N.m./lbf.in)	Ia (A)				i	P (kg/lb)	IP			
259.3710.20.00	12	20 / 177	22	13.8	130 / 1150	60	E37	C34	EE2	50:1	5.90 / 13	IP53	PLA	A	20
259.3710.30.00	24	20 / 177	22	6	130 / 1150	30	E37	C34	EE2	50:1	5.90 / 13	IP53	PLA	A	20
259.9001.20.00	12	15 / 132.7	40	18	120 / 1062	98	E37	C34	F2	50:1	5.90 / 13	IP53	PLA	A	21
259.9001.30.00	24	15 / 132.7	40	9	120 / 1062	49	E37	C34	F2	50:1	5.90 / 13	IP53	PLA	A	21
259.9008.30.00	24	25 / 221	25	7	135 / 1195	30	E37/E51	C34	EE2	50:1	5.90 / 13	IP40	PLA	B	22
259.9016.30.00	24	20 / 177	22	6	130 / 1150	30	E37	C34	EE2	50:1	5.90 / 13	IP53	CEL	A	20

El motor elegido ofrece un par superior al calculado y la velocidad de rotación deseada, por lo que cumple con los requisitos necesarios y será capaz de realizar el trabajo.

Como el motor elegido es de 25 rpm , la velocidad no será igual que la propuesta en el apartado A.1. Se calcula la velocidad de avance de la puerta mediante la ecuación A.17.

$$v = n \cdot L_{\text{por vuelta}} = \frac{24}{60}\text{ rps} \cdot \frac{225}{1000}\frac{\text{m}}{\text{rev}} = 0,09\text{ m/s} \quad \text{Ec. A.17}$$

Por lo que, la velocidad de avance es de $0,09375\text{ m/s}$, lo que se traduce en un tiempo de 24 s .

A.3 COMPROBACIÓN DE SEGURIDAD DEL MOTOR

Una vez está definido el motor a usar, se tiene que comprobar que el par que ejerce el motor no es suficiente como para elevar el peso total y un extra de 20 kg, tal y como está definido en la norma UNE-EN 12453:2018+A1:2022.

Para poder comprobar que se cumple la norma, se repiten todos los cálculos para un peso que corresponde al peso de los paneles (1 080 N) y el extra del cuerpo de 20 kg. Es decir, se repiten los cálculos para un peso de 1 276 N y se obtienen los nuevos resultados del diagrama de sólido libre.

$$\begin{aligned} F_B' &= 566,8 \text{ N} & F_{B_x}' &= 490,9 \text{ N} & F_{B_y}' &= 283,4 \text{ N} & R_x' &= 36,82 \text{ N} \\ R_y' &= 1\,009 \text{ N} & F_r' &= 160,8 \text{ N} & F_{crem}' &= 651,7 \text{ N} & N' &= 342,2 \text{ N} \end{aligned}$$

Con el nuevo valor de la fuerza que se necesita para levantar la puerta con los 20 kg extra, se puede calcular el par necesario para elevar todo el peso mediante la ecuación A.18.

$$M'_{motor-reductor} = F'_{crem} \cdot R_{piñón} = 651,7 \text{ N} \cdot 36 \text{ mm} = 23\,461,2 \text{ Nmm} \quad \text{Ec. A.18}$$

Para saber si el motor es capaz de elevar una masa extra de 20 kg, hay que calcular el par útil necesario para elevar la puerta. Para este cálculo se toma un rendimiento que contabiliza las posibles pérdidas en el sistema de 0,9 y se aplica la ecuación A.19.

$$M_{\text{útil}} = \frac{M_{motorreductor}}{\eta} = \frac{23\,461,2}{0,9} = 26\,068 \text{ Nmm} \quad \text{Ec. A.19}$$

Como el par que se transmite desde el motor de 25 Nm es inferior a los 26 Nm necesarios para elevar la puerta en estas condiciones, se puede afirmar que el motor no es capaz de realizar el trabajo. Esto significa que no se requiere de equipo de protección para que la puerta se detenga antes de que el cuerpo levantado alcance cualquier lugar de peligro.

A.4 CÁLCULO DEL PIÑÓN-CREMALLERA

Una vez elegido el motor, se hace el cálculo a flexión y a desgaste de la transmisión por piñón cremallera. Para ello, se calcula el par del piñón corregido, que corresponde al par del piñón multiplicado por dos factores de corrección: el factor de servicio (f_s) y el factor de esfuerzos dinámicos (f_d).

El factor de servicio, que se toma de la tabla A.2 de [2], en este caso es de 1,25, porque se trata de una situación de cargas uniformes sin choque.

Tabla A.2: Factor de servicio

FACTOR DE SERVICIO	
Tipo de máquina	Factor f_s
Para cargas uniformes sin choque, como: ventiladores, maquinaria de elevación, máquinas centrífugas, transmisiones por correa, etc.	De 1,00 a 1,25
Para cargas con choque medio, como: máquinas sometidas a frecuentes arranques, compresores, máquinas alternativas, herramientas portátiles neumáticas y eléctricas, bombas alternativas, etc.	De 1,25 a 1,50
Para cargas con choque fuerte, como: trenes laminadores, machacadoras de piedra, maquinaria de dragados, punzonadoras, compresores monocilíndricos, etc.	De 1,50 a 2,00

Teniendo en cuenta que se tratan de engranajes ordinarios, se toma la ecuación A.20 de la tabla A.3 de [2] para calcular el factor de esfuerzos mecánicos.

Tabla A.3: Factor de esfuerzos dinámicos

FACTOR DE ESFUERZOS DINÁMICOS	
Tipo de montaje	Factor f_d
Para engranajes de la máxima precisión obtenidos por rectificado u otro procedimiento similar. Velocidad del círculo primitivo igual o menor que 1.200 m/min.	$f_d = 1 + \frac{\sqrt{V}}{43}$
Para engranajes tallados por generación, sin rectificar, y con velocidades del círculo primitivo igual o menor que 1.200 m/min.	$f_d = 1 + \frac{V}{360}$
Para engranajes ordinarios fabricados con fresa de módulo o con fresa madre, de una sola pasada. Velocidad del círculo primitivo igual o inferior a 600 m/min.	$f_d = 1 + \frac{V}{180}$

$$f_d = 1 + \frac{v \text{ [m/min]}}{180} = 1 + \frac{0,09375 \cdot 60}{180} = 1,031 \quad \text{Ec. A.20}$$

Con los factores de corrección determinados, se puede calcular el par del piñón corregido con la ecuación A.21.

$$M_{tc} = M_t \cdot f_s \cdot f_d = (25\,000 \cdot 0,9) \text{ Nmm} \cdot 1,25 \cdot 1,031 = 28\,996,9 \text{ Nmm} \quad \text{Ec. A.21}$$

Otro factor importante para empezar hacer el cálculo a flexión y a desgaste, es el cálculo de la rigidez (ec. A.22) que se obtiene a partir de la relación entre el ancho de la cara, que en este caso se considera de 20 mm por consideraciones de diseño, y el módulo.

$$\delta = \frac{b}{M} = \frac{20}{4} = 5 \quad \text{Ec. A.22}$$

Para poder hacer los cálculos, hay que obtener el coeficiente de Lewis a partir de la tabla A.4 disponible en [2], donde para un engranaje de 20° y 18 *dientes*, se determina que el valor del coeficiente de Lewis (y) es de 0,098.

Tabla A.4: Coeficiente de Lewis “y”

FACTOR DE FORMA DEL DIENTE “y”							
Nº de dientes	Altura normal 20°	Altura normal 14,5° o 15°	Diente corto 20°	Nº de dientes	Altura normal 20°	Altura normal 14,5° o 15°	Diente corto 20°
10	0,064	0,056	0,083	25	0,108	0,097	0,133
11	0,072	0,061	0,092	27	0,111	0,099	0,136
12	0,076	0,067	0,099	30	0,114	0,101	0,139
13	0,083	0,071	0,103	34	0,118	0,104	0,142
14	0,088	0,075	0,108	38	0,122	0,106	0,145
15	0,092	0,078	0,111	43	0,126	0,108	0,147
16	0,094	0,081	0,115	50	0,130	0,110	0,151
17	0,096	0,084	0,117	60	0,134	0,113	0,154
18	0,098	0,086	0,120	75	0,138	0,115	0,158
19	0,100	0,088	0,123	100	0,142	0,117	0,161
20	0,102	0,090	0,125	150	0,146	0,119	0,165
21	0,104	0,092	0,127	300	0,150	0,122	0,170
23	0,106	0,094	0,130	Cremallera	0,154	0,124	0,175

Con los datos necesarios calculados, se aplica la ecuación A.23 que permite obtener la tensión admisible que tiene que tener el material del piñón para poder soportar a flexión.

$$M = 0,86 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{tc}}{\delta \cdot Z \cdot y \cdot \sigma_{adm}}}$$

Ec. A.23

$$\sigma_{adm} = \frac{0,636 \cdot M_{tc}}{\delta \cdot Z \cdot y \cdot M^3} = \frac{0,636 \cdot 28\,996,9 \text{ Nmm}}{5 \cdot 18 \cdot 0,098 \cdot (4 \text{ mm})^3} = 32,67 \text{ MPa}$$

Una vez hecho el cálculo a flexión, se necesita hacer el cálculo a desgaste. Para este cálculo hay que determinar que el material es un acero, por lo que su módulo de elasticidad es igual a 210 GPa.

También hay que establecer una duración en horas de funcionamiento (L_h), que en este caso se considera de aproximadamente de 390,7 horas. Este valor corresponde a la ecuación A.24, donde se estima que la puerta va a ser usada 8 veces diarias y se considera una vida útil de 10 años. Multiplicando por dos se puede aproximar a vida infinita.

$$\left(24 \text{ s} \cdot \frac{8 \text{ veces}}{\text{día}} \cdot \frac{1 \text{ hora}}{3600 \text{ s}} \cdot 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} \cdot 10 \text{ años}\right) \cdot 2 = 390,7 \text{ h}$$

Ec. A.24

Con los datos necesarios calculados, se aplica la ecuación que permite obtener el coeficiente de presión de rodadura (k_r) para poder soportar a desgaste (ec. A.25). Hay que tener en cuenta que como la relación de transmisión entre el piñón y la cremallera es de infinito, el cociente de $\frac{1+i}{i}$ será aproximadamente la unidad.

$$M = \sqrt[3]{\frac{1}{\delta \cdot Z^2} \cdot \frac{4 \cdot M_{tc}}{k_r \cdot \text{sen}(2\alpha)} \cdot \frac{1+i}{i}}$$

Ec. A.25

$$k_r = \frac{1}{\delta \cdot Z^2} \cdot \frac{4 \cdot M_{tc}}{M^3 \cdot \text{sen}(2\alpha)} \cdot \frac{1+i}{i} = \frac{1}{5 \cdot 18^2} \cdot \frac{4 \cdot 28\,996,9}{4^3 \cdot \text{sen}(2 \cdot 20)} \cdot 1 = 1,74 \text{ MPa}$$



La condición que se debe cumplir para que no exista fallo por desgaste, es que el coeficiente de presión de rodadura admisible sea igual o mayor al coeficiente de presión de rodadura calculado. Por lo que, igualando ambas expresiones (ec. A.27), se puede relacionar el coeficiente de presión de rodadura con la dureza del material y los millones de vueltas del engranaje (L). Para obtener los millones de vueltas del engranaje se aplica la ecuación A.26.

$$L = \frac{L_h \cdot n \cdot 60}{10^6} = \frac{390,7 \text{ h} \cdot 25 \text{ rpm} \cdot 60}{10^6} = 0,5861 \text{ mill. de vueltas} \quad \text{Ec. A.26}$$

Una vez obtenido los millones de vueltas del engranaje, se puede calcular la dureza (HB) que tiene que tener el material del piñón.

$$k_r = k_r^{adm} = 0,677 \frac{HB^2}{E \cdot L^{\frac{1}{3}}} \quad \text{Ec. A.27}$$
$$HB = \sqrt{\frac{k_r^{adm} \cdot E \cdot L^{1/3}}{0,677}} = \sqrt{\frac{1,74 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 0,5861^{1/3}}{0,677}} = 672,3 \text{ MPa}$$

De modo que, una vez hechos los cálculos, para el piñón se necesita un material con una tensión superior a $32,67 \text{ MPa}$ y una dureza superior a $672,3 \text{ MPa}$. Por ejemplo, un acero al carbono válido es el F-111, que tiene una tensión de unos 140 MPa y una dureza de entre $1\ 100 \text{ MPa}$ y $1\ 350 \text{ MPa}$. En el caso de la cremallera, se toma el mismo material que el piñón, ya que, en una transmisión, la conducida puede permitirse ser menos resistente o tener menos dureza.

A.5 CÁLCULO DE LOS MUELLES TORSIONALES

Para el cálculo de los muelles torsionales, hay que hacer una suposición del porcentaje del par que los muelles tienen que hacer frente. En este caso se aproxima que los muelles tienen que ejercer el 20% del par útil que ejerce el motor, es decir, 4 500 Nmm .

Se toman unas dimensiones del muelle torsional (fig. A.3) preliminares, siendo $d = 6\text{ mm}$ y $D = 67\text{ mm}$, y se calcula si pueden garantizar un coeficiente de seguridad de 3,5.



Figura A.3: Muelle torsional

Para poder calcular la tensión de fluencia que debe tener el material de los muelles torsionales, se necesita calcular K_i . Para conocer este valor hay que obtener el índice de resorte mediante la ecuación A.28.

$$C = \frac{D}{d} = 11,17 \quad \text{Ec. A.28}$$

Con el índice de resorte obtenido, se puede calcular K_i mediante la ecuación A.29.

$$K_i = \frac{4C^2 - C - 1}{4C \cdot (C - 1)} = 1,072 \quad \text{Ec. A.29}$$

Así, se puede calcular la tensión debida a la torsión a la que está sometido el muelle mediante la ecuación A.30.

$$\sigma = \frac{32 \cdot K_i \cdot M}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 1,072 \cdot 4\,500}{\pi \cdot 6^3} = 227,5\text{ MPa} \quad \text{Ec. A.30}$$

Otro parámetro necesario es la tensión de fluencia del material, por lo que hay que establecer el material del que están fabricados los muelles. Como se desconoce el material, se elige el material menos resistente de la tabla A.5 de [3] para hacer los cálculos.

Tabla A.5: Materiales de resortes

Material	Rango del tamaño mm	Exponente m	Constante, A_p MPa
Alambre de piano ^a	0.10–6.5	0.146	2 170
Revenido en aceite ^b	0.50–12	0.186	1 880
Alambre estirado duro ^c	0.70–12	0.192	1 750
Cromo vanadio ^d	0.80–12	0.167	2 000
Cromo silicona ^e	1.6–10	0.112	2 000



El material elegido para los cálculos de la tensión de fluencia es el alambre estirado puro ($A_p = 1\,750\text{ MPa}$ y $m = 0,192$), la cual se obtiene mediante las ecuaciones A.31 y A.32.

$$\sigma_{Ut} = \frac{A_p}{d^m} = \frac{1\,750}{6^{0,192}} = 1\,240,6\text{ MPa} \quad \text{Ec. A.31}$$

$$\sigma_F = 0,75 \cdot \sigma_{Ut} = 930,5\text{ MPa} \quad \text{Ec. A.32}$$

Una vez se tienen calculadas las tensiones, se obtiene el coeficiente de seguridad mediante la ecuación A.33.

$$CS = \frac{\sigma_F}{\sigma_{max}} = \frac{930,5}{227,5} = 4,09 \quad \text{Ec. A.33}$$

Se confirma que el muelle definido cumple con el coeficiente de seguridad mínimo de 3,5, por lo que se puede garantizar su seguridad.

Una vez obtenido el coeficiente de seguridad, se calcula cuál debe ser el número de espiras y la longitud mínima para hacer el trabajo. Para este cálculo se recuerda que la longitud que recorre la puerta es de 2,27 m.

Se calcula el ángulo que gira la polea (ec. A.34) y después el número de vueltas que da la polea para recoger todo el cable de acero (ec. A.35). Para ello, se necesita conocer el diámetro de la polea, que viene definido en [9].

$$\theta = \frac{L}{\frac{D_{polea}}{2}} = \frac{2\,270}{\frac{120}{2}} = 37,83\text{ rad} = 2\,168^\circ \quad \text{Ec. A.34}$$

$$n^\circ \text{ vueltas} = \frac{\theta}{360^\circ} = 6 \text{ vueltas} \quad \text{Ec. A.35}$$

Una vez obtenido el número de vueltas, se puede obtener el número de espiras necesarias mediante la ecuación A.36 de [3] y finalmente la longitud mínima necesaria del muelle mediante la ecuación A.37.

$$n^\circ \text{ vueltas} = \frac{32 \cdot M \cdot D \cdot N_a}{\pi \cdot E \cdot d^4} \rightarrow N_a = \frac{\pi \cdot E \cdot d^4 \cdot n^\circ v}{32 \cdot M \cdot D} = 531,7 \approx 532 \text{ espiras} \quad \text{Ec. A.36}$$

$$L_{muelle} = N_a \cdot d = 3\,192\text{ mm} \quad \text{Ec. A.37}$$

De esta forma, se establece que el muelle necesario debe tener una longitud mínima de 3,2 m para poder tener el número de espiras mínimas necesarias y así ser capaz de realizar el trabajo propuesto.

Para que el eje, en el que se instala los muelles, no tenga problemas de rigidez, se divide el muelle planteado en dos muelles de mismas dimensiones, pero con la mitad de longitud y mitad de espiras. De esta forma, se pueden colocar apoyos en el punto medio del eje y aumentar la rigidez. Los muelles finalmente seleccionados se toman de [8].

ANEXO B: CÁLCULOS DE LAS GUÍAS

Los carriles están compuestos por perfiles abiertos de aluminio con una forma parecida a una C. A partir de perfiles de guías disponibles en el mercado se puede sacar unas dimensiones preliminares que tienen que ser expuestas a diversas situaciones desfavorables donde puede traducirse en fallo. Las dimensiones inicialmente propuestas del perfil se están en la figura B.1.

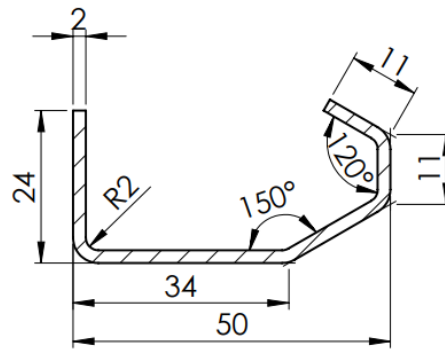


Figura B.1: Perfil de las guías acotado (Extracto del plano de la guía horizontal inferior)

B.1 CÁLCULO DEL PERFIL DE LAS GUÍAS HORIZONTALES

Teniendo en cuenta las cargas que soporta la guía horizontal inferior cuando la puerta está abierta, ya que es la situación más desfavorable, se calcula la tensión de fluencia mínima del material que están compuestas las guías. Así que, se simplifica a una barra con cuatro fuerzas puntuales con un valor del peso total (calculado en el apartado del cálculo del motorreductor) entre diez (fig. B.2 y ec. B.1).

$$F = P/10 = 108 \text{ N}$$

Ec. B.1

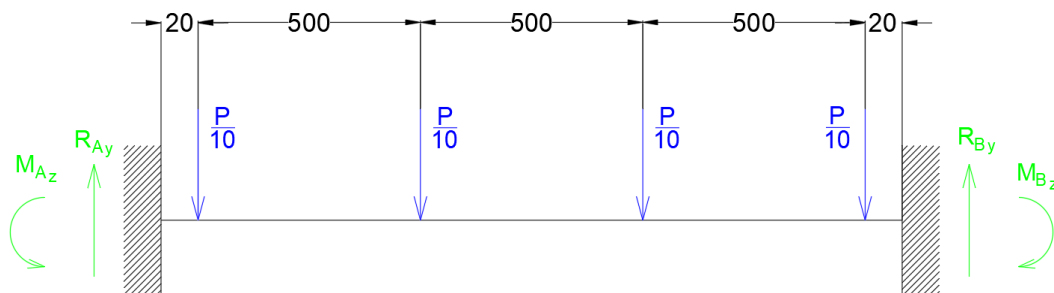


Figura B.2: Representación simplificada de la guía horizontal inferior en situación de puerta abierta

Una vez identificadas las fuerzas y las dimensiones de las guías, se puede obtener las reacciones resolviendo la estructura hiperestática. En este caso se ha recurrido al uso del programa de cálculo de estructuras en 2D "Cespla". En este programa se añaden las dimensiones y las fuerzas actuantes, y se obtienen las reacciones.

$$R_{Ay} = 216 \text{ N}$$

$$M_{A,z} = 39\,328,8 \text{ Nmm}$$

$$R_{By} = 216 \text{ N}$$

$$M_{B,z} = 39\,328,8 \text{ Nmm}$$

Una vez obtenidas las reacciones en los apoyos, se obtiene los diagramas de esfuerzos, siendo V el cortante y M el momento flector.

Entre $x = 0$ y $x = 20$ mm:

$$V = -216 \text{ N}$$

$$M(x) = 216x - 39\,328,8$$

Ec. B.2

$$M(x = 0) = -39\,328,8 \text{ Nmm}$$

$$M(x = 20) = -35\,008,8 \text{ Nmm}$$

Entre $x = 20$ mm y $x = 520$ mm:

$$V = -108 \text{ N}$$

$$M(x) = -108 \cdot (x - 20) + 216x - 39\,328,8 = 108x - 37\,168,8$$

Ec. B.3

$$M(x = 20) = -35\,008,8 \text{ Nmm}$$

$$M(x = 520) = 18\,991,2 \text{ Nmm}$$

Entre $x = 520$ mm y $x = 1020$ mm:

$$V = 0$$

$$M = -39\,328,8 - 108(x - 520) - 108(x - 20) + 216x = 18\,991,2 \text{ Nmm}$$

Como la estructura y el reparto de cargas es simétrico, los diagramas de esfuerzos son simétricos. Así que se pueden dibujar los diagramas de esfuerzos (fig. B.3).

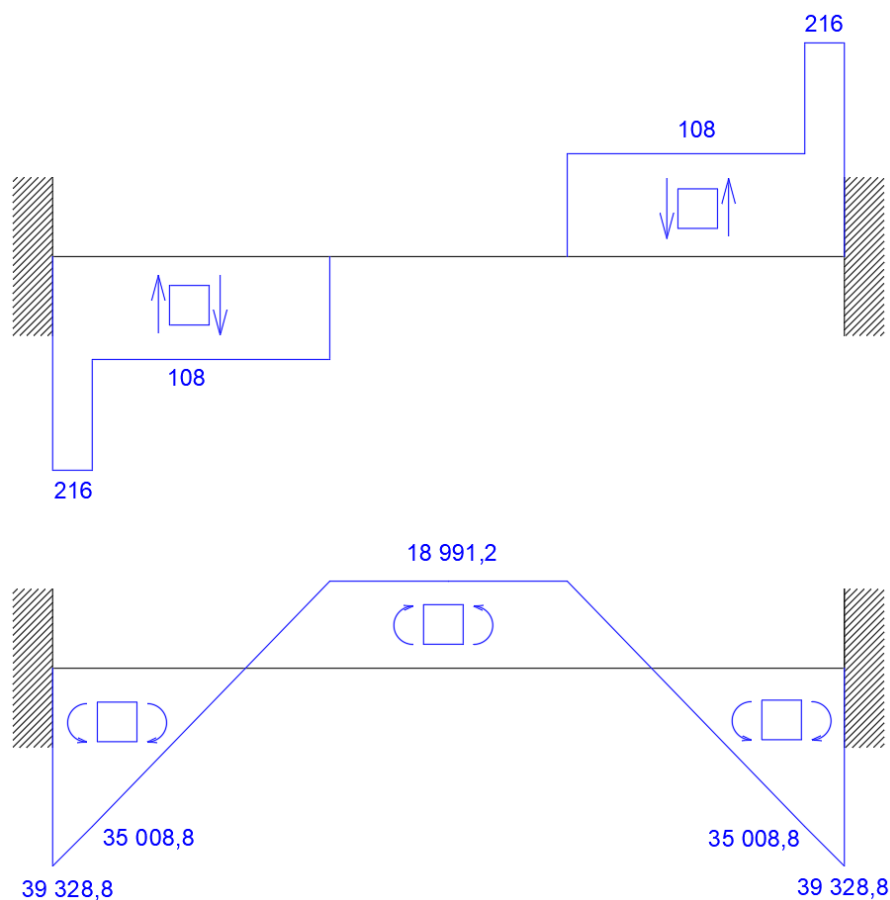


Figura B.3: Diagramas de esfuerzos de cortante y flector de la guía horizontal inferior

Con los diagramas de esfuerzos calculados, se identifica cual es la sección de la guía más desfavorable, que en este caso es el empotramiento, es decir, la unión atornillada. En esta sección, la guía está sometida a un cortante de 216 N y a un momento flector de $39\,328,8\text{ Nmm}$. Para poder hacer los cálculos del punto más desfavorable, se simplifica el perfil inicialmente establecido, a uno en forma de U y se hace el diagrama de tensiones (fig. B.4).

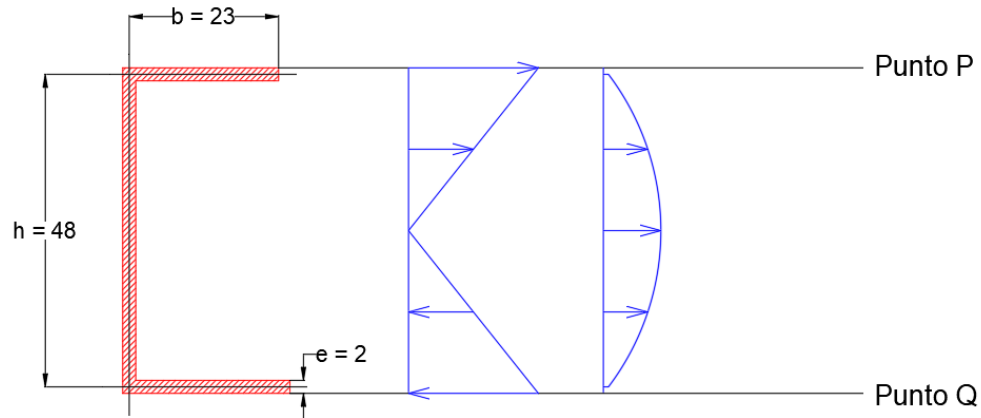


Figura B.4: Diagrama de tensiones del perfil simplificado

Observando las representaciones de la tensión, se aprecia que el punto más desfavorable de la sección empotrada es el punto P, donde se tiene una tensión normal máxima. De modo que, se puede calcular la tensión máxima a la que está sometida la sección como la tensión normal máxima debida al momento flector (ecs. B.4-6).

$$I_z = \frac{1}{12} e(h+e)^3 + 2 \left(b - \frac{e}{2} \right) \left(\frac{1}{12} e^3 + e \left(\frac{h}{2} \right)^2 \right) = 71\,550,67\text{ mm}^4 \quad \text{Ec. B.4}$$

$$y_{\max} = \frac{h+e}{2} = 25\text{ mm} \quad \text{Ec. B.5}$$

$$\sigma_x^{\max} = \frac{M_z}{I_z} y_{\max} = \frac{48\,796,9}{71\,550,67} \cdot 25 = 13,74\text{ MPa} \quad \text{Ec. B.6}$$

Obtenido la tensión máxima, se calcula la tensión de fluencia del material necesario partiendo de un coeficiente de seguridad de 3,5 (ecs. B.7).

$$CS = \frac{\sigma_F}{\sigma_x^{\max}} \rightarrow \sigma_F = CS \cdot \sigma_x^{\max} = 3,5 \cdot 13,74 = 48,1\text{ MPa} \quad \text{Ec. B.7}$$

Antes de determinar cuál es la tensión de fluencia mínima que debe tener el material del que están hechas las guías horizontales inferiores, es pertinente comprobar el espesor del perfil.

B.2 CÁLCULO DEL ESPESOR DEL PERFIL

Para afirmar que el espesor del perfil de la guía es suficiente como para soportar el peso total de la puerta, se debe calcular la tensión de fluencia mínima del material que componen las guías. Para este cálculo se recurre a la guía horizontal inferior cuando la puerta está abierta.

Esta guía tiene cuatro fuerzas puntuales iguales, de modo que, se divide la guía en 4 segmentos iguales y a cada uno se le aplica una fuerza puntual. De esta forma, se evalúa la tracción y el flector (ecs. B.8-9) en uno de esos segmentos sometidos a una fuerza puntual de $\frac{P}{10}$ de acuerdo a la figura B.5.

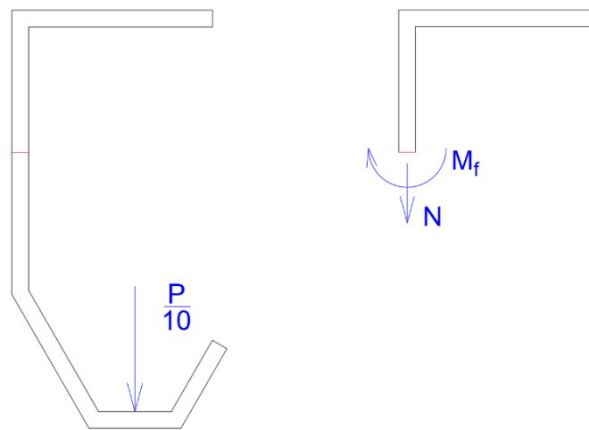


Figura B.5: Perfil sometido a la carga puntual

$$N = \frac{P}{10} = \frac{1\,080}{10} = 108\,N \qquad M_{flector} = \frac{P}{10} \cdot L = \frac{1080}{10} \cdot 13,74 = 1\,483,9\,Nmm \qquad \text{Ecs. B.8-9}$$

Se detecta la sección más desfavorable (fig. B.6) y se calcula su inercia (ec. B.10), su altura (ec. B.11) y su área (ec. B.12). Con estos valores calculados, se obtiene la tensión normal a la que está sometido el segmento de la guía mediante la ecuación B.13.

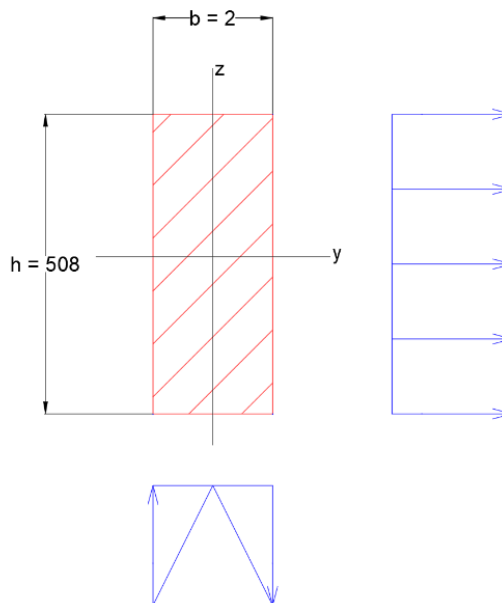


Figura B.6: Diagrama de esfuerzos de la sección más desfavorable del perfil



$$I_z = \frac{1}{12} h \cdot b^3 = \frac{1}{12} 508 \cdot 2^3 = 338,7 \text{ mm}^4 \quad \text{Ec. B.10}$$

$$y_{max} = \frac{b}{2} = 1 \quad \text{Ec. B.11}$$

$$A = b \cdot h = 2 \cdot 508 = 1\,016 \text{ mm}^2 \quad \text{Ec. B.12}$$

$$\sigma_x^{max} = \frac{N}{A} + \frac{M_f}{I_z} y_{max} = \frac{108 \text{ N}}{1\,016 \text{ mm}^2} + \frac{1\,483,9 \text{ Nmm}}{338,7 \text{ mm}^4} \cdot 1 \text{ mm} = 4,487 \text{ MPa} \quad \text{Ec. B.13}$$

Con la tensión calculada, se comprueba cual es la tensión de fluencia necesaria del material mediante la ecuación B.14.

$$CS = \frac{\sigma_F}{\sigma_x^{max}} \rightarrow \sigma_F = CS \cdot \sigma_x^{max} = 3,5 \cdot 4,487 = 15,7 \text{ MPa} \quad \text{Ec. B.14}$$

El material tiene que ser superior a la tensión de fluencia obtenida, es decir, superior a 15,7 MPa. Hasta el momento, el valor más restrictivo son los 48,1 MPa obtenidos en el apartado B.1.

B.3 CÁLCULO DEL PERFIL DE LAS GUÍAS VERTICALES

Para calcular la tensión de fluencia mínima del material que están compuestas las guías verticales, se hace el cálculo cuando la puerta está cerrada y recibe la fuerza del viento (fig. B.7).

