



**UNIVERSIDAD DE JAÉN**  
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

---

**DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA  
MÓVIL PARA ACCESO PEATONAL  
A UNA VIVIENDA**

**Alumno: Carlos Robles García**

**Tutor:** Ángel Jesús Molina Viedma  
**Depto.:** Ingeniería Mecánica y Minera

**Septiembre, 2022**

## Índice

RESUMEN .....	7
1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1. Presentación del problema .....	8
1.2. Antecedentes históricos .....	9
1.3. Análisis del problema .....	11
1.4. Importancia del proyecto .....	12
2. OBJETIVOS.....	12
2.1. Diseñar los peldaños de la escalera y la estructura en la que se apoyan....	12
2.2. Diseño del mecanismo de elevación .....	13
3. METODOLOGÍA DE DISEÑO.....	13
3.1. Estructura de la escalera.....	14
3.1.1. Tipos.....	14
3.1.2. Metodología de cálculo .....	15
3.2. Mecanismo de la escalera .....	16
3.2.1. Posibles diseños .....	16
3.2.2. Metodología de cálculo .....	23
4. CÁLCULO Y EVALUACIÓN DE LAS SOLUCIONES .....	24
4.1. Determinación de peldaños.....	24
4.1.1. Número y profundidad de peldaños .....	24
4.1.2. Anchura del peldaño y colocación de zanca .....	27
4.2. Dimensionamiento de zancas.....	30
4.3. Dimensionamiento del eje inferior.....	32
4.4. Dimensionamiento de los rodamientos .....	33
4.5. Dimensionamiento del eje superior o pivote. ....	36
4.6. Cálculo de un soporte con rodamiento.....	36
4.7. Cálculo del diámetro del pasador.....	37
4.8. Cálculo de los pasadores que contienen los rodillos.....	39
4.9. Cálculo del motor y sistema de transmisión .....	40

4.10.	Cálculo del soporte del eje inferior. ....	42
4.11.	Cálculo de las columnas.....	43
5.	MONTAJE FINAL.....	46
6.	CONCLUSIÓN .....	49
7.	BIBLIOGRAFÍA .....	49
	ANEXO I.....	50
	ANEXO II.....	51
	ANEXO III .....	54
	ANEXO IV .....	57
	ANEXO V .....	58
	ANEXO VI.....	60
	ANEXO VII.....	61
	ANEXO VIII .....	63
	ANEXO IX: PLANOS .....	66

## Índice de figuras

Figura 1.1. Vivienda vista desde pie de calle .....	9
Figura 1.2. Acotación del detalle de la vivienda.....	9
Figura 1.3. Escalera para subir a un altillo .....	10
Figura 1.4. Escalera pivotante abierta vista desde el acceso .....	11
Figura 3.1. Escalera de una única viga central .....	14
Figura 3.2. Escalera con dos vigas colocadas entre el centro y los extremos de los peldaños .....	15
Figura 3.3. Escalera con dos vigas colocadas en ambos extremos de los peldaños	15
Figura 3.4. Normativa del CTE .....	16
Figura 3.5. Atracción de feria que utiliza brazos elevadores.....	17
Figura 3.6. Actuador [4] .....	17
Figura 3.7. Viga por partes extendida con actuadores .....	18
Figura 3.8. Viga por partes recogida con actuadores.....	18
Figura 3.9. Columna elevadora con brazo articulado en posición inicial.....	19
Figura 3.10. Columna elevadora con brazo articulado en posición final .....	19
Figura 3.11. Estructura .....	20
Figura 3.12. Estructura .....	20
Figura 3.13. Estructura .....	21
Figura 3.14. Estructura .....	21
Figura 3.15. Estructura con indicaciones.....	21
Figura 3.16. Detalle estructura.....	22
Figura 3.17. Detalle estructura.....	22
Figura 3.18. Detalle estructura.....	22
Figura 4.1. Disposición de peldaños provisional.....	25
Figura 4.2. Detalle de la disposición de peldaños provisional.....	25
Figura 4.3. Vista isométrica de la disposición de peldaños provisional .....	25
Figura 4.4. Disposición de peldaños definitiva .....	26

Figura 4.5. Detalle de la disposición de peldaños definitiva .....	26
Figura 4.6. Vista isométrica de la disposición de peldaños definitiva.....	27
Figura 4.7. Gráfica comparativa de flechas máximas en función de la anchura del peldaño para escaleras de una sola zanca .....	28
Figura 4.8. Gráfica comparativa de flechas máximas en función de la anchura del peldaño para escaleras de dos zancas .....	28
Figura 4.9. Peldaños .....	29
Figura 4.10. Foto esquemática del peldaño .....	30
Figura 4.11. Tabla con las medidas estandarizadas de este peldaño .....	30
Figura 4.12. Representación de las vigas de la escalera en el software.....	31
Figura 4.13. Tabla de resultados tras la simulación en el software .....	31
Figura 4.14. Resultados de las flechas en las vigas .....	32
Figura 4.15. Esquema del eje inferior a lo largo de su longitud.....	33
Figura 4.16. Catálogo SKF .....	34
Figura 4.17. Rodamiento 61810-2RS1 del catálogo SKF .....	34
Figura 4.18. Corte del rodamiento 61810-2RS1 del catálogo SKF.....	34
Figura 4.19. Rodamiento con rueda exterior .....	35
Figura 4.20. Corte del rodamiento con rueda exterior.....	35
Figura 4.21. Soporte autoalineante cuadrado en fundición gris con inserto ya montado, tipo UCF205 para eje de $\phi 25$ mm del catálogo Mano a mano .....	36
Figura 4.22. Plano del soporte autoalineante.....	37
Figura 4.23. Ubicación del pasador .....	37
Figura 4.24. Esquema .....	38
Figura 4.25. Ubicación de los pasadores .....	39
Figura 4.26. Esquema .....	39
Figura 4.27. Ubicación del motor .....	41
Figura 4.28. Esquema del funcionamiento de un tornillo sin fin.....	41
Figura 4.29. Ubicación de la cadena de transmisión .....	42
Figura 4.30. Soporte del eje inferior .....	42
Figura 4.31. Soporte del eje inferior .....	43
Figura 4.32. Columna elevadora.....	43
Figura 4.33. Columna elevadora.....	44
Figura 4.34. Mallado de la columna elevadora.....	44

Figura 4.35. Resultado de la tensión de Von Mises aplicando el método de los elementos finitos.....	45
Figura 4.36. Resultado de los desplazamientos aplicando el método de los elementos finitos.....	45
Figura 5.1. Estructura en posición de reposo.....	46
Figura 5.2. Estructura en posición de elevación .....	46
Figura 5.3. Estructura en posición de reposo.....	46
Figura 5.4. Estructura en posición de elevación .....	47
Figura 5.5. Estructura en posición inicial .....	47
Figura 5.6. Estructura en posición inicial .....	47
Figura 5.7. Estructura en posición inicial .....	48
Figura 5.8. Estructura en posición inicial .....	48
Figura 0.1. DB-SUA .....	50
Figura 0.2. DB-SE-AE.....	51
Figura 0.1. Diagrama de momentos.....	52
Figura 0.2. Diagrama de momentos.....	53
Figura 0.1. Diagrama de momentos.....	54
Figura 0.2. Eje inferior.....	55
Figura 0.1. Catálogo SKF .....	58
Figura 0.1. Diagrama de momentos.....	59
Figura 0.1. Plancha metálica.....	65

## Índice de tablas

Tabla 4.1. Esfuerzos admisibles para los pernos (en N/mm <sup>2</sup> ) de la Norma UNE-EN ISO 1493:2010.....	38
Tabla 0.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso.....	51
Tabla 0.1. Estudio para una sola zanca.....	54
Tabla 0.2. Estudio para dos zancas.....	54
Tabla 0.1. Diámetros según acero.....	56
Tabla 0.1. Diámetros según acero.....	60
Tabla 0.1. Esfuerzos admisibles para los pernos (en N/mm <sup>2</sup> ) de la Norma UNE-EN ISO 1493:2010.....	60
Tabla 0.1. Esfuerzos admisibles para los pernos (en N/mm <sup>2</sup> ) de la Norma UNE-EN ISO 1493:2010.....	61

## RESUMEN

En el presente estudio técnico se lleva a cabo el cálculo y diseño de una estructura móvil con peldaños, con el fin de sustituir una escalera de hormigón convencional, no móvil, para el acceso a unas viviendas adosadas, las cuales se encuentran en la localidad jiennense de Baeza.

La zona de acceso a dichas viviendas se divide en unas escaleras que dan paso a la primera planta, y en una rampa por la que se accede al semisótano, empleado como garaje. Debido a que esta zona no posee demasiada anchura, obliga a que tanto la rampa como las escaleras sean estrechas.

Como solución a esta falta de espacio se recurre a un “dos en uno”, utilizando todo el espacio disponible para la rampa y empleando una estructura móvil como acceso a la vivienda, teniendo presente que se trata de una instalación/mecanismo de uso doméstico, y procurando que la instalación sea lo más sencilla posible.

Las consecuencias de instalar esta estructura son, entre otras, tener un acceso a la primera planta más amplio, permitiendo que el paso de las personas con simples bolsas de la compra no sea difícil, y que la accesibilidad al garaje sea posible para vehículos de mayores dimensiones.

El accionamiento de esta estructura se pretende que sea totalmente eléctrico y con control remoto, por lo que mover dicha estructura solo va a depender de un mando a distancia.

La estructura metálica móvil calculada pretende sustituir a la escalera actual y aumentar la anchura de la rampa que da acceso al garaje eliminando el acceso original a la primera planta de la vivienda.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Presentación del problema

El problema que se plantea ocurre en la zona de acceso de unas viviendas, situadas en la localidad de Baeza, provincia de Jaén. Son un modelo de viviendas adosadas que llevan construyéndose en esta ciudad desde hace más de 30 años, ya que en ella no habita una población muy grande y, como consecuencia, el crecimiento de sus barrios es relativamente lento.

Las casas en cuestión se caracterizan por estar compuestas de tres niveles: planta semisótano, planta primera y planta segunda. Ninguna de estas plantas está a pie de calle, por lo que a la primera planta se accede por unas escaleras de hormigón, y al semisótano por una rampa, para hacer efectiva su función como garaje.

Además, la línea o anchura de estas casas no es demasiado grande, y en consecuencia no hay espacio disponible para hacer una escalera y una rampa con amplitud.

En la década de los 90, cuando se empezaron a construir las primeras casas de este tipo, la anchura media de un vehículo normal era bastante más reducida que hoy en día debido a las continuas mejoras que estos han sufrido a lo largo de los años. Para demostrarlo, se ha comparado la anchura del modelo de una marca de hace 30 años y en 2022, por ejemplo, un Opel Corsa. Este popular modelo de la marca alemana tenía un ancho de 1.53 metros en el año 1990 y de 1.765 metros en la versión actual. Esto supone un aumento aproximado del 15%.

Por esta razón, junto a la actual tendencia de los SUV (Sports Utility Vehicle), seguir construyendo este mismo modelo de vivienda que hace 30 años hace que el garaje quede inutilizable por su ajustado e incluso imposible acceso para muchos modelos de vehículos actuales.



Figura 1.1. Vivienda vista desde pie de calle



Figura 1.2. Acotación del detalle de la vivienda

## 1.2. Antecedentes históricos

Antes de empezar a tratar los antecedentes históricos, ha de hablarse de lo que ha servido de inspiración para pensar en esta estructura como solución al problema.

En este caso, la idea de la cual se ha partido ha sido de unas escaleras plegables de buhardilla o “altillo”, pues hacen que un mismo espacio tenga más de un uso posible: escalera y espacio no utilizado.



Figura 1.3. Escalera para subir a un altillo

Partiendo de esta base y pensando en que la estructura calculada va a tener un mayor uso que las escaleras a un altillo, se empieza a indagar para encontrar algún tipo de escalera de tipo plegable, hasta dar con las escaleras típicas de la Arquitectura antioqueña (manera según la cual se construyó inicialmente la vivienda en la región paisa de Colombia, especialmente desde la época colonial, siglo XVI, y hasta bien entrado el siglo XX).

A comienzos del siglo XX, en la Arquitectura antioqueña, empezó a aparecer una escalera móvil que se dio a conocer como una escalera pivotante. En esta región, por lo general, las viviendas eran de dos pisos.

Normalmente, un elemento arquitectónico se consolida para dar respuesta a cambios sociales o económicos. En esta cultura, con el aumento de la actividad comercial, las viviendas que se encontraban más cerca de los centros de las poblaciones empezaron a revalorizarse. Es por ello que los propietarios se vieron incentivados a aprovechar óptimamente todo el espacio de las viviendas, para así poder utilizar el primer nivel para actividades comerciales o como almacenaje, y los niveles superiores como vivienda.

La solución adoptada para aumentar el espacio fue la de unificar el acceso a ambos pisos del edificio. Para ello, se le otorgó movilidad a la escalera que daba acceso a la segunda planta, mayoritariamente ubicada en la entrada de la vivienda.



Figura 1.4. Escalera pivotante abierta vista desde el acceso

La manera en la que se consiguió dar movilidad a las escaleras fue añadiendo un pivote en el peldaño superior de estas y contrapesos para poderlas subir o bajar. Esta transformación de un elemento tan común como la escalera supuso un gran cambio en las características que definían a las viviendas tradicionales de la zona.

Prueba de la existencia de estas escaleras se ve reflejado en un fragmento escrito por Hernando Salazar Patiño:

“Juan sí recuerda haber visto animado a Rafael durante la construcción de esta casa que esos señores de Bogotá llamaron palacio, pues nos traían casi todos los días, especialmente cuando papá les mostró a los arquitectos italianos, al doctor de la Cruz y a los otros accionistas del banco, el funcionamiento de la escalera bascular que le instaló don Pedro Ramírez. Levantarla, entrar el carro o las bestias para desensillarlas y guardar en el cuarto aperos, calzarnos los estribos de cobre y bronce, quedarnos en el patio, nos divertía mucho, sobre todo al principio.” [1]

### 1.3. Análisis del problema

El problema principal es la falta de espacio, por lo que la solución para resolver este problema es aumentar la anchura de la rampa que da acceso al semisótano, para que pueda ser utilizado para su fin, aparcar vehículos.

Esta solución sería la más apropiada si los solares donde se construyen estas viviendas fueran más grandes, pero al no ser excesivamente grandes, hay que pensar en una solución adecuada que no reduzca el espacio habitable de la vivienda.

El único espacio no habitable que se puede modificar para el aumento de las dimensiones del acceso al garaje es la escalera que une la calle con la primera planta, pero como el tamaño de esta también es bastante reducido, si se disminuyera la anchura de esta escalera no podría pasar ninguna persona.

El aumento de la rampa que da acceso al garaje conlleva el aumento de la puerta de este. Aumentar la anchura de esta puerta puede que afecte a algunos elementos estructurales de la vivienda como pilares. Es por ello que, aunque el estudio haya sido diseñado para las nuevas casas que se construyan y no para reformar las actuales, se debería hacer un estudio de la estructura de la vivienda, a pesar de que no se haya tenido en cuenta en este estudio.

#### 1.4. Importancia del proyecto

La posibilidad de que estos adosados sigan teniendo la misma superficie construida, y que además se pueda utilizar la planta semisótano como garaje daría lugar a que la venta de estas viviendas fuera más sencilla, e incluso podrían llegar a revalorizarse.

Además, aunque esta estructura haya sido diseñada para estas casas, este estudio podría servir de inspiración para aprovechar mejor el espacio en otro tipo de viviendas, o para otro tipo de usos que no sea únicamente el del acceso a viviendas.

## 2. OBJETIVOS

El objetivo global de este estudio técnico es el aprovechamiento del espacio de una vivienda. Más concretamente, lo que se ha diseñado y calculado es una escalera sobre una estructura metálica capaz de desplazarse para dejar libre el acceso al garaje, permitiendo de esta forma utilizar la misma área para dos accesos distintos.

Los objetivos del estudio se podrían dividir en dos:

#### 2.1. Diseñar los peldaños de la escalera y la estructura en la que se apoyan

La parte de los peldaños de la escalera y la estructura que los sustenta se ha diseñado siguiendo la normativa de una escalera fija, sin movimiento, ya que esta estructura será utilizada por personas como escalera únicamente cuando esté en su posición inicial y sin movimiento. Para ello, se seguirán las normas del CTE, Código

Técnico de la Edificación, utilizando los Documentos Básicos que nos interesen, entre ellos, el del acero.

- Peldaños: en cuanto a los peldaños de la escalera, se empieza por determinar la disposición de estos para que cumplan con la normativa. A continuación, para establecer su anchura, que a su vez marca la anchura de la escalera, se calcula la flecha máxima de un peldaño dependiendo de cuál sea su anchura y la distancia que quede en voladizo.
- Vigas: el cálculo de las vigas o zancas se ha realizado a través del software Cype 3D y se ha determinado que, tras aplicar las cargas que la norma establece y teniendo en cuenta la colocación de las zancas, las vigas cumplen con la normativa. También se ha calculado la flecha máxima para comprobar que no excede más de lo que debería.

## 2.2. Diseño del mecanismo de elevación

Para la movilidad añadida a la estructura, una vez diseñada la estructura con peldaños, se plantea algún tipo de mecanismo que sea capaz de elevar el peso de dicha estructura. Se va a seguir la Norma UNE-EN 1493-2011 porque, entre otros elementos, se utilizan columnas elevadoras para mover la estructura.

Con el fin de que el mecanismo sea simple, económico y ligero se han llevado a cabo muchos tipos de cálculos para los diferentes elementos que lo. Entre estos cálculos, destacan los diagramas de momentos, las tensiones máximas de trabajo, y las tensiones máximas admisibles que, aplicando coeficientes de seguridad, se han comprobado con la Ley de Navier o con un estudio de fallo a cortadura. También se han calculado cargas dinámicas para rodamientos y desplazamientos mediante el método de los elementos finitos.

Los distintos elementos calculados se han seleccionado utilizando diferentes catálogos.

## 3. METODOLOGÍA DE DISEÑO

Para llegar a obtener la solución al problema planteado, se divide en dos para diferenciar ambos cálculos principales:

### 3.1. Estructura de la escalera

Una de las partes principales de este estudio técnico es el cálculo y diseño de una estructura que servirá como escalera. Únicamente servirá como tal cuando la estructura esté inmóvil en su posición inicial.

Como es normal, se intenta que la escalera sea lo más grande posible para una mayor comodidad, pero a la vez se ha de tener en cuenta que es beneficioso reducir su peso.

#### 3.1.1. Tipos

Todas las posibles soluciones para las escaleras tienen en común que son escaleras de tiro recto voladas, es decir, escaleras de un único tramo cuyos peldaños están en voladizo. Las distintas soluciones que se plantean para la escalera, y más concretamente su anchura, pues la profundidad de esta viene marcada por las limitaciones del terreno, son las siguientes:

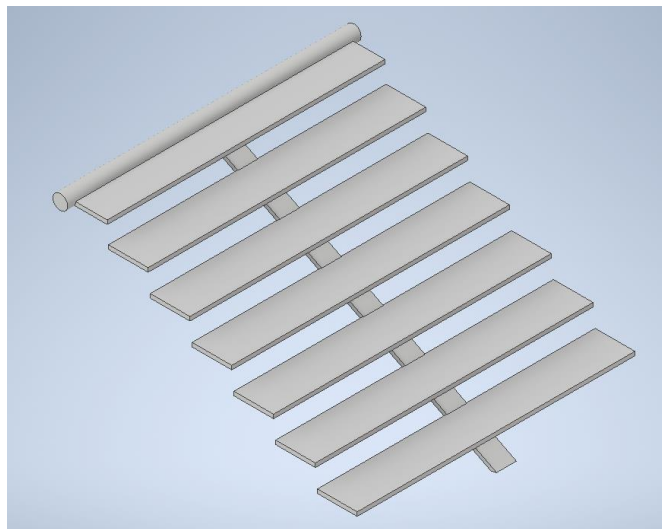


Figura 3.1. Escalera de una única viga central

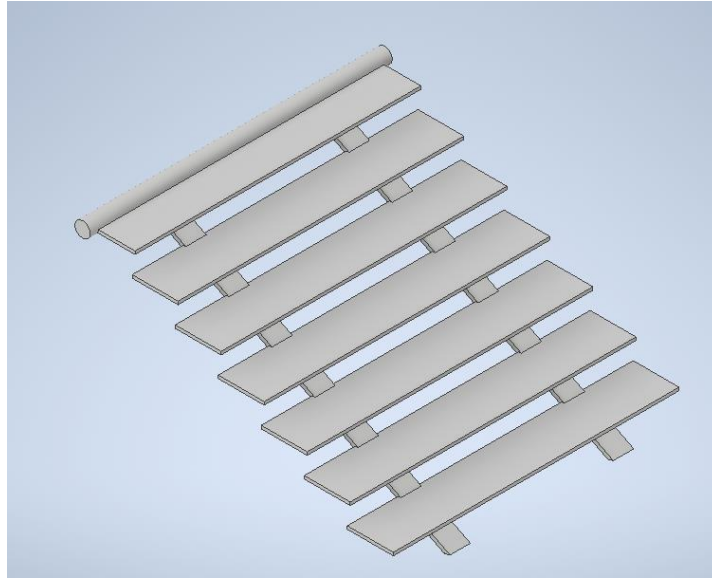


Figura 3.2. Escalera con dos vigas colocadas entre el centro y los extremos de los peldaños

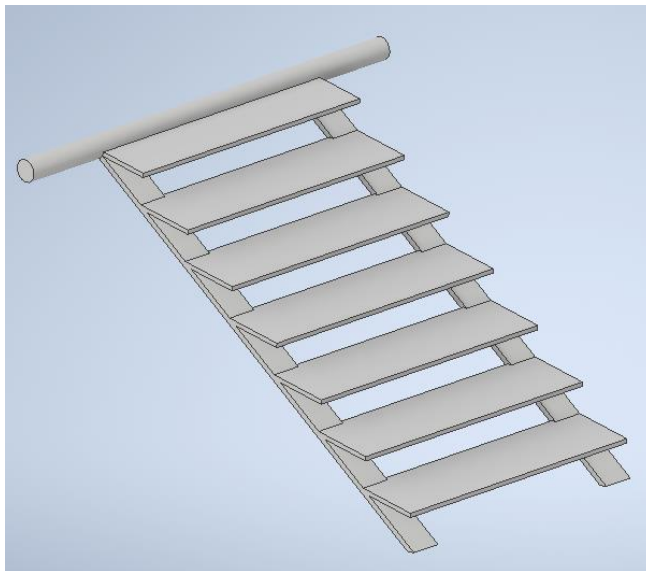


Figura 3.3. Escalera con dos vigas colocadas en ambos extremos de los peldaños

### 3.1.2. Metodología de cálculo

De esta parte el cálculo se divide en cálculo de los peldaños y cálculo de las vigas.

En primer lugar, se calculan los peldaños teniendo en cuenta el Código Técnico de la Edificación [2] sabiendo que la huella es la luz útil de pisada en un peldaño que comprende entre el canto anterior y el posterior, y que la contrahuella es la altura o distancia vertical entre peldaños. En la Figura 3.4. “C” hace referencia a la huella y “H” a la contrahuella.

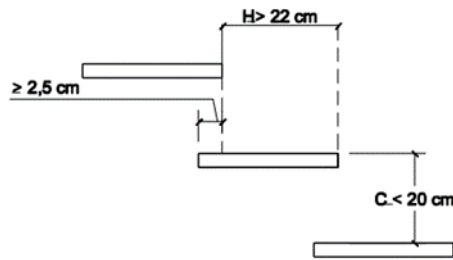


Figura 3.4. Normativa del CTE

Para comprobar si ese espesor de chapa de los peldaños es suficiente para cumplir con la normativa se ha elaborado un diagrama de momentos para obtener el máximo y el punto en el que se producía. Obtenido esto, se da paso al cálculo de la flecha que se produce en dicho punto y se comprueba que sea menor que la flecha máxima admisible.

Llegados a este punto, se puede dar paso al cálculo de las vigas o zancas que sostienen los peldaños conociendo ya el peso propio de estos. Para su cálculo, se ha recurrido al software Cype 3D [3].

### 3.2. Mecanismo de la escalera

#### 3.2.1. Posibles diseños

Como el fin de este estudio es obtener una estructura con peldaños que tenga movilidad, se buscan posibles mecanismos que hagan que la estructura sea móvil y que, a su vez, se adapte al espacio y entorno donde se podría llevar a cabo el proyecto.

##### 3.2.1.1. Brazo elevador

El primer planteamiento se trata de un brazo elevador, similar al empleado en una atracción de feria.

Debido al momento tan elevado que debería resistir este brazo por la longitud tan grande que tendría, y el gran espacio que ocuparía el mecanismo para vencer a este momento, la solución se descarta.



Figura 3.5. Atracción de feria que utiliza brazos elevadores

### 3.2.1.2. *Brazo elevador y viga por partes*

Puesto que el anterior diseño haría que el brazo tuviera que resistir un momento de un valor muy elevado, se propone la búsqueda de algún tipo de actuador que sea capaz de recoger telescópicamente las zancas de la escalera, teniendo que instalar para ello una viga por partes.



Figura 3.6. Actuador [4]

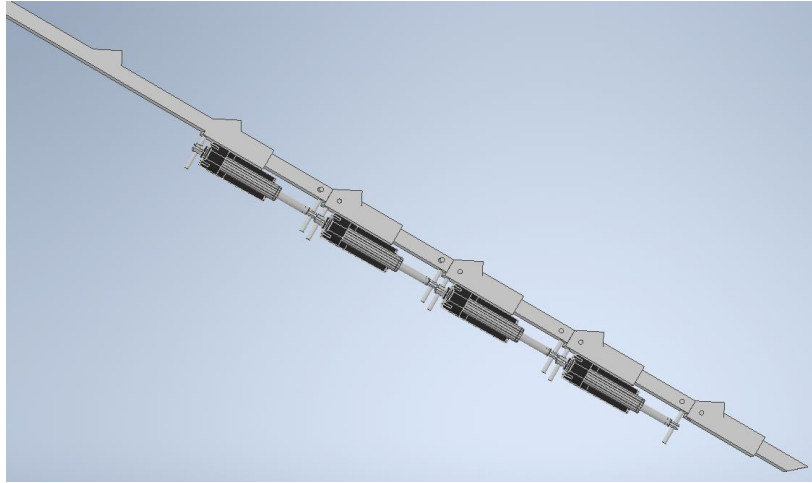


Figura 3.7. Viga por partes extendida con actuadores

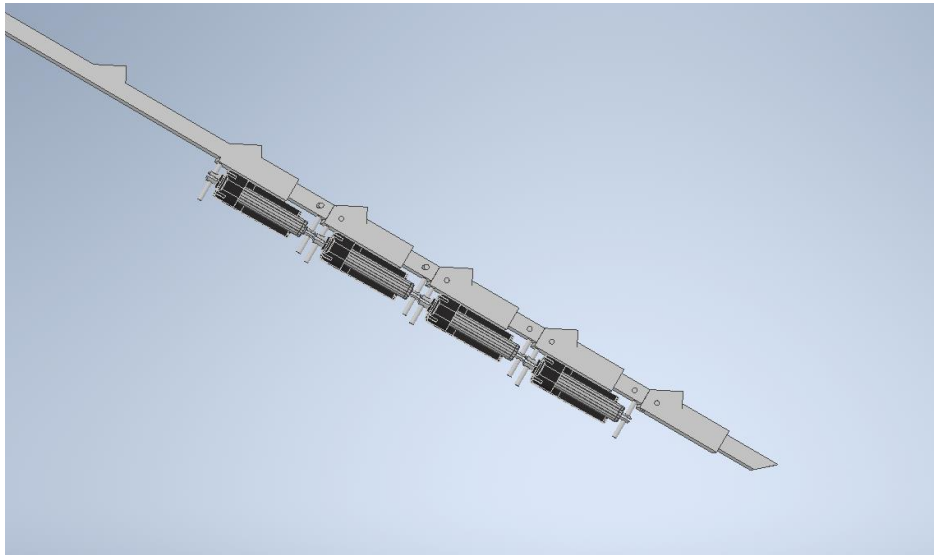


Figura 3.8. Viga por partes recogida con actuadores

Se descarta esta opción por varios motivos. El primero es que la instalación de estos actuadores en la propia viga por partes resulta bastante compleja. El segundo motivo, que no se garantiza que el actuador mantenga a la viga estable en ambas posiciones. Y el último es que no se reduce demasiado la longitud de la viga, en comparación con el gran coste que supone la instalación de tantos actuadores.

#### *3.2.1.3. Columnas elevadoras y brazos articulados*

Valorando como inviables las anteriores propuestas para poder mover la estructura de peldaños, se presupone como posibilidad la instalación de actuadores

que estén anclados a algún elemento fijo, y que simplemente hagan subir y bajar la estructura.

Como la estructura no solo realiza el movimiento de subir y bajar, sino que, en uno de sus extremos, el movimiento que realiza es de rotación en torno a un eje fijo, se plantea instalar dos columnas elevadoras en el rellano exterior de la primera planta a cada lado, las cuales por medio de unos brazos articulados, hagan que la estructura realice el movimiento deseado.

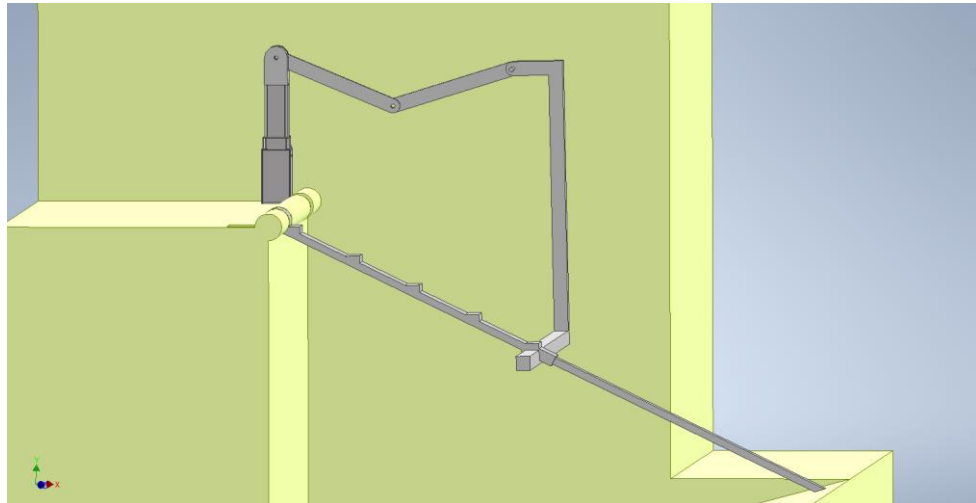


Figura 3.9. Columna elevadora con brazo articulado en posición inicial

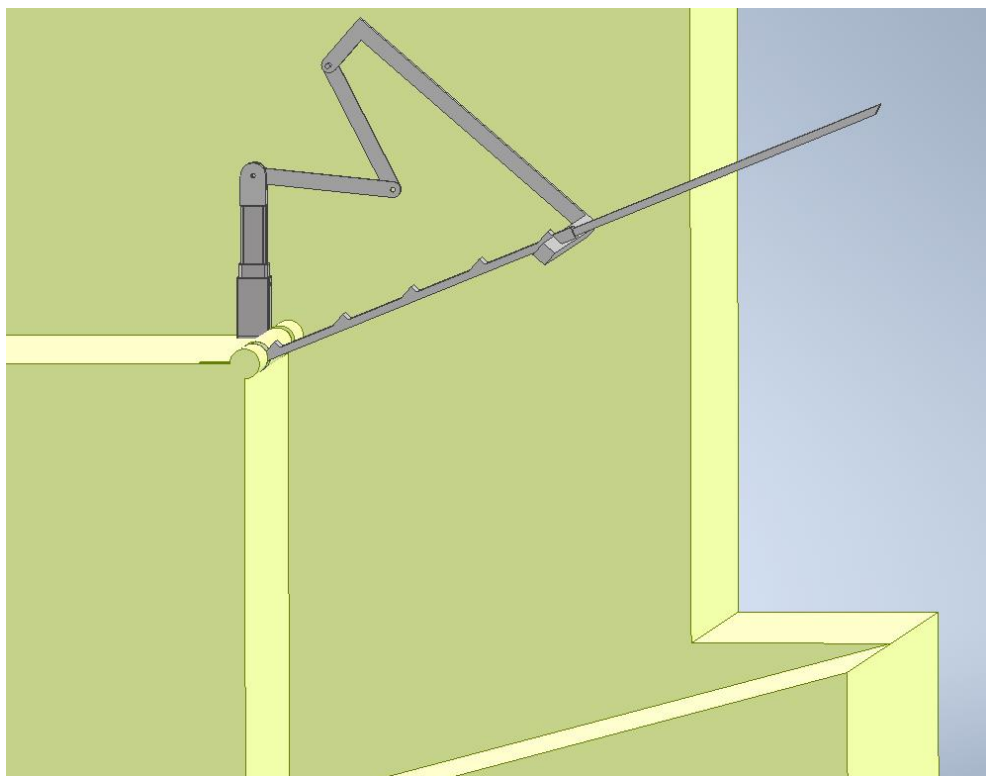


Figura 3.10. Columna elevadora con brazo articulado en posición final

Este mecanismo tiene el inconveniente de tener que necesitar muchos elementos y ser muy grande, por lo que adjetivando esta solución como muy “aparatososa”, se descarta.

#### 3.2.1.4. *Columnas elevadoras*

Se realiza el planteamiento de instalar columnas elevadoras a pie de calle y hacer la simulación de un mecanismo similar a un elevador de automóviles. No llega a ser igual que un elevador de coches, porque lo que en aquellos sería un simple brazo, en el mecanismo deseado se ha de conseguir un movimiento deslizante con respecto a las zancas. Para ello, se propone un eje, el cual une ambas columnas, con dos rodamientos, para hacer posible el movimiento rotacional de la estructura con peldaños mediante el deslizamiento.

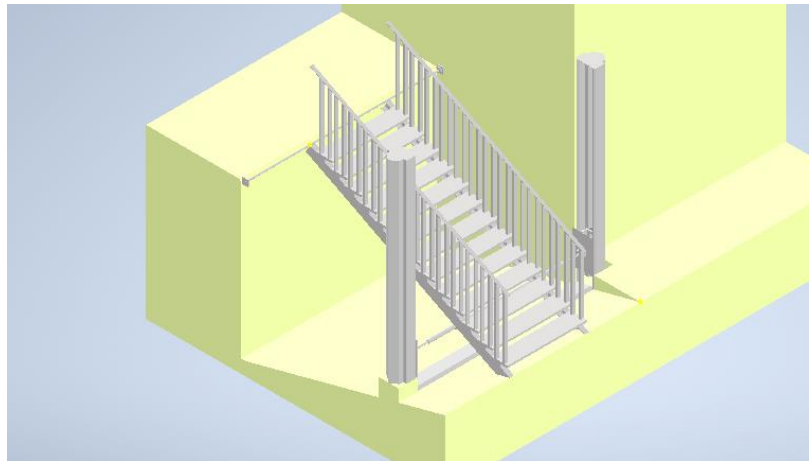


Figura 3.11. Estructura

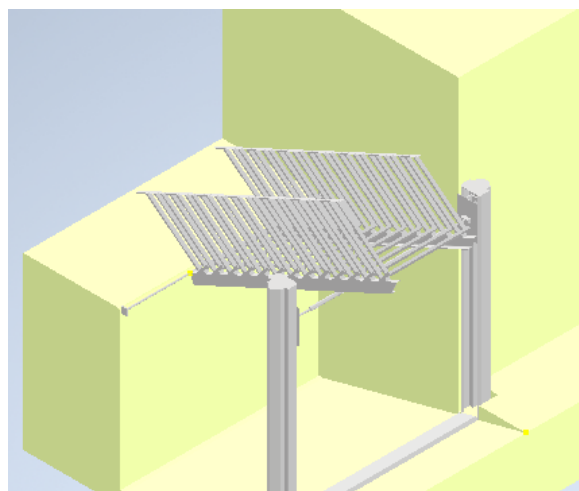


Figura 3.12. Estructura

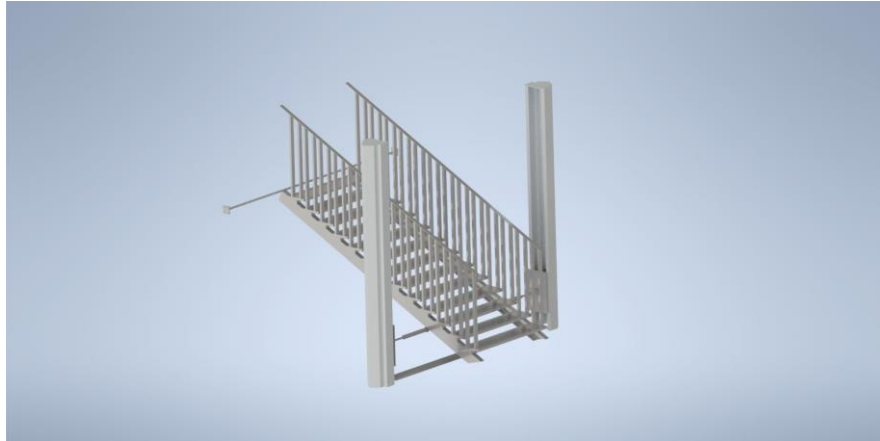


Figura 3.13. Estructura



Figura 3.14. Estructura

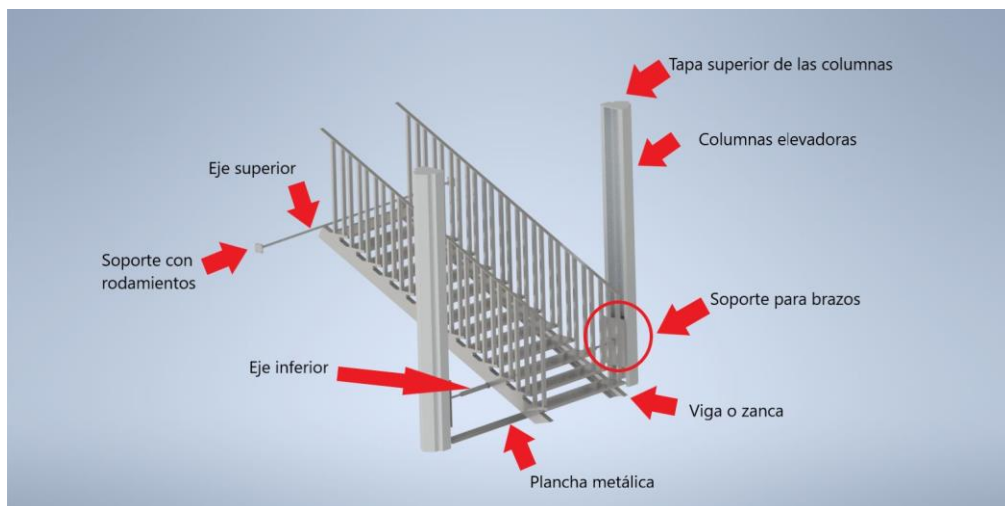


Figura 3.15. Estructura con indicaciones

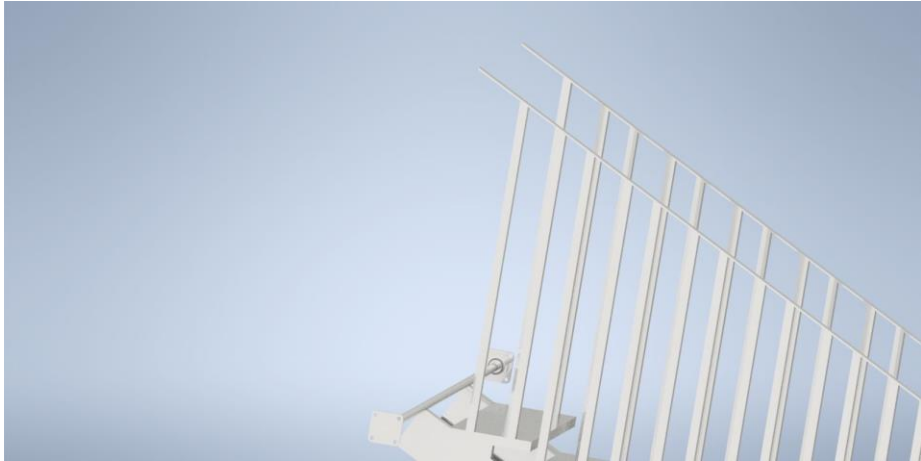


Figura 3.16. Detalle estructura

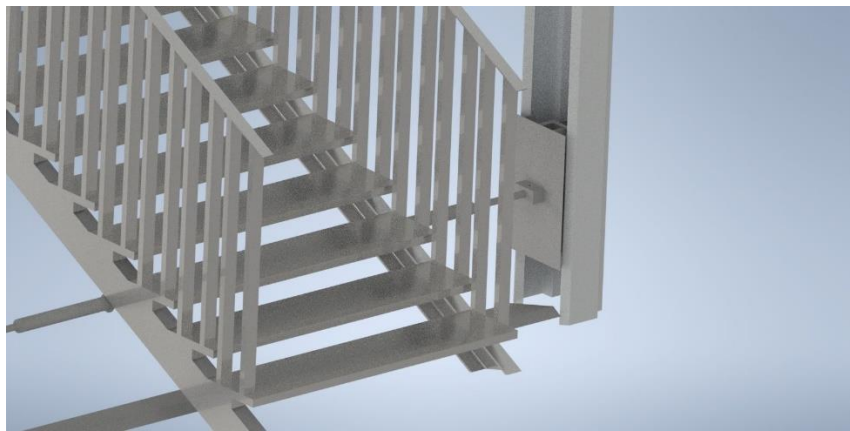


Figura 3.17. Detalle estructura

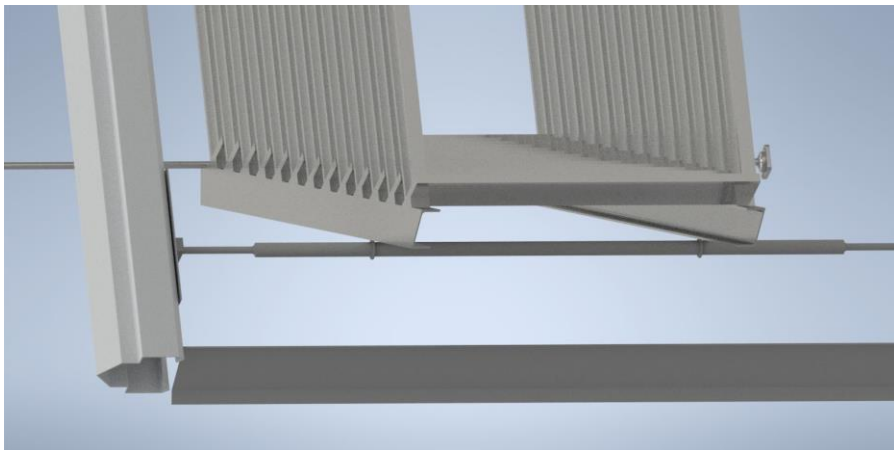


Figura 3.18. Detalle estructura

Explicado grosso modo, el mecanismo que hace que la estructura tenga movilidad debe hacer que la estructura con peldaños tenga un movimiento giratorio en torno a un eje fijo de rotación que está situado encima de la puerta del garaje, a la altura del primer piso.