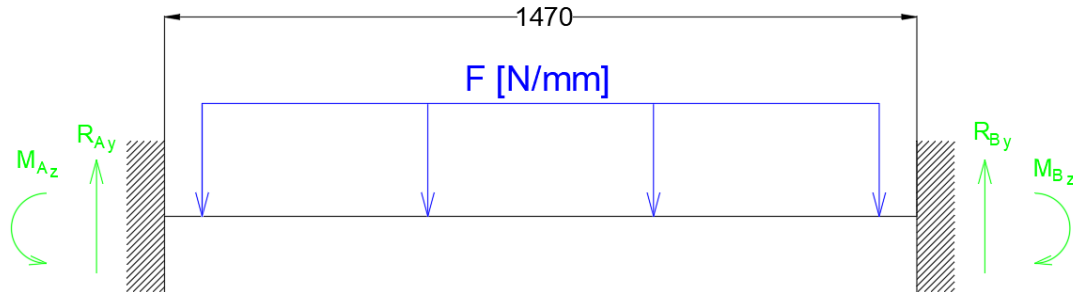


Figura B.7: Representación simplificada de la guía vertical recibiendo la fuerza del viento

Para calcular la fuerza del viento, se necesita conocer la velocidad del viento. Este valor se puede obtener de [12], donde para un viento moderado se estipula que la velocidad es de 17 m/s .

El valor de la fuerza del viento se calcula mediante la ecuación B.15 que estipula el Documento Básico SE-AE (Seguridad Estructural Acciones en la Edificación) [11].

$$Q_v = 0,5 \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot v^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 17^2 = 180,6 \text{ N/m}^2 \quad \text{Ec. B.15}$$

Como se puede ver en la figura B.8, el área que va a ser expuesta a esta puerta corresponde a la longitud de los paneles visibles desde fuera, de $5\,745 \text{ mm}$ y la altura de $2\,000 \text{ mm}$. Haciendo un área total de $11,49 \text{ m}^2$.

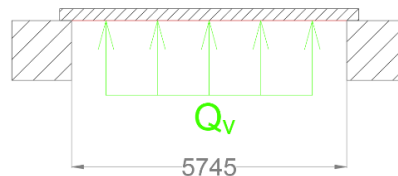


Figura B.8: Vista de planta de la simplificación de la puerta y las columnas

La fuerza puntual que se transmite a las guías verticales, se corresponde al producto de la fuerza por metro cuadrado del viento y el área expuesta. Esta fuerza corresponde a la fuerza puntual que se transmite de forma igualitaria a ambas guías. De modo que, la fuerza que se transmite a cada una de las guías corresponde a la mitad de la fuerza total (ec. B.16).

$$F = \frac{A \cdot Q_v}{2} = \frac{11,49 \text{ m}^2 \cdot 180,6 \text{ N/m}^2}{2} = 1\,037,7 \text{ N} \quad \text{Ec. B.16}$$

Para hacer los cálculos, se distribuye esta fuerza uniformemente sobre la longitud entre las uniones atornilladas y se obtiene la fuerza en función de la longitud, mediante la ecuación B.17.

$$F = \frac{1\,037,7 \text{ N}}{1\,470 \text{ mm}} = 0,71 \text{ N/mm} \quad \text{Ec. B.17}$$

Una vez identificadas la fuerza y las dimensiones de las guías, se puede obtener las reacciones resolviendo la estructura hiperestática, pero en este caso se ha recurrido al uso del

programa de cálculo de estructuras en 2D “Cespla”. En este programa se añaden las dimensiones y la fuerza actuante, y se obtienen las reacciones.

$$R_{Ay} = R_{By} = 521,85 \text{ N}$$

$$M_{A,z} = M_{B,z} = 127\,133 \text{ Nmm}$$

Una vez obtenidas las reacciones en los apoyos, se obtiene los diagramas de esfuerzos, siendo V el cortante y M el momento flector.

Entre $x = 0$ y $x = 735 \text{ mm}$:

$$V(x) = 521,85 - 0,71 \cdot x$$

Ec. B.18

$$V(x = 0) = 521,85 \text{ N}$$

$$V(x = 735) = 0 \text{ N}$$

$$M(x) = -127133 + 521,85x - 0,71 \frac{x^2}{2}$$

Ec. B.19

$$M(x = 0) = 127\,133 \text{ Nmm}$$

$$M(x = 735) = 64\,647 \text{ Nmm}$$

Como la estructura y la carga son simétricas, los diagramas de esfuerzos son simétricos. Así que se pueden dibujar los diagramas de esfuerzos (fig. B.9).

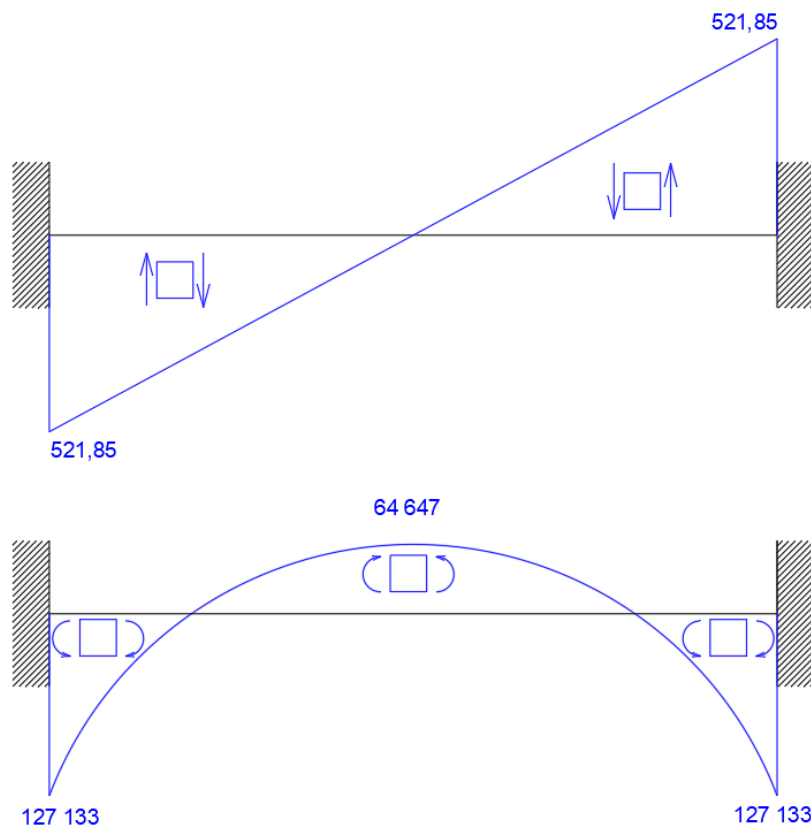


Figura B.9: Diagramas de esfuerzos de cortante y flector de la guía vertical

Con los diagramas de esfuerzos calculados, se identifica cual es la sección de la guía más desfavorable, que en este caso es el empotramiento superior. En esta sección, la guía está sometida a un cortante de $521,85 \text{ N}$ y a un momento flector de $127\,133 \text{ Nmm}$. Para poder hacer los cálculos del punto más desfavorable, se simplifica el perfil inicialmente establecido, a uno en forma de U y se hace el diagrama de tensiones (fig. B.10).

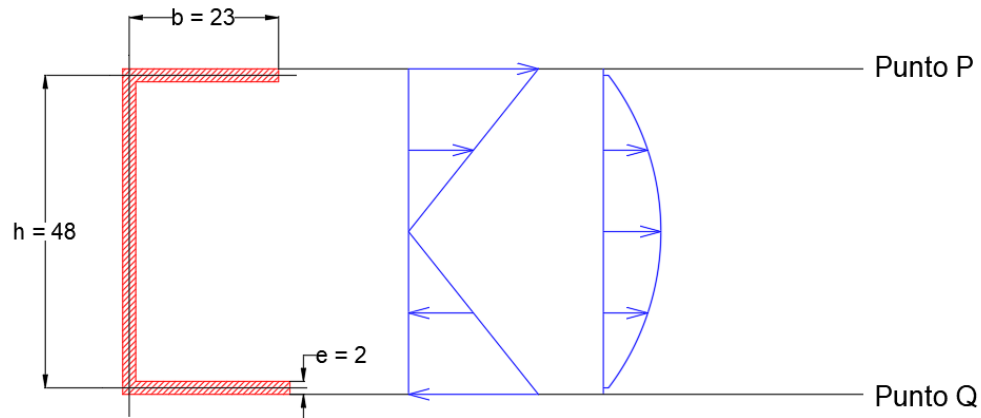


Figura B.10: Diagrama de tensiones del perfil simplificado

Observando las representaciones de la tensión, se aprecia que el punto más desfavorable de la sección empotrada es el punto P, donde se tiene una tensión normal máxima. De modo que, se puede calcular la tensión máxima a la que está sometida la sección como la tensión normal máxima debida al momento flector (ecs. B.20-22).

$$I_z = \frac{1}{12} e(h + e)^3 + 2 \left(b - \frac{e}{2} \right) \left(\frac{1}{12} e^3 + e \left(\frac{h}{2} \right)^2 \right) = 71\,550,67 \text{ mm}^4 \quad \text{Ec. B.20}$$

$$y_{\max} = \frac{h + e}{2} = 25 \text{ mm} \quad \text{Ec. B.21}$$

$$\sigma_x^{\max} = \frac{M_z}{I_z} y_{\max} = \frac{127\,133}{71\,550,67} \cdot 25 = 44,42 \text{ MPa} \quad \text{Ec. B.22}$$

Obtenido la tensión máxima, se calcula la tensión de fluencia del material necesario partiendo de un coeficiente de seguridad de 3,5 (ecs. B.23).

$$CS = \frac{\sigma_F}{\sigma_x^{\max}} \rightarrow \sigma_F = CS \cdot \sigma_x^{\max} = 3,5 \cdot 44,42 = 155,5 \text{ MPa} \quad \text{Ec. B.23}$$

El material tiene que ser superior a la tensión de fluencia obtenida, es decir, superior a 155,5 MPa.

Para que las guías estén fabricadas del mismo material, tienen que estar fabricadas del valor de tensión de fluencia máximo obtenido. Como el valor más restrictivo es el calculado en este apartado, las guías deben estar fabricadas de un material con una tensión de fluencia de al menos 155,5 MPa.

B.4 CÁLCULO DE LAS UNIONES ATORNILLADAS DE LAS GUÍAS

Este apartado consta de tres cálculos de uniones atornilladas, que corresponden al cálculo de las uniones de los tres tipos de guías: guías horizontales inferiores, guías horizontales superiores y guías verticales.

Para este cálculo se tienen en cuenta los tornillos que sirven para sujetar las guías en su posición, por lo que, los tornillos cuya función principal es unir las guías verticales y las guías horizontales inferiores, no se consideran en los cálculos.

En el modelo simplificado de la figura B.11, se pueden diferenciar las guías con sus uniones, tanto las que se consideran para los cálculos (rojo), como las que no se tienen en cuenta (verde).

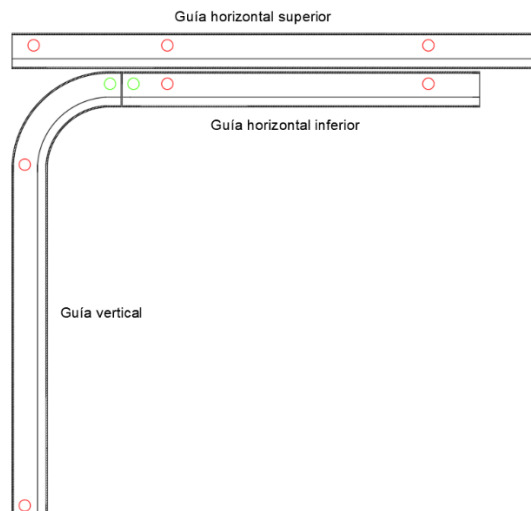


Figura B.11: Representación simplificada de las guías y sus uniones

B.4.1 Cálculo de las uniones atornilladas de las guías horizontales inferiores

El cálculo de las uniones atornilladas de las guías inferiores se realiza considerando la situación más crítica, cuando la puerta está en posición de apertura. En este escenario, hay cuatro fuerzas puntuales de valor $P/10$ como se puede ver en la figura B.12.

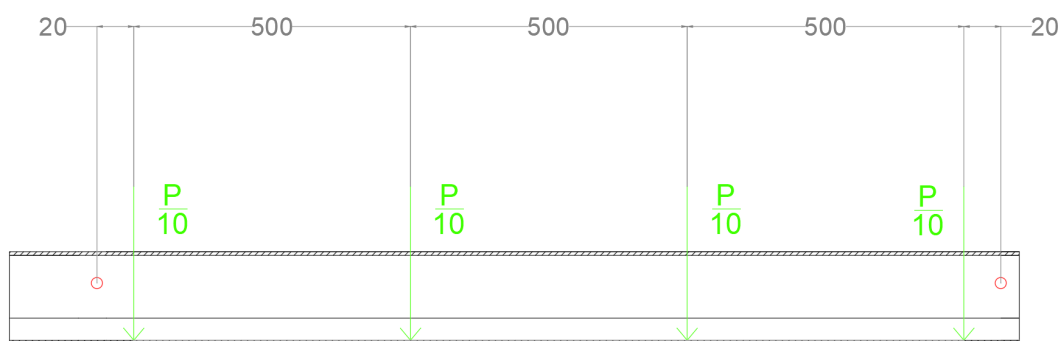


Figura B.12: Representación simplificada de la guía inferior en situación de puerta abierta

El procedimiento se inicia con la selección inicial de los tornillos y su posterior verificación de seguridad para garantizar su resistencia a las fuerzas aplicadas sobre las uniones. Se eligen tornillos M6x1, con un diámetro nominal de 6 mm y un paso de 1 mm. La calidad de los tornillos

elegidos es acero 4.8, con una tensión de fluencia de 340 MPa. Utilizando estas especificaciones y las fórmulas pertinentes, se determina el área resistente de estos tornillos (ecs. B.24-25).

$$d_r = d_c - 0,9381 \cdot p = 5,062 \text{ mm} \quad \text{Ec. B.24}$$

$$A_r = \frac{\pi}{4} \cdot d_r^2 = 20,12 \text{ mm}^2 \quad \text{Ec. B.25}$$

Una vez seleccionados los tornillos, se procede a identificar las tensiones a las que están sujetas las uniones. Se considera tanto la fuerza de cortadura, como la tracción debida a la flexión. La fuerza de corte total es de 2/5 de la carga total P , distribuida equitativamente entre el número de tornillos (fig. B.13 y ec. B.26).

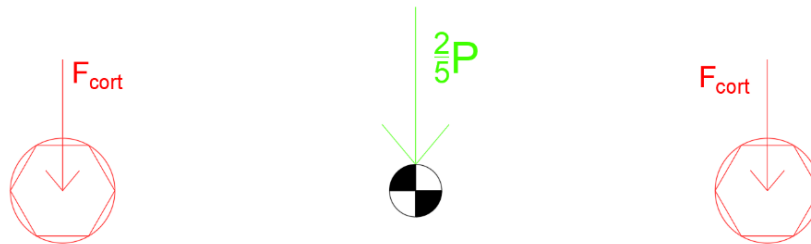


Figura B.13: Distribución de fuerzas a cortante entre los tornillos

$$F_{cort} = \frac{F}{n^{\circ} \text{ tornillos}} = \frac{2 \cdot P}{5 \cdot n^{\circ} \text{ tor}} = \frac{2}{5} \cdot \frac{1\,080}{2} = 216 \text{ N} \quad \text{Ec. B.26}$$

La tracción se calcula mediante un sumatorio de momentos en el punto O, el punto de rotación de la flexión causada por la fuerza a cortadura (ec. B.27). La representación de la flexión de esta unión se ve en la figura B.14.

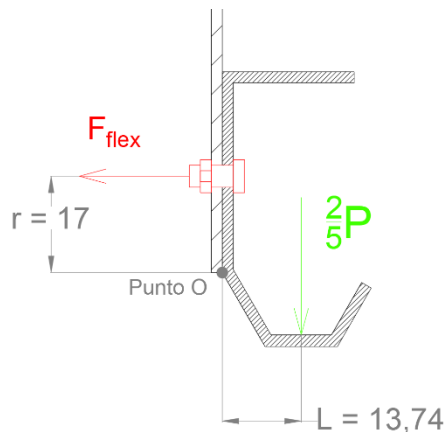


Figura B.14: Unión atornillada a flexión

$$\sum M_z = 0 \rightarrow F_{flex} \cdot n^{\circ} \text{ tor} \cdot r = \frac{2}{5} P \cdot L \rightarrow F_{flex} = \frac{2}{5} \cdot \frac{P \cdot L}{n \cdot r} = \frac{2}{5} \cdot \frac{1\,080 \cdot 13,74}{2 \cdot 17} = 174,6 \text{ N} \quad \text{Ec. B.27}$$

Para obtener la fuerza a tracción total, hay que considerar el apriete, por lo que hay que determinar un coeficiente de reparto, que se puede calcular analizando la geometría y rigidez de los elementos unidos. Cuanto más grande es este parámetro, menor es la fuerza de tracción total; por lo que se toma un valor muy pequeño para situarse en una posición más desfavorable. De modo que, se toma un valor de 0,2, al igual que en el resto de uniones de este proyecto.

Una vez obtenida la constante de reparto se puede calcular la fuerza de apriete con un coeficiente de separación de 3,5 mediante la ecuación B.28.

$$n_s = \frac{F_i}{F_{flex} \cdot (1 - C)} \rightarrow F_i = n_s \cdot F_{flex} \cdot (1 - C) = 3,5 \cdot 174,6 \cdot (1 - 0,2) = 488,9 \text{ N} \quad \text{Ec. B.28}$$

Con estos parámetros determinados se obtiene la fuerza a tracción total de la unión mediante la ecuación B.29.

$$F_{tracc,total} = F_{flex} \cdot C + F_i = 174,6 \cdot 0,2 + 488,9 = 523,8 \text{ N} \quad \text{Ec. B.29}$$

Una vez determinadas las fuerzas actuantes sobre los tornillos, se analiza uno de ellos, ya que ambos están sujetos a las mismas fuerzas. Se calculan las tensiones cortantes debido al corte (ec. B.30) y las tensiones normales debido a la tracción (ec. B.31).

$$\tau = \frac{F_{cort}}{A_r} = \frac{174,6}{20,12} = 10,73 \text{ MPa} \quad \text{Ec. B.30}$$

$$\sigma = \frac{F_{tracc,total}}{A_r} = \frac{523,8}{20,12} = 26,03 \text{ MPa} \quad \text{Ec. B.31}$$

Con las tensiones calculadas, se determina la tensión máxima (ec. B.32) y se utiliza para calcular el coeficiente de seguridad (ec. B.33).

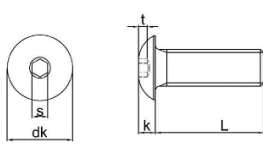
$$\tau^{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} = \sqrt{\left(\frac{26,03}{2}\right)^2 + 10,73^2} = 16,87 \text{ MPa} \quad \text{Ec. B.32}$$

$$CS = \frac{\sigma_F}{2 \cdot \tau_{max}} = \frac{340}{2 \cdot 16,87} = 10,08 \quad \text{Ec. B.33}$$

Como el coeficiente de seguridad es superior a 3,5 se puede asegurar que la unión es segura.

Un aspecto importante para estas uniones es si las cabezas de los tornillos interfieren con las ruedas cuando pasan por las uniones atornilladas. Para evitar esta interferencia, se utilizan tornillos con una cabeza con poca altura como los tornillos ISO 7380. Con este tipo de tornillos para una métrica M6, la cabeza tiene una altura de 3,3 mm según la figura B.15.

ISO 7380



Size	dk		k		s nom.	t min
	min	max	min	max		
M3	5.4	5.7	1.4	1.65	2	1.04
M4	7.24	7.6	1.95	2.2	2.5	1.3
M5	9.14	9.5	2.5	2.75	3	1.66
M6	10.07	10.5	3	3.3	4	2.08
M8	13.57	14	4.1	4.4	5	2.6
M10	17.07	17.5	5.2	5.5	6	3.12
M12	20.48	21	6.24	6.6	8	4.16
M16	27.48	28	8.44	8.8	10	5.2

Figura B.15: Tornillos DIN 7380

Estos tornillos permiten el paso de la rueda con holgura (fig. B.16) y por la forma de su cabeza, si las ruedas colisionan con estos tornillos, estas no se atascarán y seguirán su camino.

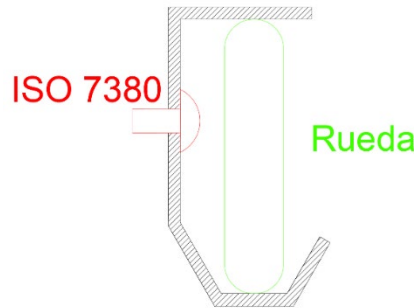


Figura B.16: Espacio en el carril para la rueda y el tornillo ISO 7380

Para las uniones del resto de los carriles se usan estos tornillos con el fin de evitar interferencias.

B.4.2 Cálculo de las uniones atornilladas de las guías horizontales superiores

El cálculo de las uniones atornilladas de las guías superiores se realiza considerando la situación más crítica, cuando la puerta está en posición cerrada. En este escenario, hay una fuerza puntual de valor $P/2$ como se puede ver en la figura B.17.

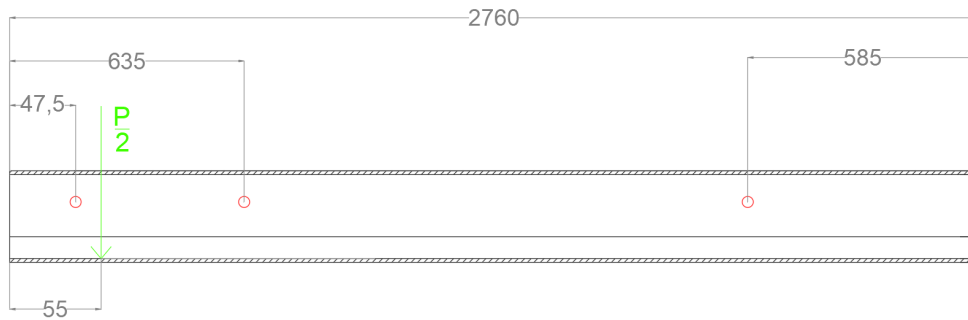


Figura B.17: Representación simplificada de la guía superior en situación de puerta cerrada

El procedimiento se inicia con la selección inicial de los tornillos y su posterior verificación de seguridad para garantizar su resistencia a las fuerzas aplicadas sobre las uniones. Se eligen tornillos M6x1, con un diámetro nominal de 6 mm y un paso de 1 mm. La calidad de los tornillos elegidos es acero 4.8, con una tensión de fluencia de 340 MPa. Utilizando estos parámetros y las fórmulas adecuadas, se determina el área resistente correspondiente a este tipo de tornillos (ecs. B.34-35).

$$d_r = d_c - 0,9381 \cdot p = 5,062 \text{ mm} \quad \text{Ec. B.34}$$

$$A_r = \frac{\pi}{4} \cdot d_r^2 = 20,12 \text{ mm}^2 \quad \text{Ec. B.35}$$

También hay que calcular el centro de masas de los tres tornillos e identificar las distancias a las que se encuentran los tornillos del centro de masas (fig. B.18). Por lo que se calcula la distancia en la que se encuentra el centro de masas desde el extremo izquierdo mediante la ecuación B.36.

$$d_{cdg} = \frac{d_A + d_B + d_C}{3} = \frac{47,5 + 635 + (2760 - 585)}{3} = 952,5 \text{ mm} \quad \text{Ec. B.36}$$

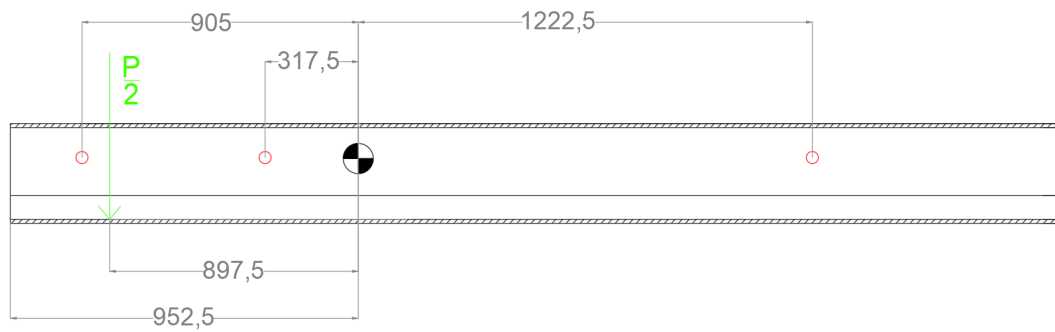


Figura B.18: Representación simplificada del centro de gravedad de los tornillos

Una vez definidos los tornillos, se procede a identificar las tensiones a las que están sujetas las uniones. Estas uniones están expuestas a cortante primario y secundario (torsión), así como la tracción debida a la flexión. De modo que por un lado se evalúan estos tornillos a cortante primario y secundario, y, por otro lado, a cortante primario y tracción por flexión.

El cortante primario representa la mitad de la carga total distribuida uniformemente entre los tornillos (fig. B.19 y ec. B.37).

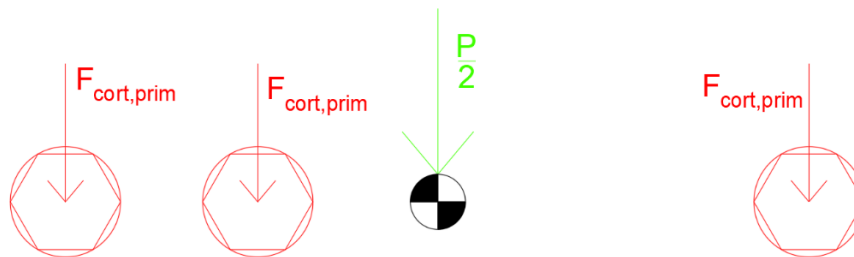


Figura B.19: Distribución de fuerzas a cortante primario entre los tornillos

$$F_{\text{cort,prim}} = \frac{F}{n^{\circ} \text{ tornillos}} = \frac{\frac{P}{2}}{3} = \frac{1\,080}{6} = 180 \text{ N}$$

Ec. B.37

El cortante secundario surge como resultado de la torsión generada por el cortante primario y no es igual en todos los tornillos, porque no es una situación simétrica como en uniones anteriores (fig. B.20 y ecs. B.38-41).

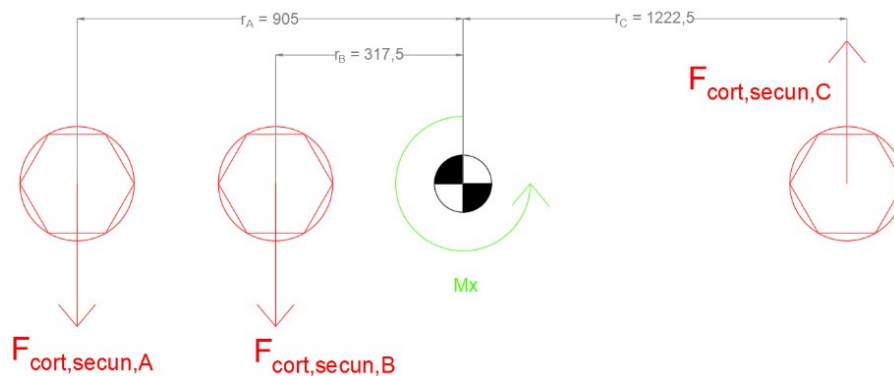


Figura B.20: Distribución de fuerzas a cortante secundario entre los tornillos

$$M_x = \frac{P}{2} \cdot d_{cdg-P/2} = \frac{1\,080\,N}{2} \cdot 897,5\,mm = 484\,650\,Nmm \quad \text{Ec. B.38}$$

$$F_{cort,secun,A} = \frac{M_x \cdot r_A}{r_A^2 + r_B^2 + r_C^2} = \frac{484\,650 \cdot 905}{905^2 + 317,5^2 + 1222,5^2} = 181,7\,N \quad \text{Ec. B.39}$$

$$F_{cort,secun,B} = \frac{M_x \cdot r_B}{r_A^2 + r_B^2 + r_C^2} = \frac{484\,650 \cdot 317,5}{905^2 + 317,5^2 + 1222,5^2} = 67,73\,N \quad \text{Ec. B.40}$$

$$F_{cort,secun,C} = \frac{M_x \cdot r_C}{r_A^2 + r_B^2 + r_C^2} = \frac{484\,650 \cdot 1222,5}{905^2 + 317,5^2 + 1222,5^2} = 245,4\,N \quad \text{Ec. B.41}$$

Sumando ambos cortantes, se obtiene el valor total de cortante en cada tornillo (fig B.21 y ecs. B.42-44).

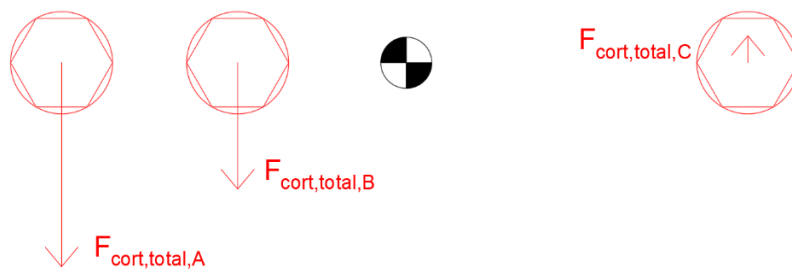


Figura B.21: Distribución de fuerzas a cortante total entre los tornillos

$$F_{cort,total,A} = F_{cort,prim} + F_{cort,secun,A} = 180 + 181,7 = 361,7\,N \quad \text{Ec. B.42}$$

$$F_{cort,total,B} = F_{cort,prim} + F_{cort,secun,B} = 180 + 67,73 = 243,7\,N \quad \text{Ec. B.43}$$

$$F_{cort,total,C} = F_{cort,prim} - F_{cort,secun,C} = 180 - 245,4 = -65,4\,N \quad \text{Ec. B.44}$$

Una vez determinadas las fuerzas actuantes de cortante sobre los tornillos, se analiza el tornillo más crítico, que enfrenta las mayores cargas. Este tornillo, identificado como tornillo A, soporta el mayor cortante. Se calcula la tensión cortante causada por el cortante total (ec. B.45) y el coeficiente de seguridad (ec. B.46).

$$\tau = \frac{F_{cort,total,A}}{A_r} = \frac{361,7\,N}{20,12\,mm^2} = 17,97\,MPa \quad \text{Ec. B.45}$$

$$CS = \frac{\sigma_F}{2 \cdot \tau_{max}} = \frac{340}{2 \cdot 17,97} = 9,5 \quad \text{Ec. B.46}$$

Como el coeficiente de seguridad es superior a 3,5 se puede asegurar que la unión es segura.

Después de evaluar los tornillos a cortante primario y secundario, se evalúa el tornillo a cortante primario y a tracción debida a la flexión.

El cortante primario es el mismo que el calculado mediante la ecuación B.37.

La tracción se calcula mediante un sumatorio de momentos en el punto O, que corresponde al punto de rotación de la flexión inducida por el cortante (ec. B.47). La representación de la flexión de esta unión se ve en la figura B.22.