Para conseguir que este movimiento giratorio sea capaz de subir y bajar la estructura, se han instalado dos columnas elevadoras en la parte baja de la escalera que, unidos a unos soportes de brazos, estos realizan un movimiento vertical hacia arriba y hacia abajo. Los citados soportes de brazos están unidos entre sí por una barra de sección circular o eje sobre la que descansa la estructura con peldaños.

Para convertir el movimiento lineal vertical de los soportes de las columnas elevadoras en el movimiento giratorio de la estructura, se ha instalado un rodamiento debajo de cada una de las vigas de la escalera, el cual es atravesado por el eje que une ambos soportes de brazos, de manera que cuando el eje y los soportes empiecen a ascender o descender verticalmente, estos rodamientos deslicen por la superficie inferior de las vigas y hagan que estas también puedan ascender, haciendo de esta forma que el eje fijo colocado por encima de la puerta del garaje gire.

### 3.2.2. Metodología de cálculo

Para llegar a la solución del mecanismo que permite la movilidad en la estructura se han tenido que realizar diferentes cálculos y comprobaciones para los diferentes elementos.

Para el cálculo de los ejes se ha seguido la Ley de Navier, que dice que la tensión máxima admisible debe ser mayor o igual que la tensión de trabajo, tal y como se indica en [ec.1], y se ha establecido un coeficiente de seguridad de 1.5. Para determinar la tensión máxima de trabajo se ha elaborado un diagrama de momentos a lo largo del eje para así poder determinar cuál es máxima, siguiendo la [ec.2].

$$\text{Ley de Navier: } \sigma_{ADM} \geq \sigma_{TRABAJO} \quad [ec. 1]$$

$$\sigma_{TRABAJO} = \frac{M}{W} \quad [ec. 2]$$

En cuanto al dimensionamiento de los rodamientos, en este caso de bolas, se ha tenido en cuenta tanto el diámetro interior como la carga dinámica que ha soportar, que se calcula siguiendo la [ec.3].

$$C = L_{10}^{1/N} \cdot P \quad [ec. 3]$$

El diseño de los pasadores se basa en un estudio de fallo a cortadura, obteniendo un diámetro de estos que haga que la tensión cortante máxima sea menor o igual que la tensión cortante máxima admisible, estando expresada la tensión cortante máxima por la [ec.4] y la tensión cortante máxima admisible por la [ec.5].

$$\tau_{MÁX} = \frac{F}{Ac} = \frac{7090.4}{Ac} \quad [ec.4]$$

$$\tau_{MÁX ADM} = \frac{f_y}{2 \cdot \gamma} = \frac{360}{2 \cdot 1.5} = 120MPa \quad [ec.5]$$

Para calcular el motor que dará movimiento a la estructura se han tenido en cuenta dos factores: el peso que ha de mover y la velocidad con la que se desea que el ensamblaje se mueva.

Por otro lado, para determinar el espesor de chapa de las columnas elevadoras se ha recurrido al método de los elementos finitos mediante el software Autodesk Inventor, realizando previamente un mallado.

## 4. CÁLCULO Y EVALUACIÓN DE LAS SOLUCIONES

### 4.1. Determinación de peldaños

#### 4.1.1. Número y profundidad de peldaños

Para determinar la posición de los peldaños y el número de ellos, hay que cumplir con el Código Técnico de la Edificación, más concretamente, con el DB-SUA, Documento Básico de Seguridad de utilización y accesibilidad.

En este documento se indica que, para una escalera de uso restringido, la contrahuella ha de tener un máximo de 20 centímetros y la huella un valor mínimo de 22 centímetros, y las huellas se han de superponer al menos 2.5 centímetros.

Siguiendo estas restricciones y conociendo que la altura que salva la escalera es de 1540 milímetros y 3082 los milímetros que hay de profundidad de hueco, se establece que el número total de peldaños será de 7, colocados de la siguiente forma:

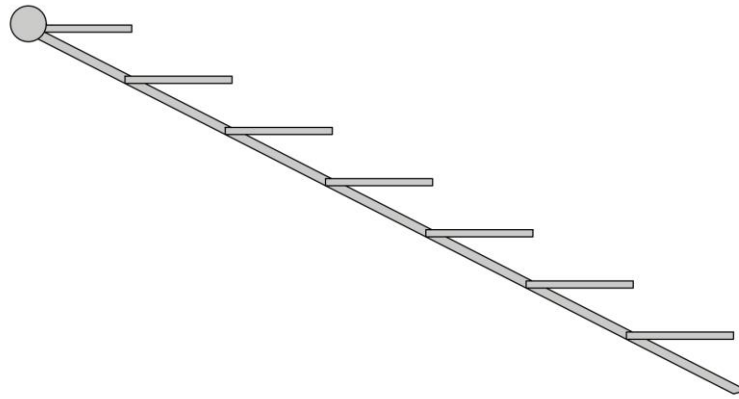


Figura 4.1. Disposición de peldaños provisional

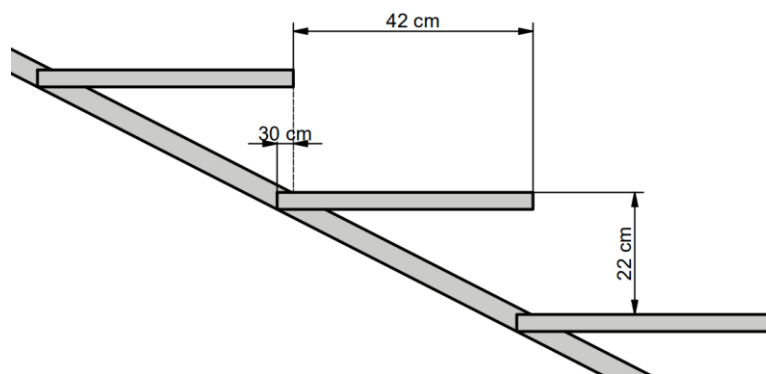


Figura 4.2. Detalle de la disposición de peldaños provisional

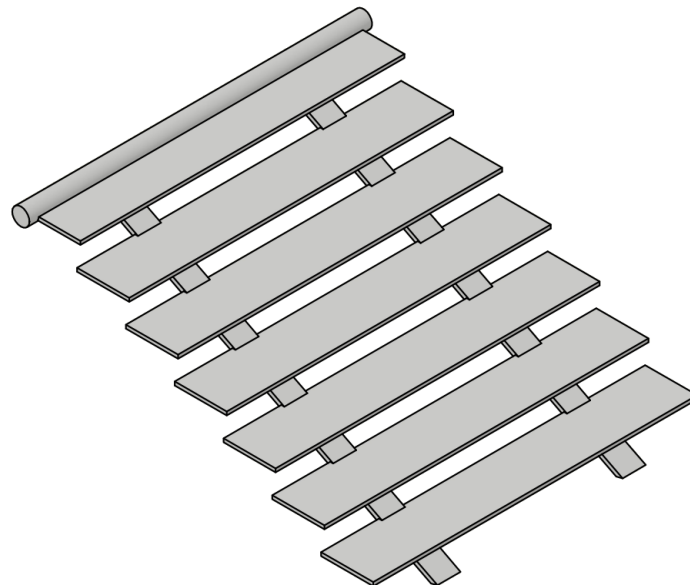


Figura 4.3. Vista isométrica de la disposición de peldaños provisional

Puesto que en esta estructura se busca reducir lo máximo posible su peso, se plantea que los peldaños sean de chapa de acero con agujeros y se puedan comprar directamente a

un fabricante. Observando distintos catálogos, se aprecia que la profundidad máxima de peldaños que ofrecen es de 250 milímetros, y en este primer diseño para 7 peldaños, la profundidad necesaria para cumplir con el CTE es de 450. Por este motivo, se propone una nueva disposición de los peldaños con una profundidad de 250 milímetros.

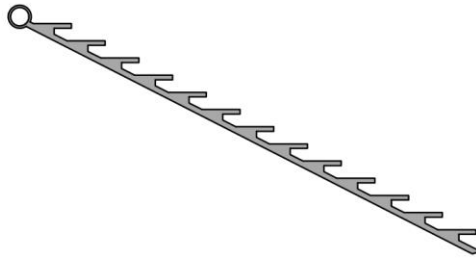


Figura 4.4. Disposición de peldaños definitiva

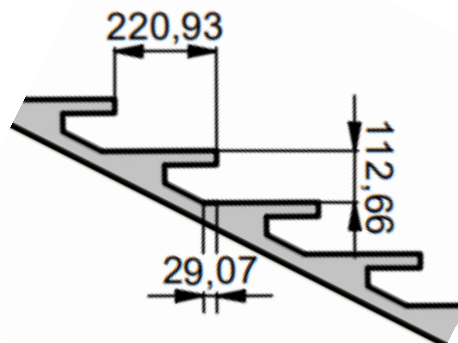


Figura 4.5. Detalle de la disposición de peldaños definitiva

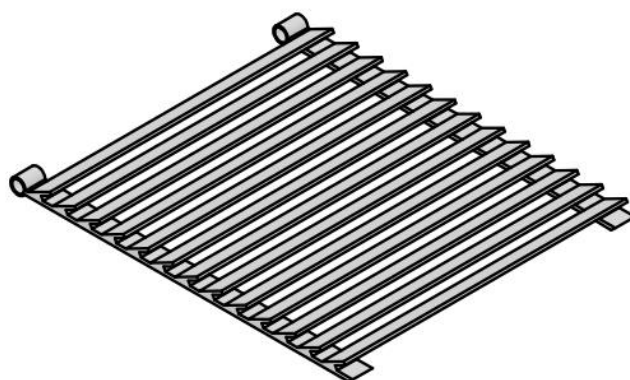


Figura 4.6. Vista isométrica de la disposición de peldaños definitiva

Con esta nueva disposición, para unos peldaños de 0.25 metros de profundidad, el número total de escalones requerido es de 13.

#### 4.1.2. *Anchura del peldaño y colocación de zanca*

Una escalera volada de tiro recto se puede hacer con una sola zanca central o con dos zancas laterales colocadas justo en los extremos de los peldaños. En esta ocasión se prefiere hacer de dos zancas, pero se van a valorar ambas opciones.

Para determinar la colocación de zancas se ha elaborado una gráfica a partir de unas tablas con diferentes valores de anchuras en las que se puede observar cómo cambian los esfuerzos en función de la anchura para cada uno de los casos.

Los valores de la anchura oscilan entre 80 centímetros, que es la anchura mínima que establece el CTE para cada tramo de una escalera de uso restringido, y 296 centímetros, que es la anchura disponible en su totalidad.

Los esfuerzos a los que está sometido el peldaño son:

1. Peso propio. Se ha de tener en cuenta que la densidad del acero es una media de 78.5 KN cada metro cúbico.
2. Sobrecargas:
  - Carga concentrada: 2 KN, según se indica en el DBSE-AE para viviendas.
  - Carga uniforme: 3 KN por metro cuadrado, ya que para una vivienda tiene un valor de 2 KN por cada metro cuadrado, pero hay que sumarle uno más si se trata de un acceso, como es el caso de las escaleras. Estos datos también se recogen en el Documento Básico de Seguridad Estructural – Acciones en la edificación, del CTE.

3. Barandillas. A partir de un catálogo, se ha fijado su carga en 62.8 Newton por cada metro lineal. Se ha de tener en cuenta que hay una a cada lado de los peldaños y que su carga a cada peldaño se reparte en los 13 que hay.

En las gráficas que se muestran a continuación la FLECHA MÁX (mm) es el valor máximo de flecha que permite la normativa para esa anchura de peldaños y FLECHA (mm) es el valor máximo de flecha que se obtiene en los cálculos. El cálculo detallado está en el Anexo II.

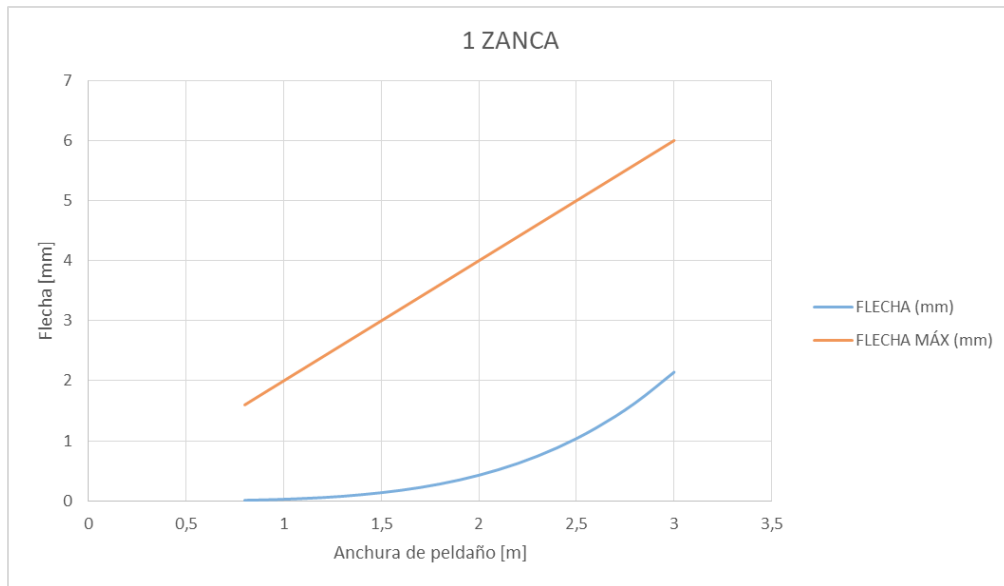


Figura 4.7. Gráfica comparativa de flechas máximas en función de la anchura del peldaño para escaleras de una sola zanca

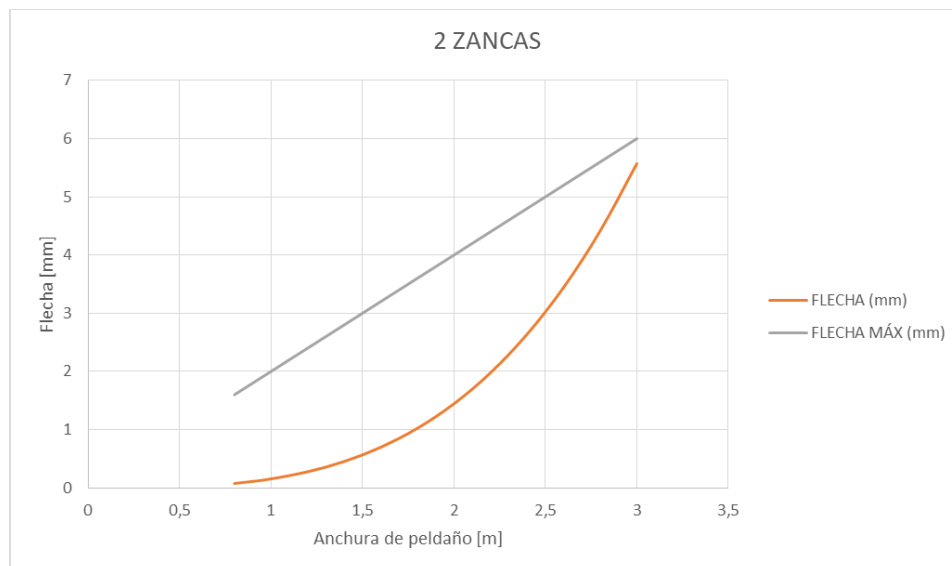


Figura 4.8. Gráfica comparativa de flechas máximas en función de la anchura del peldaño para escaleras de dos zancas

Analizando estas gráficas, se observa que el valor de la flecha máxima a la que es sometido el peldaño va acercándose al valor de la flecha máxima permitida según va aumentando la anchura del peldaño.

Como solución se plantea construir la escalera sobre dos zancas, que estén colocadas a cada lado de los peldaños, ya que en los resultados obtenidos hay que tener en cuenta que la fuerza concentrada se aplica en el centro del peldaño y por ello las gráficas muestran que la escalera con una sola zanca es más resistente que la de dos zancas.

En cuanto a la anchura que tengan los peldaños, se va a establecer una medida de 1 metro y 20 centímetros, ya que de esta forma se tiene una buena resistencia con los peldaños de 2 milímetros de espesor, y a su vez se cumple con la anchura mínima que establece el Código Técnico de la Edificación mencionada anteriormente, 80 cm.

Se observa que si se pretendiera poner una anchura de peldaños colocados sobre dos zancas sería cada vez menos seguro hasta que a partir de un poco más de 3 metros de anchura en los peldaños, sería inviable con un peldaño de estas características.

Los peldaños que se incorporan a la estructura son del catálogo de Waku Escaleras [5]. El que se ha seleccionado, Figura 4.9., podría llegar a medir hasta seis metros, pero en nuestro caso va a ser de un metro y veinte centímetros. Respecto a las medidas estandarizadas del peldaño, Figura 4.11., este tiene un espesor de chapa de dos milímetros y medio, una altura de cuarenta, y lo que en el catálogo se denomina como anchura pero en el proyecto como profundidad mide doscientos cincuenta milímetros.



Figura 4.9. Peldaños

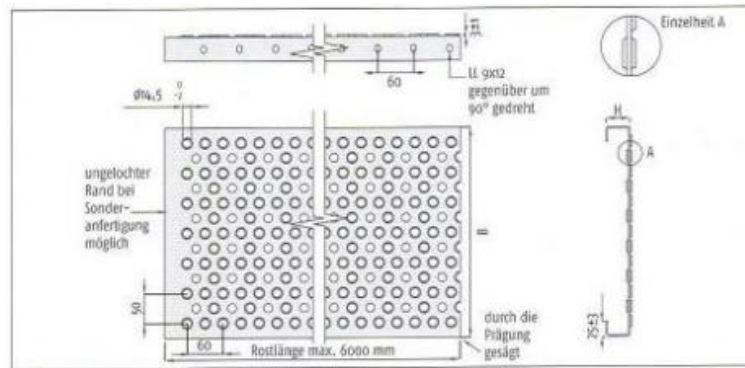


Figura 4.10. Foto esquemática del peldaño

Espe­sor D [ mm ]	Altura H [ mm ]	Anchura B [ mm ]	Longitud L [ mm ]
2,5	40	150	3.000
		200	6.000
		250	6.000

Figura 4.11. Tabla con las medidas estandarizadas de este peldaño

#### 4.2. Dimensionamiento de zancas

Para dimensionar las zancas que van a sostener a los peldaños para la construcción de la escalera se ha recurrido al software *Cype3D*.

Este cálculo se realiza posteriormente al de los peldaños, ya que para llevarlo a cabo es necesario conocer las cargas muertas, la cuales en este caso son el peso de los peldaños y el peso de las barandillas.

Además, las zancas se calculan teniendo en cuenta las sobrecargas anteriormente citadas recogidas en el DBSE-AE del CTE.