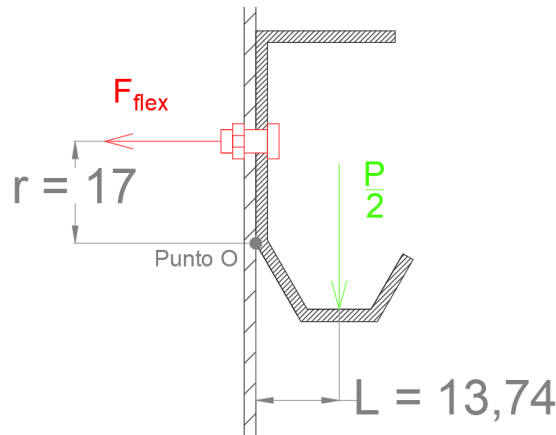


Figura B.22: Unión atornillada a flexión

$$\sum M_z = 0 \rightarrow F_{flex} \cdot n^{\circ} \text{tornillos} \cdot r = \frac{P}{2} \cdot L \rightarrow F_{flex} = \frac{P \cdot L}{2 \cdot n \cdot r} = \frac{1080}{2 \cdot 3} \frac{13,74}{17} = 145,5 \text{ N} \quad \text{Ec. B.47}$$

También se tiene en cuenta la fuerza de apriete, calculada utilizando un coeficiente de separación de 3,5 y una constante de reparto de 0,2 (ec. B.48) para finalmente obtener la fuerza a tracción total (ec. B.49).

$$n_s = \frac{F_i}{F_{flex} \cdot (1 - C)} \rightarrow F_i = n_s \cdot F_{flex} \cdot (1 - C) = 3,5 \cdot 145,5 \cdot (1 - 0,2) = 407,4 \text{ N} \quad \text{Ec. B.48}$$

$$F_{tracc,total} = F_{flex} \cdot C + F_i = 436,4 \text{ N} \quad \text{Ec. B.49}$$

Una vez determinadas las fuerzas actuantes sobre los tornillos, se calcula la tensión cortante causada por el cortante primario (ec. B.50) y la tensión normal por la tracción (ec. B.51).

$$\tau = \frac{F_{cort,prim}}{A_r} = \frac{180 \text{ N}}{20,12 \text{ mm}^2} = 8,944 \text{ MPa} \quad \text{Ec. B.50}$$

$$\sigma = \frac{F_{tracc,total}}{A_r} = \frac{436,4}{20,12} = 21,69 \text{ MPa} \quad \text{Ec. B.51}$$

Con estas tensiones, se determina la tensión máxima (ec. B.52) y se utiliza para calcular el coeficiente de seguridad (ec. B.53).

$$\tau^{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} = \sqrt{\left(\frac{21,69}{2}\right)^2 + 8,944^2} = 14,06 \text{ MPa} \quad \text{Ec. B.52}$$

$$CS = \frac{\sigma_F}{2 \cdot \tau_{max}} = \frac{340}{2 \cdot 14,06} = 12,09 \quad \text{Ec. B.53}$$

Como el coeficiente de seguridad es superior a 3,5 se puede asegurar que la unión es segura.

B.4.3 Cálculo de las uniones atornilladas de las guías verticales

El cálculo de las uniones atornilladas de las guías verticales se realiza considerando la fuerza del viento como se puede ver en la figura B.23.

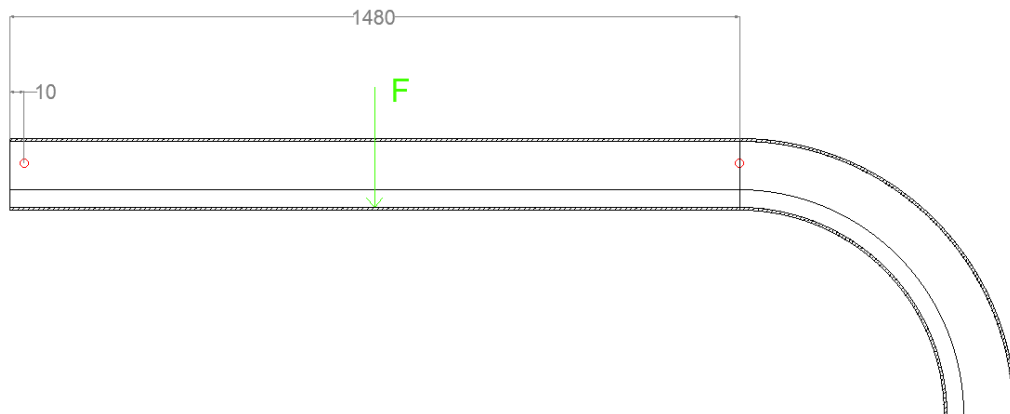


Figura B.23: Representación simplificada de la guía vertical recibiendo la fuerza del viento

Para calcular la fuerza del viento, se necesita conocer la velocidad del viento. Este valor se puede obtener de [12], donde para un viento moderado se estipula que la velocidad es de 17 m/s .

El valor de la fuerza del viento se calcula mediante la ecuación B.54 que estipula el Documento Básico SE-AE (Seguridad Estructural Acciones en la Edificación) [11].

$$Q_v = 0,5 \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot v^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 17^2 = 180,6 \text{ N/m}^2 \quad \text{Ec. B.54}$$

Como se puede ver en la figura B.24, el área que va a ser expuesta a esta puerta corresponde a la longitud de los paneles visibles desde fuera, de $5\,745 \text{ mm}$ y la altura de $2\,000 \text{ mm}$. Haciendo un área total de $11,49 \text{ m}^2$.

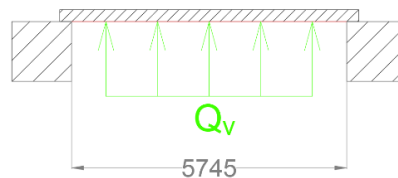


Figura B.24: Vista de planta de la simplificación de la puerta y las columnas

La fuerza puntual que se transmite a las guías verticales, se corresponde al producto de la fuerza por metro cuadrado del viento y el área expuesta. Esta fuerza corresponde a la fuerza puntual que se transmite de forma igualitaria a ambas guías. De modo que, la fuerza que se transmite a cada una de las guías corresponde a la mitad de la fuerza total (ec. B.55).

$$F = \frac{A \cdot Q_v}{2} = \frac{11,49 \text{ m}^2 \cdot 180,6 \text{ N/m}^2}{2} = 1\,037,7 \text{ N} \quad \text{Ec. B.55}$$

El procedimiento se inicia con la selección inicial de los tornillos y su posterior verificación de seguridad para garantizar su resistencia a las fuerzas aplicadas sobre las uniones. Se eligen tornillos M6x1, con un diámetro nominal de 6 mm y un paso de 1 mm . La calidad de los tornillos elegidos es acero 4.8, con una tensión de fluencia de 340 MPa . Utilizando estas especificaciones y las fórmulas pertinentes, se determina el área resistente de estos tornillos (ecs. B.56-57).

$$d_r = d_c - 0,9381 \cdot p = 5,062 \text{ mm} \quad \text{Ec. B.56}$$

$$A_r = \frac{\pi}{4} \cdot d_r^2 = 20,12 \text{ mm}^2 \quad \text{Ec. B.57}$$

Una vez seleccionados los tornillos, se procede a identificar las tensiones a las que están sujetas las uniones. Se considera tanto la fuerza de cortadura, como la tracción debida a la flexión. La fuerza de corte total es la fuerza del viento F_v , distribuida equitativamente entre el número de tornillos (fig. B.25 y ec. B.58).

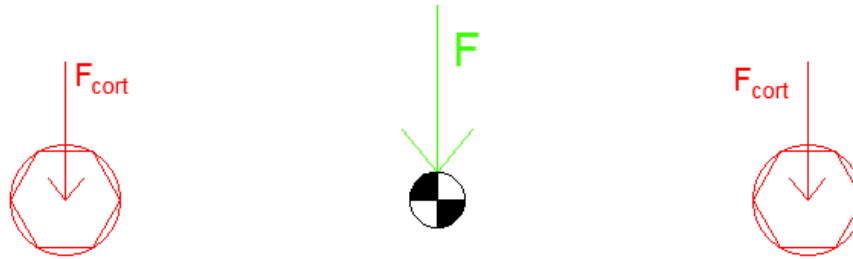


Figura B.25: Distribución de fuerzas a cortante entre los tornillos

$$F_{cort} = \frac{F}{n^{\circ} \text{ tornillos}} = \frac{1\,037,7}{2} = 518,85 \text{ N}$$

Ec. B.58

La tracción se calcula mediante un sumatorio de momentos en el punto O, el punto de rotación de la flexión causada por la fuerza a cortadura (ec. B.59). La representación de la flexión de esta unión se ve en la figura B.26.

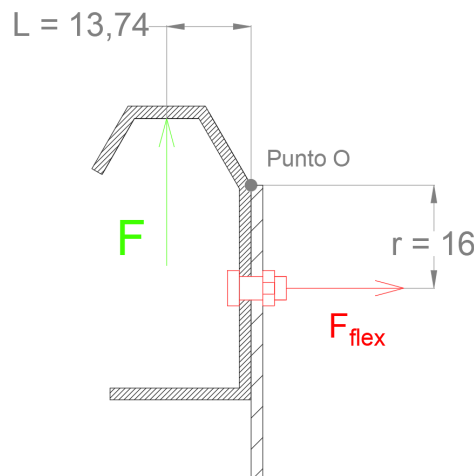


Figura B.26: Unión atornillada a flexión

$$\sum M_z = 0 \rightarrow F_{flex} \cdot n^{\circ} \text{ tor} \cdot r = F \cdot L \rightarrow F_{flex} = \frac{F \cdot L}{n \cdot r} = \frac{1\,037,7 \cdot 13,74}{2 \cdot 16} = 445,6 \text{ N}$$

Ec. B.59

Para obtener la fuerza a tracción total, hay que considerar el apriete, por lo que hay que determinar un coeficiente de reparto, que se puede calcular analizando la geometría y rigidez de los elementos unidos. Cuanto más grande es este parámetro, menor es la fuerza de tracción total; por lo que se toma un valor muy pequeño para situarse en una posición más desfavorable. De modo que, se toma un valor de 0,2 al igual que en el resto de uniones de este proyecto.

Una vez obtenida la constante de reparto se puede calcular la fuerza de apriete con un coeficiente de separación de 3,5 mediante la ecuación B.60.

$$n_s = \frac{F_i}{F_{flex} \cdot (1 - C)} \rightarrow F_i = n_s \cdot F_{flex} \cdot (1 - C) = 3,5 \cdot 445,6 \cdot (1 - 0,2) = 1\,247,6 \text{ N}$$

Ec. B.60

Con estos parámetros determinados se obtiene la fuerza a tracción total de la unión mediante la ecuación B.61.

$$F_{tracc,total} = F_{flex} \cdot C + F_i = 445,6 \cdot 0,2 + 1\,247,6 = 1\,336,7\,N \quad Ec. B.61$$

Una vez determinadas las fuerzas actuantes sobre los tornillos, se analiza uno de ellos, ya que ambos están sujetos a las mismas fuerzas. Se calculan las tensiones cortantes debido al corte (ec. B.62) y las tensiones normales debido a la tracción (ec. B.63).

$$\tau = \frac{F_{cort}}{A_r} = \frac{518,85}{20,12} = 25,78\,MPa \quad Ec. B.62$$

$$\sigma = \frac{F_{tracc,total}}{A_r} = \frac{1\,336,7}{20,12} = 66,42\,MPa \quad Ec. B.63$$

Con las tensiones calculadas, se determina la tensión máxima (ec. B.64) y se utiliza para calcular el coeficiente de seguridad (ec. B.65).

$$\tau^{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} = \sqrt{\left(\frac{66,42}{2}\right)^2 + 25,78^2} = 42,04\,MPa \quad Ec. B.64$$

$$CS = \frac{\sigma_F}{2 \cdot \tau_{max}} = \frac{340}{2 \cdot 42,04} = 4,043 \quad Ec. B.65$$

El coeficiente de seguridad obtenido es muy cercano a 3,5, por lo que, no se puede asegurar del todo que la unión es segura. Como la fuerza de apriete ha sido calculada para evitar la separación, al salir un valor del coeficiente de seguridad tan próximo al mínimo exigido, es posible que se añada más precarga de la prevista y la unión no cumpla con las exigencias.

De modo que, para evitar posibles problemas, se añade un tornillo más a esta unión y se repiten los cálculos de las ecuaciones B.58-B.65. De estos cálculos, se obtiene un coeficiente de seguridad de 6,065, que permite confirmar la seguridad de la unión.

B.5 CÁLCULO DE RIGIDEZ DE LAS GUÍAS HORIZONTALES INFERIORES

Para asegurarse de que las guías soportan el peso y no se curvan, se hace un cálculo de rigidez. Este cálculo permite conocer la flecha vertical que aparece en las guías al estar sometidas al peso de los paneles.

Se hace el cálculo de rigidez de las guías horizontales inferiores en situación de puerta abierta. Estas guías tienen dos uniones atornilladas, es decir, uniones fijas, a una distancia entre ellas de 1 540 mm. Las cargas presentes son cuatro cargas puntuales de una décima parte del peso total, localizadas a lo largo de la guía.

Como en el prontuario [4] no se puede localizar una situación como la expuesta, se aproxima a una situación más desfavorable. En esta situación se combinan las cuatro cargas puntuales y se colocan en el centro de la guía. De esta forma, ya se puede recurrir al prontuario básico de estructuras simples y basarse en el modelo de viga simple empotrada con carga puntual centrada (fig. B.27), que ofrece la ecuación B.66.

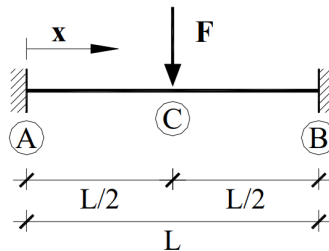


Figura B.27: Extracto del prontuario básico de estructuras simples, modelo de viga simple empotrada con carga puntual centrada

$$y_{max} = \frac{F \cdot L^3}{192 \cdot E \cdot I} = \frac{4 \cdot \left(\frac{P}{10}\right) \cdot L^3}{192 \cdot E \cdot I} = 0,5469 \text{ mm} \quad \text{Ec. B.66}$$

Se obtiene un valor de flecha bastante bajo teniendo en cuenta que el valor corresponde a una situación muy desfavorable. También se puede calcular el valor de flecha en mm/m mediante la ecuación B.67.

$$y_{max} = \frac{0,5469 \text{ mm}}{1,54 \text{ m}} = 0,3551 \frac{\text{mm}}{\text{m}} \quad \text{Ec. B.67}$$

Los valores de flecha máximos admisibles en ejes son de 0,17 mm/m. En este caso, no se está examinando un eje y se está considerando una fuerza mayor de la previsible, pero los apoyos que en este caso se han considerado empotrados, tampoco lo son. Por lo que, para evitar posibles problemas, se añade un apoyo extra en el punto medio de las guías horizontales.

B.6 CÁLCULO DE LAS PLETINAS DE UNIÓN DE LAS GUÍAS HORIZONTALES CON EL TECHO

B.6.1 Cálculo del espesor de las pletinas

Para afirmar que el espesor de las pletinas de unión de las guías horizontales con el techo es suficiente como para soportar el peso total de la puerta, se debe calcular la tensión de fluencia mínima del material que componen las guías.

Para estudiar estas pletinas (fig. B.28), se evalúa una de ellas en solitario. El número de pletinas que permiten esta unión son seis (tres a cada lado), por lo que, la fuerza a la que tiene que hacer frente la pletina que se va a evaluar, es el peso total de la puerta entre seis.

La fuerza puntual de $P/6$ se traduce en tracción (ec. B.68) y en flector (ec. B.69).

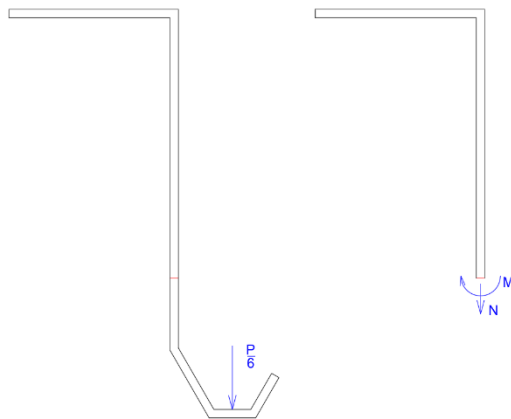


Figura B.28: Representación simplificada de la pletina sometida a la carga puntual

$$N = \frac{P}{6} = \frac{1\,080}{6} = 335\,N \qquad M_{flector} = \frac{P}{6} \cdot L = \frac{1\,080}{6} \cdot 15,75 = 2\,835\,Nmm \qquad \text{Ecs. B.68-69}$$

Se detecta la sección más desfavorable (fig. B.29) y se calcula su inercia (ec. B.70), su altura (ec. B.71) y su área (ec. B.72). Con estos valores calculados, se obtiene la tensión normal a la que está sometido el segmento de la guía mediante la ecuación B.71.

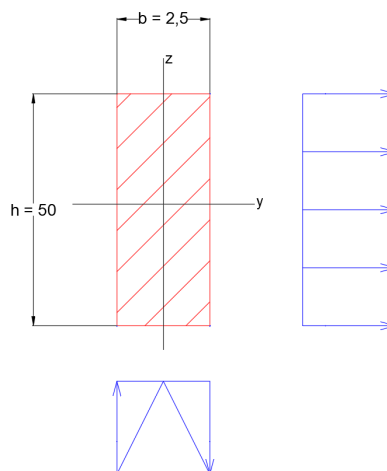


Figura B.29: Diagrama de esfuerzos de la sección más desfavorable del perfil de la pletina

$$I_z = \frac{1}{12} h \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 2,5^3 \cdot 50 = 65,1 \text{ mm}^4$$

Ec. B.70

$$y_{max} = \frac{b}{2} = 1,25 \text{ mm}$$

Ec. B.71

$$A = b \cdot h = 2,5 \cdot 50 = 125 \text{ mm}^2$$

Ec. B.72

$$\sigma_x^{max} = \frac{N}{A} + \frac{M_f}{I_z} y_{max} = \frac{180 \text{ N}}{125 \text{ mm}^2} + \frac{2 \text{ 835 Nmm}}{65,1 \text{ mm}^4} \cdot 1,25 \text{ mm} = 55,87 \text{ MPa}$$

Ec. B.73

Con la tensión calculada, se comprueba cual es la tensión de fluencia necesaria del material mediante la ecuación B.74.

$$CS = \frac{\sigma_F}{\sigma_x^{max}} \rightarrow \sigma_F = CS \cdot \sigma_x^{max} = 195,6 \text{ MPa}$$

Ec. B.74

El material tiene que ser superior a la tensión de fluencia obtenida, es decir, superior a 195,6 MPa.

B.6.2 Cálculo de las uniones atornilladas de las pletinas

Para estudiar estas uniones (fig. B.30), se evalúa una de las pletinas que permiten unir las guías horizontales con el techo. El número de pletinas que permiten esta unión son seis (tres a cada lado), por lo que, la fuerza a la que tiene que hacer frente la unión que se va a evaluar, es el peso total de la puerta entre seis.

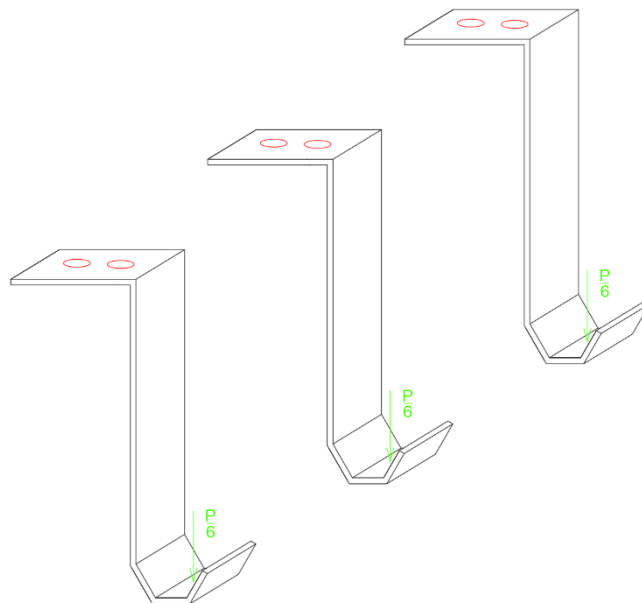


Figura B.30: Pletinas de unión de las guías horizontales y el techo (lado izquierdo)

El procedimiento se inicia con la selección inicial de los tornillos y su posterior verificación de seguridad para garantizar su resistencia a las fuerzas aplicadas sobre las uniones. Se eligen tornillos M8x1,25, con un diámetro nominal de 8 mm y un paso de 1,25 mm. La calidad de los tornillos elegidos es acero 4.8, con una tensión de fluencia de 340 MPa. Utilizando estos parámetros y las fórmulas adecuadas, se determina el área resistente correspondiente a este tipo de tornillos (ecs. B.75 y B.76).

$$d_r = d_c - 0,9381 \cdot p = 6,827 \text{ mm}$$

Ec. B.75

$$A_r = \frac{\pi}{4} \cdot d_r^2 = 36,61 \text{ mm}^2$$

Ec. B.76

Esta unión está sometida a tracción pura y tracción surgida por la flexión. Para el cálculo a tracción pura (fig. B.31), se divide la fuerza entre el número de tornillos que tiene la unión, que en este caso es de dos (ec. B.77).

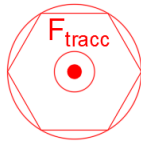


Figura B.31: Distribución de fuerzas a tracción entre los tornillos

$$F_{tracc} = \frac{F}{n^{\circ} \text{ tornillos}} = \frac{P/6}{2} = 90 \text{ N}$$

Ec. B.77

También se tiene una tracción como consecuencia de la flexión a la que está expuesta la unión (fig. B.32). Con las ecuaciones B.78 y B.79, se obtiene la fuerza a flexión en cada tornillo.

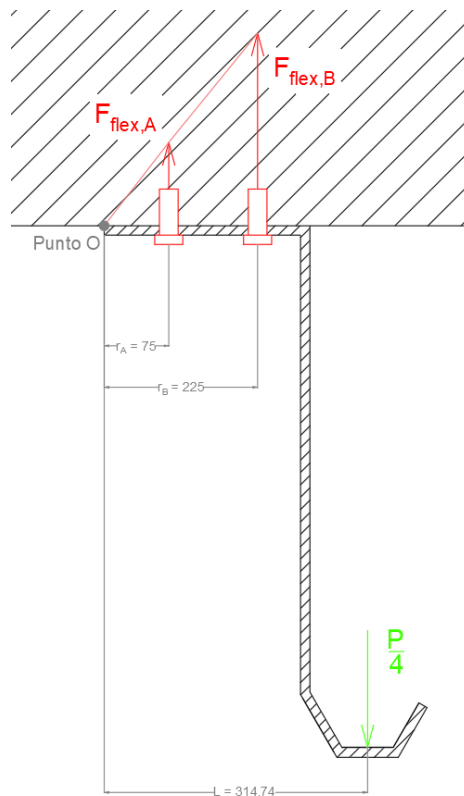


Figura B.32: Unión atornillada a flexión

$$\sum M_z = 0 \rightarrow F_{flexA} \cdot n_A \cdot r_A + F_{flexB} \cdot n_B \cdot r_B = F \cdot L$$

Ec. B.78

$$\frac{F_{flexA}}{r_A} = \frac{F_{flexB}}{r_B}$$

Ec. B.79

$$F_{flexA} = 75,54 \text{ N} \quad F_{flexB} = 226,6 \text{ N}$$



Una vez calculadas las fuerzas de flexión, se continua con los cálculos usando la fuerza a flexión máxima, que es la del tornillo B. Se obtiene la fuerza de apriete mínima para que no exista separación suponiendo un coeficiente de seguridad de 3,5 y una constante de contacto de 0,2 (ec. B.80); y así se obtiene la fuerza de tracción total (ec. B.81).

$$F_i = n_s \cdot (F_{flex_B} + F_{tracc}) \cdot (1 - C) = 3,5 \cdot (226,6 + 90) \cdot (1 - 0,2) = 886,5 \text{ N} \quad \text{Ec. B.80}$$

$$F_{tracc,total} = (F_{flex_B} + F_{tracc}) \cdot C + F_i = (226,6 + 90) \cdot 0,2 + 886,5 = 949,8 \text{ N} \quad \text{Ec. B.81}$$

Una vez se tienen todas las fuerzas a las que está expuesta la unión, se pueden obtener su tensión normal (ec. B.82) y con ella el coeficiente de seguridad (ec. B.83).

$$\sigma = \frac{F_{tracc,total}}{A_r} = \frac{949,8}{57,99} = 25,94 \text{ MPa} \quad \text{Ec. B.82}$$

$$CS = \frac{\sigma_F}{\sigma_{max}} = \frac{340}{25,94} = 13,1 \quad \text{Ec. B.83}$$

Como el coeficiente de seguridad es superior a 3,5 se puede asegurar que la unión es segura.

ANEXO C: CÁLCULOS DE LA BARRA, EL PASADOR Y LA OREJETA

C.1 COMPROBACIÓN DE LAS DIMENSIONES

Para hacer el cálculo de la barra, el pasador y la orejeta, se parte de unas dimensiones previamente establecidas, basándose en las piezas que se pueden encontrar en el mercado. Con estas dimensiones ya conocidas, se puede obtener el coeficiente de seguridad de estos elementos ante cortadura, aplastamiento y tracción.

Las dimensiones que se necesitan para comprobar la seguridad de las piezas son: el diámetro del pasador ($d_p = 20 \text{ mm}$); la anchura ($h_b = 40 \text{ mm}$) y el espesor de la barra ($e_b = 10 \text{ mm}$); y el espesor ($e_o = 5 \text{ mm}$), la altura ($L_o = 40 \text{ mm}$) y la anchura de la orejeta ($h_o = 40 \text{ mm}$). Las dimensiones se pueden ver en la figura C.1.

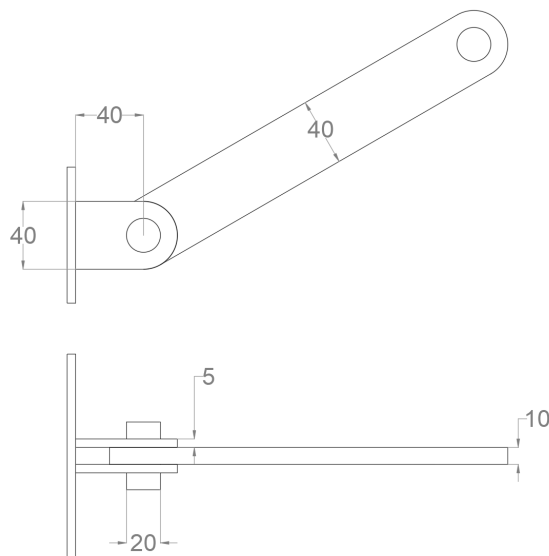


Figura C.1: Orejeta, pasador y barra acotados

Para obtener el diámetro del pasador, se tiene que estudiar el estado a cortadura a la que está expuesta la barra. Para el cálculo del espesor de la orejeta, hay que determinar el estado de aplastamiento a la que está expuesta la orejeta, y de igual manera para el cálculo del espesor de la barra, se analiza el estado de aplastamiento de la barra. Para el cálculo de la anchura de la barra, se estudia el caso de tracción al que está sometida la barra. Para el cálculo de la altura y anchura de la orejeta, se analiza la situación de tracción a la que está sometida la orejeta.

La fuerza a la que están expuestos estos elementos es la fuerza de la barra, calculada en el apartado A.2 del anexo A.

En la situación de cortadura (fig. C.2) se puede analizar la seguridad del pasador según su diámetro y de esta manera determinar si el diámetro propuesto puede cumplir las condiciones de seguridad necesarias. Estos cálculos se ven reflejados en las ecuaciones C.1-C.3.

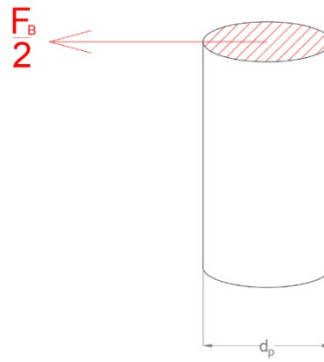


Figura C.2: Pasador a cortante

$$A_{pasador} = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} = \frac{\pi \cdot 20^2}{4} = 314,2 \text{ mm}^2 \quad \text{Ec. C.1}$$

$$\tau_{cort,p}^{max} = \frac{F_B}{n \cdot A_p} = \frac{479,8}{2 \cdot 314,2} = 0,7636 \text{ MPa} \quad \text{Ec. C.2}$$

$$CS_{cort,p} = \frac{\sigma_{F,pas}}{2 \cdot \tau_{cort,p}^{max}} \rightarrow \sigma_{F,cort,pas} = 2 \cdot \tau_{cort,p}^{max} \cdot CS = 5,345 \text{ MPa} \quad \text{Ec. C.3}$$

La tensión de fluencia mínima que tiene que tener el pasador es de 5,345 MPa.

En la situación de aplastamiento (fig. C.3 y fig. C.4) se puede analizar la seguridad de la barra y la orejeta según sus espesores y de esta manera determinar si los espesores propuestos pueden cumplir las condiciones de seguridad necesarias. Estos cálculos se ven reflejados en las ecuaciones C.4-C.7.

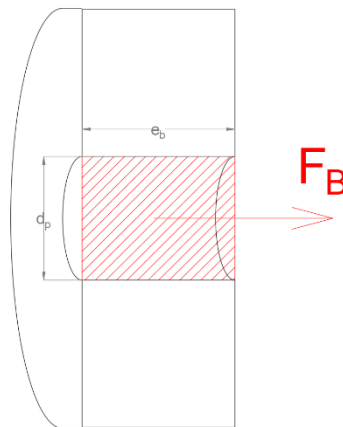


Figura C.3: Barra a aplastamiento

$$\sigma_{apl,b}^{max} = \frac{F_B}{d_p \cdot e_b} = \frac{479,8}{20 \cdot 10} = 2,4 \text{ MPa} \quad \text{Ec. C.4}$$

$$CS_{apl,b} = \frac{\sigma_{F,b}}{\sigma_{apl,b}^{max}} \rightarrow \sigma_{F,aplas,b} = \sigma_{apl,b}^{max} \cdot CS = 8,4 \text{ MPa} \quad \text{Ec. C.5}$$

La tensión de fluencia mínima ante aplastamiento que tiene que tener la barra es de 8,4 MPa.

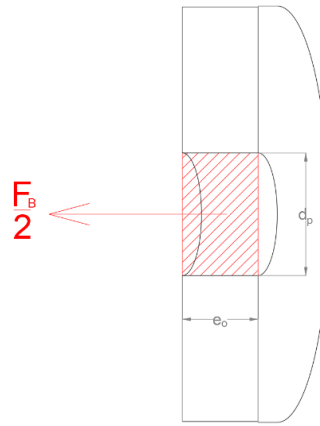


Figura C.4: Orejeta a aplastamiento

$$\sigma_{apl,o}^{max} = \frac{F_B/2}{d_p \cdot e_o} = \frac{479,8/2}{20 \cdot 5} = 2,4 \text{ MPa} \quad \text{Ec. C.6}$$

$$CCS_{apl,o} = \frac{\sigma_{F,o}}{\sigma_{apl,o}^{max}} \rightarrow \sigma_{F,aplas,o} = \sigma_{apl,o}^{max} \cdot CS = 8,4 \text{ MPa} \quad \text{Ec. C.7}$$

La tensión de fluencia mínima ante aplastamiento que tiene que tener la orejeta es de 8,4 MPa.

En la situación de tracción (fig. C.5) se puede analizar la seguridad de la barra y la orejeta según las anchuras de ambos y la altura de la orejeta y de esta manera determinar si las dimensiones propuestas pueden cumplir las condiciones de seguridad necesarias (ecs. C.8-C.9).

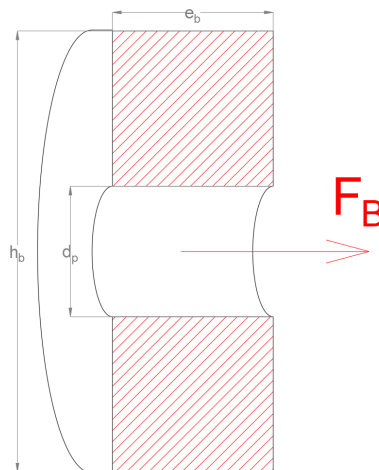


Figura C.5: Barra a tracción

$$\sigma_{tracc,b}^{max} = \frac{F_B}{(h_b - d_p) \cdot e_b} = \frac{479,8}{(40 - 20) \cdot 10} = 2,4 \text{ MPa} \quad \text{Ec. C.8}$$

$$CS_{tracc,b} = \frac{\sigma_{F,b}}{\sigma_{tracc,b}^{max}} \rightarrow \sigma_{F,tracc,b} = \sigma_{tracc,b}^{max} \cdot CS = 8,4 \text{ MPa} \quad \text{Ec. C.9}$$

Después de evaluar la barra a aplastamiento y tracción, se confirma que la tensión de fluencia mínima que tiene que tener la barra es de 8,4 MPa.

Para evaluar la tracción a la que está sometida la orejeta, se tiene que hacer un estudio de diagrama de esfuerzos (fig. C.6), para obtener la sección más débil. Los cálculos están reflejados en las ecuaciones C.10-C.12.

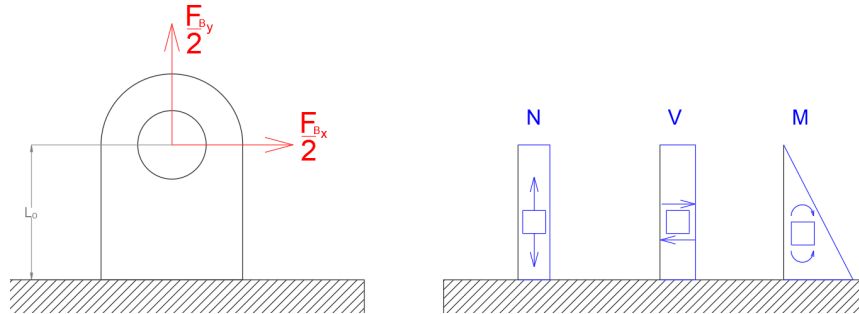


Figura C.6: Diagrama de esfuerzos de la orejeta

$$N = \frac{F_{By}}{2} = 120 \text{ N} \quad V = \frac{F_{Bx}}{2} = 207,75 \text{ N}$$

Ecs. C.10-11

$$M = \frac{F_{Bx}}{2} \cdot L_o = \frac{415,5}{2} \cdot 40 = 8\,310 \text{ Nmm}$$

Ec. C.12

Una vez descubierta que la sección más desfavorable es el empotramiento, con un axil de 120 N y un momento de 8 310 Nmm se analiza el punto más desfavorable, determinando las tensiones en el empotramiento (fig. A.28) y finalmente se obtiene el coeficiente de seguridad en ese punto (ecs. C.13-C.15).

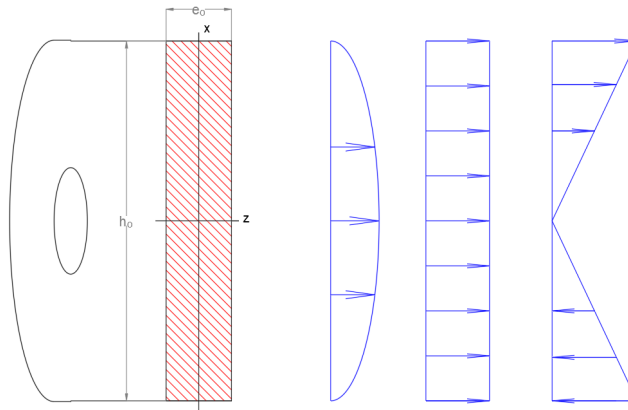


Figura C.7: Tensiones en el empotramiento de la orejeta

$$W_z = \frac{I_z}{x^{max}} = \frac{e_o \cdot h_o^3/12}{h_o/2} = \frac{5 \cdot 40^3/12}{40/2} = 1333 \text{ mm}^3$$

Ec. C.13

$$\sigma_{tracc,o}^{max} = \frac{N_x}{h_o \cdot e_b} + \frac{M_z}{W_z} = \frac{120}{40 \cdot 10} + \frac{8\,310}{1333} = 6,832 \text{ MPa}$$

Ec. C.14

$$CS_{tracc,o} = \frac{\sigma_{F,o}}{\sigma_{tracc,o}^{max}} \rightarrow \sigma_{F,tracc,o} = \sigma_{tracc,o}^{max} \cdot CS = 23,91 \text{ MPa}$$

Ec. C.15

Después de evaluar la barra a aplastamiento y tracción, se confirma que la tensión de fluencia mínima que tiene que tener la orejeta es de 23,91 MPa.

C.2 CÁLCULO DE LAS UNIONES ATORNILLADAS DE LA OREJETA

Las uniones atornilladas de la orejeta, con el panel superior de los paneles que componen la puerta, se pueden ver en la figura C.8.

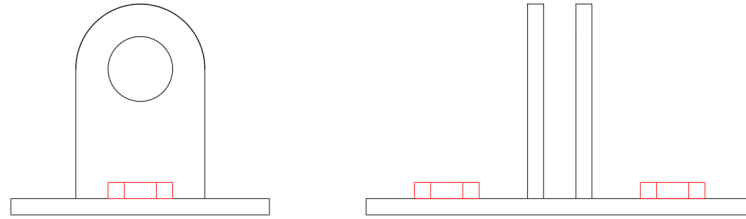


Figura C.8: Uniones de la orejeta

El procedimiento se inicia con la selección inicial de los tornillos y su posterior verificación de seguridad para garantizar su resistencia a las fuerzas aplicadas sobre las uniones. Se eligen tornillos M6x1, con un diámetro nominal de 6 mm y un paso de 1 mm. La calidad de los tornillos elegidos es acero 4.8, con una tensión de fluencia de 340 MPa. ecuaciones C.16 y C.17.

$$d_r = d_c - 0,9381 \cdot p = 6 - 0,9381 \cdot 1 = 5,062 \text{ mm} \quad \text{Ec. C.16}$$

$$A_r = \pi \cdot \frac{d_r^2}{4} = 20,12 \text{ mm}^2 \quad \text{Ec. C.17}$$

Seguidamente se evalúa las fuerzas a cortadura a las que está expuesta por la fuerza descompuesta en el “eje y” (fig. C.9). Al ser dos tornillos, la fuerza se distribuye igualitariamente entre ambos tornillos (ec. C.18).

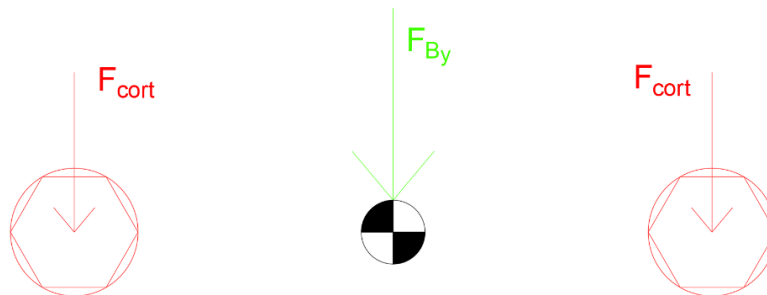


Figura C.9: Distribución de fuerzas a cortante entre los tornillos

$$F_{cort} = \frac{F_{By}}{n^{\circ} \text{ tornillos}} = \frac{240}{2} = 120 \text{ N} \quad \text{Ec. C.18}$$

Seguidamente, se evalúa la situación de tracción. La tracción en este caso proviene de dos aspectos. Por un lado, existe tracción pura (fig. C.10), proveniente de la descompuesta en el “eje x”. Al ser dos tornillos, la fuerza se distribuye igualitariamente entre ambos tornillos (ec. C.19).

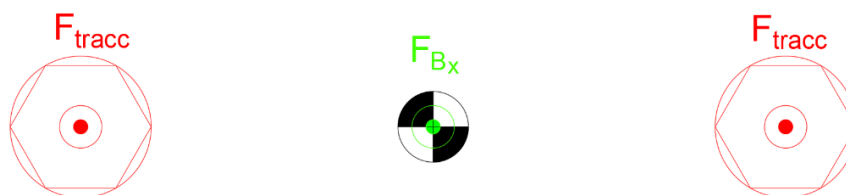


Figura C.10: Distribución de fuerzas a tracción entre los tornillos

$$F_{tracc} = \frac{F_{Bx}}{n^{\circ} \text{ tornillos}} = \frac{415,5}{2} = 207,75 \text{ N}$$

Ec. C.19

Por otro lado, se tiene una tracción como consecuencia de la flexión a la que está expuesta la unión (fig. C.11). Con la ecuación C.20 se obtiene la fuerza a flexión.

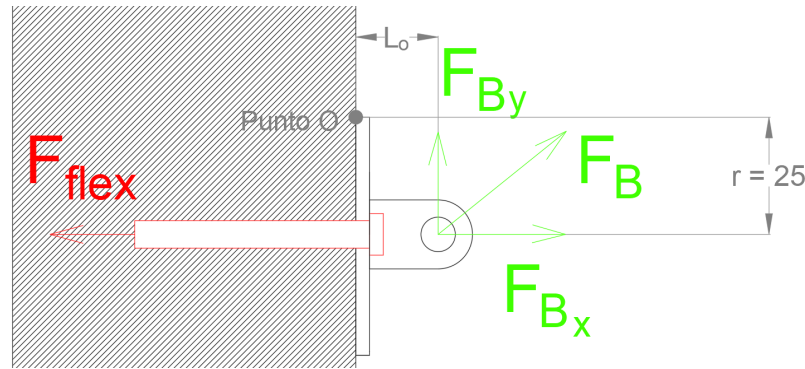


Figura C.11: Unión atornillada a flexión

$$\sum M_z = 0 \rightarrow -F_{flex} \cdot n^{\circ} \text{ tornillos} \cdot r + F_{By} \cdot L_o + F_{Bx} \cdot r = 0 \rightarrow F_{flex} = 303,8 \text{ N}$$

Ec. C.20

Una vez calculadas las fuerzas de flexión, se obtiene la fuerza de apriete mínima, para que no exista separación suponiendo un coeficiente de seguridad de 3,5 y una constante de contacto de 0,2 (ec. C.21); y así se obtiene la fuerza de tracción total (ec. C.22).

$$F_i = n_s \cdot (F_{flex} + F_{tracc}) \cdot (1 - C) = 3,5 \cdot (303,8 + 207,75) \cdot (1 - 0,2) = 1\,432,3 \text{ N}$$

Ec. C.21

$$F_{tracc, total} = (F_{flex} + F_{tracc}) \cdot C + F_i = (303,8 + 207,75) \cdot 0,2 + 1\,432,3 = 1\,534,6 \text{ N}$$

Ec. C.22

Una vez se tienen todas las fuerzas a las que está expuesta la unión, se pueden obtener su tensión cortante (ec. C.23) y normal (ec. C.24).

$$\tau = \frac{F_{cort}}{A_r} = \frac{120}{20,12} = 5,96 \text{ MPa}$$

Ec. C.23

$$\sigma = \frac{F_{tracc, total}}{A_r} = \frac{1\,534,6}{20,12} = 76,27 \text{ MPa}$$

Ec. C.24

Con ambas tensiones calculadas, se obtiene la tensión máxima (ec. C.25) y el coeficiente de seguridad (ec. C.26).

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} = \sqrt{\left(\frac{76,27}{2}\right)^2 + 5,96^2} = 38,588 \text{ MPa}$$

Ec. C.25

$$CS = \frac{\sigma_F}{2 \cdot \tau_{max}} = \frac{340}{2 \cdot 38,59} = 4,406$$

Ec. C.26

Como el coeficiente de seguridad es relativamente cercano a 3,5, se repiten los cálculos de las ecuaciones C.16-C.26, con tornillos M8x1,25 de la misma calidad, y se obtiene que el coeficiente de seguridad es de 8,014.

ANEXO D: CÁLCULOS DE LAS UNIONES ATORNILLADAS DEL MARCO

Los marcos están formados por tres piezas, piezas en forma de U, piezas en forma de L y piezas en forma de C. Entre las uniones entre estas piezas, tal y como se ha explicado en el apartado 5.1, se puede diferenciar entre tres uniones atornilladas (fig. D.1).

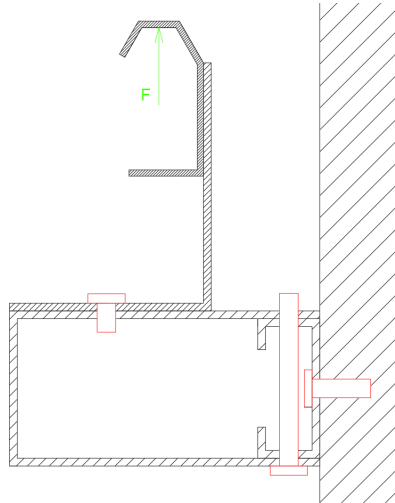


Figura D.1: Tipos de uniones atornilladas del marco

El primer tipo une la pletina que tiene forma de L (pieza que sujeta el perfil vertical y cuya unión ya ha sido evaluada en el apartado 6.5.3) y la pieza en forma de U. El segundo une el marco en forma de U con el perfil en forma de C. El tercero une el perfil en forma de C con la columna.

Inicialmente se plantea que todas las uniones se hacen mediante tornillos M8x1 de calidad 4.8 de 340 MPa de tensión de fluencia. En el primer tipo de unión se usan tres tornillos y en el segundo y tercer tipo se usan cinco tornillos.

Para calcular la fuerza del viento, se necesita conocer la velocidad del viento. Este valor se puede obtener de [12], donde para un viento moderado, la velocidad es de 17 m/s.

El valor de la fuerza del viento se calcula mediante la ecuación D.1 que estipula el Documento Básico SE-AE (Seguridad Estructural Acciones en la Edificación) [11].

$$Q_v = 0,5 \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot v^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 17^2 = 180,6 \text{ N/m}^2 \quad \text{Ec. D.1}$$

Como se puede ver en la figura D.2, el área que va a ser expuesta a esta puerta corresponde a la longitud de los paneles visibles desde fuera, de 5 745 mm y la altura de 2 000 mm. Haciendo un área total de 11,49 m².

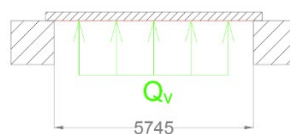


Figura D.2: Vista de planta de la simplificación de la puerta y las columnas

La fuerza puntual que se transmite a las uniones atornilladas, se corresponde al producto de la fuerza por metro cuadrado del viento y el área expuesta. Esta fuerza corresponde a la fuerza puntual que se transmite de forma igualitaria a ambas guías. De modo que, la fuerza que se transmite a cada una de las guías corresponde a la mitad de la fuerza total (ec. D.2).

$$F = \frac{A \cdot Q_v}{2} = \frac{11,49 \text{ m}^2 \cdot 180,6 \text{ N/m}^2}{2} = 1\,037,7 \text{ N} \quad \text{Ec. D.2}$$

D.1 UNIÓN ATORNILLADAS ENTRE PERFIL EN L Y PERFIL EN U

Primero, se evalúa la unión entre la pletina en forma de L con el marco que tiene forma de U. Esta unión está sometida a tracción pura y tracción surgida por la flexión. Para el cálculo a tracción pura (fig. D.3), se divide la fuerza F entre el número de tornillos que tiene la unión, que en este caso es de tres (ec. D.3).

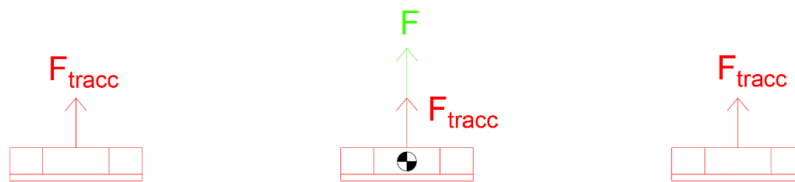


Figura D.3: Distribución de fuerzas a tracción entre los tornillos

$$F_{tracc} = \frac{F}{n^{\circ} \text{ tornillos}} = \frac{F}{3} = 345,9 \text{ N} \quad \text{Ec. D.3}$$

Para el cálculo a flexión (fig. D.4), se determina el punto de rotación de la flexión producida por la fuerza del viento, que corresponde al punto O. Desde ese punto se hace un sumatorio de momentos considerando la fuerza F y la fuerza de reacción de la unión atornillada (ec. D.4).

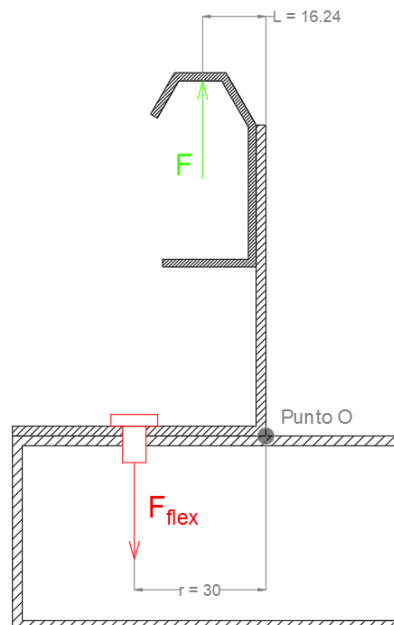


Figura D.4: Unión atornillada a flexión

$$n^{\circ} \text{ tor} \cdot F_{flex} \cdot r = L \cdot F \rightarrow F_{flex} = \frac{F L}{n r} = \frac{1\,037,7 \cdot 16,24}{3 \cdot 30} = 187,2 \text{ N} \quad \text{Ec. D.4}$$



Una vez calculada la fuerza de flexión, se obtiene la fuerza de apriete mínima, para que no exista separación suponiendo un coeficiente de seguridad de 3,5 y una constante de contacto de 0,2 (ec. D.5); y así se obtiene la fuerza de tracción total (ec. D.6).

$$F_i = n_s \cdot (F_{flex} + F_{tracc}) \cdot (1 - C) = 3,5 \cdot (187,2 + 345,9) \cdot (1 - 0,2) = 1\,493\,N \quad \text{Ec. D.5}$$

$$F_{tracc,total} = (F_{flex} + F_{tracc}) \cdot C + F_i = (187,2 + 345,9) \cdot 0,2 + 1\,493 = 1\,599,4\,N \quad \text{Ec. D.6}$$

Para poder continuar con los cálculos, se necesita obtener el área resistente y la tensión de fluencia del tornillo. El área resistente se obtiene del diámetro resistente, que se calcula mediante una ecuación que relaciona el diámetro nominal y el paso (ecs. D.7 y D.8).

$$d_r = d_c - 0,9381 \cdot p = 8 - 0,9381 \cdot 1,25 = 6,827\,mm \quad \text{Ec. D.7}$$

$$A_{rM8x1,25} = \pi \frac{d_r^2}{4} = \pi \frac{6,827^2}{4} = 36,61\,mm^2 \quad \text{Ec. D.8}$$

Una vez obtenidos los parámetros necesarios, se calcula la tensión normal debida a esta tracción (ec. D.9), así la tensión máxima (ec. D.10) y finalmente, la tensión de fluencia mínima del material para garantizar el coeficiente de seguridad de 3,5 (ec. D.11).

$$\sigma = \frac{F_{tracc,total}}{A_{rM8x1,25}} = \frac{1\,599,4}{36,61} = 43,69\,MPa \quad \text{Ec. D.9}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} = \frac{\sigma}{2} = 21,84\,MPa \quad \text{Ec. D.10}$$

$$CS = \frac{\sigma_F}{2 \cdot \tau_{max}} = \frac{340}{2 \cdot 21,84} = 7,782 \quad \text{Ec. D.11}$$

El coeficiente de seguridad está por encima de 3,5 por lo que se puede garantizar su seguridad.

D.2 UNIÓN ATORNILLADAS ENTRE PERFIL EN U Y PERFIL EN C

Esta unión está sometida a tracción pura y tracción surgida por la flexión. Para el cálculo a tracción pura (fig. D.5), se divide la fuerza F entre el número de tornillos que tiene la unión, que en este caso es de cinco (ec. D.12).

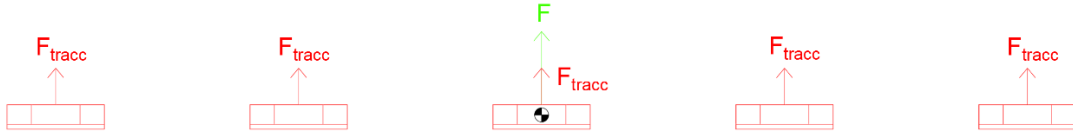


Figura D.5: Distribución de fuerzas a tracción entre los tornillos

$$F_{tracc} = \frac{F}{n^{\circ} \text{ tornillos}} = \frac{F}{5} = 207,5 \text{ N}$$

Ec. D.12

Para hacer el cálculo analítico de esta unión, se supone una hipótesis de dividir la unión, como si se tratara de dos tornillos trabajando de forma independiente. Es una hipótesis más restrictiva, que analizarlo de forma conjunta.

Para el cálculo a flexión de la parte superior (fig. D.6), se determina el punto de rotación de la flexión producida por la fuerza del viento, que corresponde al punto O. Desde ese punto se hace un sumatorio de momentos considerando la fuerza F y la fuerza de reacción de la unión atornillada (ec. D.13).

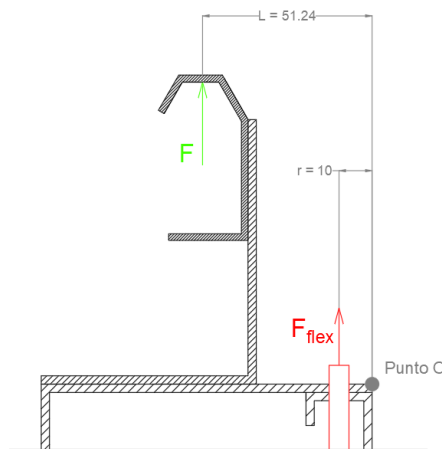


Figura D.6: Unión atornillada a flexión

$$n^{\circ} \text{ tor} \cdot F_{flex_1} \cdot r = L \cdot F \rightarrow F_{flex_1} = \frac{F L}{n r} = \frac{1037,7 \cdot 51,24}{5 \cdot 10} = 1063 \text{ N}$$

Ec. D.13

Para el cálculo a flexión de la parte inferior (fig. D.7), se determina el punto de rotación de la flexión producida por la fuerza del viento, que corresponde al punto O. Desde ese punto se hace un sumatorio de momentos considerando la fuerza F y la fuerza de reacción de la unión atornillada (ec. D.14).

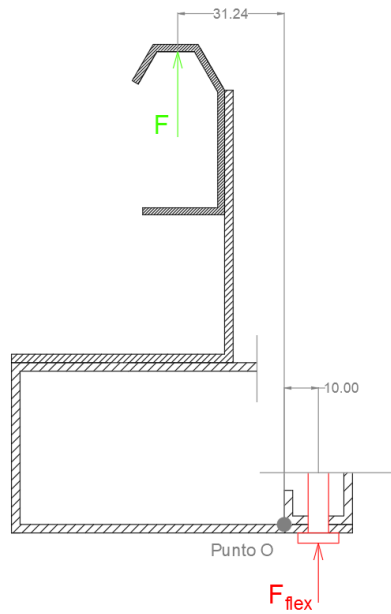


Figura D.7: Unión atornillada a flexión

$$n^{\text{tor}} \cdot F_{flex_2} \cdot r = L \cdot F \rightarrow F_{flex_2} = \frac{F L}{n r} = \frac{1\,037,7 \cdot 31,24}{5 \cdot 10} = 648,3 \text{ N} \quad \text{Ec. D.14}$$

Una vez calculadas las fuerzas debidas a la flexión, se continua el cálculo teniendo en cuenta la unión más desfavorable, que en este caso es la unión superior.

Se calcula la fuerza de apriete mínima, para que no exista separación suponiendo un coeficiente de seguridad de 3,5 (ec. D.15) y una constante de separación de 0,2; y así se obtiene la fuerza de tracción total (ec. D.16).

$$F_i = n_s \cdot (F_{flex_1} + F_{tracc}) \cdot (1 - C) = 3\,558,7 \text{ N} \quad \text{Ec. D.15}$$

$$F_{tracc, total} = (F_{flex_1} + F_{tracc}) \cdot C + F_i = 3\,812,9 \text{ N} \quad \text{Ec. D.16}$$

Para poder continuar con los cálculos, se necesita obtener el área resistente y la tensión de fluencia del tornillo. El área resistente se obtiene del diámetro resistente, que se calcula mediante una ecuación que relaciona el diámetro nominal y el paso (ecs. D.17 y D.18).

$$d_r = d_c - 0,9381 \cdot p = 8 - 0,9381 \cdot 1,25 = 6,827 \text{ mm} \quad \text{Ec. D.17}$$

$$A_{rM8 \times 1,25} = \pi \frac{d_r^2}{4} = \pi \frac{6,827^2}{4} = 36,61 \text{ mm}^2 \quad \text{Ec. D.18}$$

Una vez obtenidos los parámetros necesarios, se calcula la tensión cortante debida a la cortante (ec. D.19) y la tensión normal debida a la tracción (ec. D.20).

$$\sigma = \frac{F_{tracc, total}}{A_{rM8 \times 1,25}} = \frac{3\,812,9}{36,61} = 104,1 \text{ MPa} \quad \text{Ec. D.19}$$

Con ambas calculadas, se obtiene la tensión máxima (ec. D.20) y la tensión de fluencia mínima del material para garantizar el coeficiente de seguridad de 3,5 (ec. D.21).



$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} = \frac{\sigma}{2} = 52,05 \text{ MPa} \quad \text{Ec. D.20}$$

$$CS = \frac{\sigma_F}{2 \cdot \tau_{max}} = 3,265 \quad \text{Ec. D.21}$$

El coeficiente de seguridad está por debajo de 3,5 por lo que se repiten los cálculos de las ecuaciones D.17-D.21, con tornillos M10x1,5 de la misma calidad, y se obtiene un coeficiente de seguridad de 5,171.

D.3 UNIÓN ATORNILLADAS ENTRE PERFIL EN C Y COLUMNA

Esta unión está sometida a cortante y tracción surgida por la flexión. Para el cálculo a cortante pura (fig. D.8), se divide la fuerza F entre el número de tornillos que tiene la unión, que en este caso es de cinco (ec. D.22).

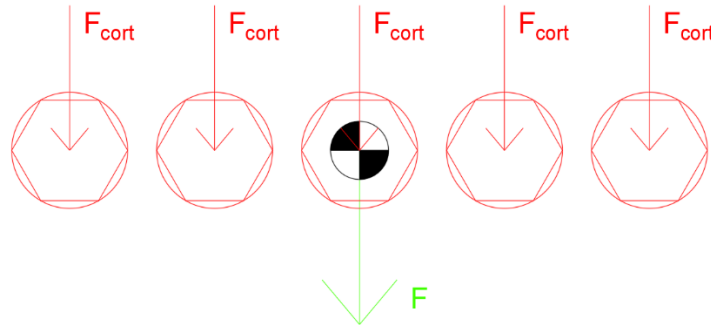


Figura D.8: Distribución de fuerzas a cortante entre los tornillos

$$F_{cort} = \frac{F}{n^{\circ} \text{ tornillos}} = \frac{F}{5} = 207,5 \text{ N}$$

Ec. D.22

Para el cálculo a tracción (fig. D.9), se determina el punto de rotación de la flexión producida por la fuerza del viento, que corresponde al punto O. Desde ese punto se hace un sumatorio de momentos considerando la fuerza F y la fuerza de reacción de la unión atornillada (ec. D.23).

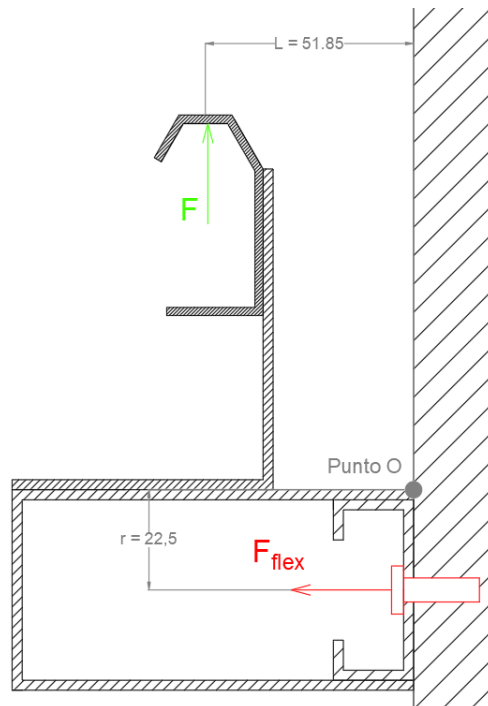


Figura D.9: Unión atornillada a flexión

$$n^{\circ} \text{ tor} \cdot F_{flex} \cdot r = L \cdot F \rightarrow F_{flex} = \frac{F L}{n r} = \frac{1\,037,7 \cdot 51,85}{5 \cdot 22,5} = 478,3 \text{ N}$$

Ec. D.23



Una vez calculadas las fuerzas de tracción, se obtiene la fuerza de apriete mínima, para que no exista separación suponiendo un coeficiente de seguridad de 3,5 (ec. D.24) y una constante de separación de 0,2; y así se obtiene la fuerza de tracción total (ec. D.25).

$$F_i = n_s \cdot F_{flex} \cdot (1 - C) = 1\,339,1\,N \quad \text{Ec. D.24}$$

$$F_{tracc,total} = F_{flex} \cdot C + F_i = 1\,434,8\,N \quad \text{Ec. D.25}$$

Para poder continuar con los cálculos, se necesita obtener el área resistente y la tensión de fluencia del tornillo. El área resistente se obtiene del diámetro resistente, que se calcula mediante una ecuación que relaciona el diámetro nominal y el paso (ecs. D.26 y D.27).

$$d_r = d_c - 0,9381 \cdot p = 8 - 0,9381 \cdot 1,25 = 6,827\,mm \quad \text{Ec. D.26}$$

$$A_{rM8x1,25} = \pi \frac{d_r^2}{4} = \pi \frac{6,827^2}{4} = 36,61\,mm^2 \quad \text{Ec. D.27}$$

Una vez obtenidos los parámetros necesarios, se calcula la tensión cortante debida a la cortante (ec. D.28) y la tensión normal debida a la tracción (ec. D.29).

$$\tau = \frac{F_{cort}}{A_{rM8x1,25}} = 5,669\,MPa \quad \text{Ec. D.28}$$

$$\sigma = \frac{F_{tracc,total}}{A_{rM8x1,25}} = 39,19\,MPa \quad \text{Ec. D.29}$$

Con ambas calculadas, se obtiene la tensión máxima (ec. D.30) y la tensión de fluencia mínima del material para garantizar el coeficiente de seguridad de 3,5 (ec. D.31).

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} = \sqrt{\left(\frac{39,19}{2}\right)^2 + 5,669^2} = 20,4\,MPa \quad \text{Ec. D.30}$$

$$CS = \frac{\sigma_F}{2 \cdot \tau_{max}} = 8,334 \quad \text{Ec. D.31}$$

El coeficiente de seguridad está por encima de 3,5 por lo que se puede garantizar su seguridad.



BIBLIOGRAFÍA ANEXOS

LIBROS Y APUNTES

- [1] **Criterios de diseño de máquinas** (2022/2023). P. Canalís Martínez, J. Abad Blasco, D. Valladares Hernando.
- [2] **Cálculo (y Selección) de Elementos de Máquinas** (2023/2024). P. Canalís Martínez, J. Abad Blasco.
- [3] **Sistemas mecánicos en máquinas** (2023/2024). J. Abad Blasco.
- [4] **Prontuario básico de estructuras simples.**
- [5] **R.A. Física McGraw-Hill** (1992). Serway.