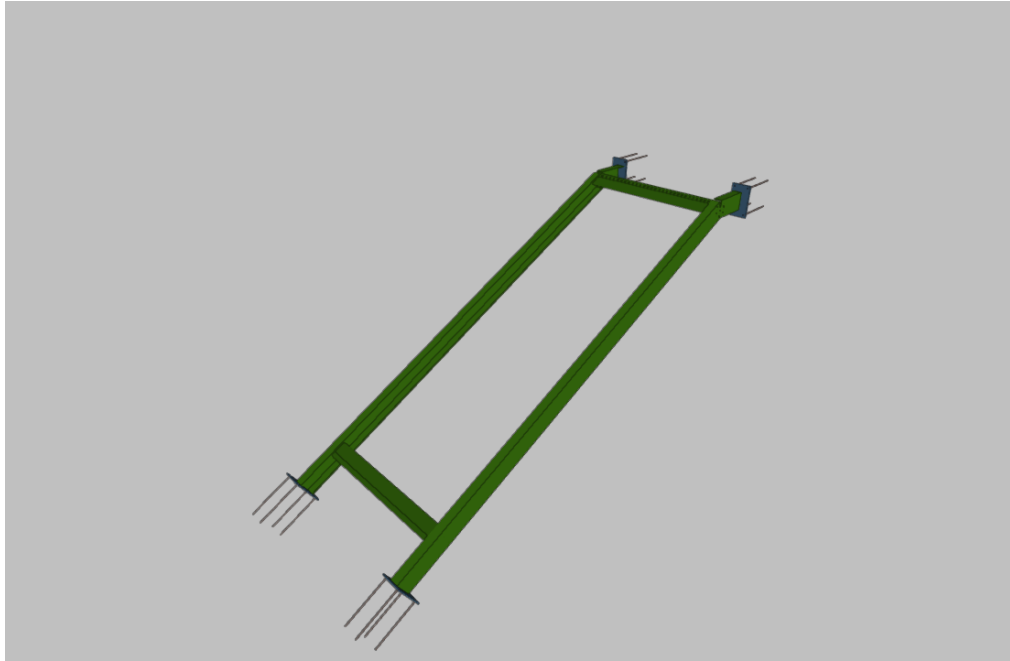


Figura 4.12. Representación de las vigas de la escalera en el software

Perfil	Peso	Resistencia	Flexión	Resistencia incendio	Errores
✗ UPE 80	7.93	—	0.23 %	86.69 % (629.5 °C / 0.8 mm)	Se ha producido un e...
✗ UPE 100	9.81	—	0.15 %	89.82 % (683.0 °C / 0.6 mm)	Se ha producido un e...
✓ UPE 120	12.09	35.58 %	0.11 %	52.92 % (666.5 °C / 0.6 mm)	
✓ UPE 140	14.44	25.49 %	0.07 %	32.96 % (651.0 °C / 0.6 mm)	
✓ UPE 160	17.03	19.16 %	0.06 %	21.84 % (635.0 °C / 0.6 mm)	
✓ UPE 180	19.70	14.66 %	0.04 %	15.02 % (620.5 °C / 0.6 mm)	
✓ UPE 200	22.77	11.58 %	0.03 %	10.69 % (605.5 °C / 0.6 mm)	
✓ UPE 220	26.61	9.06 %	0.02 %	15.73 % (687.5 °C / 0.4 mm)	
✓ UPE 240	30.22	7.39 %	0.02 %	11.37 % (676.0 °C / 0.4 mm)	
✓ UPE 270	35.17	5.84 %	0.01 %	7.81 % (660.5 °C / 0.4 mm)	
✓ UPE 300	44.43	4.40 %	0.01 %	4.36 % (620.0 °C / 0.4 mm)	
✓ UPE 330	53.22	3.50 %	0.01 %	2.90 % (593.0 °C / 0.4 mm)	
✓ UPE 360	61.15	2.95 %	0.01 %	2.12 % (573.0 °C / 0.4 mm)	
✓ UPE 400	72.14	2.39 %	0.01 %	1.48 % (548.5 °C / 0.4 mm)	

Revestimiento de protección: Pintura intumescente

Significado de los iconos

- ✗ Perfil que no cumple alguna comprobación.
- ✓ Perfil que cumple todas las comprobaciones.

Aceptar Cancelar

Figura 4.13. Tabla de resultados tras la simulación en el software

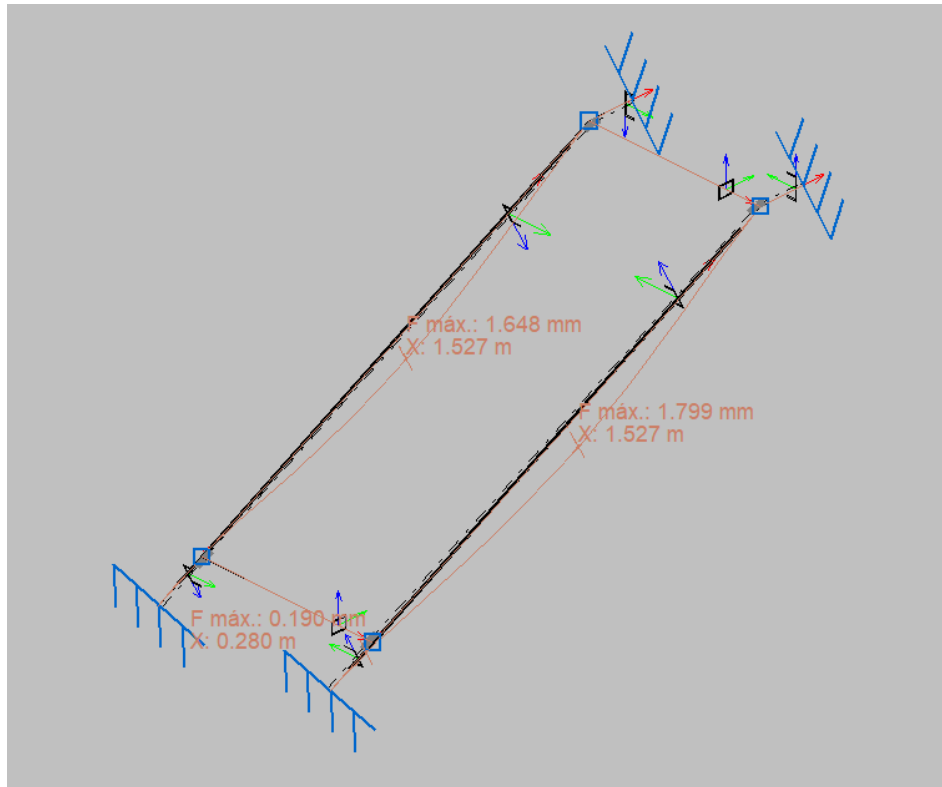


Figura 4.14. Resultados de las flechas en las vigas

Para la viga que sustenta los peldaños se recurre a un perfil UPE, ya que es muy común para este uso. En los cálculos que realiza el programa informático bastaría con emplear un perfil UPE 120, pero para dar mayor seguridad a la estructura se utiliza el siguiente del catálogo para que sea más resistente, UPE 140.

Además, se va a añadir otra viga transversal que una las dos zancas en la zona inferior. Esta viga se ha determinado, mediante el software, que esté compuesta de dos perfiles UPN 80 soldados.

#### 4.3. Dimensionamiento del eje inferior

El eje inferior es el que une las dos columnas elevadoras, por lo tanto, la carga que va a soportar va a ser la del propio peso de la estructura a través de las zancas, ya que cuando la estructura sirve como escaleras, esta se encuentra en su posición inicial en la que las zancas quedan apoyadas sobre el suelo. Es por ello que no se calcula el eje con los esfuerzos de las escaleras.

La estructura está apoyada en el pivote (eje superior) y en este eje (inferior), pero como la estructura es móvil, el peso no está repartido de la misma forma para cada apoyo en todas las posiciones.

Se ha calculado la posición en la que el eje inferior va a estar más solicitado, y es en el momento en que las zancas están en paralelo respecto al suelo y formen 90 grados con la vertical. En dicho momento, este eje soporta el 80.7% del peso total de la estructura, que es de 117 kilogramos. Por tanto, en este momento el eje inferior soporta 94.42 kilogramos repartidos equitativamente en dos puntos (dos zancas).

Con los cálculos realizados en el Anexo III se obtiene que el radio del eje ha de ser mayor de 23.287 milímetros en su parte más ancha si se fabrica en acero S235. Aunque también se haya barajado la posibilidad de fabricar el eje en un acero de mayor calidad, finalmente se opta por incluir una barra de 25 milímetros de radio en su sección más ancha.

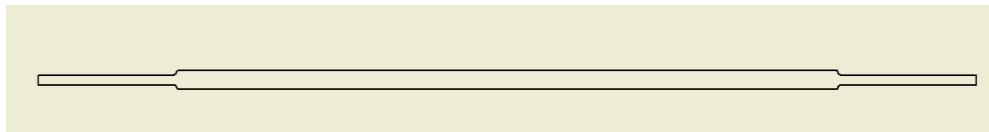


Figura 4.15. Esquema del eje inferior a lo largo de su longitud

#### 4.4. Dimensionamiento de los rodamientos

Este dimensionamiento se basa en el eje calculado anteriormente. Es por ello que se calcula para la posición de la estructura que hace que sea el momento más crítico para el eje inferior, soportando el 80.7% del peso total de la estructura.

Los rodamientos que se utilizan para la estructura son dos, colocados cada uno al punto en el que cae la zanca, haciendo así que la carga soportada por los rodamientos sea la misma.

Conocida la carga que ha de soportar el rodamiento y el diámetro interior, que es el mismo que el eje,  $D_i = 5$  cm, solo queda por determinar la velocidad de giro del rodamiento para así poder seleccionar en un catálogo el tipo de rodamiento que cumpla con los requisitos.

El rodamiento a instalar va a ser de bolas puesto que, entre otras razones, soportan menos carga que los rodamientos de rodillos y son válidos para ejes con diámetros pequeños y normales. El catálogo del que se va a seleccionar el rodamiento es el SKF [6].

Con los cálculos realizados en el ANEXO IV se obtiene que estos deben soportar una carga dinámica mayor de 463 Newton y que el diámetro ha de ser de 50 milímetros.

	100	25	55,3	31,5	1,34	15 000	7 500	0,87	▶ 6309-2Z	6309-Z
	100	36	52,7	31,5	1,34	-	4 500	1,2	▶ 62309-2RS1	-
	120	29	76,1	45	1,9	13 000	8 500	1,55	▶ 6409	-
50	65	7	6,76	6,8	0,285	-	6 000	0,052	▶ 61810-2RS1	-
	65	7	6,76	6,8	0,285	20 000	10 000	0,052	▶ 61810-2RZ	-
	65	7	6,76	6,8	0,285	20 000	13 000	0,052	▶ 61810	-
	72	12	14,6	11,8	0,5	-	5 600	0,14	▶ 61910-2RS1	-
	72	12	14,6	11,8	0,5	19 000	9 500	0,14	▶ 61910-2RZ	-
	72	12	14,6	11,8	0,5	19 000	12 000	0,14	▶ 61910	-

Figura 4.16. Catálogo SKF

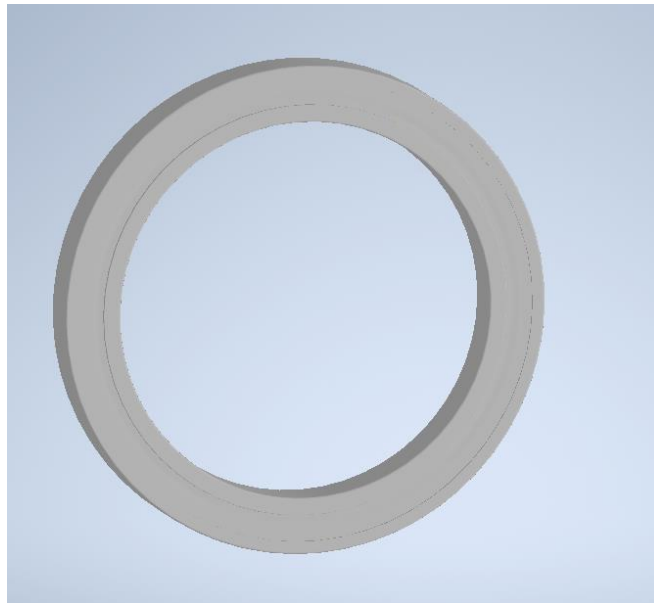


Figura 4.17. Rodamiento 61810-2RS1 del catálogo SKF

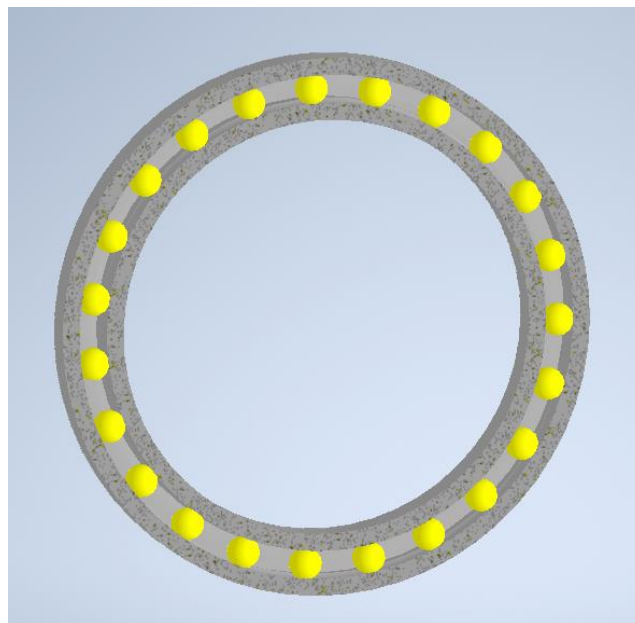


Figura 4.18. Corte del rodamiento 61810-2RS1 del catálogo SKF

El rodamiento que se ha seleccionado en el catálogo se denomina como 61810-2RS1 y es capaz de soportar cargas dinámicas de hasta 6.76 KN. El diámetro exterior es de 65 milímetros.

Se observa que el rodamiento seleccionado es capaz de resistir una carga dinámica mucho mayor. Esto es porque, aunque la carga que tenga que resistir el eje sea pequeña, el diámetro ha de ser un poco más grande debido a su gran longitud.

Además del rodamiento, se va a incorporar una rueda sobre este, para que sea la que esté en contacto con las zancas de la estructura. Esta rueda tendrá el mismo diámetro interior que diámetro exterior tiene el rodamiento, 65 milímetros, y se le va a dar un diámetro exterior de 70 milímetros.



Figura 4.19. Rodamiento con rueda exterior

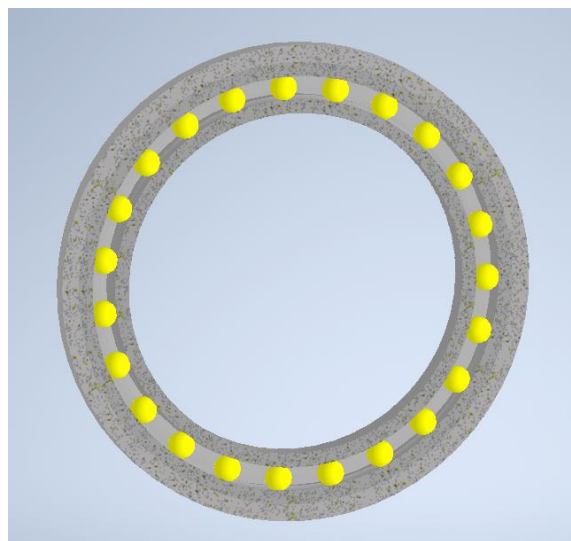


Figura 4.20. Corte del rodamiento con rueda exterior

#### 4.5. Dimensionamiento del eje superior o pivote.

De igual forma que para el cálculo del eje inferior, el primer paso para calcular el eje en esta estructura móvil es determinar cuál es la posición más desfavorecida para este, es decir, la posición en la que ha de soportar más carga. Esta posición es la inicial, y soporta el 28.15% del peso total de la estructura, 322.6 Newton.

El peso llega al eje repartido en dos puntos y cada uno soporta la mitad del total, 161.3 Newton.

Con lo obtenido en el anexo V se llega a la conclusión de que el diámetro de este eje ha de ser mayor de 24.058 milímetros, pero para garantizar una mayor seguridad se redondea hasta la cifra de 25 milímetros.

#### 4.6. Cálculo de un soporte con rodamiento.

El eje superior que sirve como pivote, el cual se acaba de calcular, va anclado en sus dos extremos a las paredes, pero este tiene que tener para el correcto funcionamiento del mecanismo libertad de movimiento giratorio respecto al eje imaginario que discurre por el centro del eje.

Para poder cubrir estas necesidades, se fijan a ambas paredes unos soportes con rodamientos en su interior y que tengan un diámetro de 25 milímetros para el eje.

El soporte que se instala es de un catálogo de Mano a mano [7] y se define en este como “soporte autoalineante cuadrado en fundición gris con inserto ya montado, tipo UCF205, para eje de  $\phi 25$  mm”.



Figura 4.21. Soporte autoalineante cuadrado en fundición gris con inserto ya montado, tipo UCF205 para eje de  $\phi 25$  mm del catálogo Mano a mano

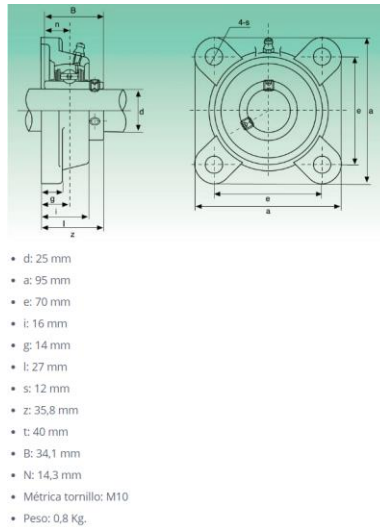


Figura 4.22. Plano del soporte autoalineante

#### 4.7. Cálculo del diámetro del pasador

Un pasador es un elemento que se utiliza para fijar diferentes piezas a través de un orificio que tienen en común de manera que el movimiento relativo entre las piezas no sea posible. Se diseñan para resistir esfuerzos cortantes y están diseñados para que, antes de que los componentes del ensamblaje sufran daños, rompan.

El pasador que se calcula se utiliza para unir el eje inferior con el soporte tal y como se indica en la Figura 4.23., haciendo que, cuando el soporte se deslice verticalmente a través de las columnas elevadoras, el eje también lo haga.

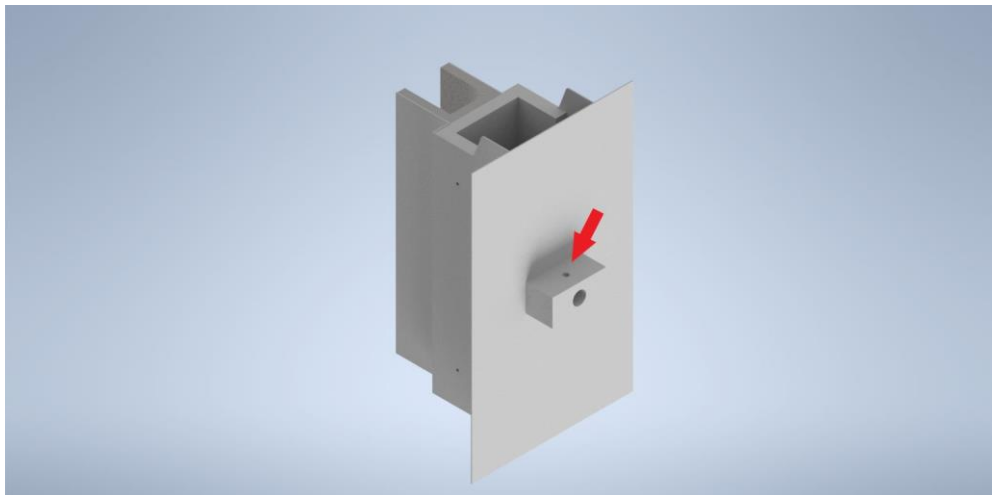


Figura 4.23. Ubicación del pasador

Este pasador se calcula mediante el fallo a cortadura, y para llevar a cabo su cálculo se supone que el eje, o más bien, su longitud, va desde el punto donde se aplican las cargas hasta el soporte.

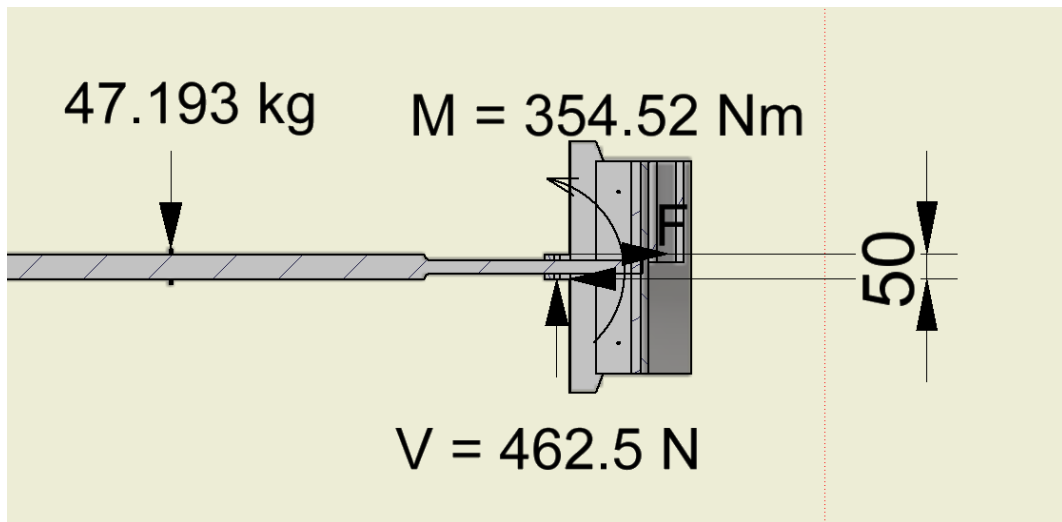


Figura 4.24. Esquema

Se puede apreciar que las fuerzas que recibe el pasador van en dirección perpendicular a la dirección en las que las cargas son aplicadas al eje. El resultado de estas fuerzas es:

$$M = 2 \cdot F \cdot \frac{d}{2} \rightarrow F = \frac{M}{d} = \frac{354.52 Nm}{0.05m} = 7090.4N$$

Tras realizar los cálculos en el ANEXO VI se llega al resultado de que el diámetro de este perno es de 10 milímetros, siendo de una calidad de 6.6 con un límite elástico de 360 MPa, siguiendo la Norma UNE-EN ISO 1493:2010, más concretamente, el Anexo A, y un coeficiente de seguridad de 1.5.