ELEMENTOS COMERCIALES

Motorreductor

- [6] Catálogo de Motorreductores DC Doga: <https://docs.rs-online.com/cb0c/A700000006812175.pdf>

Paneles

- [7] Catálogo de paneles Marcegaglia Buildtech: https://catalogs.edilportale.com/MB-Door---insulated-panels-for-sectional-doors-it-en-fr-de-es_LjQTtI4FHC.pdf

Muelles torsionales

- [8] Muelles torsionales: <https://catalogue.flexiforce.com/es/en-el-eje/muelles-de-torsion/custom-torsion-spring.html>
- [9] Tambor: <https://catalogue.flexiforce.com/es/en-el-eje/tambores-para-cables/ff05nl32-125.html>

EXTRA

- [10] Nylon: <https://www.sanmetal.es/productos/termoplasticos/nylon-poliamida-6/9>
- [11] Documento Básico SE-AE: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SE/DBSE-AE.pdf>
- [12] Hoja técnica de la velocidad del aire: <https://www.solerpalau.com/es-es/hojas-tecnicas-velocidad-del-aire/>



Universidad
Zaragoza



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Diseño y cálculo de una puerta de garaje seccional
para una plaza de aparcamiento de un garaje
comunitario

Design and calculation of a sectional garage door for a
parking space in a community garage

PLANOS

Autor:

Luis Viñés García

Directores:

Paula Canalís Martínez

José Manuel Auría Apilluelo

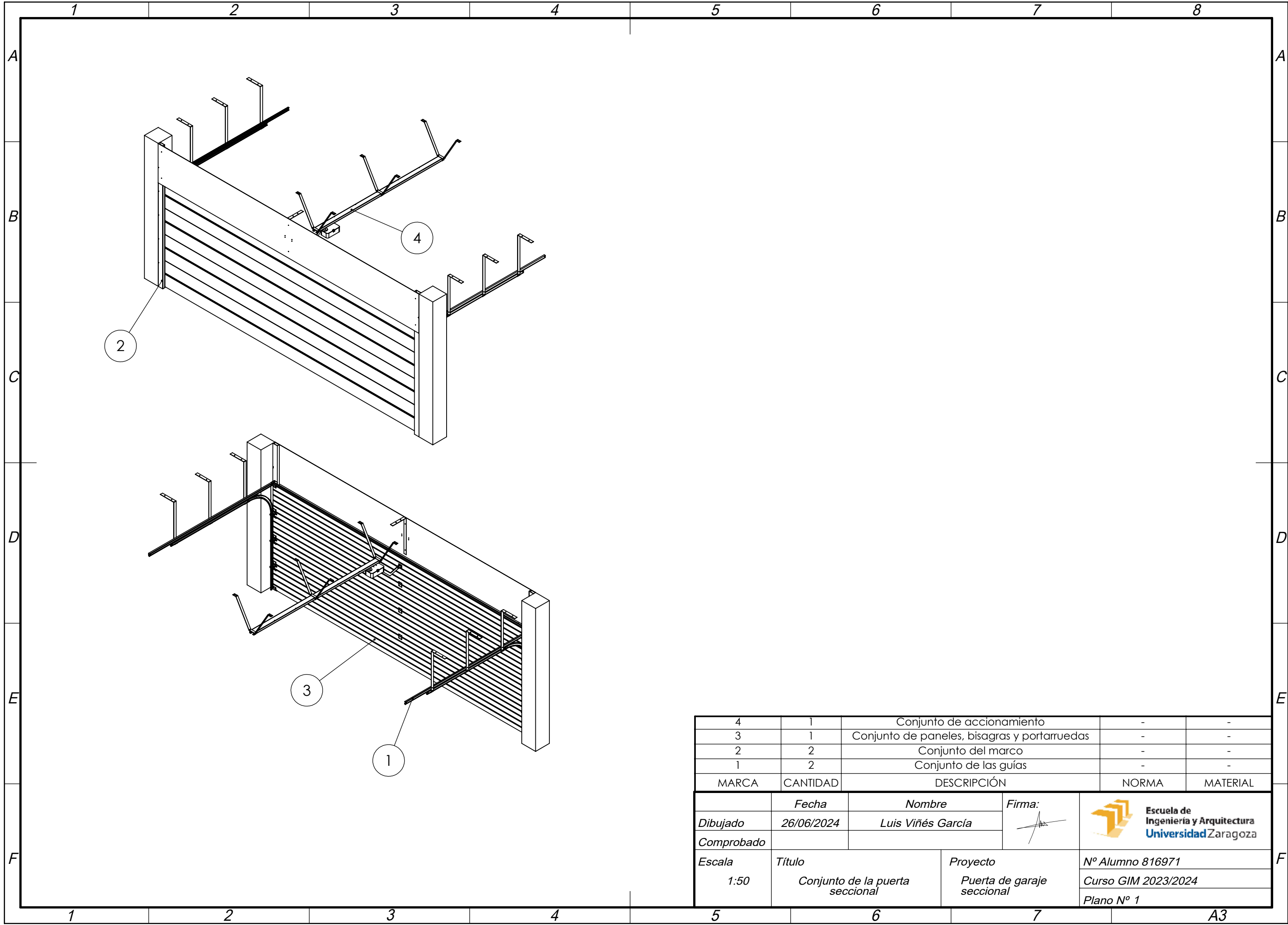
Grado de Ingeniería Mecánica
Escuela de Ingeniería y Arquitectura

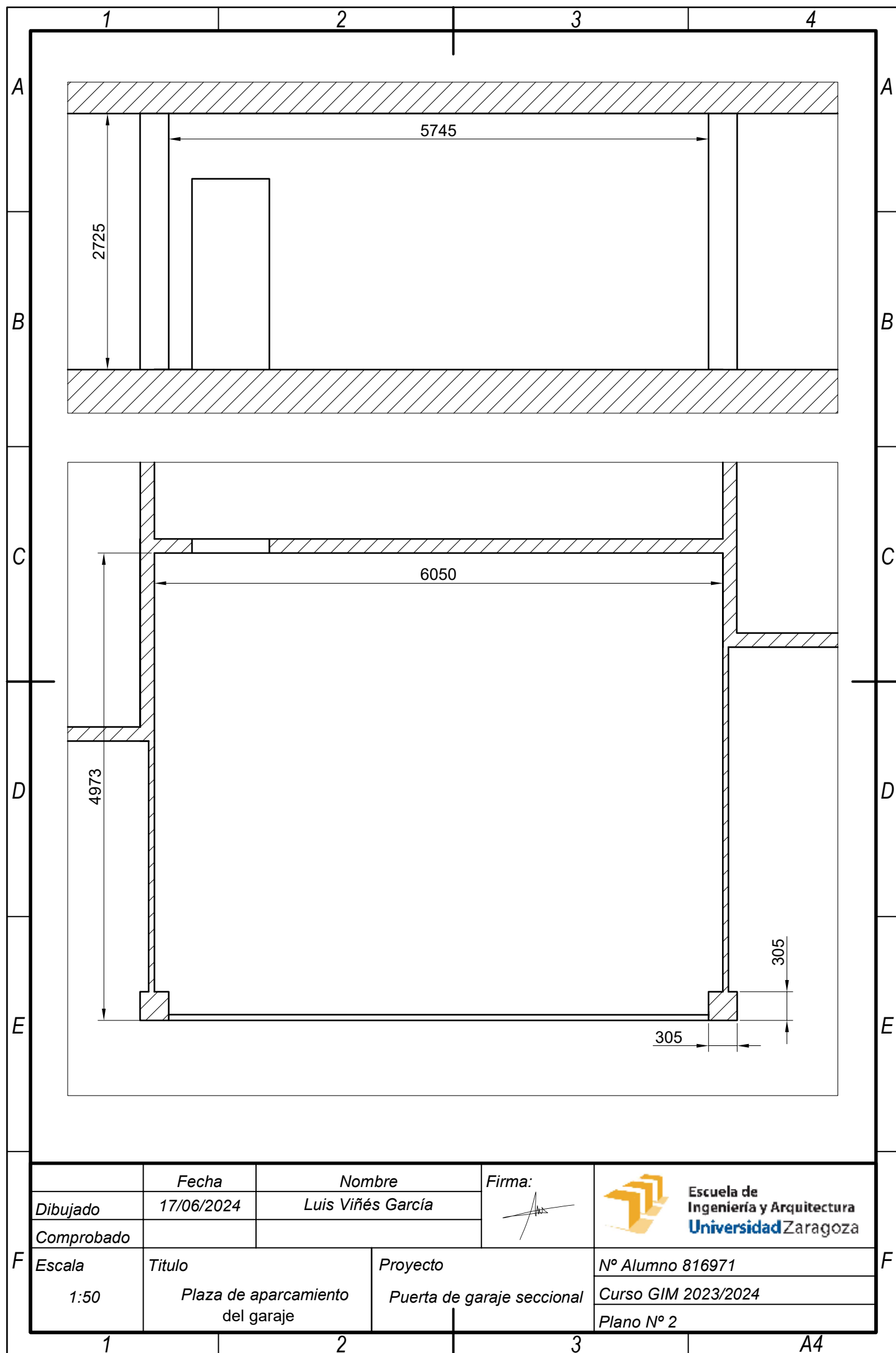
ZARAGOZA, JUNIO 2024

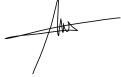



ÍNDICE PLANOS

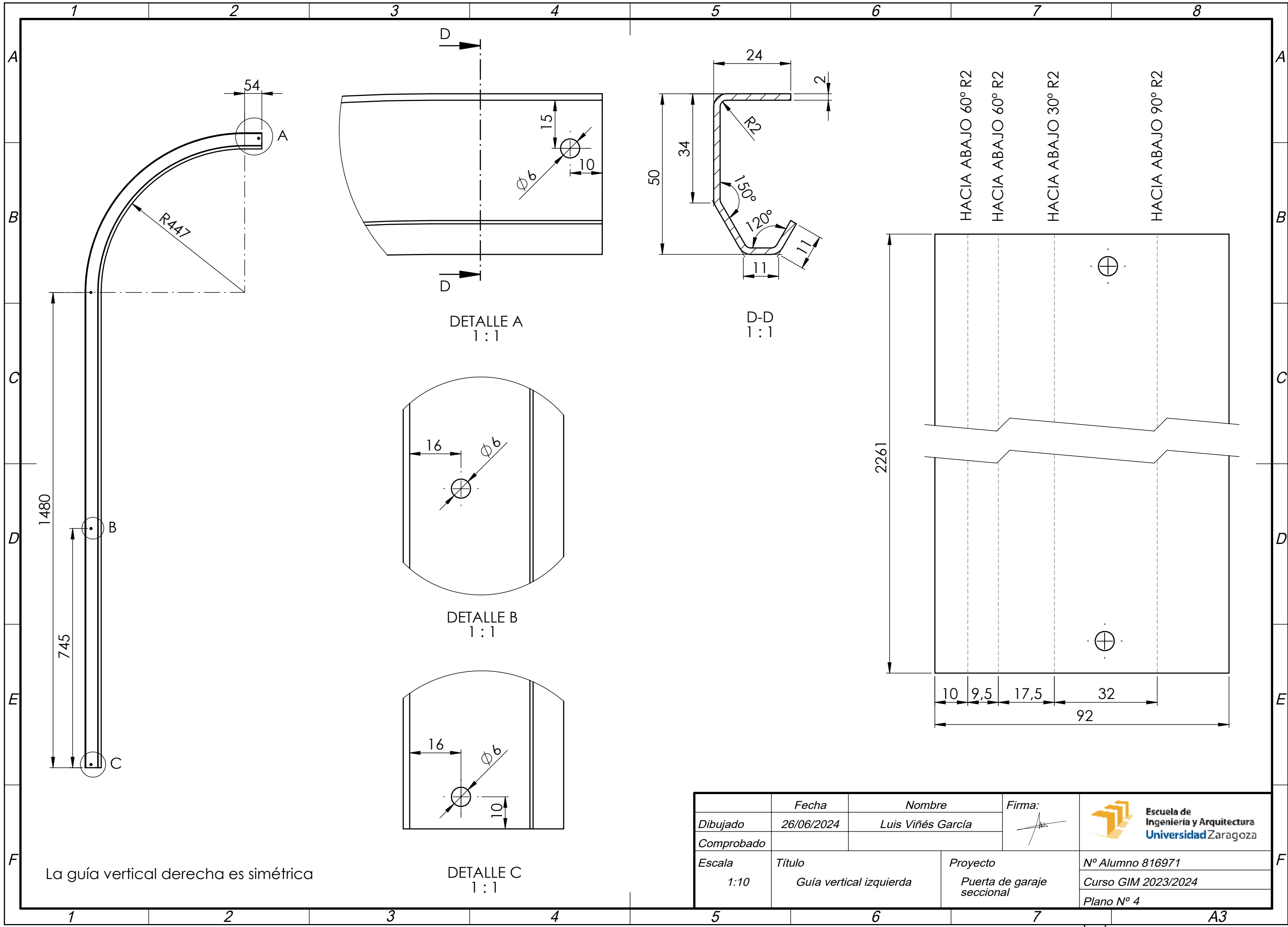
Conjunto de la puerta seccional	Nº 1
Plaza de aparcamiento del garaje	Nº 2
Conjunto de las guías	Nº 3
Guía vertical izquierda	Nº 4
Guía horizontal inferior izquierda	Nº 5
Guía horizontal superior izquierda	Nº 6
Pletina de unión entre la guía vertical y la guía horizontal inferior	Nº 7
Pletina de unión entre guías horizontales y el techo	Nº 8
Tope goma	Nº 9
Conjunto del marco.....	Nº 10
Perfil en C del marco	Nº 11
Perfil en U izquierdo del marco	Nº 12
Perfil en L del marco	Nº 13
Embellecedor	Nº 14
Pletina de unión entre el embellecedor y el techo	Nº 15
Conjunto de paneles, bisagras y portarruedas	Nº 16
Orejeta.....	Nº 17
Conjunto del accionamiento	Nº 18
Guía del carro	Nº 19
Carro	Nº 20
Barra	Nº 21
Caja que contiene el motor	Nº 22
Pieza de unión entre el carro y la caja	Nº 23
Pletina de unión de la guía del carro	Nº 24
Pletina de unión entre la guía del carro y el techo	Nº 25


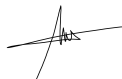


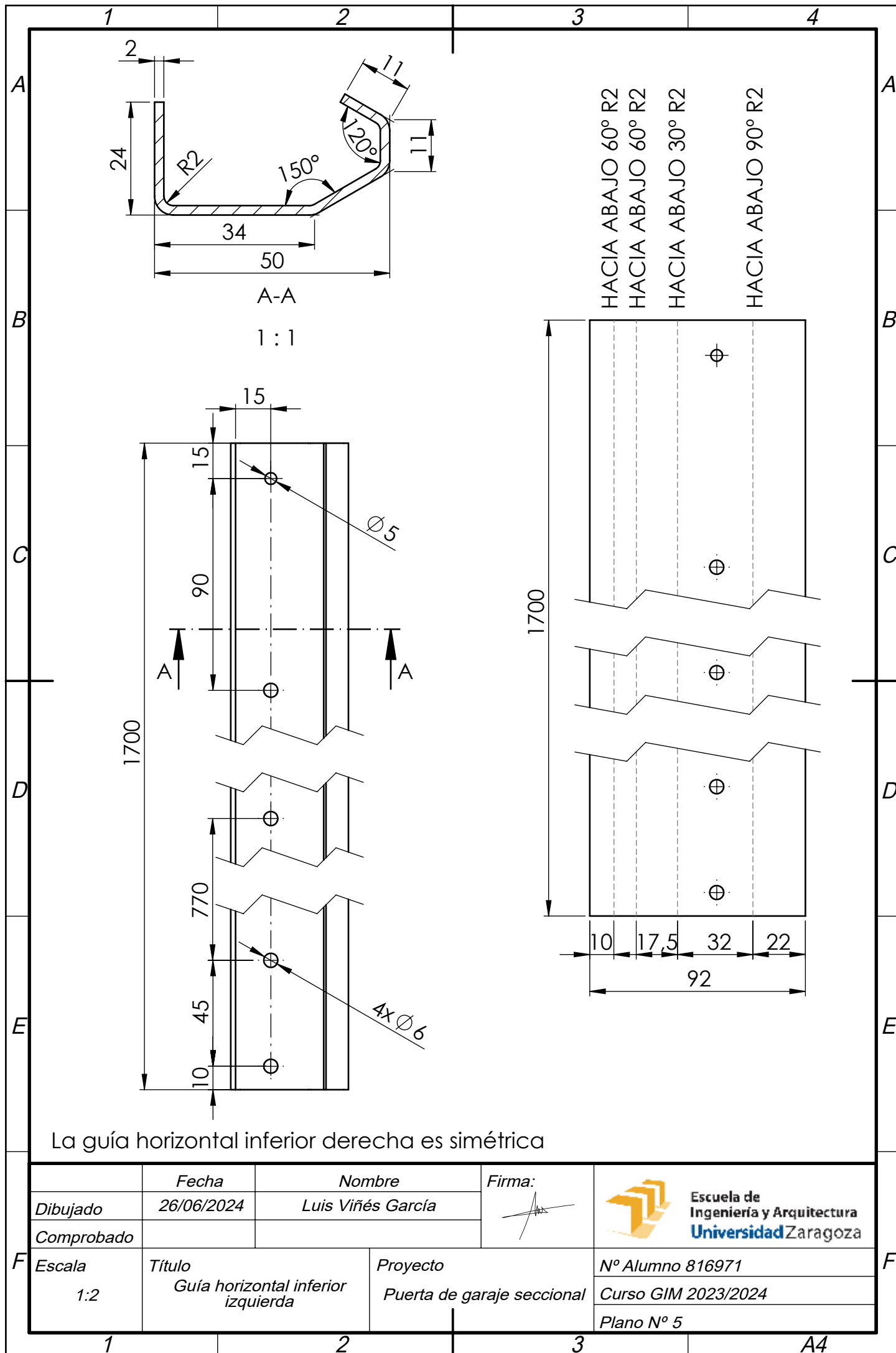


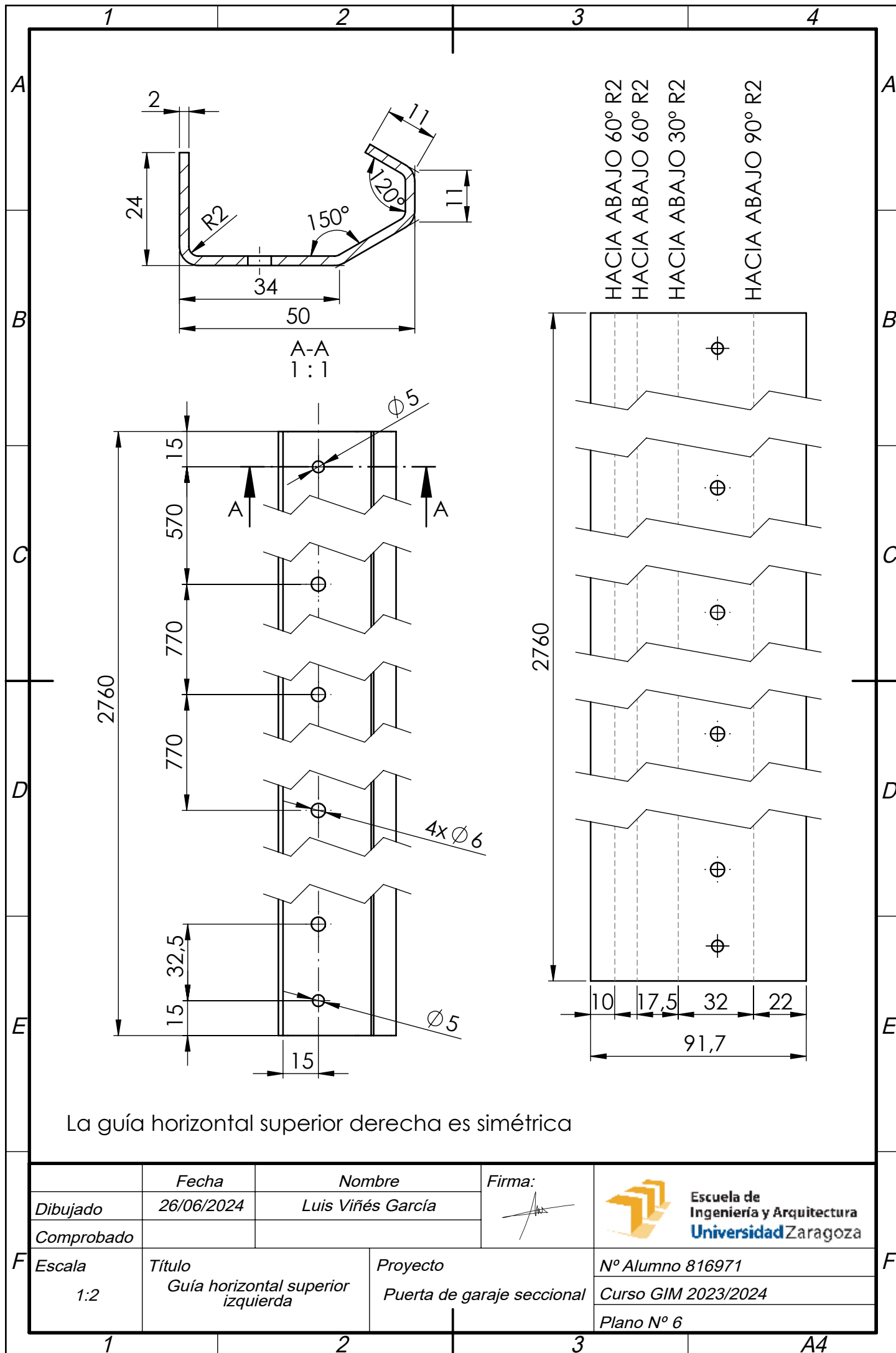
	Fecha	Nombre	Firma: 	 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	17/06/2024	Luis Viñés García		
Comprobado				
Escala	Titulo		Proyecto	Nº Alumno 816971
1:50	Plaza de aparcamiento del garaje		Puerta de garaje seccional	Curso GIM 2023/2024
				Plano Nº 2

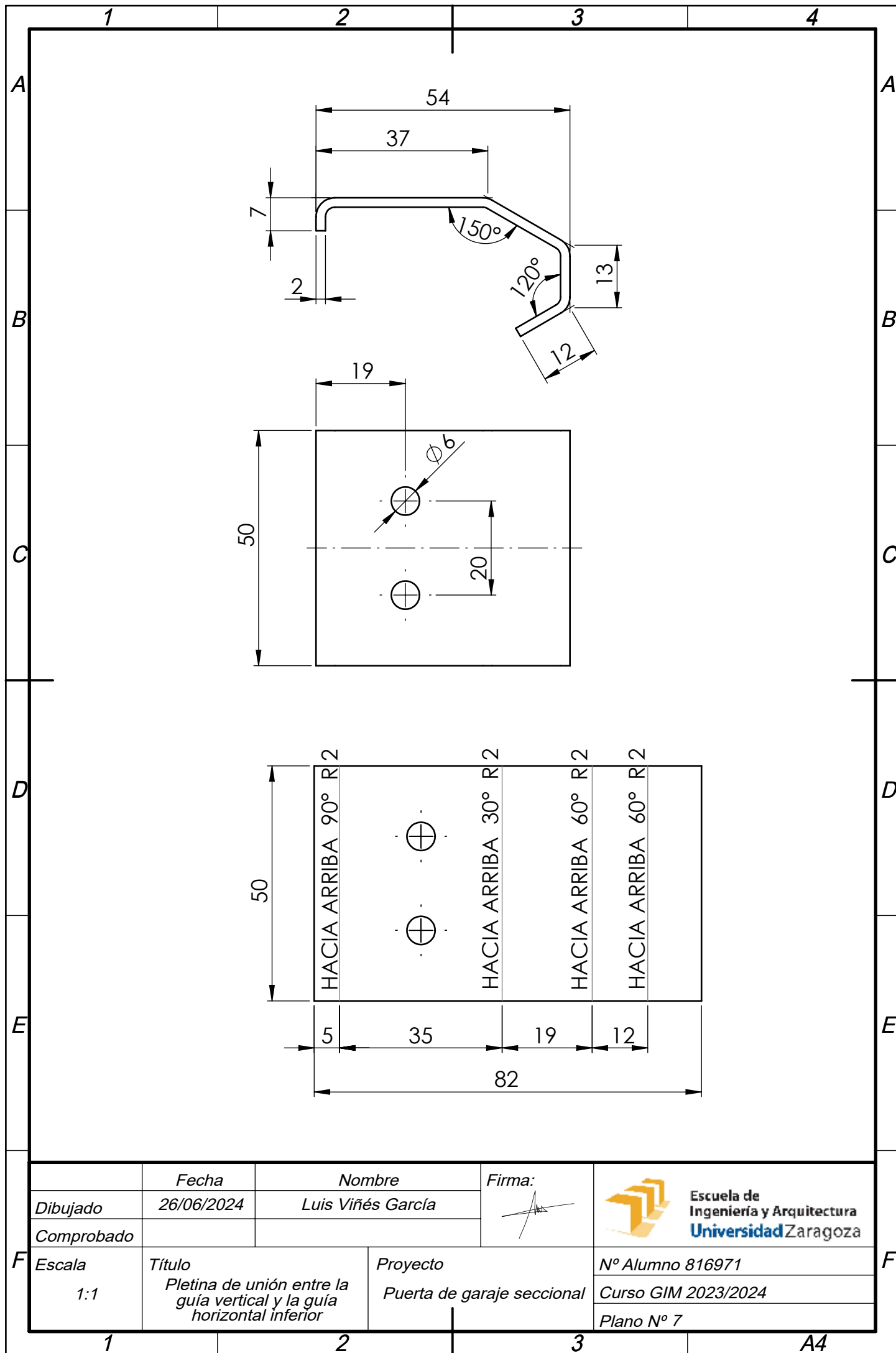
		1		2		3		4			
A										A	
B										B	
C										C	
D	6	6	Topes de goma			-	Goma			D	
	5	6	Pletina de unión entre las guías horizontales y el techo			-	Acero				
	4	2	Pletina de unión entre la guía vertical y la guía horizontal inferior			-	Acero				
	3	1	Guía horizontal superior izquierda			-	Aluminio				
E	-	1	Guía horizontal superior derecha			-	Aluminio			E	
	2	1	Guía horizontal inferior izquierda			-	Aluminio				
	-	1	Guía horizontal inferior derecha			-	Aluminio				
	1	1	Guía vertical izquierda			-	Aluminio				
	-	1	Guía vertical derecha			-	Aluminio				
	MARCA		CANT		DESCRIPCIÓN		NORMA		MATERIAL		
F			Fecha		Nombre		Firma:				F
	Dibujado		26/06/2024		Luis Viñés García						
	Comprobado										
	Escala		Título		Proyecto		Nº Alumno 816971				
1:20		Conjunto de las guías		Puerta de garaje seccional		Curso GIM 2023/2024					
						Plano Nº 3					
1		2		3		A4					

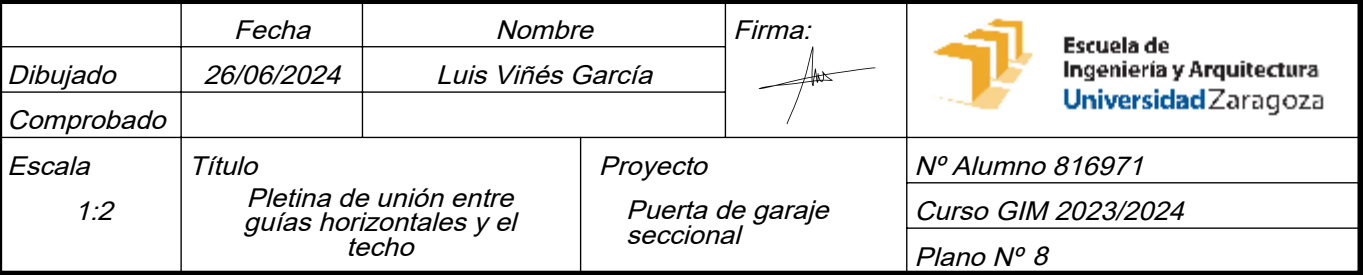


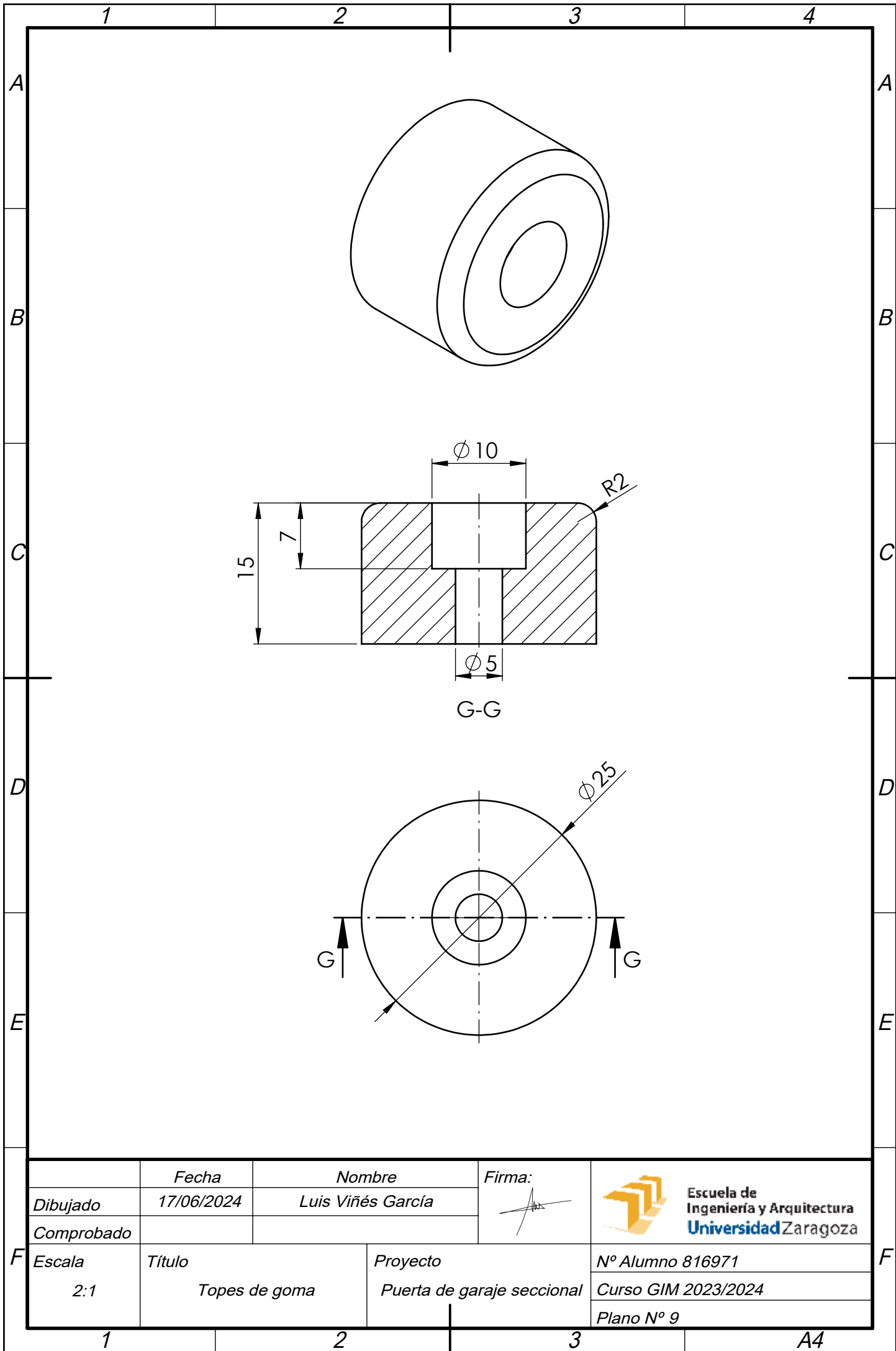
	Fecha	Nombre	Firma:	
Dibujado	26/06/2024	Luis Viñés García		
Comprobado				
Escala	Título		Proyecto	Nº Alumno 816971
1:10	Guía vertical izquierda		Puerta de garaje seccional	Curso GIM 2023/2024
				Plano Nº 4



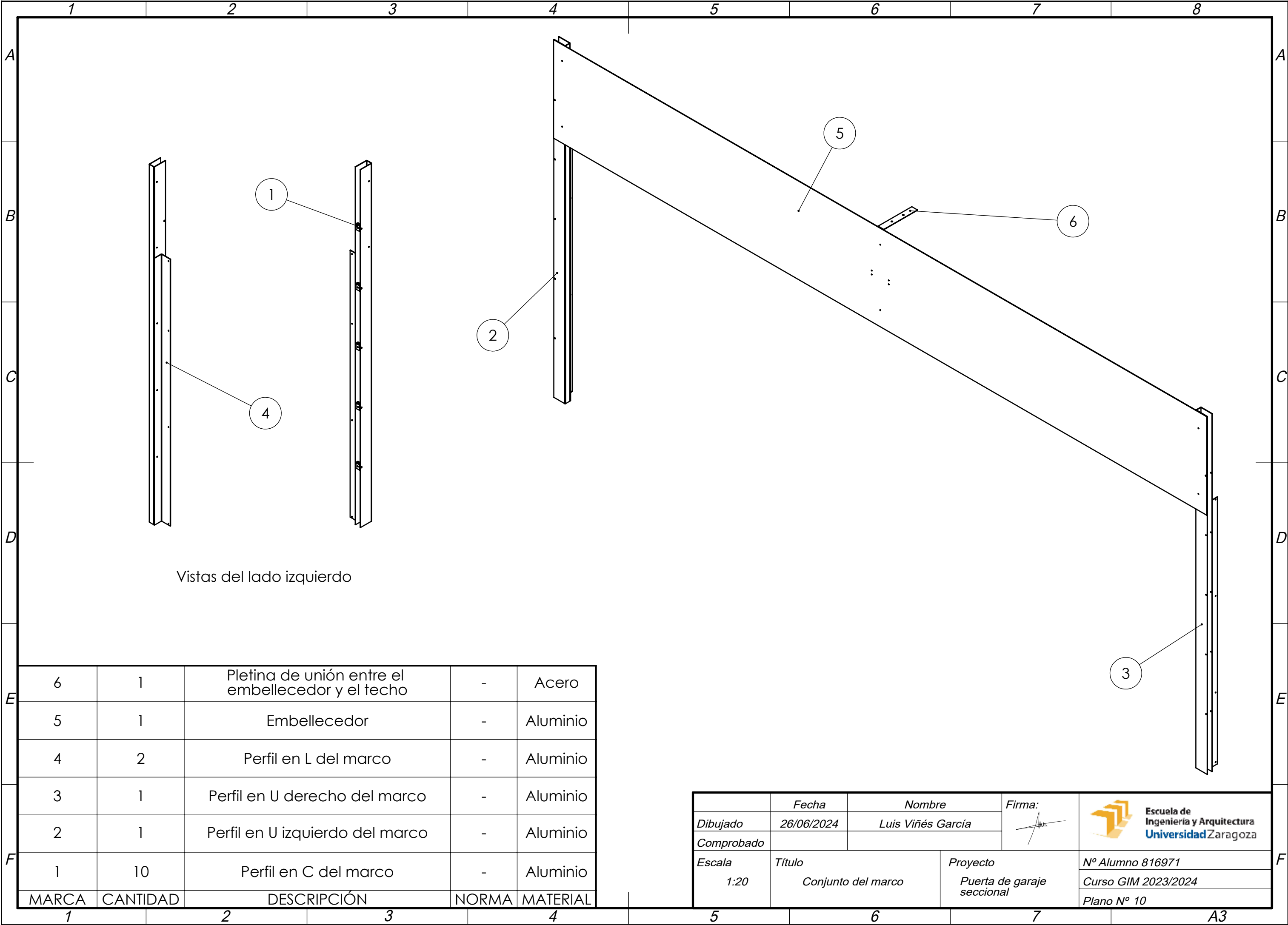







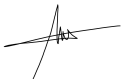


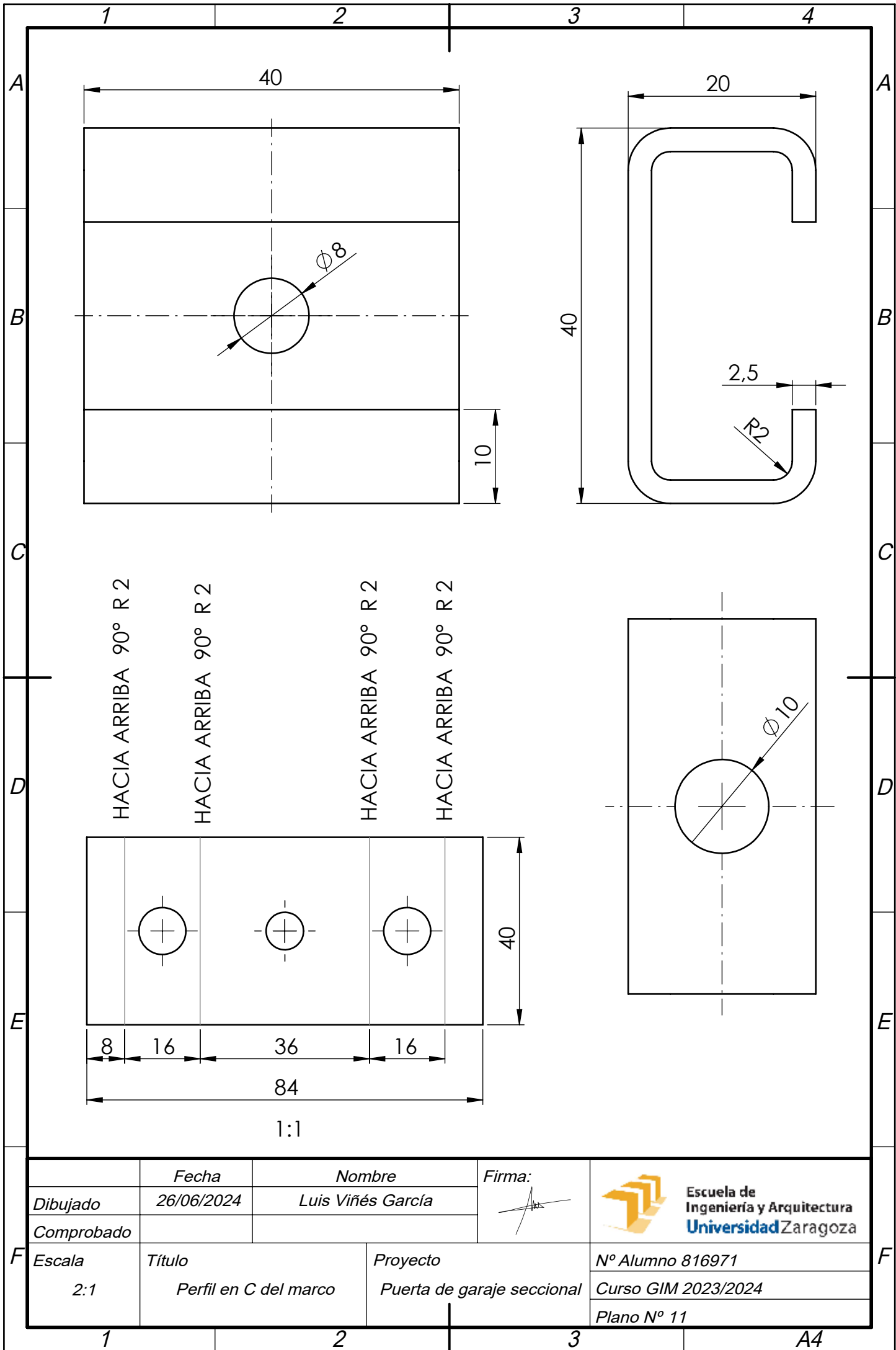
	Fecha	Nombre	Firma:	 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	17/06/2024	Luis Viñés García		
Comprobado				
Escala	Título	Proyecto	Nº Alumno 816971	
2:1	Topes de goma	Puerta de garaje seccional	Curso GIM 2023/2024	
			Plano Nº 9	

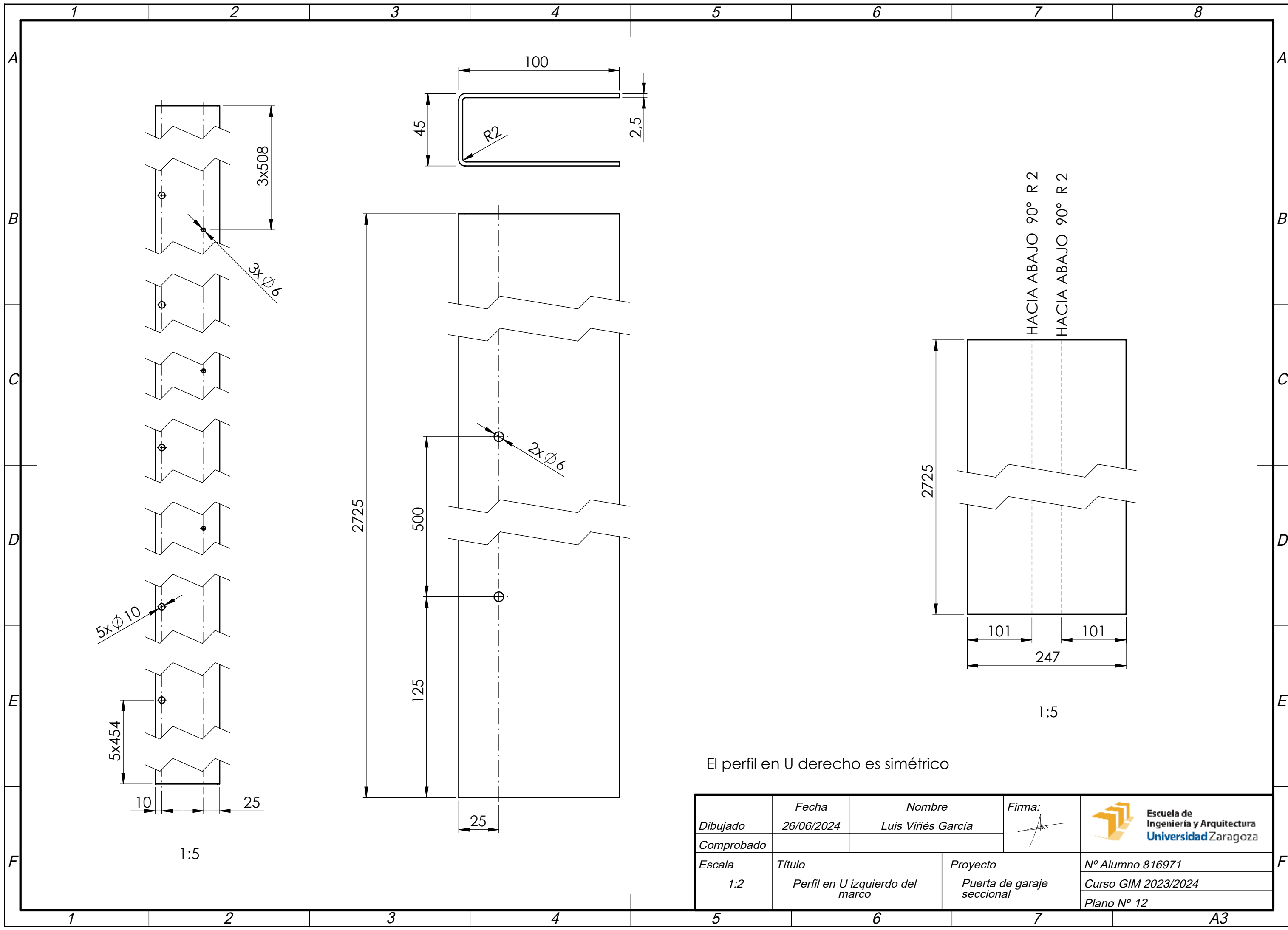


Vistas del lado izquierdo


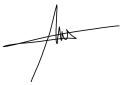
6	1	Pletina de unión entre el embellecedor y el techo	-	Acero
5	1	Embellecedor	-	Aluminio
4	2	Perfil en L del marco	-	Aluminio
3	1	Perfil en U derecho del marco	-	Aluminio
2	1	Perfil en U izquierdo del marco	-	Aluminio
1	10	Perfil en C del marco	-	Aluminio
MARCA	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL

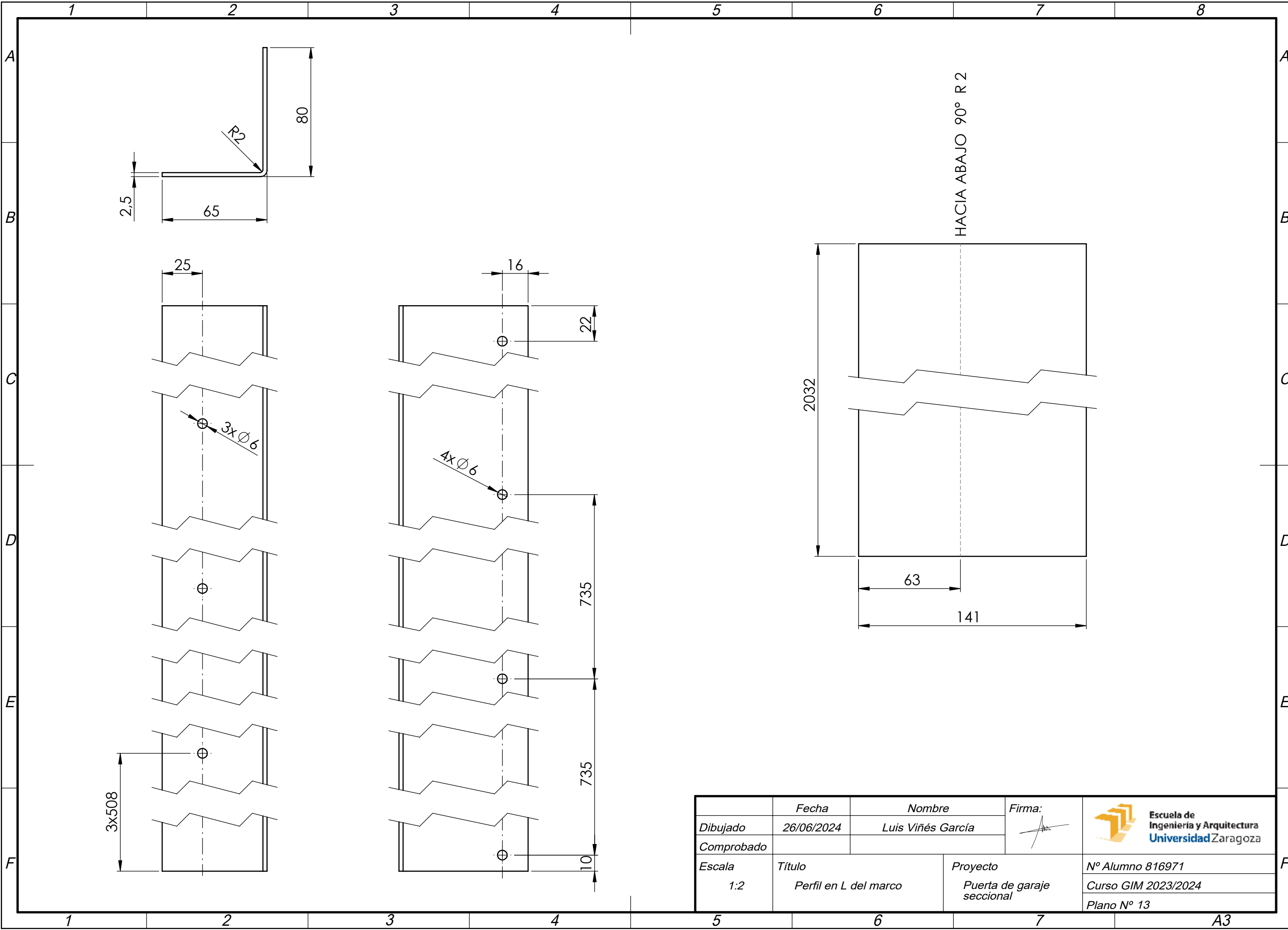
	Fecha	Nombre	Firma:	 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	26/06/2024	Luis Viñés García		
Comprobado				
Escala 1:20	Título Conjunto del marco		Proyecto Puerta de garaje seccional	Nº Alumno 816971
				Curso GIM 2023/2024
				Plano Nº 10

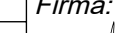



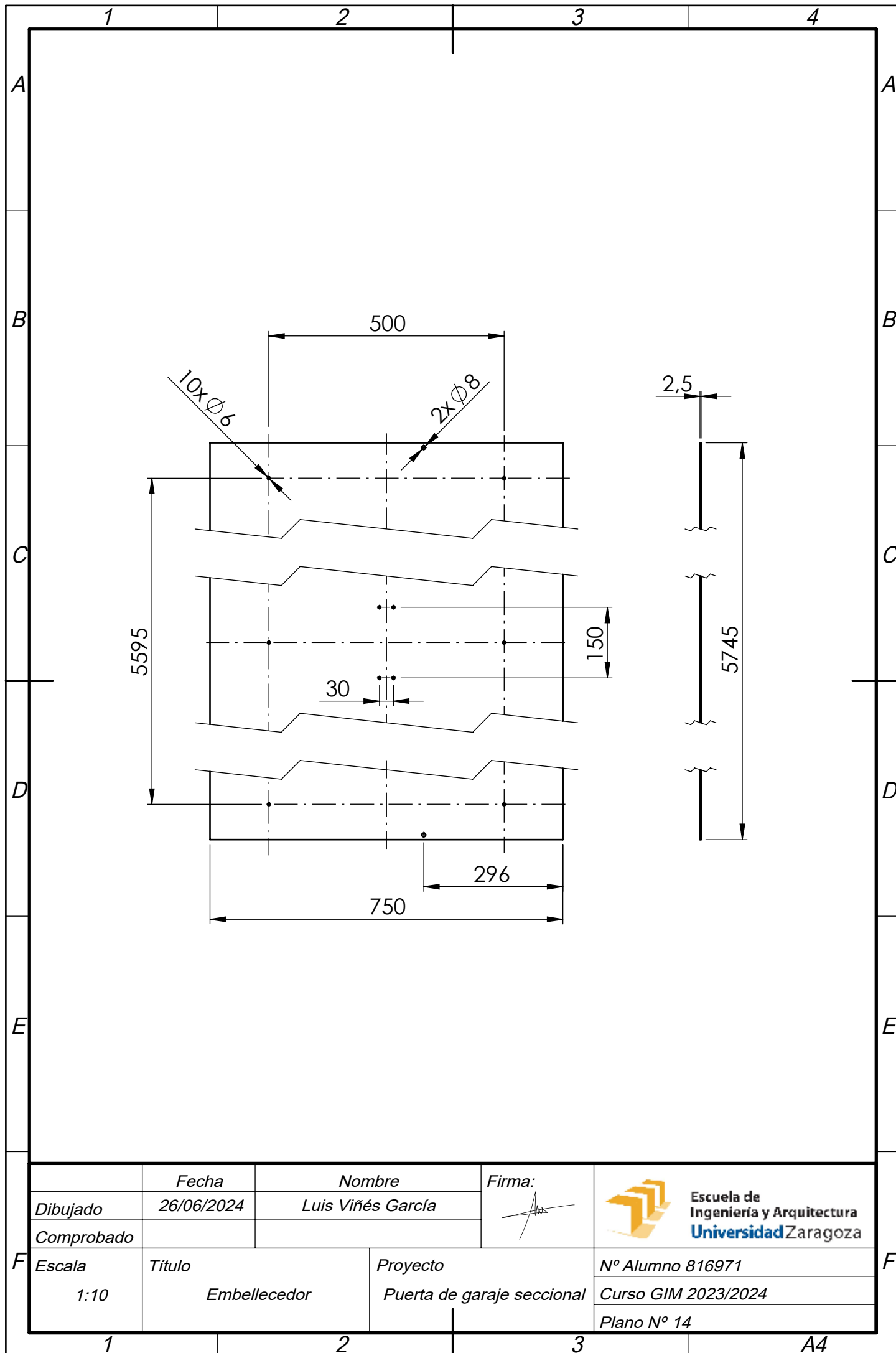


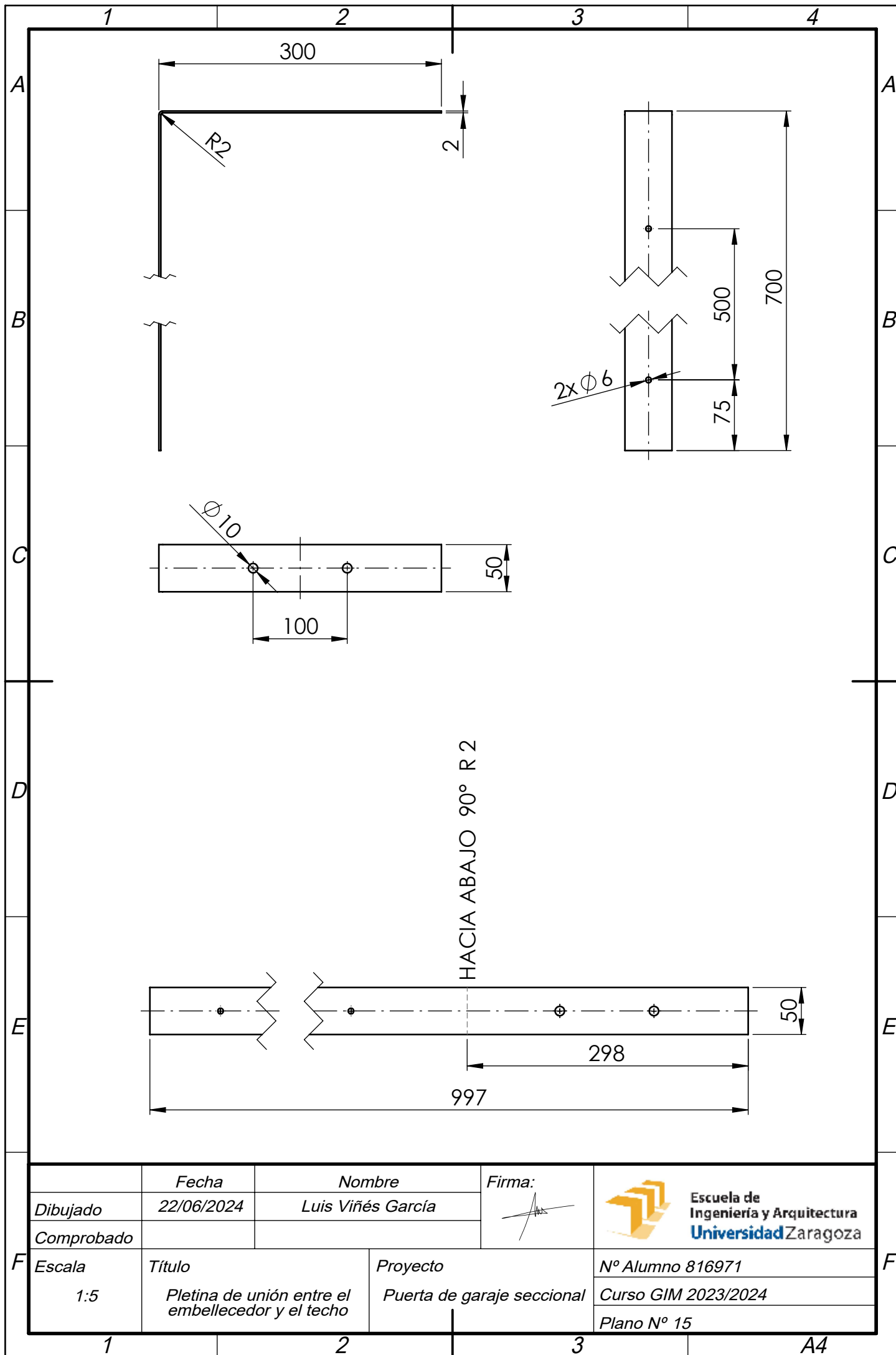
El perfil en U derecho es simétrico

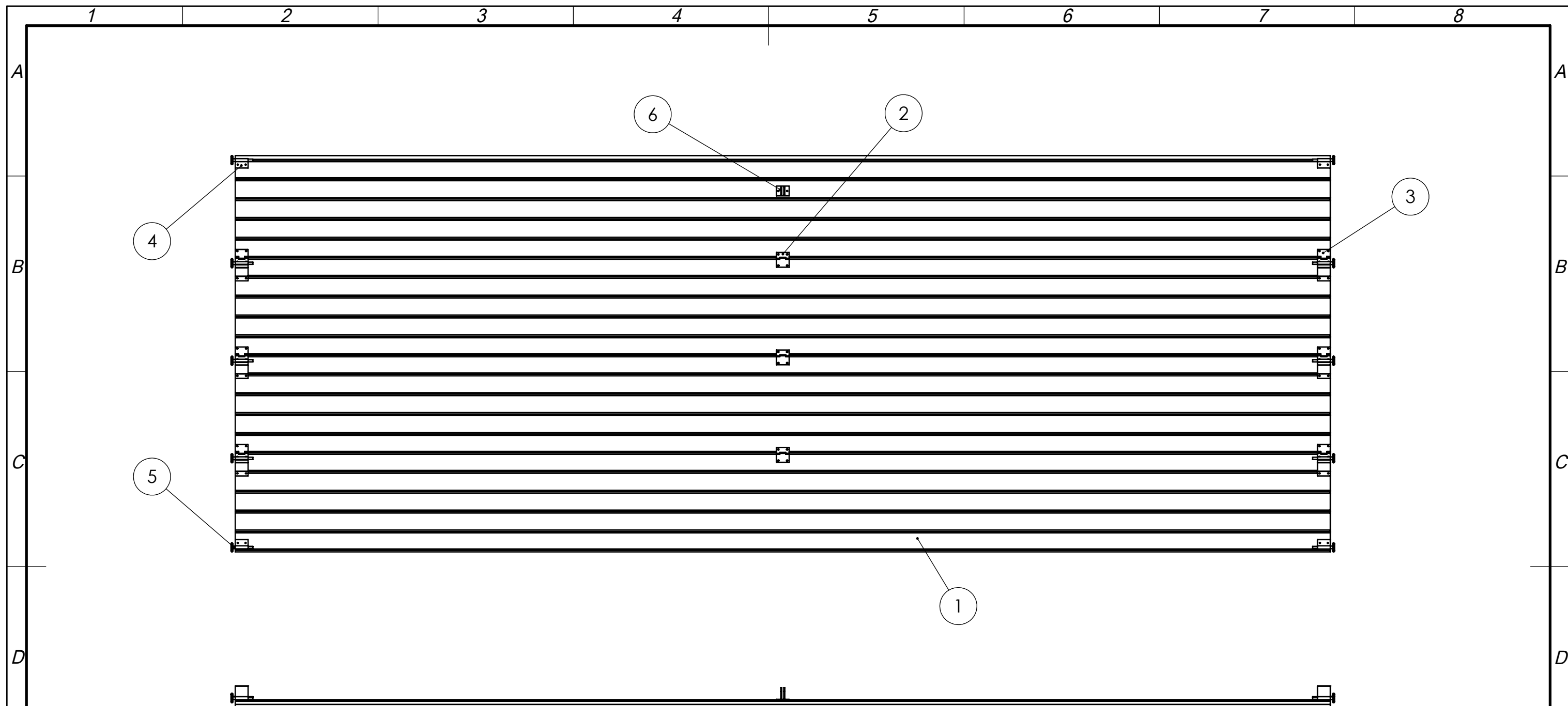
	Fecha	Nombre	Firma:	
Dibujado	26/06/2024	Luis Viñés García		
Comprobado				
Escala	Título	Proyecto	Nº Alumno 816971	
1:2	Perfil en U izquierdo del marco	Puerta de garaje seccional	Curso GIM 2023/2024	
			Plano Nº 12	




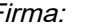
	Fecha	Nombre	Firma: 	 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	26/06/2024	Luis Viñés García		
Comprobado				
Escala	Título		Proyecto	Nº Alumno 816971
1:2	Perfil en L del marco		Puerta de garaje seccional	Curso GIM 2023/2024
				Plano Nº 13

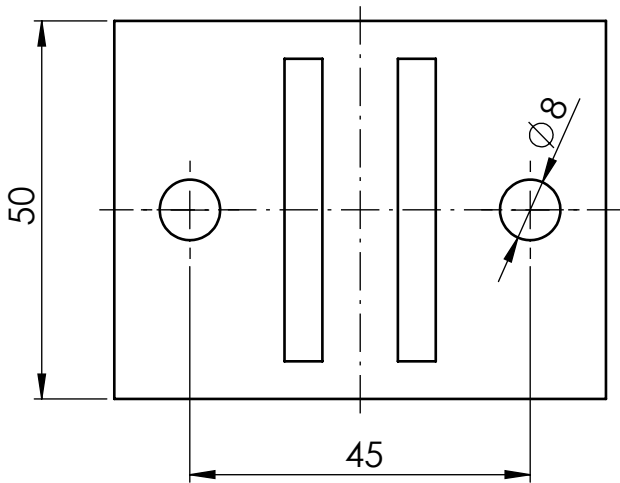
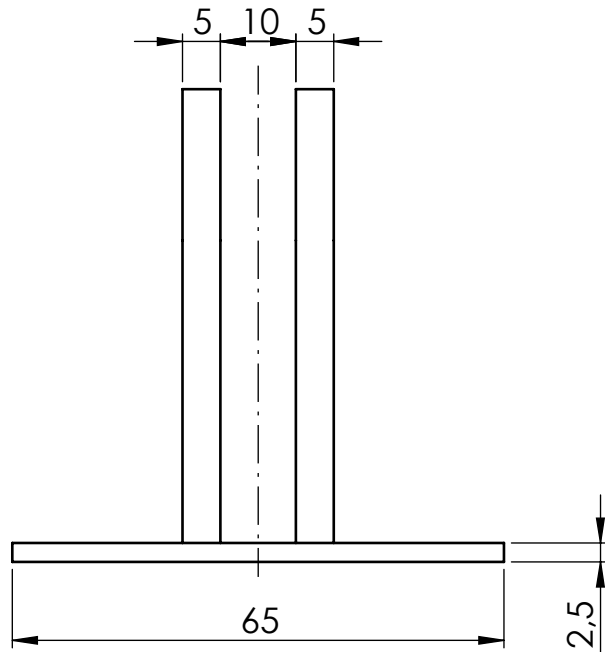
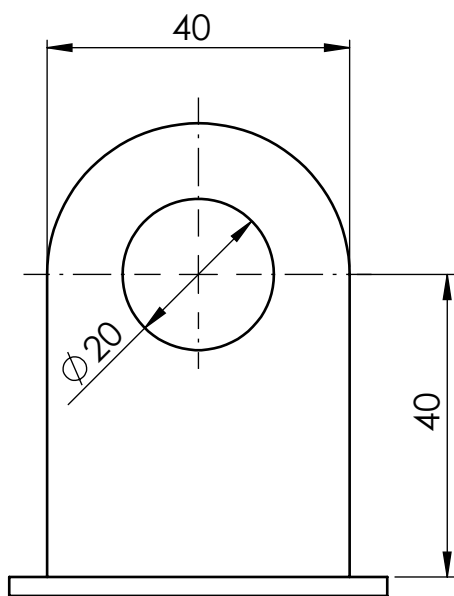