Combinación de cargas	s	Clase $f_y$ X	4.6	5.6	6.6	6.8	8.8	10.9
			240	300	360	480	640	900
A	1,5	$\sigma_x$	160	200	240	280	373	467
		$\tau_x$	113	141	170	198	264	330
B	1,33	$\sigma_x$	180	225	270	315	420	525
		$\tau_x$	127	159	191	223	297	371
C	1,25	$\sigma_x$	192	240	288	336	448	560
		$\tau_x$	136	170	204	238	317	396

Tabla 4.1. Esfuerzos admisibles para los pernos (en N/mm<sup>2</sup>) de la Norma UNE-EN ISO 1493:2010

A modo de aclaración, se usa esta norma para calcular el perno porque el mecanismo elevador se ha hecho en base a un elevador de dos columnas para un vehículo, por ello, aunque el fin del elevador no sea para vehículos, es igual a uno de estos

#### 4.8. Cálculo de los pasadores que contienen los rodillos

El soporte del eje inferior se mueve mediante un tornillo sinfín, encargado de transmitir el movimiento vertical a los pilares. Cuatro rodillos son los encargados de soportar y transmitir los esfuerzos horizontales a las columnas y, cada pareja de rodillos va unida por un bulón, tanto los dos rodillos superiores como los inferiores. Cada bulón atraviesa el soporte.

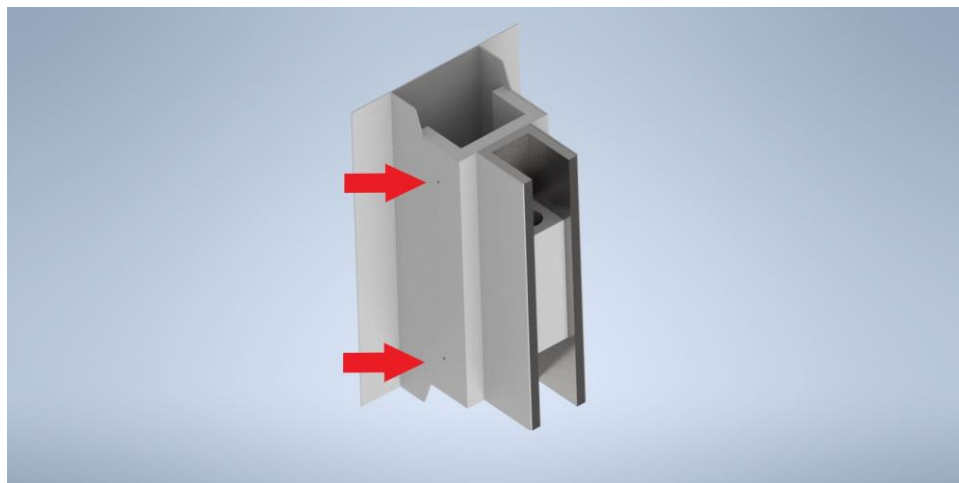


Figura 4.25. Ubicación de los pasadores

Tanto el cálculo de las dimensiones de los pasadores como el espesor de la placa que sustenta los bulones se explican detalladamente en el ANEXO VII.

El diagrama de esfuerzos es:

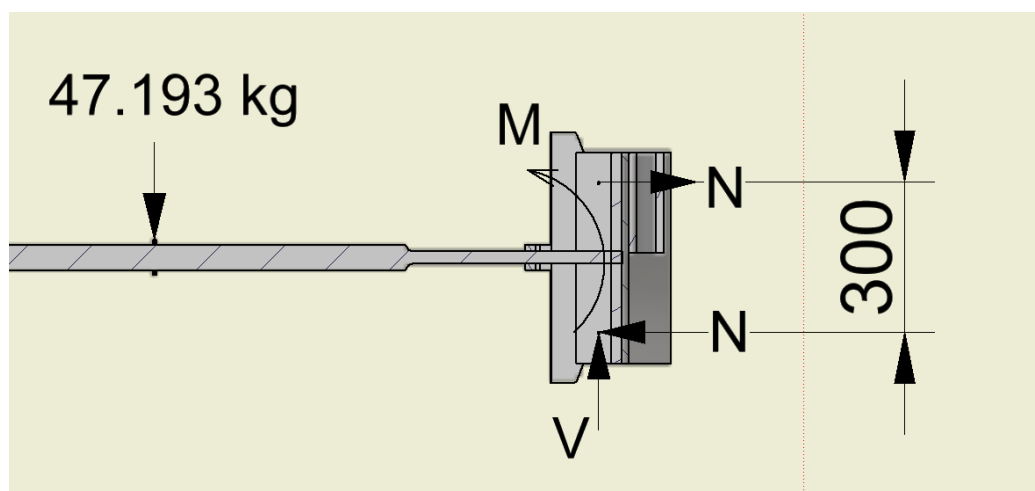


Figura 4.26. Esquema

Con lo calculado se llega a que las fuerzas soportadas en los pasadores son de 1369.41 Newton.

El perno que se ha escogido es de calidad 4.6. con un límite elástico de 240 MPa en base a la norma UNE-EN ISO 1493:2010, Anexo A. El coeficiente de seguridad es de 1.5 y, según se detalla en el ANEXO VII, el diámetro para el perno es de 5 milímetros.

En cuanto al espesor de placa, este es de 2 milímetros, fabricado con acero de calidad S235 y un coeficiente de seguridad de 1.5.

#### 4.9. Cálculo del motor y sistema de transmisión

El motor que se utiliza para generar el movimiento es un motor eléctrico, más concretamente, el motor M3AA 63A 2, del catálogo ABB. Para llegar a la decisión de elegir este motor como el apropiado se han tenido que realizar los cálculos expuestos en el ANEXO VIII.

A modo de resumen, para llegar a la elección de este motor, se ha comenzado por el cálculo del par del tornillo, obteniéndose un valor de 2083.47 Nmm, a continuación, el par del eje del motor que es de 231.5 Nmm, y después, el par motor, con un valor de 0.356 Nmm.

La velocidad angular del tornillo es de 195.1 revoluciones por minuto y se ha calculado como el cociente entre la velocidad lineal y el paso de este. Con la relación de transmisión, este caso 9:1, se llega a que la velocidad del motor es de 1755.9 rpm.

Con una velocidad superior en rpm a la del motor y un par de este mayor, se procede a la búsqueda en el catálogo ABB [8] y se obtiene como resultado el motor mencionado anteriormente, el cual se coloca sobre una de las dos columnas que se describen más adelante.

El motor seleccionado transmite la fuerza a un tornillo sin fin que actúa como eje reductor y que da movimiento a una rueda dentada cuyo eje es el tornillo que hace que el eje inferior suba o baje. Este motor va ubicado encima de una de las columnas elevadoras, más concretamente, sobre su tapa superior, indicado en la Figura 4.25.

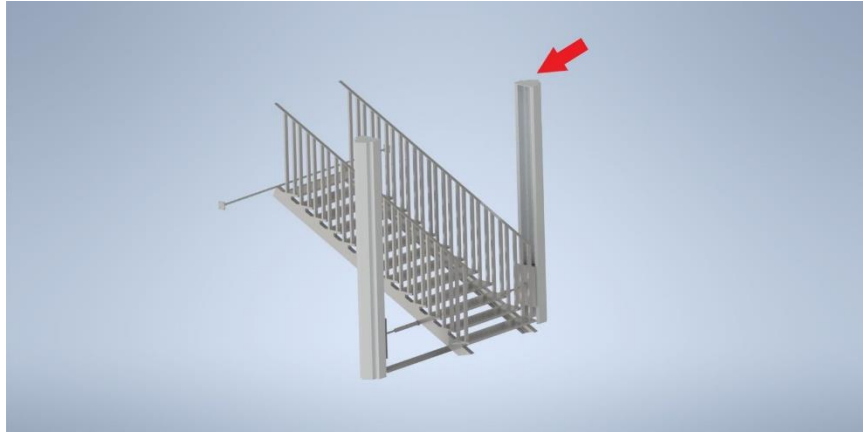


Figura 4.27. Ubicación del motor

Según catálogos, el reductor se ha escogido de 4 entradas, el piñón de 36 dientes y 140 milímetros de diámetro. Por ello, la relación de transmisión es 9:1.

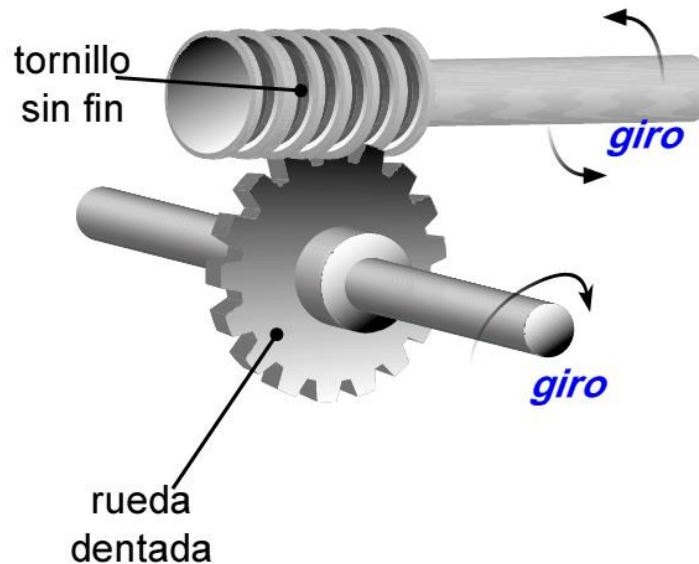


Figura 4.28. Esquema del funcionamiento de un tornillo sin fin

Como el motor va sobre una de las columnas, para que el movimiento llegue a la otra, se usa una cadena que sirve de transmisión, que va ubicada debajo de la plancha metálica, tal y como se indica en la Figura 4.27. Mediante catálogos, se determina que el piñón va a tener un diámetro medio de 134.4 mm y 32 dientes, y se usa una cadena con un paso de 12.7 mm y hueco interior de 7.85 mm. La longitud es de 2960 milímetros.

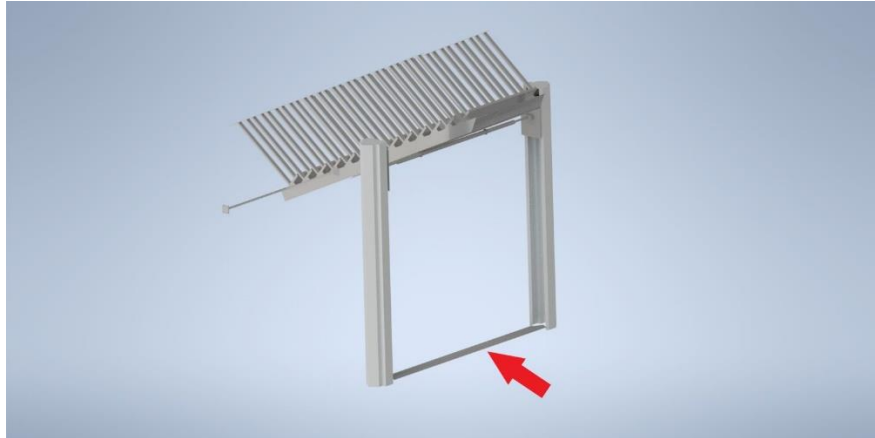


Figura 4.29. Ubicación de la cadena de transmisión

#### 4.10. Cálculo del soporte del eje inferior.

El conjunto del soporte del eje inferior está constituido por varias piezas que entre ellas van soldadas.

Este elemento tiene la función de soportar al eje inferior por ambos extremos, por lo que de estos hay dos y están colocados dentro de cada columna. Además, se deslizan a través de ellas hacia arriba y hacia abajo.

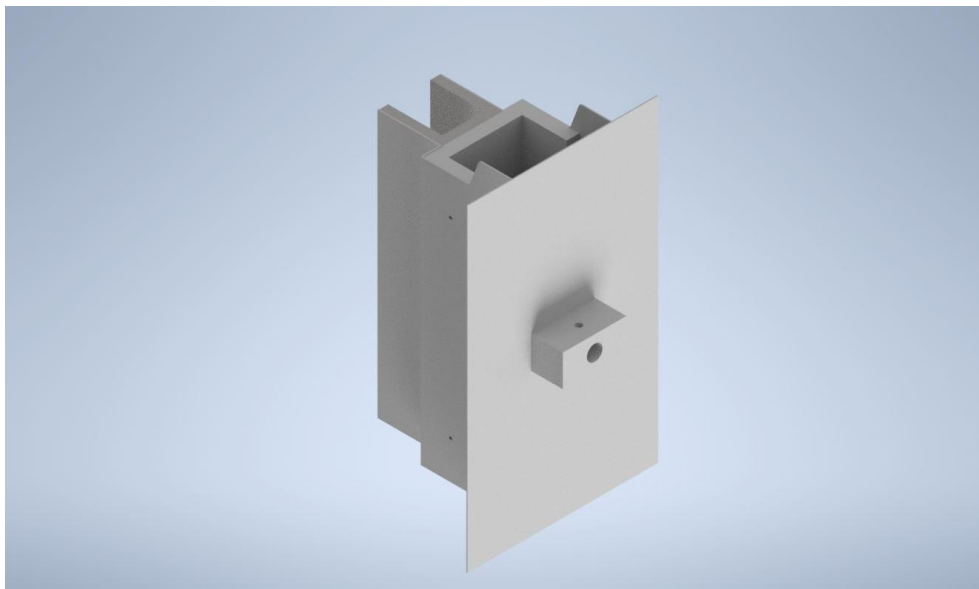


Figura 4.30. Soporte del eje inferior

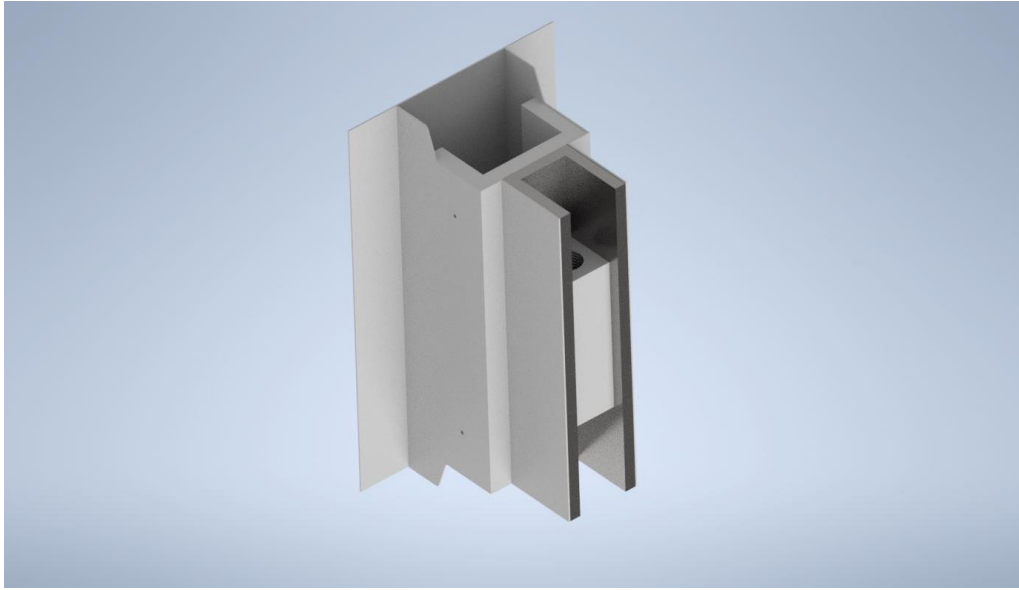


Figura 4.31. Soporte del eje inferior

#### 4.11. Cálculo de las columnas

Las columnas del elevador que se está diseñando están compuestas por una chapa de 5 milímetros de espesor, que se pliegan de forma adecuada y simétrica para que en su interior puedan estar el conjunto del soporte del eje inferior y el tornillo. El motor y el sistema de transmisión al tornillo van colocados encima de una de las columnas, sobre su tapa superior. Dichas columnas tienen una altura de 2920 milímetros.

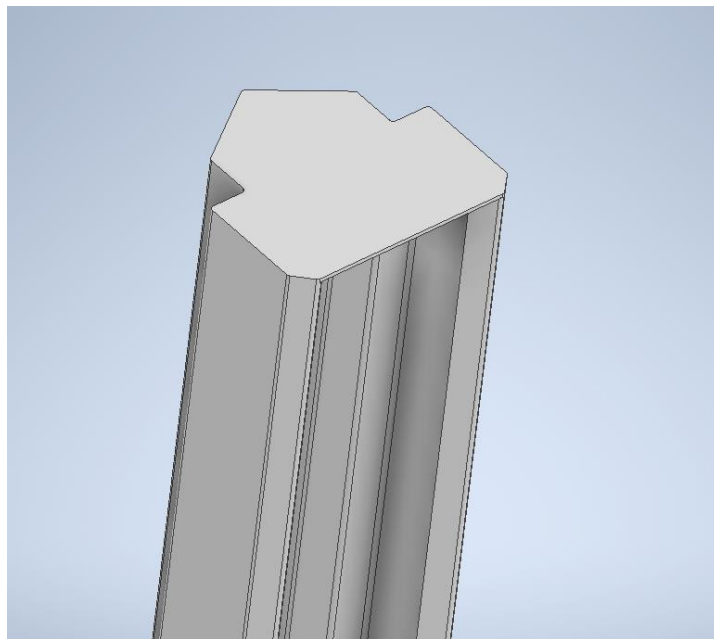


Figura 4.32. Columna elevadora

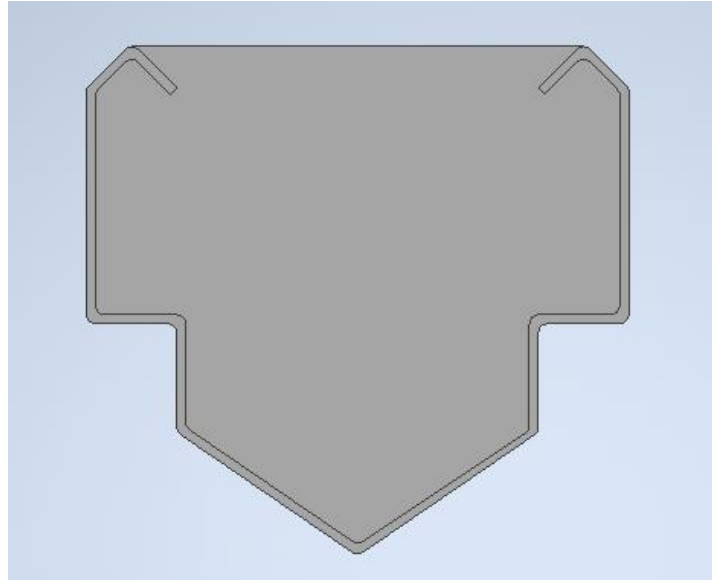


Figura 4.33. Columna elevadora

Para llegar a la decisión de que el espesor de chapa sea de 5 milímetros se ha hecho un cálculo mediante elementos finitos de la tensión de Von Mises y del desplazamiento con el software Inventor poniendo como restricción que va empotrada al suelo. El cálculo empieza con la realización de un mallado a la columna.

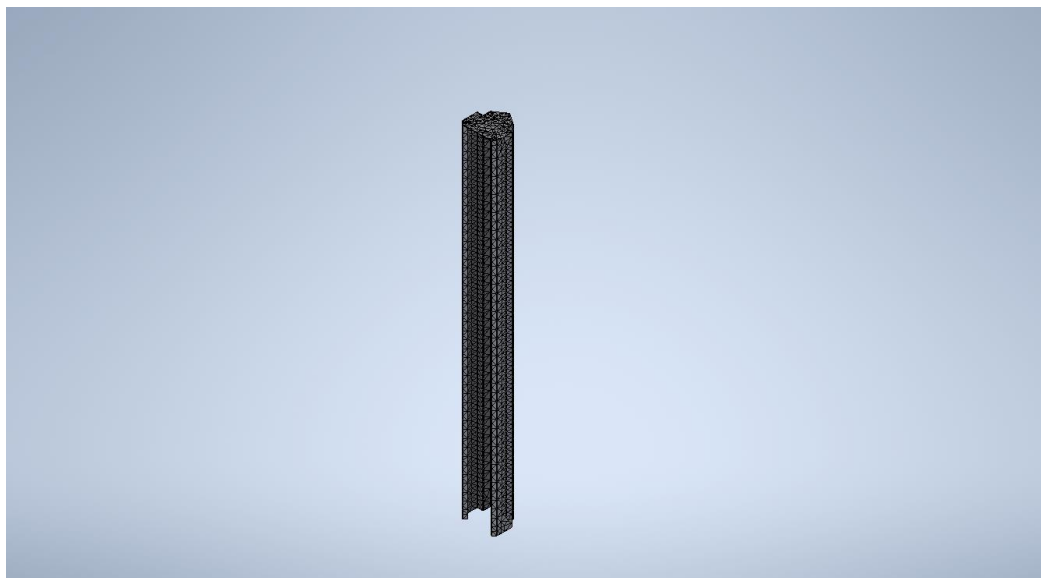


Figura 4.34. Mallado de la columna elevadora

Aplicando las fuerzas en la parte superior de la columna que será la zona que más sometida esté a esfuerzos se obtiene una tensión aceptable y un desplazamiento casi despreciable.