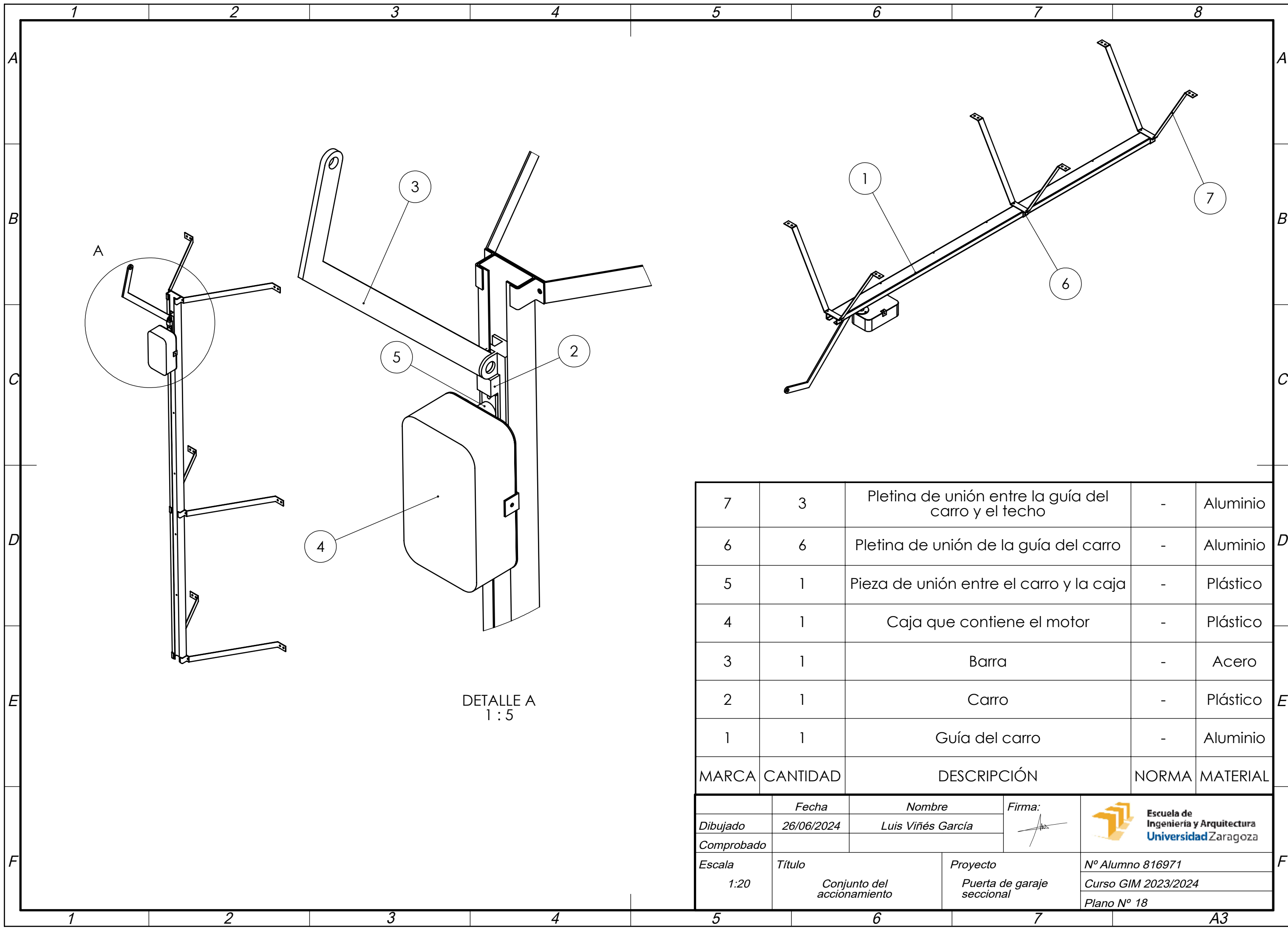


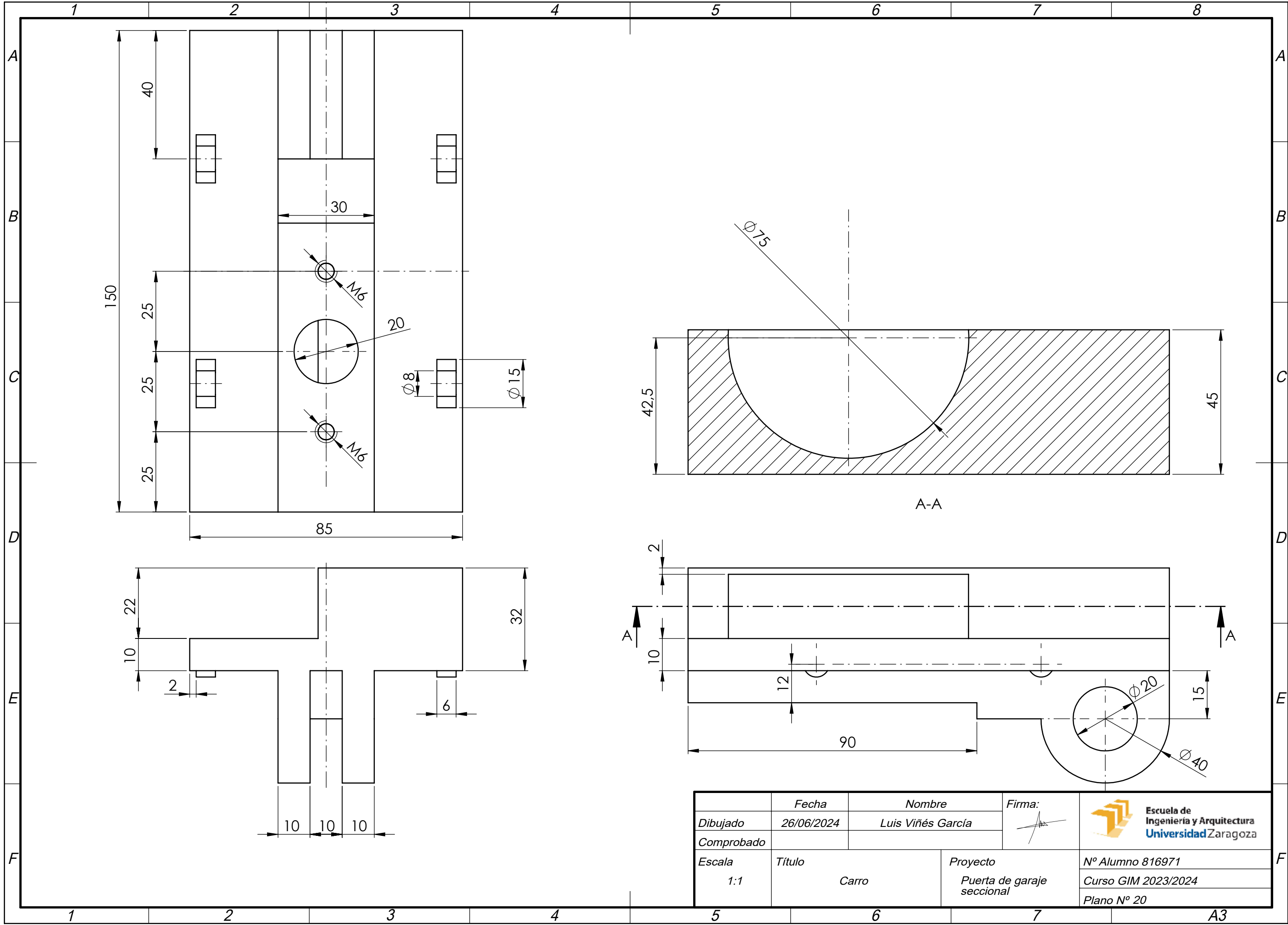
6	1	Orejeta	-	Acero
5	10	Rueda	-	Acero y nylon
4	4	Portarruedas lateral superior e inferior	-	Acero
3	6	Bisagra y portarruedas lateral	-	Acero
2	3	Bisagra intermedia	-	Acero
1	4	Panel	-	Chapas de acero y prelacado
MARCA	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL

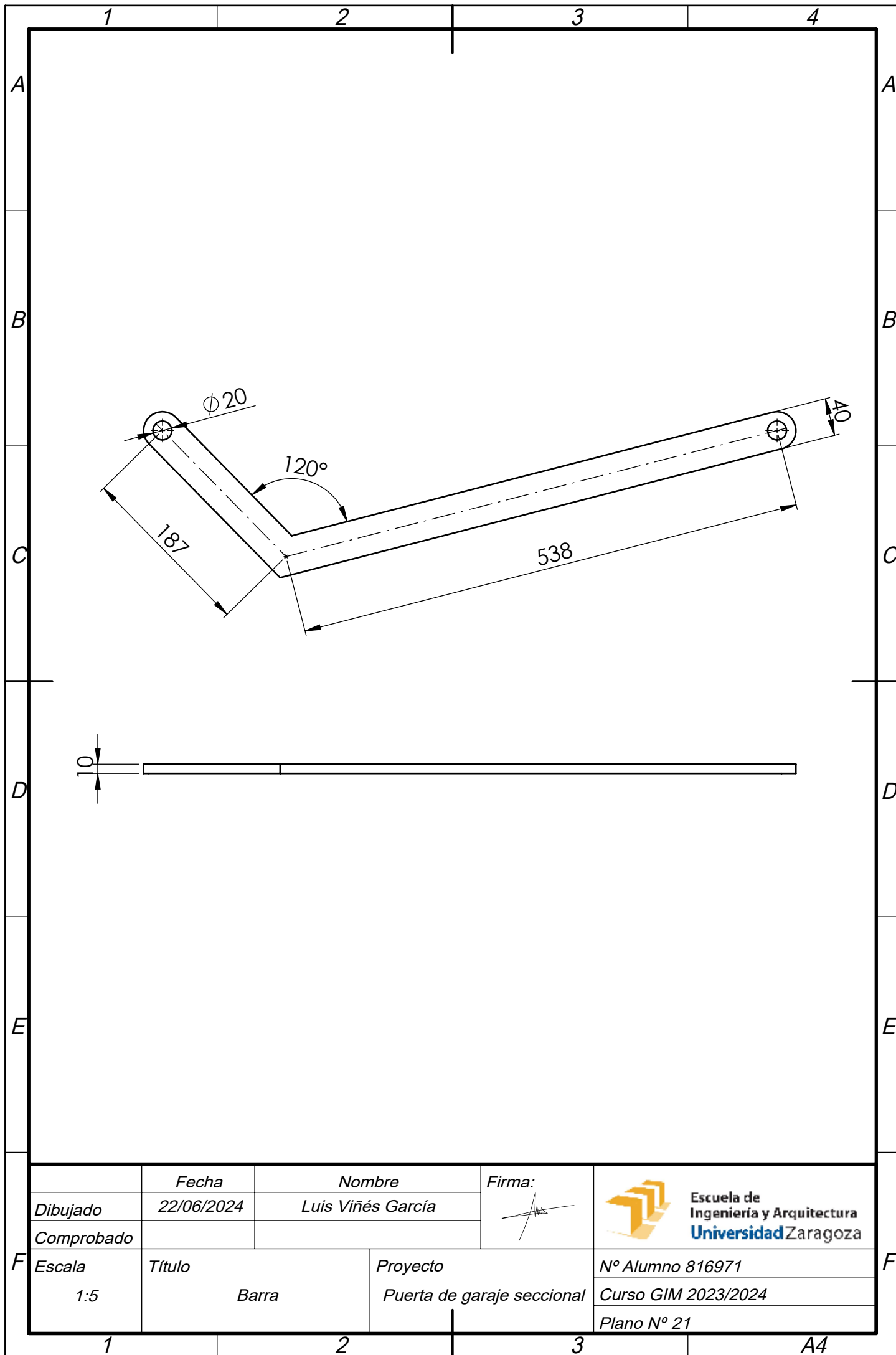
	Fecha	Nombre	Firma:	 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	22/06/2024	Luis Viñés García		
Comprobado				
Escala 1:20	Título Conjunto de paneles, bisagras y portarruedas		Proyecto Puerta de garaje seccional	Nº Alumno 816971 Curso GIM 2023/2024 Plano N° 16

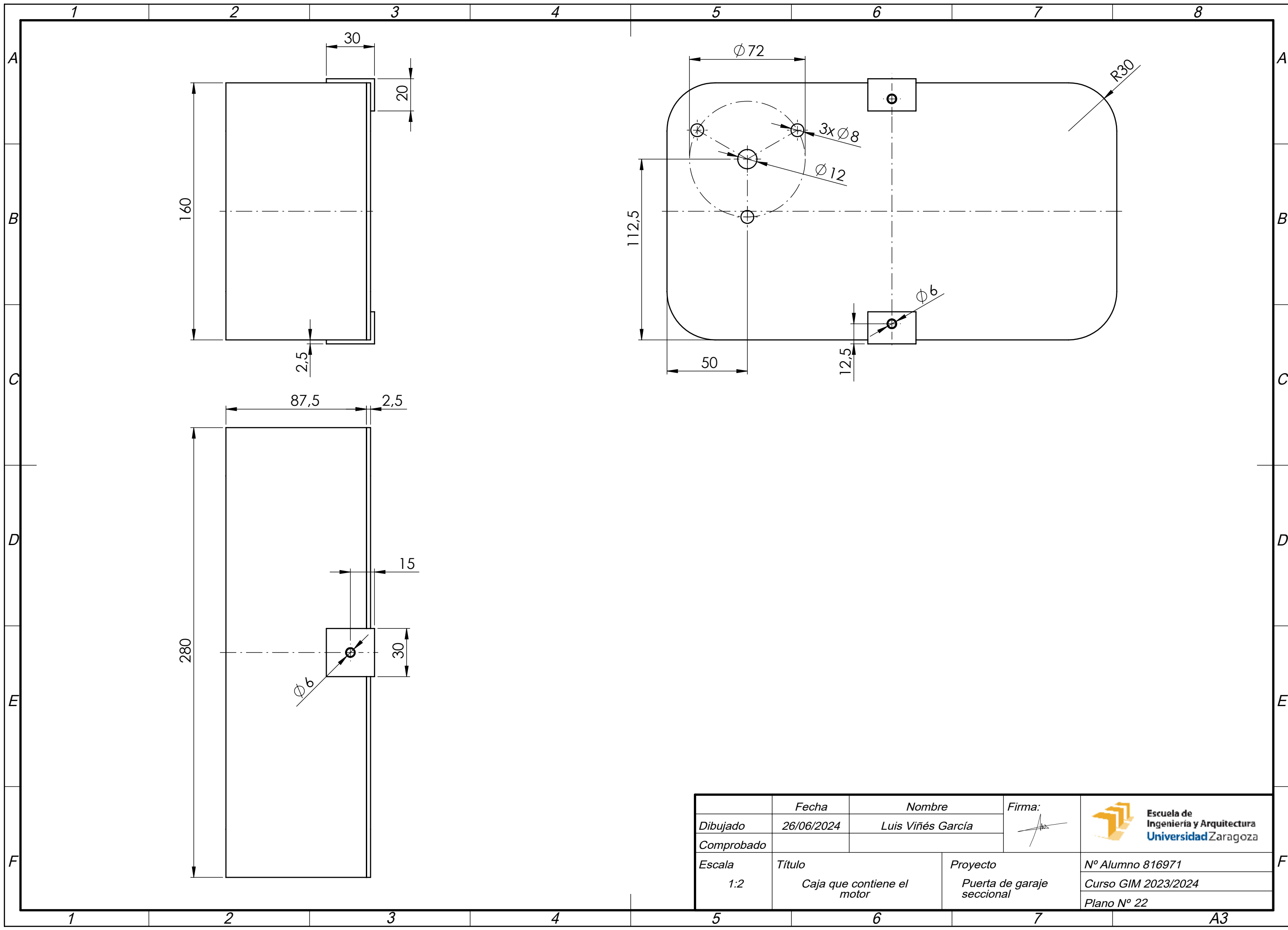


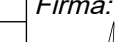

	Fecha	Nombre	Firma:	 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	26/06/2024	Luis Viñés García		
Comprobado				
Escala	Título	Proyecto	Nº Alumno 816971	
1:1	Orejeta	Puerta de garaje seccional	Curso GIM 2023/2024	
			Plano Nº 17	

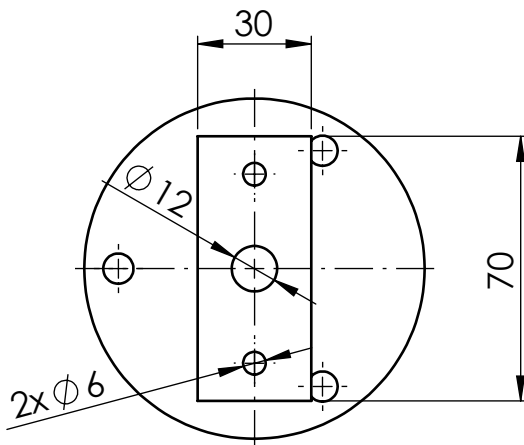
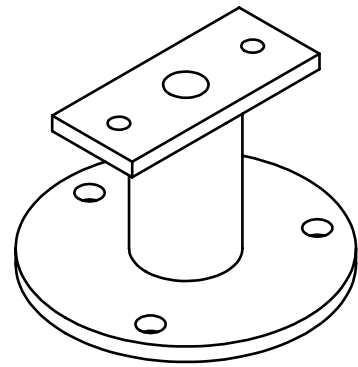
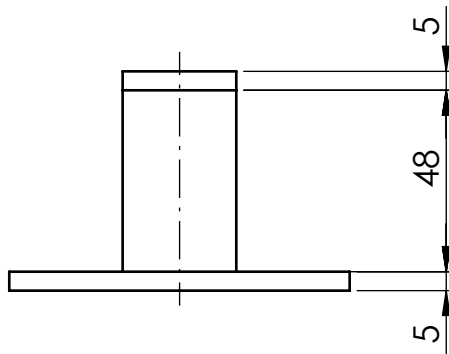
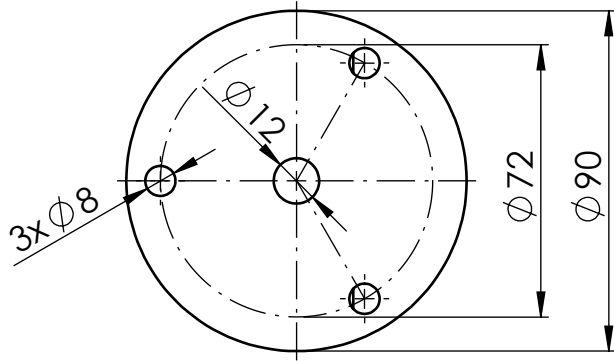






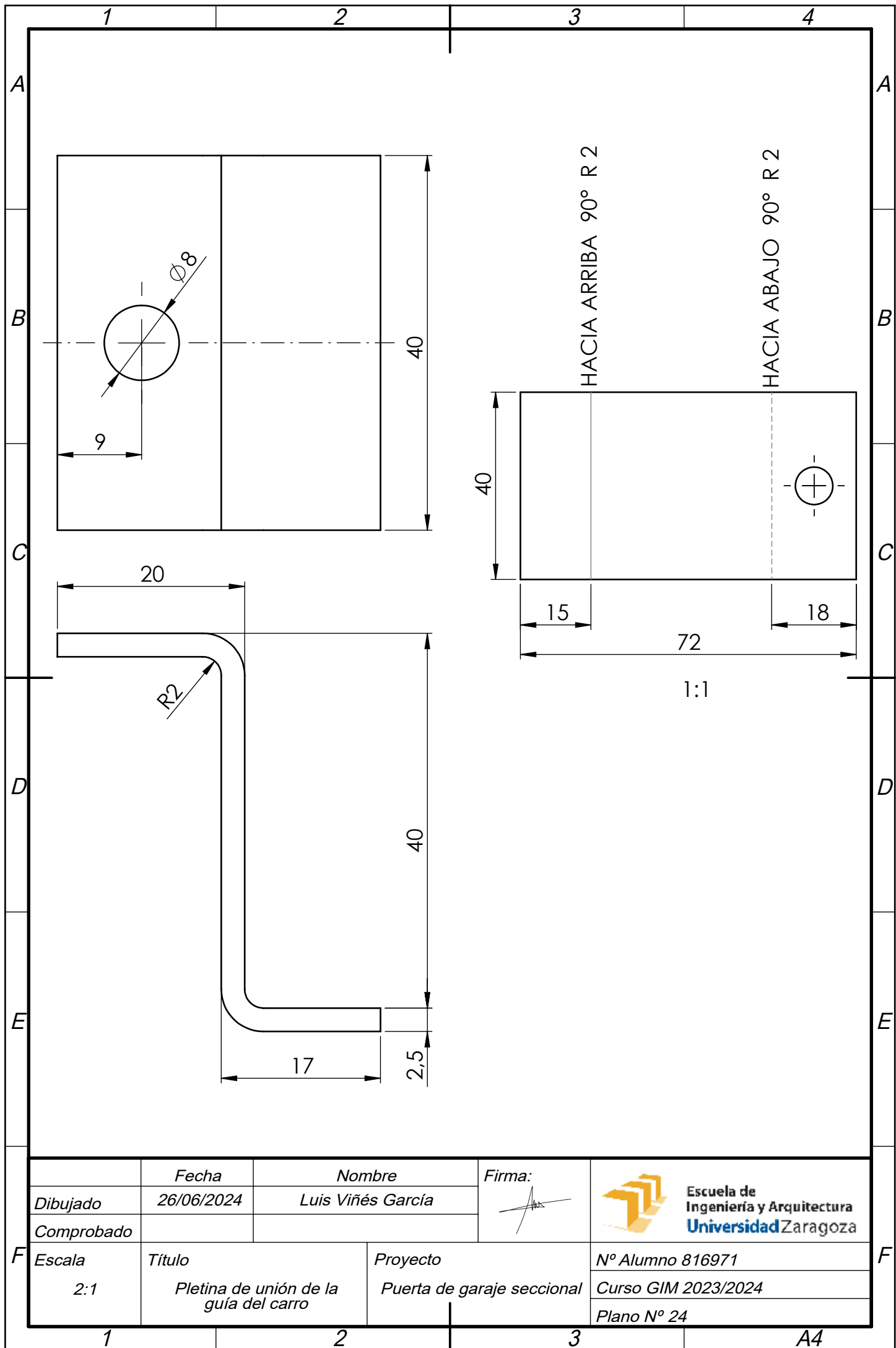




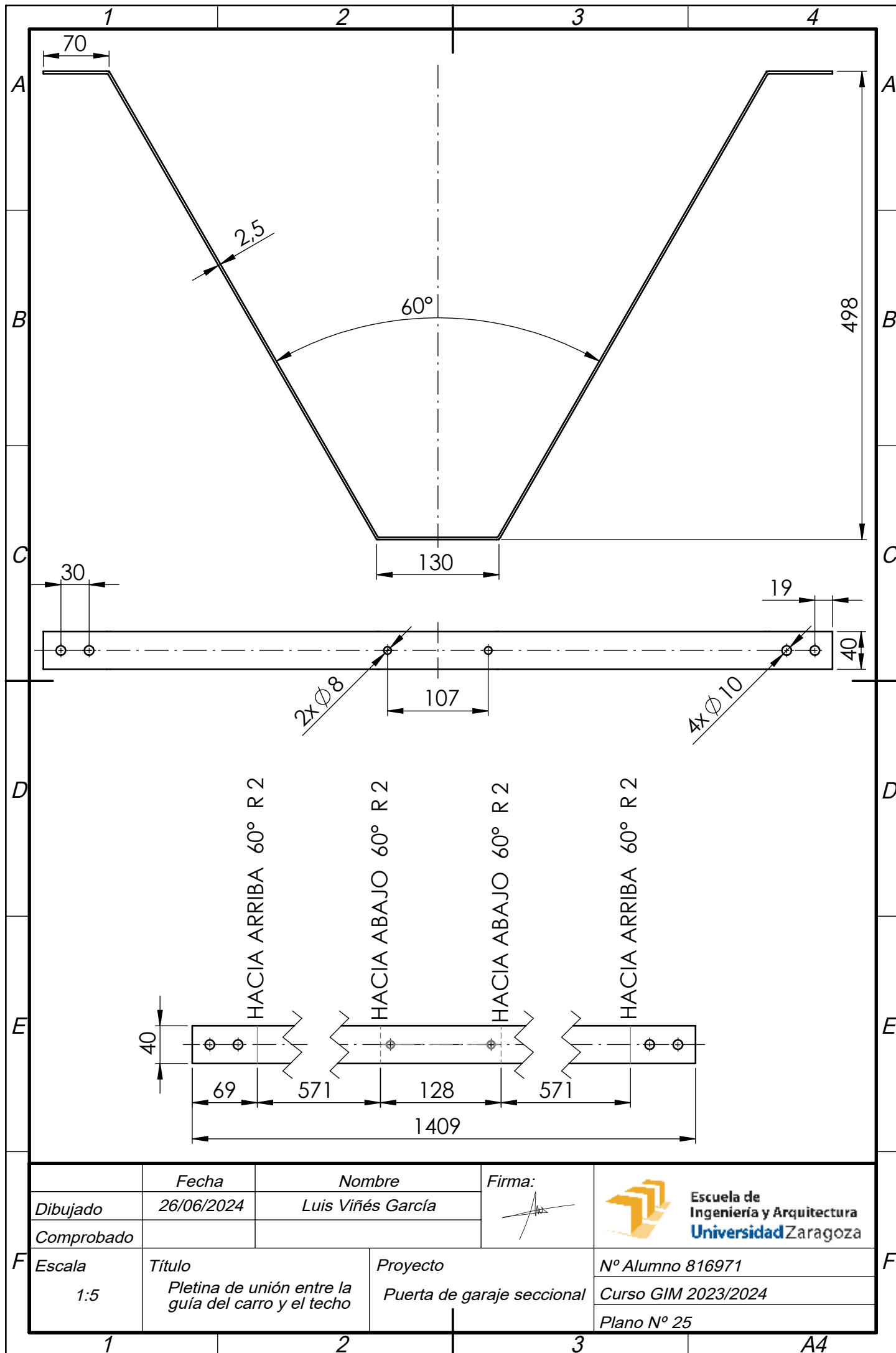
	Fecha	Nombre		Firma: 	 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	26/06/2024	Luis Viñés García			
Comprobado					
Escala	Título		Proyecto	Nº Alumno 816971	
1:2	Caja que contiene el motor		Puerta de garaje seccional	Curso GIM 2023/2024	
				Plano Nº 22	





	Fecha	Nombre	Firma:	 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	26/06/2024	Luis Viñés García		
Comprobado				
Escala 1:2	Título Pieza de unión entre el carro y la caja	Proyecto Puerta de garaje seccional	Nº Alumno 816971	
			Curso GIM 2023/2024	
			Plano Nº 23	



	Fecha	Nombre	Firma: 	 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	26/06/2024	Luis Viñés García		
Comprobado				
Escala	Título	Proyecto	Nº Alumno 816971	
2:1	Pletina de unión de la guía del carro	Puerta de garaje seccional	Curso GIM 2023/2024	
			Plano Nº 24	



	Fecha	Nombre		Firma: 	 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	26/06/2024	Luis Viñés García			
Comprobado					
Escala 1:5	Título Pletina de unión entre la guía del carro y el techo	Proyecto Puerta de garaje seccional			Nº Alumno 816971
					Curso GIM 2023/2024
					Plano Nº 25



Universidad
Zaragoza



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Diseño y cálculo de una puerta de garaje seccional
para una plaza de aparcamiento de un garaje
comunitario

Design and calculation of a sectional garage door for a
parking space in a community garage

PLIEGO DE CONDICIONES

Autor:

Luis Viñés García

Directores:

Paula Canalís Martínez

José Manuel Auría Apilluelo

Grado de Ingeniería Mecánica
Escuela de Ingeniería y Arquitectura

ZARAGOZA, JUNIO 2024

ÍNDICE PLIEGO DE CONDICIONES

1.	PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES	2
1.1.	OBJETO DEL PLIEGO	2
1.2.	RÉGIMEN JURÍDICO Y NORMATIVA DE APLICACIÓN	3
2.	PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS Y PARTICULARES.....	7
2.1.	CARACTERÍSTICAS EXIGIDAS A LOS EQUIPOS Y MATERIALES	7
2.1.1.	Motor	7
2.1.2.	Piñón y cremallera	7
2.1.3.	Guías de las puertas	8
2.1.4.	Pletinas de unión	8
2.1.5.	Elementos que componen el marco	8
2.1.6.	Paneles, bisagras, portarruedas y ruedas.	8
2.1.7.	Orejeta, pasador y barra	9
2.1.8.	Tornillos y tuercas.....	10
2.1.9.	Muelles torsionales.....	10
2.1.10.	Elementos de goma de seguridad	10
2.1.11.	Accionamiento.....	11
2.2.	CONTROL, INSPECCIONES Y PRUEBAS.....	11
2.3.	SEGURIDAD	11
2.4.	CONCLUSIÓN	12
3.	LUGAR, FECHA Y FIRMA	13

1. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

1.1. OBJETO DEL PLIEGO

El presente pliego de condiciones es el resumen de las características que se deberán de cumplir en el diseño de la puerta de garaje seccional descrita en la memoria. Para cualquier especificación no incluida en este pliego se deberá de tener en cuenta la normativa correspondiente.

El proyecto de esta puerta de garaje seccional está compuesto de la siguiente documentación:

- Pliego de condiciones.
- Planos.
- Mediciones.
- Presupuesto.
- Memoria.
- Anexos.

Se entiende por documentación aquella que es de obligada cumplimiento, incluidas las modificaciones autorizadas. El resto de documentación o datos del proyecto son informativos.

Este documento tiene como finalidad definir y reglamentar las condiciones bajo las cuales se debe realizar la fabricación de la puerta seccional, asegurando el cumplimiento de todos los requisitos de seguridad conforme a la normativa vigente. El pliego de condiciones de este sistema mecánico abarca los siguientes aspectos:

- **Adquisición y Manejo de Materiales:** Se requiere la obtención de las materias primas, materiales y componentes adecuados, garantizando su correcta manipulación y utilización durante el proceso de fabricación.
- **Medidas de Seguridad y Salud:** Deben implementarse todas las medidas de seguridad y salud necesarias, en relación con el uso de equipos, máquinas e instalaciones, tal como lo exige la legislación vigente.
- **Especificaciones de Funcionamiento y Calidad:** El producto final debe cumplir con las especificaciones de funcionamiento, seguridad y calidad descritas en la memoria y los planos del proyecto.

Para la fabricación del mecanismo, será necesario que este pase las pruebas de homologación correspondientes, de acuerdo a lo detallado en la memoria del proyecto. Por lo tanto, todos los cálculos y modificaciones realizadas deben tener como objetivo cumplir con los requisitos legales en términos de comportamiento y seguridad.

1.2. RÉGIMEN JURÍDICO Y NORMATIVA DE APLICACIÓN

Constituye objeto del presente documento todas las normas, reglamentos y leyes de carácter general que sean aplicables tanto en el desarrollo como en la ejecución del proyecto que se presenta. Concretamente son las que a continuación se enumeran:

- **Ley 31/1995**, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- **Real Decreto 39/1997**, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.
- **Real Decreto 485/1997**, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- **Real Decreto 487/1997**, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorso lumbar, para los trabajadores.
- **Real Decreto 1215/1997**, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo. (Actualizaciones: RD 2177/2004).
- **Real Decreto 773/1997**, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- **Real Decreto 286/2006**, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.

La puerta de garaje seccional se verá sujeta a la siguiente normativa:

- **UNE-EN 13241:2004+A2:2017** Puertas industriales, comerciales y de garaje y portones. Norma de producto, características de prestación.
- **UNE-EN 12604:2018+A1:2021** Puertas industriales, comerciales, de garaje y portones. Aspectos mecánicos. Requisitos y métodos de ensayo.
- **UNE-EN 12453:2018+A1:2022** Puertas y portones industriales, comerciales y de garaje. Seguridad de uso de puertas motorizadas. Requisitos y métodos de ensayo.
- **UNE-EN 12433-1:2000** Puertas industriales, comerciales y de garaje y portones. Terminología. Parte 1: Tipos de puertas.
- **UNE-EN 12433-2:2000** Puertas industriales, comerciales y de garaje y portones. Terminología. Parte 2: Componentes de puertas.



- **UNE-EN 12424:2000** Puertas industriales, comerciales, de garaje y portones. Resistencia a la carga de viento. Clasificación.
- **UNE-EN 12444:2000** Puertas industriales, comerciales, de garaje y portones. Resistencia a la carga de viento. Ensayo y cálculo.
- **UNE-EN 12489:2000** Puertas industriales, comerciales, de garaje y portones. Resistencia a la penetración de agua. Método de ensayo.
- **UNE-EN 12428:2013** Puertas industriales, comerciales y de garaje. Transmitancia térmica. Requisitos para el cálculo.
- **UNE-EN 12427:2000** Puertas industriales, comerciales, de garaje y portones. Permeabilidad al aire. Método de ensayo.
- **UNE-EN 12978:2003+A1:2010** Puertas industriales, comerciales, de garaje y portones. Dispositivos de seguridad para puertas y portones motorizados. Requisitos y métodos de ensayo.
- **UNE 85635:2012** Puertas industriales, comerciales, de garaje y portones ya instalados o de nueva instalación. Requisitos específicos de instalación, uso, mantenimiento y modificación.
- **Marcado CE** de puertas industriales, comerciales, de garaje y portones en el marco del **Reglamento (UE) nº 305/2011** de Productos de Construcción.

Su diseño y métodos de fabricación han de conducir a un producto final que satisfaga toda la normativa citada. Si el conjunto incumple la normativa vigente, será desechado y su diseño revisado. El cumplimiento de los requisitos mínimos de seguridad permitirá la elaboración del documento de declaración de conformidad y de la obtención del correspondiente marcado CE.

Basándose en la normativa vigente, a la hora de diseñar una puerta de garaje seccional de plegado horizontal, hay que fijarse en la **UNE-EN 13241:2004+A2:2017**. En ella se explica la normativa y las características de prestación del producto. En esta norma se exigen unos requisitos mecánicos, como la resistencia y durabilidad mecánica y unos requisitos de seguridad frente a aplastamiento, cizallamiento y arrastre.

En esta norma también se hace referencia a requisitos de penetración de agua, viento, resistencia térmica y permeabilidad del agua; pero se ha decidido obviarlos por el hecho de que esta puerta no se encontrará expuesta al exterior, al ser diseñada para una plaza de aparcamiento dentro de un garaje subterráneo.

Los aspectos de resistencia y durabilidad mecánica se encuentran en la norma **UNE-EN 12604:2018+A1:2021**. En ella se especifica los coeficientes de seguridad de los materiales para el cálculo según la tabla PL.1.

Tabla PL.1: Coeficientes de seguridad de los materiales para el cálculo

Coeficiente de seguridad para el límite elástico	Coeficiente de seguridad para el límite de rotura
Mínimo 2,0	Mínimo 3,5

Tal y como se exige en la norma, el coeficiente de seguridad mínimo que se exige a elasticidad es de 2 y a rotura es de 3,5.

Dentro de esta normativa, hay también muchas restricciones de diseño: El movimiento de la hoja de puerta debe estar limitado por topes. Los topes mecánicos en las posiciones finales del movimiento de la puerta deben resistir la energía producida por un posible impacto de la hoja de la puerta.

Cuando las puertas de accionamiento vertical dispongan de cables de acero, cadenas y correas conectados directamente a la hoja de la puerta, debe utilizarse como mínimo dos cables de acero, cadenas y correas independientes. (...) Cada cable de acero, correa o cadena debe tener un coeficiente de seguridad superior a 6 (resistencia mínima a la rotura en relación con la carga estática de una correa).

Las poleas y los tambores del cable deben tener un diámetro de paso medido en el centro del cable (P.C.D., pitch circle diameter) por lo menos igual a 18 veces el diámetro del cable, a no ser que el fabricante del cable de acero que soporta la carga declare un P.C.D. más pequeño.

No se llega a determinar una velocidad exacta en esta norma, pero en algunos apartados se exige una velocidad menor de 0,3 m/s.