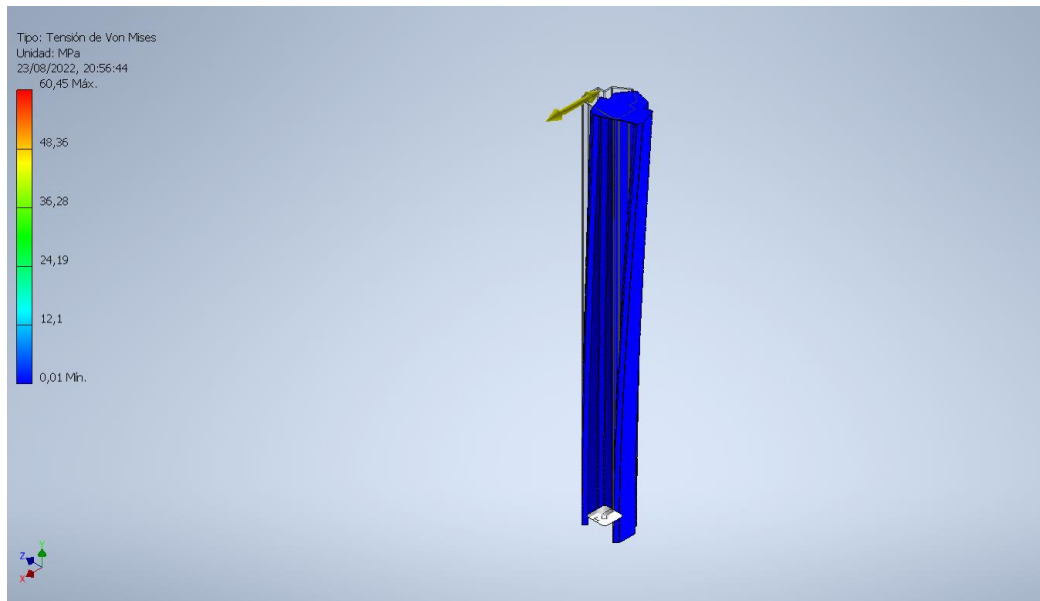


Figura 4.35. Resultado de la tensión de Von Mises aplicando el método de los elementos finitos

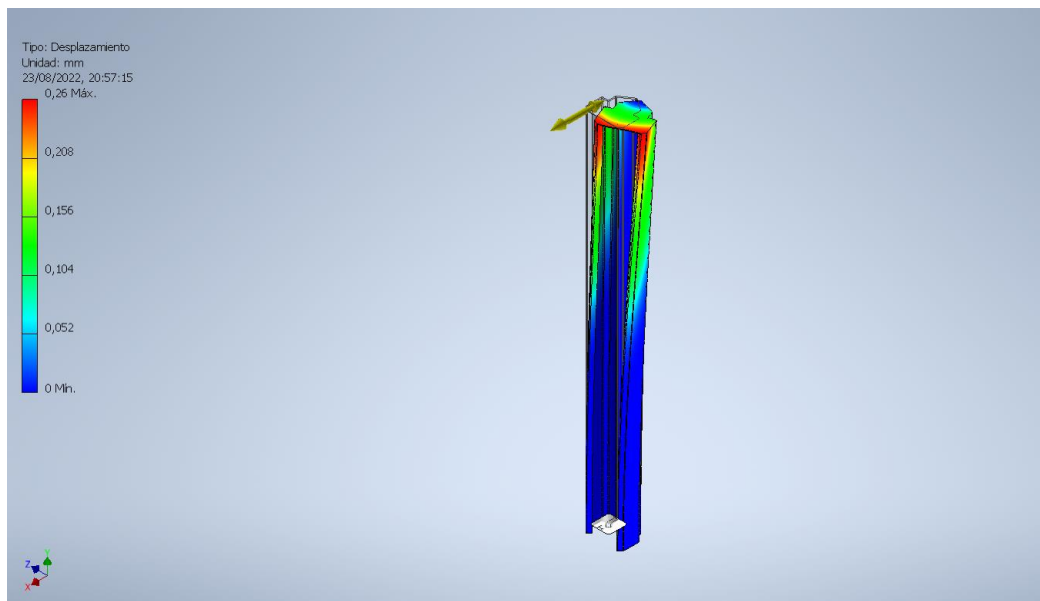


Figura 4.36. Resultado de los desplazamientos aplicando el método de los elementos finitos

## 5. MONTAJE FINAL

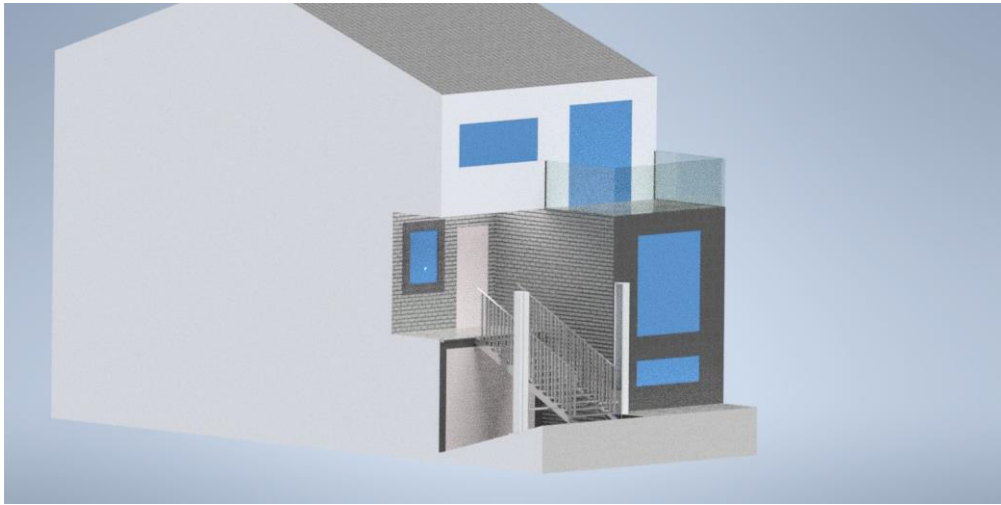


Figura 5.1. Estructura en posición de reposo

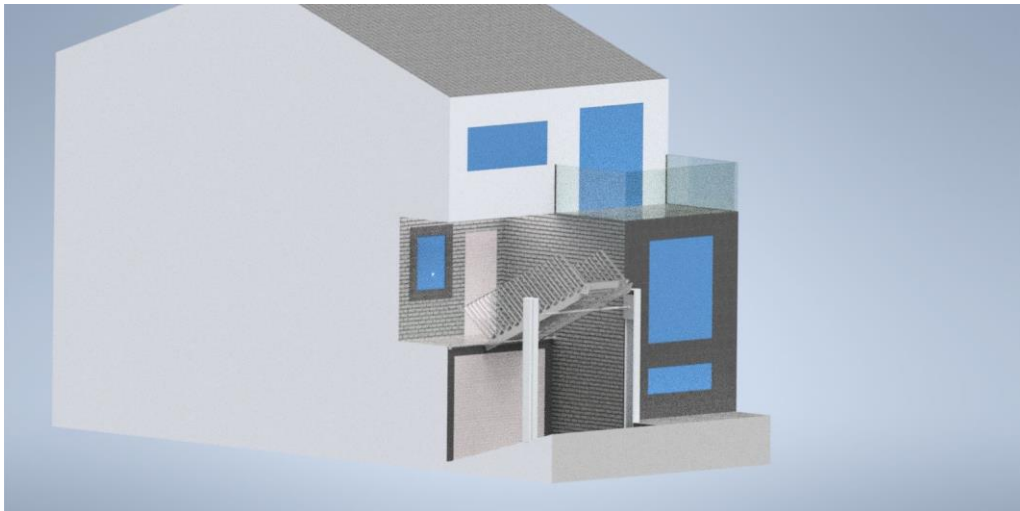


Figura 5.2. Estructura en posición de elevación



Figura 5.3. Estructura en posición de reposo

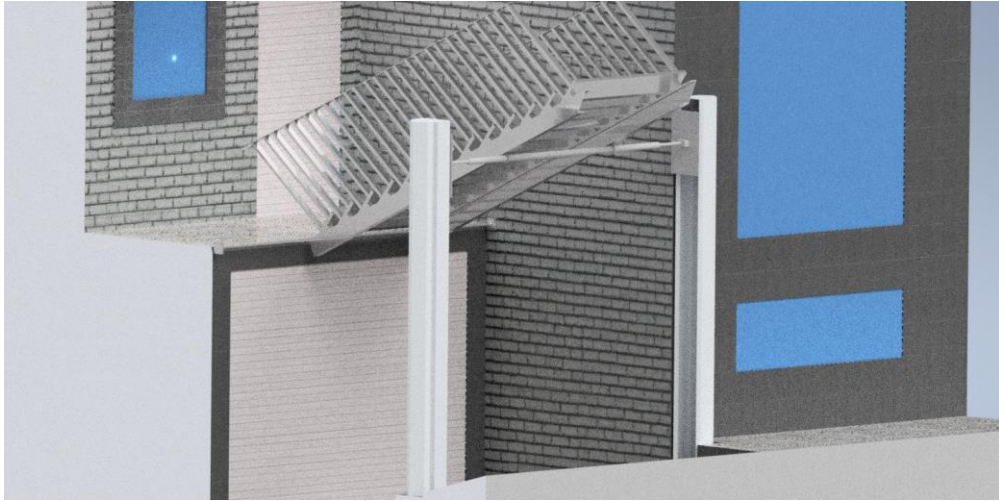


Figura 5.4. Estructura en posición de elevación

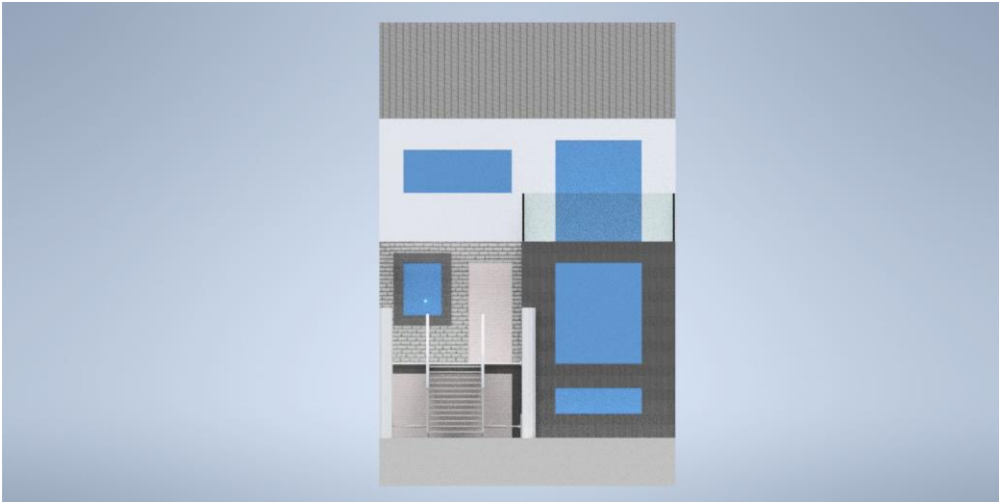


Figura 5.5. Estructura en posición inicial

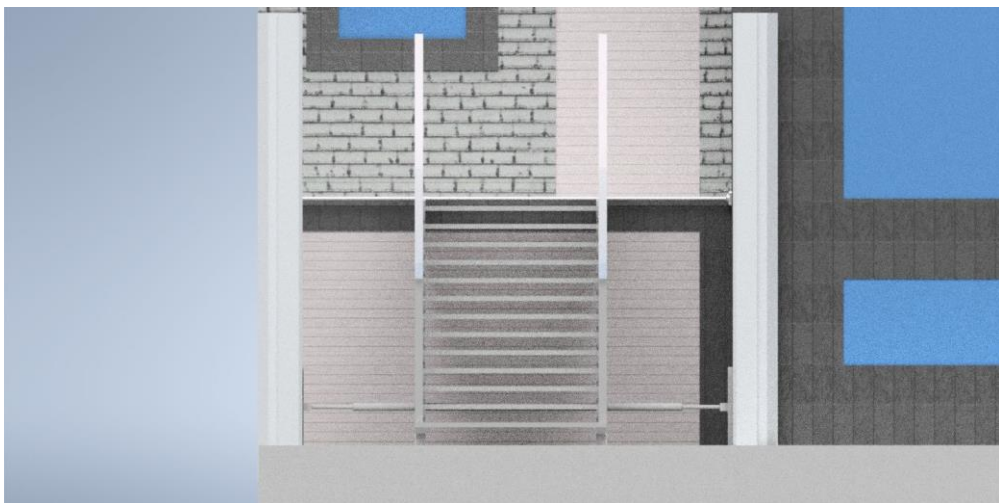


Figura 5.6. Estructura en posición inicial

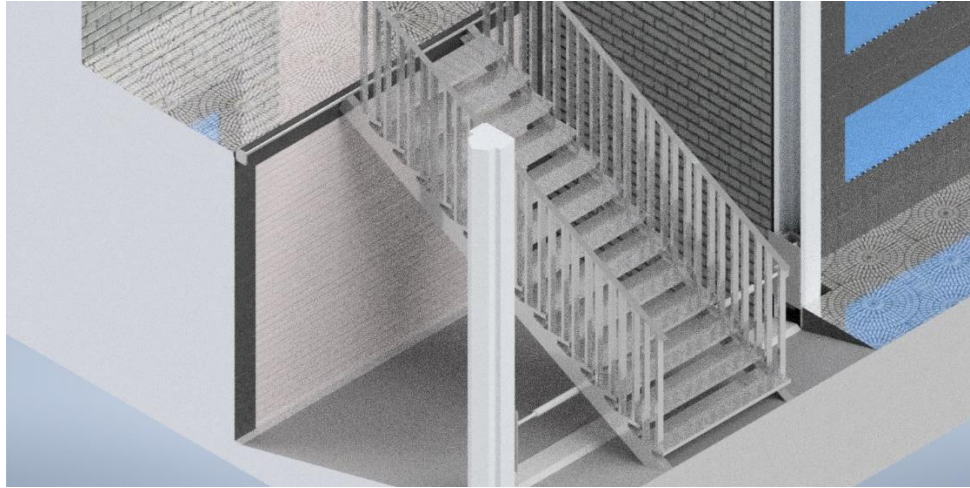


Figura 5.7. Estructura en posición inicial



Figura 5.8. Estructura en posición inicial

Finalmente, la solución definitiva de este estudio técnico y su colocación en la vivienda es tal y como se muestra en estas imágenes.

Las columnas elevadoras están colocadas delante de la primera parte de la fachada un poco más abajo de la altura de nivel de calle, más concretamente, a la altura a la que la cadena de transmisión puede ir a ras de la rampa.

El eje que está colocado a la altura de la primera planta se inserta en los dos soportes con rodamientos que están unidos cada uno a una de las paredes (en el 3D, la pared que linda con la casa de al lado está invisible).

Las vigas que sostienen los peldaños descansan sobre la rampa cuando la estructura está en su posición inicial, funcionando como escalera.

## 6. CONCLUSIÓN

El estudio técnico que se ha llevado a cabo es el resultado que se obtiene tras la búsqueda de satisfacer una necesidad, la cual consiste en poder utilizar una parte de una vivienda para su fin inicial.

Para cumplir tal objetivo se han barajado distintas soluciones y elementos, pero se ha optado por la que podría ser más práctica para el entorno en el que se desarrolla el proyecto.

Se trata de la fusión de dos elementos que por separado son muy comunes de ver en la vida cotidiana, una escalera y un elevador de dos columnas, que es el más utilizado en talleres de vehículos.

Se ha de tener en cuenta que este estudio se ha llevado a cabo desde un punto de vista teórico en cuanto a cálculo y diseño, por lo que en caso de llevar a la práctica su fabricación, cabe la posibilidad de que sufra ciertas modificaciones.

En cuanto a los resultados obtenidos, solo se ha estudiado la parte mecánica de este estudio, pero para completarlo se debería de añadir una instalación eléctrica para que el movimiento de esta estructura fuera totalmente automático.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

[1] Salazar Patiño, “Secreto de niño”, 130. Disponible en: <https://revistas.uniandes.edu.co/doi/pdf/10.18389/dearq11.2012.13> [Consulta: mayo 2022]

[2] Código Técnico de la Edificación. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/> [Consulta: enero 2022]

[3] Cype 3D. Disponible en: <https://info.cype.com/es/software/cype-3d/> [Consulta: mayo 2022]

[4] Catálogo de actuadores lineales Linak. Disponible en [LA33: actuador lineal eléctrico de tamaño medio y duradero para maquinaria industrial \(linak.es\)](https://www.linak.es/lineal) [Consulta: febrero 2022]

[5] Catálogo Waku Escaleras. Disponible en: <https://wakuescaleras.com/> [Consulta: marzo 2022]

[6] Catálogo SKF. Disponible en: <https://skf.com/> [Consulta: mayo 2022]

[7] Catálogo Mano a mano. Disponible en: <https://www.manomano.es/p/soporte-cuadrado-con-rodamiento-eje-25mm-ucf205-isb-18949729> [Consulta: junio 2022]

[8] Catálogo ABB. Disponible en: <https://new.abb.com/motors-generators/es/>  
[Consulta: mayo 2022]

[9] Autodesk Inventor. Disponible en:  
<https://www.autodesk.es/products/inventor/overview?term=1-YEAR&tab=subscription> [Consulta: septiembre 2021]

## ANEXO I

En este anexo se recogen los extractos de los distintos Documentos Básicos del Código Técnico de la Edificación que proporcionan las normas a cumplir en cuanto a la distancia entre peldaños, así como las cargas que deben soportar.

### 4 Escaleras y rampas

#### 4.1 Escaleras de uso restringido

- 1 La anchura de cada tramo será de 0,80 m, como mínimo.
- 2 La contrahuella será de 20 cm, como máximo, y la huella de 22 cm, como mínimo. La dimensión de toda huella se medirá, en cada peldaño, según la dirección de la marcha.  
En escaleras de trazado curvo, la huella se medirá en el eje de la escalera, cuando la anchura de esta sea menor que 1 m y a 50 cm del lado más estrecho cuando sea mayor. Además la huella medirá 5 cm, como mínimo, en el lado más estrecho y 44 cm, como máximo, en el lado más ancho.
- 3 Podrán disponerse mesetas partidas con peldaños a 45 ° y escalones sin tabica. En este último caso la proyección de las huellas se superpondrá al menos 2,5 cm (véase figura 4.1). La medida de la huella no incluirá la proyección vertical de la huella del peldaño superior.
- 4 Dispondrán de barandilla en sus lados abiertos.

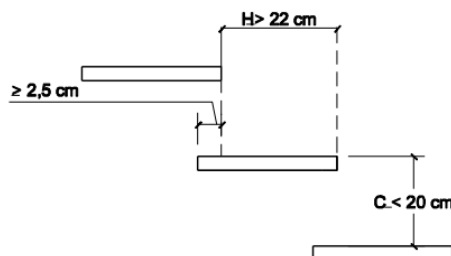


Figura 4.1 Escalones sin tabica

Figura 0.1. DB-SUA

Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m <sup>2</sup> ]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 <sup>(1)</sup>
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente <sup>(2)</sup>			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación <sup>(3)</sup>	G1 <sup>(7)</sup>	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 <sup>(4)(6)</sup>	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) <sup>(5)</sup>	0,4 <sup>(4)</sup>	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Tabla 0.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso

- 3 En las zonas de acceso y evacuación de los edificios de las zonas de categorías A y B, tales como portales, mesetas y escaleras, se incrementará el valor correspondiente a la zona servida en 1 kN/m<sup>2</sup>.

Figura 0.2. DB-SE-AE

## ANEXO II

Para determinar los esfuerzos que se producen en los peldaños de la estructura según su anchura (L) y la colocación de la zanca se elabora un diagrama de esfuerzos cortantes y un diagrama de momentos para obtener el máximo.

Para ello, se empieza por determinar las cargas que afectan al peldaño:

- Carga concentrada:  $C = 2KN$ .
- Volumen en función de la anchura (teniendo en cuenta las alas):

$$V = L \cdot (0.25 + 0.03 + 0.03)m \cdot 0.002m$$

- Peso propio:

$$P = \rho \cdot V = 78.5 \text{ KN/m}^2 \cdot (0.25 + 0.03 + 0.03)m \cdot 0.002m = \frac{0.04867 \text{ KN}}{m}$$

- Carga uniforme:  $U = \frac{3 \text{ KN}}{m^2} \cdot 0.25m = 0.75 \text{ KN/m}$
- Barandas:  $B = 0.0163 \text{ KN}$  (en cada extremo)

A continuación, se da paso al cálculo de las reacciones, los diagramas y la flecha para cada uno de los dos casos.