Además, en el anexo B de la norma se muestran ejemplos de protección mecánica y distancias de seguridad en puertas seccionales, según la figura PL.1:

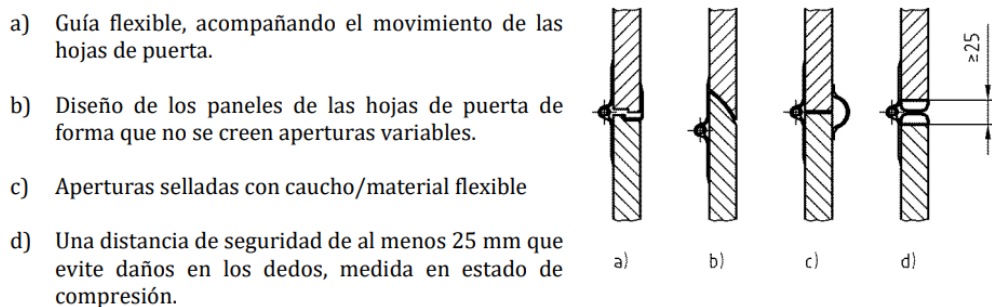


Figura PL.1: Protección en puertas seccionales

Los aspectos de seguridad se especifican en la norma **UNE-EN 12453:2018+A1:2022**. En esta norma se especifica que, en puertas de movimiento vertical, para evitar el arrastre cuando se mueve la puerta, la puerta no debe poder levantar una masa de 20 kg desde su posición de cierre; o bien, si la puerta puede levantar una masa de 20 kg, la puerta debe detenerse mediante un equipo de protección antes de que el cuerpo levantado alcance cualquier lugar de peligro, como el dintel u otras partes fijas del edificio o componentes del mecanismo de la puerta.

Dado que el proyecto de diseño y cálculo de la puerta de garaje seccional puede extenderse a lo largo del tiempo, existe la posibilidad de que las normativas vigentes al inicio del proyecto sufran modificaciones o queden obsoletas para el momento en que se proceda a la fabricación



de la puerta. Es fundamental que todas las partes involucradas comprendan que la responsabilidad de garantizar el cumplimiento normativo al momento de la fabricación e instalación recaerá en los encargados de dichas fases del proyecto.

Por lo tanto, se estipula que antes de la fabricación de la puerta de garaje seccional, se deberá realizar una revisión exhaustiva y actualización de las normativas aplicables. Esta revisión deberá asegurarse de que todas las disposiciones técnicas y de seguridad reflejen los últimos estándares y requisitos legales vigentes en ese momento.

La responsabilidad de verificar que las normativas aplicables no hayan caducado o cambiado desde el diseño inicial recae en los fabricantes. En caso de que las normativas hayan sido actualizadas o reemplazadas, los fabricantes deberán adaptar el producto para que cumpla con las nuevas regulaciones.

Este enfoque asegura que el proyecto se mantenga en conformidad con las normativas más recientes y reduce el riesgo de incumplimiento normativo debido a cambios regulatorios futuros.

2. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS Y PARTICULARES

2.1. CARACTERÍSTICAS EXIGIDAS A LOS EQUIPOS Y MATERIALES

Este apartado describe las características técnicas y los requisitos que deben cumplir los equipos y materiales utilizados en la fabricación de la puerta de garaje seccional. Los equipos y materiales mencionados a continuación deben cumplir con los estándares de calidad, seguridad y funcionalidad establecidos en la normativa vigente y en las especificaciones del proyecto.

2.1.1. Motor

El motor es un componente crucial del sistema de apertura y cierre de la puerta. Las características exigidas para el motor son las siguientes:

- **Tipo de motor:** El motor elegido es un motor eléctrico de corriente continua (DC).
- **Potencia nominal:** La potencia debe ser suficiente para garantizar el funcionamiento de la puerta.
- **Par motor:** Debe proporcionar el par necesario para mover la puerta con seguridad y sin esfuerzo excesivo, es decir, de al menos $22\,236\text{ Nmm}$, teniendo en cuenta las pérdidas en la transmisión.
- **Velocidad:** La velocidad de operación del motor debe permitir la apertura y cierre de la puerta en un tiempo menor de $0,3\text{ m/s}$. Con la consideración de que el tiempo de operación sea de 24 s , la velocidad angular debe ser de 25 rpm (con un piñón de diámetro 72 mm).
- **Eficiencia energética:** El motor debe cumplir con los estándares de eficiencia energética para minimizar el consumo de electricidad.

2.1.2. Piñón y cremallera

El sistema de transmisión entre el motor y la elevación de la puerta, se hace mediante un sistema de transmisión piñón-cremallera.

- **Material:** El piñón y la cremallera tienen que estar hechos del mismo material con una tensión de fluencia de al menos $32,67\text{ MPa}$ y una dureza de al menos $672,3\text{ MPa}$.
- **Dimensiones:** Para que se cumplan las especificaciones del motor establecidas, el piñón tendrá que tener un diámetro primitivo de 72 mm , una anchura de 20 mm y un módulo de 4. La cremallera tendrá que tener una longitud de aproximadamente $2,8\text{ m}$, una anchura de 20 mm y un módulo de 4.



2.1.3. Guías de las puertas

Las guías son los componentes por los que se deslizan las ruedas de los paneles de la puerta. Las características exigidas para las guías son:

- **Material:** Deben estar fabricadas de un material duradero y resistente a la corrosión, como aluminio de al menos $155,5 \text{ MPa}$ de tensión de fluencia.
- **Dimensiones:** Las dimensiones deben ser adecuadas para soportar el peso de la puerta y permitir su movimiento sin obstáculos. Las dimensiones están definidas en sus respectivos planos.

2.1.4. Pletinas de unión

Hay varios tipos de pletinas de unión en este trabajo. Una de ellas son las pletinas de unión entre el techo y las guías horizontales, tanto inferiores como superiores. Las características exigidas para las pletinas son:

- **Material:** Deben estar fabricadas de un material duradero y resistente, como acero de al menos $195,6 \text{ MPa}$ de tensión de fluencia.
- **Dimensiones:** Las dimensiones deben ser adecuadas para soportar el peso de la puerta. Las dimensiones están definidas en su respectivo plano.

Otra de las pletinas, son las pletinas de unión entre la guía horizontal inferior y la guía vertical. Sus dimensiones están definidas en su respectivo plano.

2.1.5. Elementos que componen el marco

El marco proporciona la estructura y soporte para la puerta. Las características exigidas para los elementos del marco son:

- **Material:** Los componentes que constituyen los marcos deben estar hechos de un material duradero y resistente, como aluminio.
- **Dimensiones:** Las dimensiones deben coincidir con las especificaciones del diseño para asegurar una instalación correcta y segura. Las dimensiones están definidas en sus respectivos planos.
- **Protección:** Debe incluir tratamientos o revestimientos que protejan contra la oxidación y el desgaste.

2.1.6. Paneles, bisagras, portarruedas y ruedas.

Estos componentes son esenciales para el funcionamiento de la puerta. Las bisagras permiten la rotación de los paneles y los portarruedas permiten sostener las ruedas. Las características exigidas son:



- **Paneles:**
 - **Material:** Deben ser estar compuestos por una espuma de poliuretano de alta densidad (entre 40 y 42 kg/m^3) y protegidos por dos chapas de acero galvanizado.
 - **Dimensiones:** La puerta debe componerse de cuatro paneles de aproximadamente 5 605mmx500mm de 40 mm de espesor.
 - **Resistencia y durabilidad:** Deben ser resistentes a impactos y a condiciones climáticas adversas.
 - **Acabado:** El acabado debe ser estético y proteger contra la corrosión.
- **Bisagras y portarruedas:**
 - **Material:** Deben estar hechas de acero u otros materiales resistentes.
 - **Dimensiones:** Los portarruedas deben ser compatibles con las ruedas (agujero de 11 mm).
 - **Durabilidad:** Deben soportar repetidos ciclos de apertura y cierre sin fallo.
- **Ruedas:**
 - **Material:** Deben estar fabricados de materiales como nylon.
 - **Dimensiones:** Deben ser de 46 mm de diámetro como máximo para ser compatibles con las guías diseñadas y su eje debe ser compatible con los portarruedas elegidos (eje de 11 mm).
 - **Funcionamiento suave:** Deben facilitar un movimiento fluido y silencioso de los paneles.
 - **Resistencia al desgaste:** Deben tener una alta resistencia al desgaste para prolongar la vida útil del sistema.

2.1.7. Orejeta, pasador y barra

- **Orejeta:**
 - **Dimensiones:** Las dimensiones deben coincidir con las especificaciones del diseño para asegurar una instalación correcta y segura, es decir, debe tener una anchura, una altura y un espesor de aproximadamente de 40 mm, 40 mm y 5 mm, respectivamente.
 - **Material:** Deben estar hechas de acero u otros materiales de al menos 23,91 MPa de tensión de fluencia.
- **Pasador:**
 - **Dimensiones:** Las dimensiones deben coincidir con las especificaciones del diseño para asegurar una instalación correcta y segura, es decir, debe tener diámetro de aproximadamente de 20 mm.
 - **Material:** Deben estar hechas de acero u otros materiales de al menos 5,345 MPa de tensión de fluencia.



- **Barra:**
 - **Dimensiones:** Las dimensiones deben coincidir con las especificaciones del diseño para asegurar una instalación correcta y segura, es decir, debe tener una anchura, una longitud (entre articulaciones) y un espesor de aproximadamente de 40 mm , 653 mm y 10 mm , respectivamente. Además, debe estar hecha por dos tramos para evitar interferencias con los paneles.
 - **Material:** Deben estar hechas de acero u otros materiales de al menos $8,4\text{ MPa}$ de tensión de fluencia.

2.1.8. Tornillos y tuercas

Estos son los elementos de fijación que aseguran los componentes de la puerta en su lugar. Las características exigidas son:

- **Material:** Deben ser de acero de una calidad de 4.8 como mínimo, es decir, de al menos 340 MPa de tensión de fluencia.
- **Dimensiones:** Deben cumplir con las especificaciones de diseño para garantizar una fijación segura.
- **Resistencia mecánica:** Deben ser capaces de soportar las cargas aplicadas sin deformarse o romperse.

2.1.9. Muelles torsionales

Los muelles de torsión protegen el motor y el sistema de apertura de la puerta al absorber parte del estrés y evitar el desgaste excesivo. Las características exigidas son:

- **Material:** Los componentes que constituyen los muelles torsionales deben estar hechos de un material de al menos $930,5\text{ MPa}$ de tensión de fluencia como el alambre estirado puro.
- **Dimensiones:** Los muelles deben tener un diámetro de alambre de 6 mm , un diámetro de espiras de 67 mm y una longitud de al menos $3,2\text{ m}$. También se pueden usar dos muelles de mismas dimensiones y con una longitud de al menos $1,6\text{ m}$.

2.1.10. Elementos de goma de seguridad

Estos elementos dificultan el acceso de individuos a zonas de peligro o pueden servir de amortiguador ante golpes. Estos elementos son:

- **Goma de las guías verticales:** Tienen que cubrir toda la longitud vertical accesible desde el exterior en el hueco entre los marcos y los paneles.
- **Goma del panel inferior:** Tienen que cubrir toda la longitud horizontal de los paneles.

- **Goma del panel superior:** Tienen que cubrir toda la longitud horizontal de los paneles.

2.1.11. Accionamiento

En el accionamiento, a parte del motorreductor y el sistema piñón-cremallera, se necesita un carro que sujete el motor con el piñón y una guía por la que se desplace el carro cuando recorre la cremallera. Junto a estos elementos hay unas pletinas de unión para unir la guía del carro y el techo.

- **Dimensiones:** Estos elementos deben cumplir las dimensiones definidas en los planos.

2.2. CONTROL, INSPECCIONES Y PRUEBAS

Se llevarán a cabo todos los análisis, verificaciones, pruebas y ensayos necesarios en los materiales, componentes o partes del conjunto, según lo ordene el director del proyecto. Estos pueden ser realizados en un laboratorio designado por el director si así se requiere.

Antes de su uso en la construcción, todos los materiales deberán ser revisados y aprobados por el director del proyecto o por una persona designada por él.

Las características técnicas de estos materiales, junto con las especificaciones de su aplicación, ya se han detallado en secciones anteriores. Ningún material podrá ser utilizado sin esta aprobación previa.

Cualquier material que no cumpla con los estándares de calidad, protección o aislamiento, o que presente otros defectos, deberá ser retirado de inmediato. Esta inspección previa no implica la aceptación final de los materiales, y el director del proyecto podrá exigir la retirada de cualquier material que presente defectos no detectados previamente.

En fábrica, todos los equipos se someterán a una serie de pruebas para asegurarse de que están libres de defectos mecánicos.

Se realizará una inspección visual de todos los dispositivos y se comprobará el funcionamiento mecánico de todas sus partes móviles.

Todas las protecciones serán calibradas y ajustadas según los valores proporcionados por el fabricante.

Las pruebas podrán llevarse a cabo en presencia del técnico responsable del proyecto.

2.3. SEGURIDAD

En general, basándose en la Ley de Prevención de Riesgos Laborales y las especificaciones de las normas, se cumplirán las siguientes condiciones de seguridad:

Durante cualquier intervención en un dispositivo eléctrico, se llevarán a cabo los trabajos sin tensión. Se asegurará la ausencia de electricidad mediante el uso de equipos de medición y verificación adecuados.

En el lugar de trabajo siempre deberá haber al menos dos operarios presentes.

Se utilizarán guantes y herramientas aislantes.

Al usar aparatos o herramientas eléctricas, estos deben conectarse a tierra si es necesario, estar dotados de un grado de aislamiento de clase II, o ser alimentados por una tensión inferior a 50 V mediante transformadores de seguridad.

No se restablecerá el servicio al finalizar los trabajos hasta comprobar que no existe ningún peligro.

Los operarios que trabajen en circuitos o equipos bajo tensión, o cerca de ellos, deben usar ropa sin partes metálicas y evitar el uso de objetos metálicos o inflamables. Las herramientas o equipos deben llevarse en bolsas y deben usarse zapatos aislantes.

Se cumplirán asimismo todas las disposiciones generales de seguridad de obligado cumplimiento relativas a seguridad, higiene y salud en el trabajo, y las ordenanzas municipales que sean de aplicación.

El producto final no debe presentar peligros para las personas encargadas de su operación, cumpliendo con las normas de seguridad y salud indicadas por la marca CE.

Aparte de las normas del código técnico de la edificación, se tendrá en cuenta que la puerta de garaje seccional cumpla:

- Que no posea aristas vivas o cortantes, ni elementos salientes que puedan causar cortes o accidentes.
- La carcasa deberá estar debidamente cerrada, para que no se pueda acceder al motorreductor fácilmente.
- Los elementos eléctricos deben estar seguros y estar bien aislados para proteger contra el contacto humano, así como contra la entrada de agua, insectos, suciedad, etc.

2.4. CONCLUSIÓN

Tras revisar detalladamente todo lo expuesto anteriormente y los documentos adjuntos que respaldan este proyecto, se considera que se ha proporcionado una descripción exhaustiva del diseño y fabricación, la cual cumple con las normativas y recomendaciones vigentes.

Una vez expuesto el propósito y la utilidad de este proyecto, se espera que reciba la aprobación correspondiente por parte de la administración, así como las autorizaciones necesarias para su tramitación y ejecución. Sin embargo, se está abierto a cualquier aclaración o ajuste que los organismos oficiales consideren necesario.



3. LUGAR, FECHA Y FIRMA

Firma del autor en Zaragoza, a 26 de junio de 2024.

Luis Viñés García



Universidad
Zaragoza



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Diseño y cálculo de una puerta de garaje seccional
para una plaza de aparcamiento de un garaje
comunitario

Design and calculation of a sectional garage door for a
parking space in a community garage

MEDICIONES

Autor:

Luis Viñés García

Directores:

Paula Canalís Martínez

José Manuel Auría Apilluelo

Grado de Ingeniería Mecánica
Escuela de Ingeniería y Arquitectura

ZARAGOZA, JUNIO 2024



ÍNDICE MEDICIONES

Nº 1 ACTUACIONES PREVIAS	2
Nº 2 ESTRUCTURA	3
Nº 3 PANELES, PORTARRUEDAS Y BISAGRAS	4
Nº 4 MUELLES TORSIONALES	5
Nº 5 ACCIONAMIENTO	6
Nº 6 TORNILLOS Y TUERCAS	7
Nº 7 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN	8
Nº 8 MANO DE OBRA	9

Mediciones nº 1 ACTUACIONES PREVIAS

Nº	Ud	Descripción	Medición	
1.1	Ud	Cizallado.		
			Total ud:	23,000
1.2	Ud	Plegado.		
			Total ud:	38,000

Mediciones nº 2 ESTRUCTURA

Nº	Ud	Descripción	Medición	
2.2	M2	Chapa de aluminio galvanizado de 2 mm.		
			Total m2	0,620
2.3	M2	Chapa de aluminio lacado de 2,5 mm.		
			Total m2	5,270
2.4	M2	Chapa de aluminio galvanizado de 2,5 mm.		
			Total m2	0,571
2.5	M2	Chapa de acero galvanizado de 2 mm.		
			Total m2	0,056
2.6	M2	Chapa de acero galvanizado de 2,5 mm.		
			Total m2	0,063

Mediciones nº 3 PANELES, PORTARRUEDAS Y BISAGRAS

Nº	Ud	Descripción	Medición	
3.1	Ud	Panel de puerta seccional con unicanal.		
			Total ud	4,000
3.2	Ud	Bisagra intermedia de puerta seccional.		
			Total ud	3,000
3.3	Ud	Bisagra y portarruedas lateral para puertas seccionales.		
			Total ud	6,000
3.4	Ud	Portarruedas lateral superior e inferior para puertas seccionales.		
			Total ud	4,000
3.5	Ud	Rueda de nylon con rodamiento para puertas seccionales.		
			Total ud	10,000
3.6	Ud	Orejeta		
			Total ud	1,000

Mediciones nº 4 MUELLES TORSIONALES

Nº	Ud	Descripción	Medición	
4.1	Ud	Apoyo ajustable eje		
			Total ud	2,000
4.2	M	Cable de acero puerta seccional		
			Total m	3,000
4.3	Ud	Muelle torsional + piezas de torsión		
			Total ud	2,000
4.4	Ud	Apoyo con rodamiento.		
			Total ud	2,000
4.5	Ud	Eje de acero de 25,4 mm.		
			Total ud	5,745

Mediciones nº 5 ACCIONAMIENTO

Nº	Ud	Descripción	Medición	
5.1	Ud	Motorreductor Doga 258.1710.20.00		
			Total ud	1,000
5.2	Ud	Carro.		
			Total ud	1,000
5.3	Ud	Barra.		
			Total ud	1,000
5.4	Ud	Cremallera de 3,2m de 20mm y módulo 2.		
			Total ud	1,000
5.5	Ud	Piñón de 18mm y módulo 2.		
			Total ud	1,000

Mediciones nº 6 TORNILLOS Y TUERCAS

Nº	Ud	Descripción	Medición	
6.1	Ud	Tornillo M6.		
			Total ud	115,000
6.2	Ud	Tornillo M8.		
			Total ud	30,000
6.3	Ud	Tornillo M5.		
			Total ud	6,000
6.4	Ud	Tornillo M10.		
			Total ud	24,000
6.5	Ud	Tuerca M5.		
			Total ud	6,000
6.6	Ud	Tuerca M6.		
			Total ud	40,000
6.7	Ud	Tuerca M8.		
			Total ud	12,000
6.8	Ud	Tuerca M10.		
			Total ud	10,000
6.9	Ud	Anclaje metálico M10.		
			Total ud	14,000
6.10	Ud	Tacos de anclaje M8.		
			Total ud	14,000

Mediciones nº 7 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN

Nº	Ud	Descripción	Medición	
7.1	Ud	Goma de protección de guías verticales para puertas seccionales.		
			Total ud:	1,000
7.2	Ud	Goma de protección inferior para puertas seccionales.		
			Total ud:	1,000

Mediciones nº 8 MANO DE OBRA

Nº	Ud	Descripción	Medición	
8.1	H	1º Oficial.		
			Total h:	12,000
8.2	H	Ayudante.		
			Total h:	12,000



Universidad
Zaragoza



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Diseño y cálculo de una puerta de garaje seccional
para una plaza de aparcamiento de un garaje
comunitario

Design and calculation of a sectional garage door for a
parking space in a community garage

PRESUPUESTO

Autor:

Luis Viñés García

Directores:

Paula Canalís Martínez

José Manuel Auría Apilluelo

Grado de Ingeniería Mecánica
Escuela de Ingeniería y Arquitectura

ZARAGOZA, JUNIO 2024

ÍNDICE PRESUPUESTO

1.	PRECIOS UNITARIOS.....	2
2.	PRESUPUESTOS PARCIALES	4
	<i>Nº 1 ACTUACIONES PREVIAS.....</i>	<i>4</i>
	<i>Nº 2 ESTRUCTURA.....</i>	<i>5</i>
	<i>Nº 3 PANELES, PORTARRUEDAS Y BISAGRAS</i>	<i>6</i>
	<i>Nº 4 MUELLES TORSIONALES</i>	<i>7</i>
	<i>Nº 5 ACCIONAMIENTO.....</i>	<i>8</i>
	<i>Nº 6 TORNILLOS Y TUERCAS.....</i>	<i>9</i>
	<i>Nº 7 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN</i>	<i>10</i>
	<i>Nº 8 MANO DE OBRA.....</i>	<i>11</i>
3.	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	12
4.	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA IMPUESTOS INCLUIDOS.....	13
5.	LUGAR, FECHA Y FIRMA	14

Cuadro de precios nº 1

Nº	Designación	Importe	
		En cifra (Euros)	En letra (Euros)
	1 ACTUACIONES PREVIAS		
1.1	ud Cizallado.	1,03	UN EURO CON TRES CÉNTIMOS
1.2	ud Plegado.	1,03	UN EURO CON TRES CÉNTIMOS
	2 ESTRUCTURA		
2.1	m2 Chapa de aluminio lacado de 2 mm.	27,58	VEINTISIETE EUROS CON CINCUENTA Y OCHO CÉNTIMOS
2.2	m2 Chapa de aluminio galvanizado de 2 mm.	24,23	VEINTICUATRO EUROS CON VEINTITRES CÉNTIMOS
2.3	m2 Chapa de aluminio lacado de 2,5 mm.	35,30	TREINTA Y CINCO EUROS CON TREINTA CÉNTIMOS
2.4	m2 Chapa de aluminio galvanizado de 2,5 mm.	29,38	VEINTINUEVE EUROS CON TREINTA Y OCHO CÉNTIMOS
2.5	m2 Chapa de acero galvanizado de 2 mm.	10,39	DIEZ EUROS CON TREINTA Y NUEVE CÉNTIMOS
2.6	m2 Chapa de acero galvanizado de 2,5 mm.	13,88	TRECE EUROS CON OCHENTA Y OCHO CÉNTIMOS
	3 PANELES, PORTARRUEDAS Y BISAGRAS		
3.1	ud Panel de puerta seccional con unicanal.	324,70	TRESCIENTOS VEINTICUATRO EUROS CON SETENTA CÉNTIMOS
3.2	ud Bisagra intermedia de puerta seccional.	2,37	DOS EUROS CON TREINTA Y SIETE CÉNTIMOS
3.3	ud Bisagra y portarruedas lateral para puertas seccionales.	3,95	TRES EUROS CON NOVENTA Y CINCO CÉNTIMOS
3.4	ud Portarruedas lateral superior e inferior para puertas seccionales.	6,66	SEIS EUROS CON SESENTA Y SEIS CÉNTIMOS
3.5	ud Rueda de nylon con rodamiento para puertas seccionales.	1,98	UN EURO CON NOVENTA Y OCHO CÉNTIMOS
3.6	ud Orejeta	4,52	CUATRO EUROS CON CINCUENTA Y DOS CÉNTIMOS
	4 MUELLES TORSIONALES		
4.1	ud Apoyo ajustable eje	49,55	CUARENTA Y NUEVE EUROS CON CINCUENTA Y CINCO CÉNTIMOS
4.2	m Cable de acero puerta seccional	4,50	CUATRO EUROS CON CINCUENTA CÉNTIMOS
4.3	ud Muelle torsional + piezas de torsión	48,67	CUARENTA Y OCHO EUROS CON SESENTA Y SIETE CÉNTIMOS
4.4	ud Apoyo con rodamiento.	20,09	VEINTE EUROS CON NUEVE CÉNTIMOS
4.5	ud Eje de acero de 25,4 mm.	57,68	CINCUENTA Y SIETE EUROS CON SESENTA Y OCHO CÉNTIMOS
	5 ACCIONAMIENTO		
5.1	ud Motorreductor Doga 258.1710.20.00	433,00	CUATROCIENTOS TREINTA Y TRES EUROS
5.2	ud Carro.	12,74	DOCE EUROS CON SETENTA Y CUATRO CÉNTIMOS
5.3	ud Barra.	4,56	CUATRO EUROS CON CINCUENTA Y SEIS CÉNTIMOS

Cuadro de precios nº 1			
Nº	Designación	Importe	
		En cifra (Euros)	En letra (Euros)
5.4	ud Cremallera de 3,2m de 20mm y módulo 2.	78,52	SETENTA Y OCHO EUROS CON CINCUENTA Y DOS CÉNTIMOS
5.5	ud Piñón de 18mm y módulo 2.	14,70	CATORCE EUROS CON SETENTA CÉNTIMOS
	6 TORNILLOS Y TUERCAS		
6.1	ud Tornillo M6.	0,05	CINCO CÉNTIMOS
6.2	ud Tornillo M8.	0,14	CATORCE CÉNTIMOS
6.3	ud Tornillo M5.	0,03	TRES CÉNTIMOS
6.4	ud Tornillo M10.	0,71	SETENTA Y UN CÉNTIMOS
6.5	ud Tuerca M5.	0,03	TRES CÉNTIMOS
6.6	ud Tuerca M6.	0,03	TRES CÉNTIMOS
6.7	ud Tuerca M8.	0,04	CUATRO CÉNTIMOS
6.8	ud Tuerca M10.	0,04	CUATRO CÉNTIMOS
6.9	ud Anclaje metálico M10.	0,35	TREINTA Y CINCO CÉNTIMOS
6.10	ud Tacos de anclaje M8.	0,21	VEINTIUN CÉNTIMOS
	7 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN		
7.1	ud Goma de protección de guías verticales para puertas seccionales.	27,57	VEINTISIETE EUROS CON CINCUENTA Y SIETE CÉNTIMOS
7.2	ud Goma de protección inferior para puertas seccionales.	5,30	CINCO EUROS CON TREINTA CÉNTIMOS
7.3	ud Goma de protección superior para puertas seccionales.	4,38	CUATRO EUROS CON TREINTA Y OCHO CÉNTIMOS
	8 MANO DE OBRA		
8.1	h 1º Oficial.	11,03	ONCE EUROS CON TRES CÉNTIMOS
8.2	h Ayudante.	10,71	DIEZ EUROS CON SETENTA Y UN CÉNTIMOS

Presupuesto parcial nº 1 ACTUACIONES PREVIAS

Núm.	Ud	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)
1.1	ud	Cizallado.	23,000	1,03	23,69
1.2	ud	Plegado.	38,000	1,03	39,14
Total presupuesto parcial nº 1 ACTUACIONES PREVIAS:					62,83

Presupuesto parcial nº 2 ESTRUCTURA

Núm.	Ud	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)
2.2	m2	Chapa de aluminio galvanizado de 2 mm.	0,620	24,23	15,02
2.3	m2	Chapa de aluminio lacado de 2,5 mm.	5,270	35,30	186,03
2.4	m2	Chapa de aluminio galvanizado de 2,5 mm.	0,571	29,38	16,78
2.5	m2	Chapa de acero galvanizado de 2 mm.	0,056	10,39	0,58
2.6	m2	Chapa de acero galvanizado de 2,5 mm.	0,063	13,88	0,87
Total presupuesto parcial nº 2 ESTRUCTURA:					219,28

Presupuesto parcial nº 3 PANELES, PORTARRUEDAS Y BISAGRAS

Núm.	Ud	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)
3.1	ud	Panel de puerta seccional con unicanal.	4,000	324,70	1.298,80
3.2	ud	Bisagra intermedia de puerta seccional.	3,000	2,37	7,11
3.3	ud	Bisagra y portarruedas lateral para puertas seccionales.	6,000	3,95	23,70
3.4	ud	Portarruedas lateral superior e inferior para puertas seccionales.	4,000	6,66	26,64
3.5	ud	Rueda de nylon con rodamiento para puertas seccionales.	10,000	1,98	19,80
3.6	ud	Orejeta	1,000	4,52	4,52
Total presupuesto parcial nº 3 PANELES, PORTARRUEDAS Y BISAGRAS:					1.380,57

Presupuesto parcial nº 4 MUELLES TORSIONALES

Núm.	Ud	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)
4.1	ud	Apoyo ajustable eje	2,000	49,55	99,10
4.2	m	Cable de acero puerta seccional	3,000	4,50	13,50
4.3	ud	Muelle torsional + piezas de torsión	2,000	48,67	97,34
4.4	ud	Apoyo con rodamiento.	2,000	20,09	40,18
4.5	ud	Eje de acero de 25,4 mm.	5,745	57,68	331,37
Total presupuesto parcial nº 4 MUELLES TORSIONALES:					581,49

Presupuesto parcial nº 5 ACCIONAMIENTO

Núm.	Ud	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)
5.1	ud	Motorreductor Doga 258.1710.20.00	1,000	433,00	433,00
5.2	ud	Carro.	1,000	12,74	12,74
5.3	ud	Barra.	1,000	4,56	4,56
5.4	ud	Cremallera de 3,2m de 20mm y módulo 2.	1,000	78,52	78,52
5.5	ud	Piñón de 18mm y módulo 2.	1,000	14,70	14,70
Total presupuesto parcial nº 5 ACCIONAMIENTO:					543,52

Presupuesto parcial nº 6 TORNILLOS Y TUERCAS

Núm.	Ud	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)
6.1	ud	Tornillo M6.	115,000	0,05	5,75
6.2	ud	Tornillo M8.	30,000	0,14	4,20
6.3	ud	Tornillo M5.	6,000	0,03	0,18
6.4	ud	Tornillo M10.	24,000	0,71	17,04
6.5	ud	Tuerca M5.	6,000	0,03	0,18
6.6	ud	Tuerca M6.	40,000	0,03	1,20
6.7	ud	Tuerca M8.	12,000	0,04	0,48
6.8	ud	Tuerca M10.	10,000	0,04	0,40
6.9	ud	Anclaje metálico M10.	14,000	0,35	4,90
6.10	ud	Tacos de anclaje M8.	14,000	0,21	2,94
Total presupuesto parcial nº 6 TORNILLOS Y TUERCAS:					37,27

Presupuesto parcial nº 7 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN

Núm.	Ud	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)
7.1	ud	Goma de protección de guías verticales para puertas seccionales.	1,000	27,57	27,57
7.2	ud	Goma de protección inferior para puertas seccionales.	1,000	5,30	5,30
Total presupuesto parcial nº 7 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN:					32,87

Presupuesto parcial nº 8 MANO DE OBRA

Núm.	Ud	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)
8.1	h	1º Oficial.	12,000	11,03	132,36
8.2	h	Ayudante.	12,000	10,71	128,52
Total presupuesto parcial nº 8 MANO DE OBRA:					260,88

Presupuesto de ejecución material

	Importe (€)
1 ACTUACIONES PREVIAS	62,83
2 ESTRUCTURA	219,28
3 PANELES, PORTARRUEDAS Y BISAGRAS	1.380,57
4 MUELLES TORSIONALES	581,49
5 ACCIONAMIENTO	543,52
6 TORNILLOS Y TUERCAS	37,27
7 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN	32,87
8 MANO DE OBRA	260,88
Total	3.118,71

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de TRES MIL CIENTO DIECIOCHO EUROS CON SETENTA Y UN CÉNTIMOS.

Proyecto: PUERTA SECCIONAL EN PLAZA DE APARCAMIENTO

Capítulo	Importe
1 ACTUACIONES PREVIAS	62,83
2 ESTRUCTURA	219,28
3 PANELES, PORTARRUEDAS Y BISAGRAS	1.380,57
4 MUELLES TORSIONALES	581,49
5 ACCIONAMIENTO	543,52
6 TORNILLOS Y TUERCAS	37,27
7 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN	32,87
8 MANO DE OBRA	260,88
Presupuesto de ejecución material	3.118,71
16% de gastos generales	498,99
6% de beneficio industrial	187,12
Suma	3.804,82
21% IVA	799,01
Presupuesto de ejecución por contrata	4.603,83

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata a la expresada cantidad de CUATRO MIL SEISCIENTOS TRES EUROS CON OCHENTA Y TRES CÉNTIMOS.



5. LUGAR, FECHA Y FIRMA

Firma del autor en Zaragoza, a 26 de junio de 2024.

Luis Viñés García