→ Caso 1: 1 zanca centrada.

Reacción:

$$R_A = C + 2B + (P + U)L = 2.0326 + 0.79867 \cdot L$$

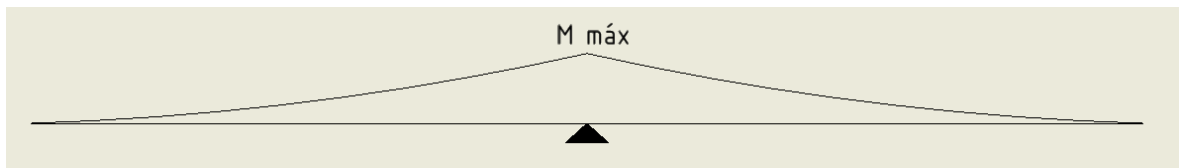


Figura 0.1. Diagrama de momentos

El valor máximo se obtiene en el punto central del peldaño.

Con este valor máximo se procede al cálculo de la flecha o deformación:

$$\delta = \frac{1}{E \cdot I} \cdot \gamma \cdot \int_A^F (x - A) \cdot M \cdot dx = \frac{1}{E \cdot I} \cdot A \cdot d \cdot \gamma = \frac{1}{E \cdot I} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{L}{2} \cdot M_{máx} \cdot \gamma \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{L}{2}$$

Siendo:

- $E = \text{Módulo de elasticidad del acero} = 210 \text{ GPa}$ .
- $\gamma = \text{Coeficiente de mayoración de las cargas} = 1.5$ .
- $I = \text{Momento de inercia} = 172.9596 \text{ cm}^4$ . Para calcularlo se ha tenido en cuenta las alas de la sección del peldaño y se ha utilizado Steiner.

Por último, se ha de saber que la flecha máxima es el cociente del doble del tramo en volado y 500, según el CTE.

→ Caso 2: 2 zancas, una en cada extremo.

Reacciones:

$$R_A = R_B = \frac{C + 2B + (P + U)L}{2} = \frac{2.0326 + 0.79867 \cdot L}{2} = 1.0163 + 0.399335 \cdot L$$

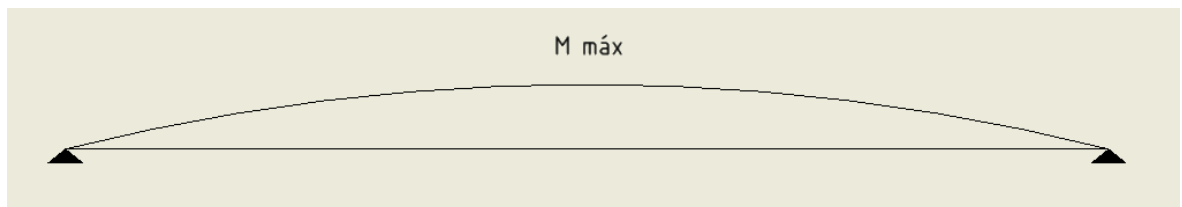


Figura 0.2. Diagrama de momentos

El valor máximo se obtiene en el punto central del peldaño.

Con este valor máximo se procede al cálculo de la flecha o deformación:

$$\delta = \frac{1}{E \cdot I} \cdot \gamma \cdot \int_M^B (x - M) \cdot M \cdot dx = \frac{1}{E \cdot I} \cdot A \cdot d \cdot \gamma = \frac{1}{E \cdot I} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{L}{2} \cdot M_{máx} \cdot \gamma \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{L}{2}$$

Siendo:

- $E = \text{Módulo de elasticidad del acero} = 210\text{GPa}$ .
- $\gamma = \text{Coeficiente de mayoración de las cargas} = 1.5$ .
- $I = \text{Momento de inercia} = 172.9596\text{cm}^4$ . Para calcularlo se ha tenido en cuenta las alas de la sección del peldaño y se ha utilizado Steiner.

Por último, el valor de la flecha máxima se obtiene de dividir la anchura total del peldaños entre 500, según el CTE.

Para finalizar este anexo, se añaden las tablas con los diferentes valores de anchura a partir de las cuales se han obtenido las gráficas ya expuestas con anterioridad.

ANCHURA (m)	REACCIÓN (KN)	ABS V O (KN)	ABS V A (KN)	ABS V F (KN)	ABS M O (KNm)	ABS M A (KNm)	ABS M F (KNm)	FLECHA (mm)	FLECHA MÁX (mm)
0,8	2,6715360	0,0163	0,335768	0,0163	0	0,0704136	5,20417E-17	0,01163172	1,6
0,9	2,7514030	0,0163	0,3757015	0,0163	0	0,088200338	7,28584E-17	0,01844007	1,8
1	2,8312700	0,0163	0,415635	0,0163	0	0,10798375	1,73472E-17	0,02787184	2
1,2	2,9910040	0,0163	0,495502	0,0163	0	0,1535406	8,67362E-17	0,05706805	2,4
1,4	3,1507380	0,0163	0,575369	0,0163	0	0,20708415	1,56125E-16	0,10476356	2,8
1,6	3,3104720	0,0163	0,655236	0,0163	0	0,2686144	1,04083E-16	0,17749109	3,2
1,8	3,4702060	0,0163	0,735103	0,0163	0	0,33813135	7,63278E-17	0,28277288	3,6
2	3,6299400	0,0163	0,81497	0,0163	0	0,415635	3,46945E-17	0,42912065	4
2,2	3,7896740	0,0163	0,894837	0,0163	0	0,50112535	2,22045E-16	0,62603562	4,4
2,4	3,9494080	0,0163	0,974704	0,0163	0	0,5946024	3,95517E-16	0,88400852	4,8
2,6	4,1091420	0,0163	1,054571	0,0163	0	0,69606615	5,27356E-16	1,21451958	5,2
2,8	4,2688760	0,0163	1,134438	0,0163	0	0,8055166	1,02002E-15	1,63003852	5,6
3	4,4286100	0,0163	1,214305	0,0163	0	0,92295375	1,4988E-15	2,14402457	6

Tabla 0.1. Estudio para una sola zanca

ANCHURA (m)	REACCIÓN (KN)	ABS V A (KN)	ABS V m- (KN)	ABS V m- (KN)	ABS V F (KN)	ABS M O (KNm)	ABS M A (KNm)	ABS M F (KNm)	FLECHA (mm)	FLECHA MÁX (mm)
0,8	1,3357680	1,319468	1	-1	-1,319468	0	0,4638936	0	0,07663121	1,6
0,9	1,3757015	1,3594015	1	-1	-1,3594015	0	0,53086534	0	0,11098817	1,8
1	1,4156350	1,399335	1	-1	-1,399335	0	0,59983375	0	0,15482397	2
1,2	1,4955020	1,479202	1	-1	-1,479202	0	0,7437606	0	0,27644133	2,4
1,4	1,5753690	1,559069	1	-1	-1,559069	0	0,89567415	0	0,4531202	2,8
1,6	1,6552360	1,638936	1	-1	-1,638936	0	1,0555744	0	0,69748701	3,2
1,8	1,7351030	1,718803	1	-1	-1,718803	0	1,22346135	0	1,02315769	3,6
2	1,8149700	1,79867	1	-1	-1,79867	0	1,399335	0	1,44473767	4
2,2	1,8948370	1,878537	1	-1	-1,878537	0	1,58319535	0	1,97782188	4,4
2,4	1,9747040	1,958404	1	-1	-1,958404	0	1,7750424	0	2,63899474	4,8
2,6	2,0545710	2,038271	1	-1	-2,038271	0	1,97487615	0	3,44583018	5,2
2,8	2,1344380	2,118138	1	-1	-2,118138	0	2,1826966	0	4,41689163	5,6
3	2,2143050	2,198005	1	-1	-2,198005	0	2,39850375	0	5,57173203	6

Tabla 0.2. Estudio para dos zancas

### ANEXO III

El dimensionado del eje inferior se ejecuta siguiendo la Ley de Navier, y estableciendo un coeficiente de seguridad de 1.5.

El eje tiene una longitud de 2920 milímetros y sustenta una carga de 925 Newton en la posición de la estructura más crítica para este. Como hay dos puntos de apoyo de la estructura en el eje, el eje soporta en dos puntos distintos 462.5 Newton.

Antes de aplicar Navier, se calcula el diagrama de momentos:

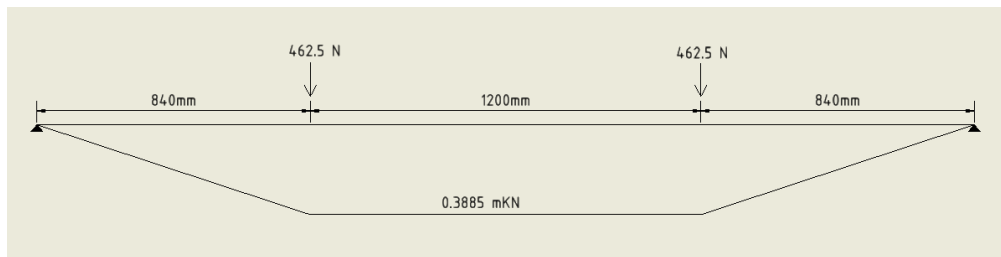


Figura 0.1. Diagrama de momentos

Como se trata de un problema simétrico, hay dos puntos con el mismo valor del momento máximo, de 388.5 Newton por metro.

Para cumplir Navier, la tensión admisible debe de ser mayor o igual que la tensión de trabajo, que es la fracción del momento flector y el módulo resistente de la sección.

$$\text{Ley de Navier: } \sigma_{ADM} \geq \sigma_{TRABAJO}$$

$$\sigma_{TRABAJO} = \frac{M}{W}$$

La tensión máxima o admisible es el resultado de dividir el límite elástico del material entre el coeficiente de seguridad:

$$\sigma_{ADMISIBLE} = \frac{f_y}{\gamma}$$

Se propone como idea una barra sólida de diámetro variable, teniendo este su máximo valor en la zona donde el momento flector es máximo. Por lo que se plantea una barra, que es simétrica, que en sus extremos tenga un diámetro de la mitad del valor del diámetro de la parte central de la barra.

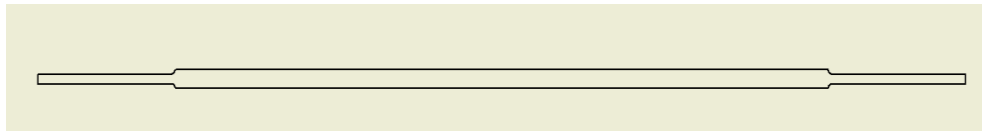


Figura 0.2. Eje inferior

Ahora se va a calcular la tensión de trabajo en función del diámetro de la barra en distintos puntos, para que así, al tener que ser menor que la tensión máxima admisible, se pueda ver el punto en el que el diámetro ha de ser mayor para que cumpla con la Ley de Navier.

- Tensión de trabajo a 42 centímetros del extremo de la barra:

$$\sigma_{TRAB} = \frac{M}{W} = \frac{M}{\frac{\pi}{64} \cdot d^4} \cdot \frac{d}{2} = \frac{32 \cdot M}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 0.19425m \cdot KN}{\pi \cdot d^3}$$

$$= \frac{1978614.253N \cdot mm}{d^3}$$

- o Tensión de trabajo a 84 centímetros del extremo de la barra:

$$\sigma_{TRAB} = \frac{M}{W} = \frac{M}{\frac{\pi}{64} \cdot (2d)^4} \cdot \frac{2d}{2} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot d^3} = \frac{4 \cdot 0.3885m \cdot KN}{\pi \cdot d^3}$$

$$= \frac{494653.56N \cdot mm}{d^3}$$

Se puede apreciar que en el punto situado a 44 centímetros del extremo de la barra, el diámetro ha de ser mayor para que cumpla, por lo tanto, como es más restrictivo, es la tensión de trabajo que se utiliza para el cálculo del diámetro.

Para obtener el valor mínimo del diámetro se iguala la tensión de trabajo con la tensión admisible, y despejando, se queda la expresión:

$$d = \sqrt[3]{\frac{1978614.253 \cdot \gamma}{f_y}}$$

Que teniendo en cuenta que el acero empleado es el acero S235, el diámetro es:

$$d = \sqrt[3]{\frac{1978614.253N \cdot mm \cdot 1.5}{235MPa}} = 23.287mm$$

Para poder barajar distintas soluciones, se calcula el diámetro para distintos aceros:

ACERO	S235	S275	S355
d (mm)	23,287	22,099	20,295

Tabla 0.1. Diámetros según acero

Como no existe una gran diferencia entre los diámetros, se va a emplear acero S235, pero para ofrecer una mayor garantía de seguridad, la barra tendrá un diámetro de 25 milímetros en su sección más fina y de 50 en su parte más ancha.

## ANEXO IV

Para hallar en un catálogo de rodamientos el que mejor se ajusta con los requisitos a cumplir se ha de tener en cuenta, a parte del diámetro interior, la carga dinámica que ha de soportar.

La carga nominal de catálogo para el rodamiento se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$C_{10} = L_{10}^{1/N} \cdot P$$

Sabiendo que  $N = 3$  porque se trata de un rodamiento de bolas y que  $P$  hace referencia a la carga que el rodamiento soporta.

$L_{10}$  es la vida nominal esperada expresada en millones de revoluciones y se obtiene como el producto de la vida útil esperada y la velocidad angular. Para poder obtener este parámetro, primero hay que obtener la velocidad angular del rodamiento a partir de la velocidad lineal.

La velocidad lineal se obtiene de dividir el espacio recorrido entre el tiempo que se invierte en ello, que se ha estimado que sea de un minuto. Por lo tanto, la velocidad lineal es:

$$v = \frac{\text{espacio}}{\text{tiempo}} = \frac{642.751\text{mm}}{60\text{s}} = 10.712 \text{ mm/s}$$

Y la velocidad angular:

$$n = \frac{v}{r} = \frac{10.712\text{mm/s}}{25\text{mm}} = 0.42848\text{rad/s}$$

Obtenido que el valor de la velocidad angular es relativamente bajo, se puede saber cuál va a ser el uso de este rodamiento y se establece una vida útil esperada.

En el rango de horas de la vida útil especificada se establece un valor intermedio, en este caso, de 6000 horas.

Con estos dos datos se calcula la vida nominal:

$$L_{10} = 6000h \cdot \frac{3600s}{1h} \cdot 0.48284 \frac{rad}{s} \cdot \frac{1 rev}{2\pi rad} = 1.473 \cdot 10^6 rev$$

Ya se puede proceder al cálculo de la carga dinámica:

$$C = 1.473^{1/3} \cdot 0.407KN = 0.463KN$$

Con este último resultado obtenido más el del diámetro interior, se procede a la búsqueda en catálogo de un rodamiento que cumpla con los requisitos.

	100	25	55,3	31,5	1,34	15 000	7 500	0,87	▶ 6309-2Z	6309-Z
	100	36	52,7	31,5	1,34	-	4 500	1,2	▶ 62309-2RS1	-
	120	29	76,1	45	1,9	13 000	8 500	1,55	▶ 6409	-
50	65	7	6,76	6,8	0,285	-	6 000	0,052	▶ 61810-2RS1	-
	65	7	6,76	6,8	0,285	20 000	10 000	0,052	▶ 61810-2RZ	-
	65	7	6,76	6,8	0,285	20 000	13 000	0,052	▶ 61810	-
	72	12	14,6	11,8	0,5	-	5 600	0,14	▶ 61910-2RS1	-
	72	12	14,6	11,8	0,5	19 000	9 500	0,14	▶ 61910-2RZ	-
	72	12	14,6	11,8	0,5	19 000	12 000	0,14	▶ 61910	-

Figura 0.1. Catálogo SKF

## ANEXO V

El dimensionado del eje superior o pivote también se ejecuta siguiendo la Ley de Navier, y estableciendo un coeficiente de seguridad de 1.5.

El eje tiene una longitud de 2960 milímetros y soporta una carga de 322.6 Newton en la posición de la estructura que es más crítica para este. Como hay dos puntos de apoyo de la estructura en el eje, cada uno soporta 161.3 Newton.

Antes de aplicar Navier, se calcula el diagrama de momentos:

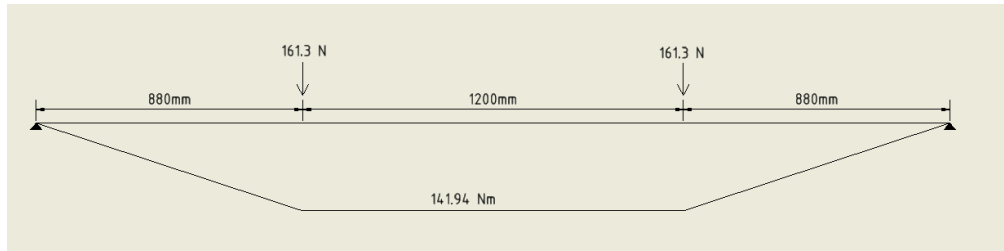


Figura 0.1. Diagrama de momentos

Para cumplir la Ley de Navier, la tensión admisible debe de ser mayor o igual que la tensión de trabajo, que es el resultado de dividir el momento flector y el módulo resistente de la sección.

$$\text{Ley de Navier: } \sigma_{ADM} \geq \sigma_{TRABAJO}$$

$$\sigma_{TRABAJO} = \frac{M}{W}$$

La tensión máxima o admisible es la fracción del límite elástico del material y el coeficiente de seguridad:

$$\sigma_{ADMISIBLE} = \frac{f_y}{\gamma}$$

Para el diseño de este eje se plantea una barra sólida de diámetro constante.

Se calcula el diámetro del eje en el punto donde el momento flector alcanza su máximo valor para comprobar si cumple con Navier, a 2179.095 milímetros del inicio de este.

$$\sigma_{TRAB} = \frac{M}{W} = \frac{M}{\frac{\pi}{64} \cdot d^4} \cdot \frac{d}{2} = \frac{32 \cdot M}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 0.25065m \cdot KN}{\pi \cdot d^3} = \frac{250650N \cdot mm}{d^3}$$

Para obtener el valor mínimo del diámetro se iguala la tensión de trabajo con la tensión admisible, y despejando, se queda la expresión:

$$d = \sqrt[3]{\frac{250650 \cdot \gamma}{f_y}}$$

Que teniendo en cuenta que el acero empleado es el acero S235, el diámetro es:

$$d = \sqrt[3]{\frac{250650 \cdot \text{mm} \cdot 1.5}{235 \text{MPa}}} = 25.353 \text{mm}$$

Para poder comparar distintas soluciones, se calcula el diámetro para distintos aceros:

ACERO	S235	S275	S355
<b>d (mm)</b>	25,353	24,058	22,0958

Tabla 0.1. Diámetros según acero

Para establecer un diámetro más estandarizado, el eje se va a fabricar en acero S275. De esta forma diámetro mínimo es 24.058 milímetros, aunque para mayor seguridad, el diámetro es de 25 milímetros.

## ANEXO VI

El cálculo del diámetro de los pasadores se hace según la Norma UNE-EN ISO 1493:2010, Anexo A. Se ha de saber que el acero de construcción utilizado es de tipo A.

Combinación de cargas	s	Clase	4.6	5.6	6.6	6.8	8.8	10.9
		$f_y$	240	300	360	480	640	900
		X	240	300	360	420	560	700
A	1,5	$\sigma_s$	160	200	240	280	373	467
		$\tau_s$	113	141	170	198	264	330
B	1,33	$\sigma_s$	180	225	270	315	420	525
		$\tau_s$	127	159	191	223	297	371
C	1,25	$\sigma_s$	192	240	288	336	448	560
		$\tau_s$	136	170	204	238	317	396

Tabla 0.1. Esfuerzos admisibles para los pernos (en N/mm<sup>2</sup>) de la Norma UNE-EN ISO 1493:2010

El diámetro mínimo del pasador se obtiene de igualar la tensión cortante máxima con la tensión cortante máxima admisible. Para este caso, se aplica una calidad 6.6.

$$\tau_{MÁX} = \frac{F}{Ac} = \frac{7090.4}{Ac}$$

$$\tau_{MÁX ADM} = \frac{f_y}{2 \cdot \gamma} = \frac{360}{2 \cdot 1.5} = 120MPa$$

Al igualar ambas expresiones se puede despejar el valor del área a cortadura,  $Ac$ :

$$Ac = \frac{7090.4N}{120MPa} = 59.086mm^2$$

Sabiendo que  $Ac = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ , el valor mínimo del diámetro es:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Ac}{\pi}} = 8.673mm$$

Para una mayor seguridad, al perno se le va a dar un diámetro de 10 milímetros.

## ANEXO VII

El cálculo del diámetro de los pasadores se hace según la Norma UNE-EN ISO 1493:2010, Anexo A. Se ha de saber que el acero de construcción utilizado es de tipo A.

Combinación de cargas	s	Clase f <sub>y</sub> X	4.6	5.6	6.6	6.8	8.8	10.9
			240	300	360	480	640	900
A	1,5	σ <sub>b</sub>	160	200	240	280	373	467
		τ <sub>s</sub>	113	141	170	198	264	330
B	1,33	σ <sub>b</sub>	180	225	270	315	420	525
		τ <sub>s</sub>	127	159	191	223	297	371
C	1,25	σ <sub>b</sub>	192	240	288	336	448	560
		τ <sub>s</sub>	136	170	204	238	317	396

Tabla 0.1. Esfuerzos admisibles para los pernos (en N/mm<sup>2</sup>) de la Norma UNE-EN ISO 1493:2010

El diámetro mínimo del pasador se obtiene de igualar la tensión cortante máxima con la tensión cortante máxima admisible. Para este caso, se aplica una calidad 4.6.

$$\tau_{MÁX} = \frac{F}{Ac} = \frac{1369.41}{Ac}$$

$$\tau_{MÁX ADM} = \frac{f_y}{2 \cdot \gamma} = \frac{240}{2 \cdot 1.5} = 80MPa$$

Al igualar ambas expresiones se puede despejar el valor del área a cortadura,  $Ac$ :

$$Ac = \frac{1369.41N}{80MPa} = 17.11mm^2$$

Sabiendo que  $Ac = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ , el valor mínimo del diámetro es:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Ac}{\pi}} = 4.66mm$$

Para una mayor seguridad, al perno se le va a dar un diámetro de 5 milímetros.

En cuanto al espesor de chapa, se escoge acero S235 con un coeficiente de seguridad de 1.5.

$$\tau_{MÁX} = \frac{\sigma}{2} = \frac{\frac{F}{A}}{2} = \frac{F}{2 \cdot e \cdot d} = \frac{1369.41N}{2 \cdot e \cdot 5mm} = \frac{136.941}{e}$$

$$\tau_{MÁX ADM} = \frac{f_y}{2 \cdot \gamma} = \frac{235}{2 \cdot 1.5} = 78.33MPa$$

Igualando ambas tensiones, se despeja el espesor:

$$e = \frac{136.941}{78.33} = 1.748mm$$

Para una mayor seguridad, se establece un espesor de 2 milímetros.

## ANEXO VIII

Antes del cálculo del motor se establece el peso que este va a tener que resistir. En este caso, se va a mayorar el peso de la estructura con un coeficiente aproximado de 1.5 para así incluir en este resultado todos los mecanismos que unen el motor con la estructura y elevar la seguridad. Por lo que, el motor se va a elegir con la condición de que tiene que resistir una carga de 175 kilogramos.

Otro factor a tener en cuenta es la velocidad de elevación de la barra que une ambas columnas. Este parámetro se obtiene de dividir el espacio vertical recorrido dentro de la columna entre el tiempo, que va a ser 1 minuto, y se obtiene que es de 32.52 milímetros por segundo o de 1.951 metros cada minuto.

De esta forma cumple con la norma UNE EN 1493 “Elevadores de vehículos” que establece que la velocidad de subida y de descenso no debe superar los 0.15 metros cada segundo.

Se empieza por calcular el paso del tornillo,  $L$ , que, mirando en diferentes catálogos, se fija en 10 milímetros por vuelta, y que la relación de transmisión,  $i$ , es 9. Se establece un rendimiento del 60%.

Se sigue con el cálculo del par del tornillo, el par del eje motor y el par motor, en este orden:

$$M_{tornillo} = \frac{m \cdot g \cdot L}{2\pi} = \frac{175kg \cdot 9.8 m/s^2 \cdot 10}{2\pi} = 2729.5Nmm$$

$$M_{eje\ motor} = \frac{M_{tornillo}}{i} = \frac{2729.5Nmm}{9} = 303.27Nmm$$

$$M_{motor} = \frac{M_{eje\ motor}}{\eta} = \frac{303.27Nmm}{0.6} = 505.45Nmm$$

Para obtener la velocidad angular del motor, primero se calcula la velocidad angular del tornillo dividiendo la velocidad de subida y de descenso entre el paso del tornillo.

$$w_{\text{tornillo}} = \frac{V}{L} = \frac{1.951 \text{ m/min}}{0.01\text{m}} = 195.1\text{rpm}$$

$$w_{\text{motor}} = i \cdot w_{\text{tornillo}} = 9 \cdot 195.1 = 1755.9\text{rpm}$$

En cuanto a la transmisión de una columna a otro se recurre a una cadena que actúa a ras del suelo, aunque en este caso el suelo sea un terreno inclinado. Este entramado de cadena está ubicado el interior de la estructura de perfil metálico rectangular sobre las que reposa las columnas.

A la parte inferior de la columna va acoplado un piñón, cuyo diámetro es de 134.4 milímetros y es de 32 dientes. A dicho piñón, se une una cadena que se caracteriza por tener un paso de 12.7 milímetros y un hueco interior de 7.85 milímetros, algo mayor que el ancho del diente del piñón.

La cadena discurre paralela al suelo por el hueco interior de la estructura del perfil metálico desde el piñón de la primera columna hasta el piñón de la segunda, ambos iguales y unido cada uno a al tornillo de su columna correspondiente. El movimiento circular de que llega a la segunda columna hace girar el tornillo y hacer que la barra rígida se eleve.

La fuerza a la que es sometida la cadena se obtiene al dividir el momento del tornillo entre el radio del piñón, ambos valores conocidos.

$$M = F \cdot R \rightarrow F = \frac{M_{\text{tornillo}}}{R_{\text{piñón}}} = \frac{2729.5\text{Nmm}}{\frac{134.4\text{mm}}{2}} = 40.617\text{N}$$

Como la fuerza que la cadena es capaz de soportar es de 9600 Newton, esta cumple, de sobra, el requisito.

Para proteger el hueco que queda libre en el perfil metálico, se instala una plancha metálica de 2 milímetros de espesor que se atornilla a este, para que de esta forma se pueda inspeccionar la cadena de transmisión para revisarla. Los tornillos

empleados no pueden quedar con la cabeza por encima de esta plancha, ya que, de lo contrario, supone un obstáculo para cuando el vehículo pase por encima.

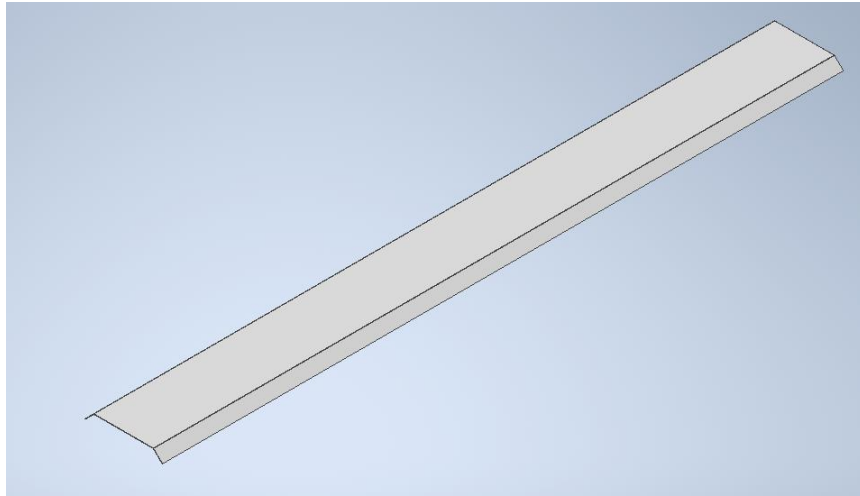
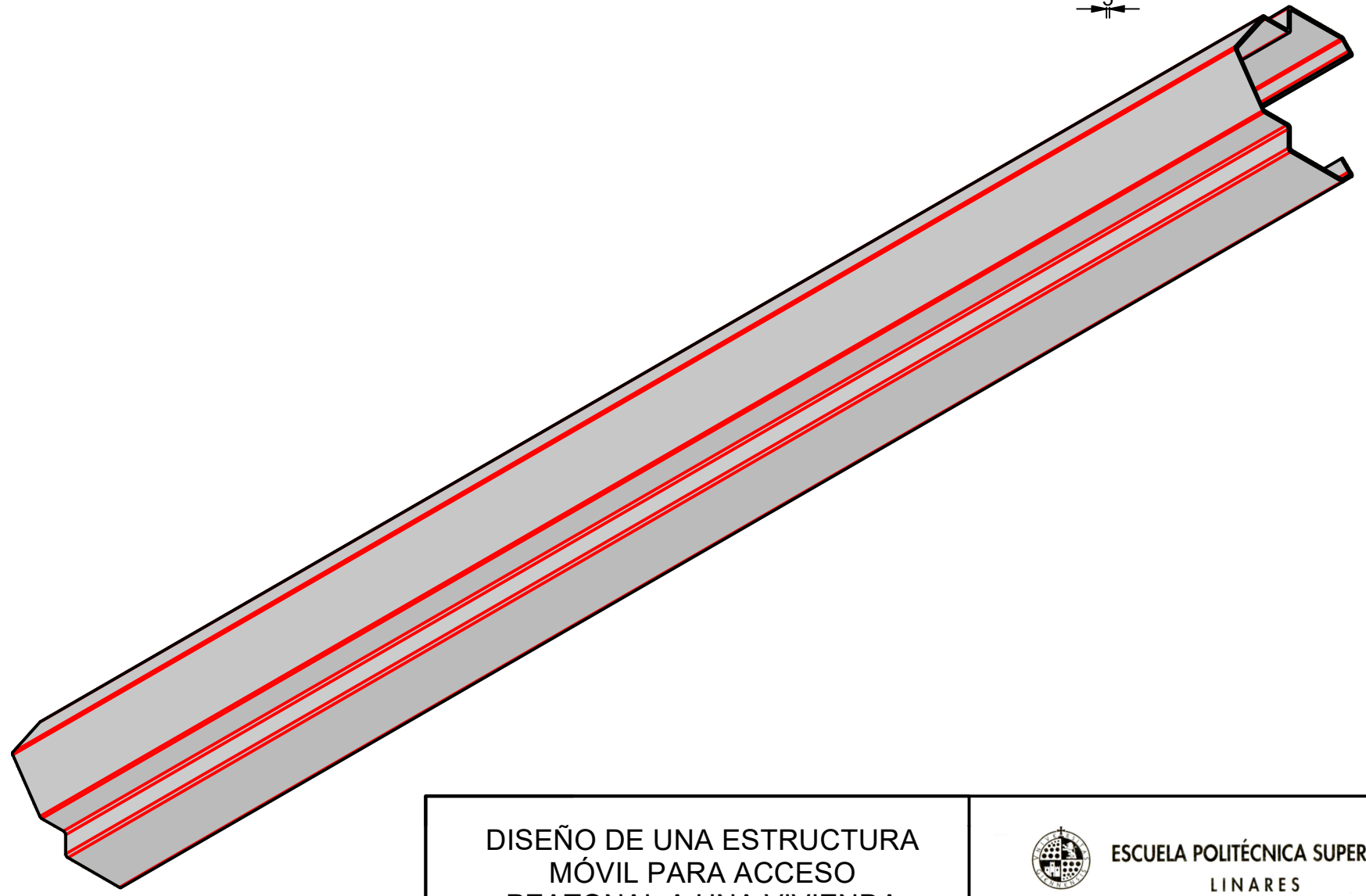
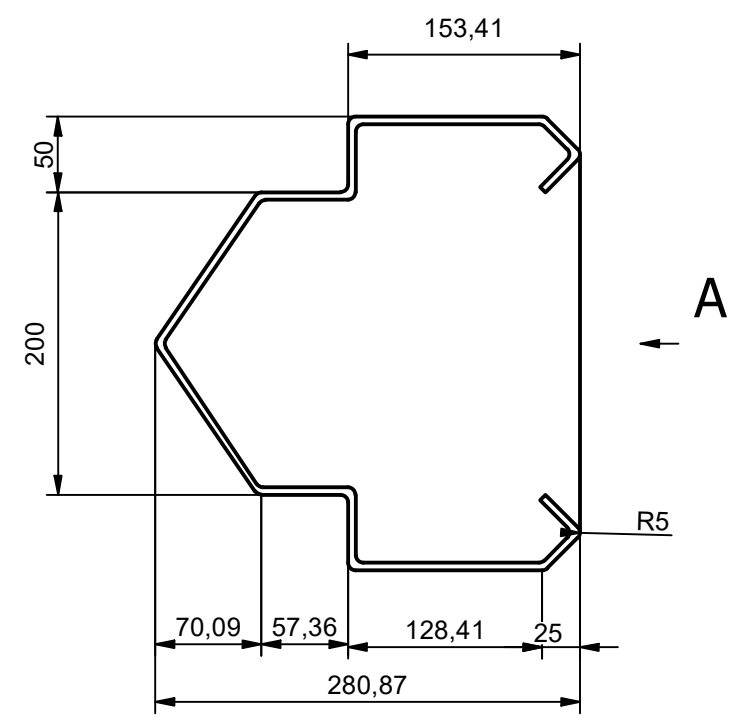
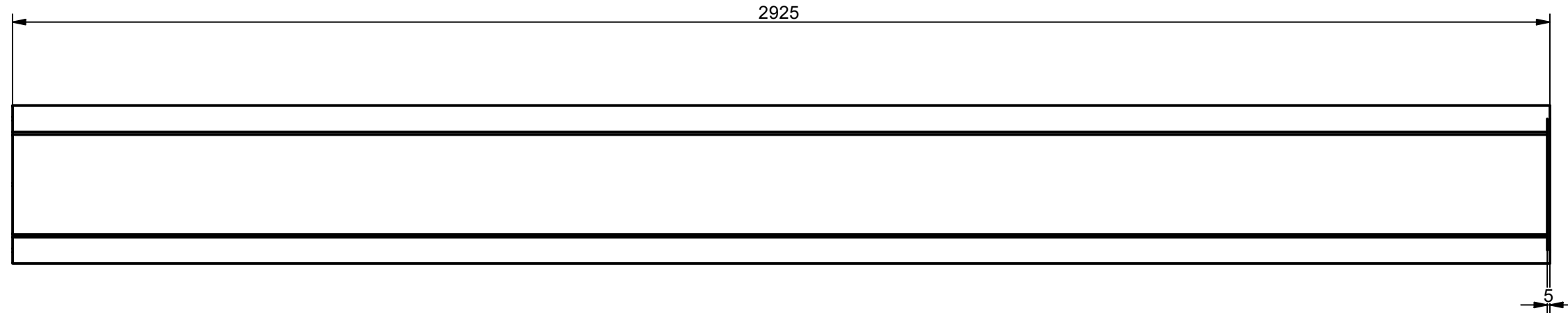


Figura 0.1. Plancha metálica

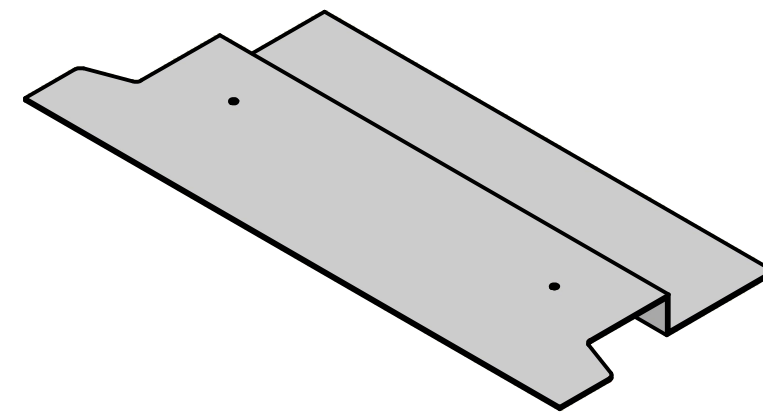
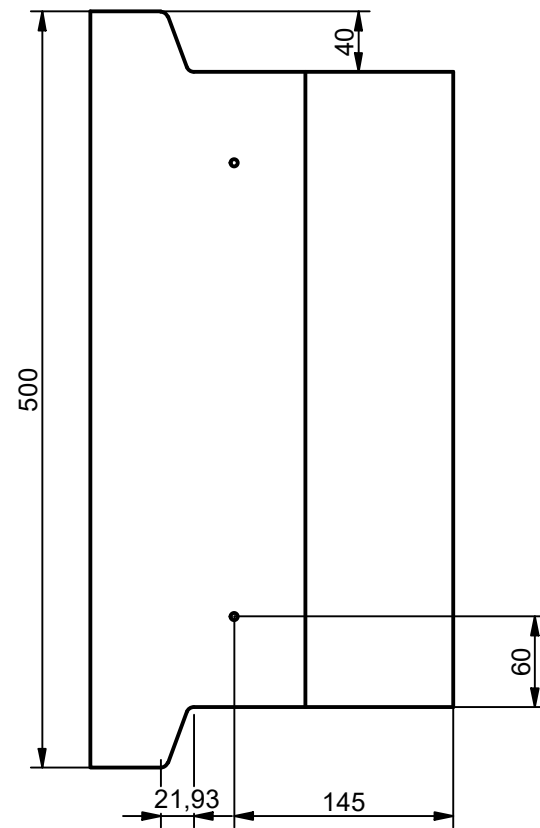
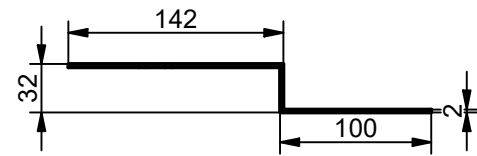
Como se muestra en la imagen, la plancha metálica tiene la función de proteger a la cadena de transmisión, y tiene un chaflán desde el suelo hasta la parte superior del perfil metálico, de forma que hace más fácil el paso de las ruedas de los vehículos por encima del perfil.


## ANEXO IX: PLANOS

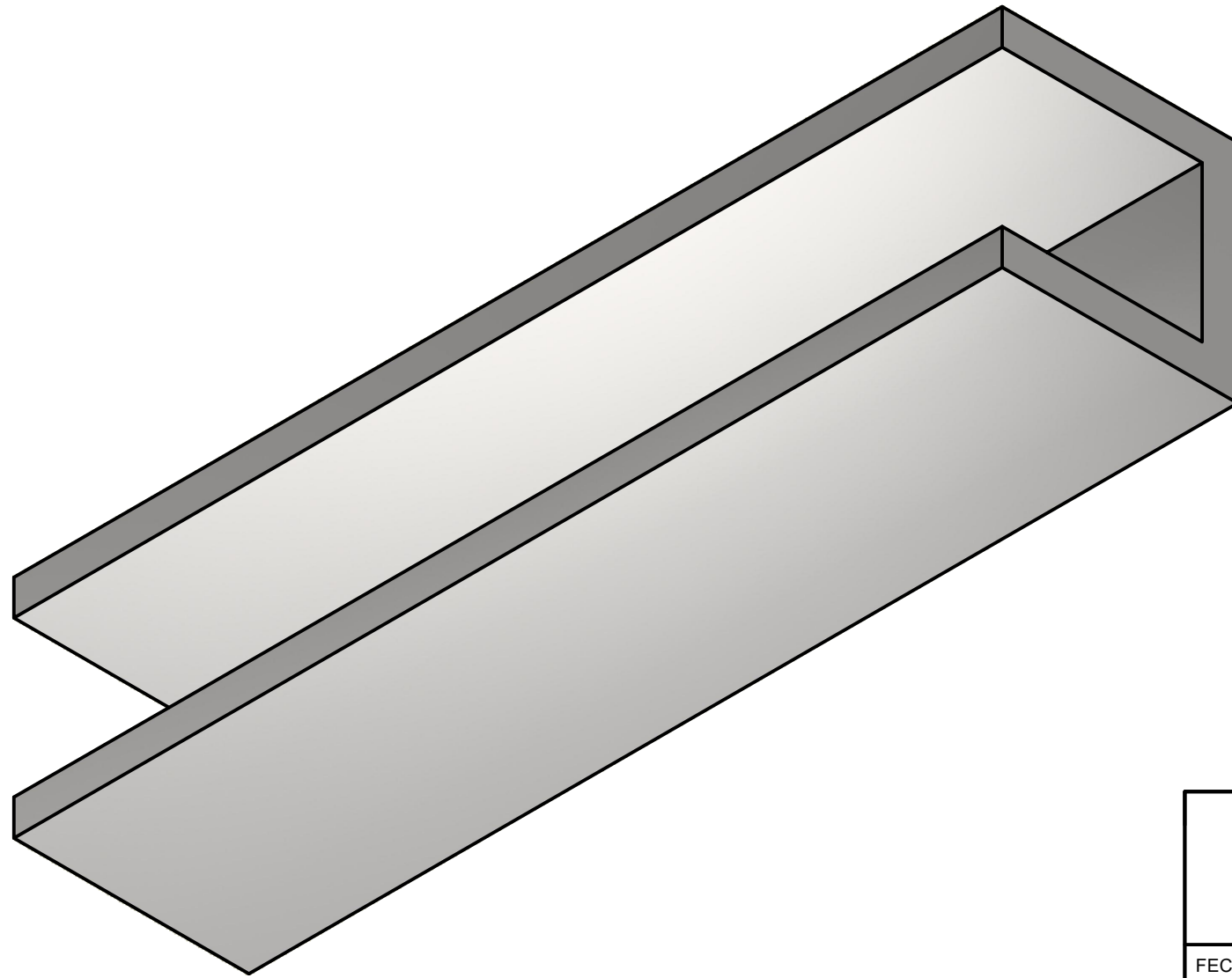
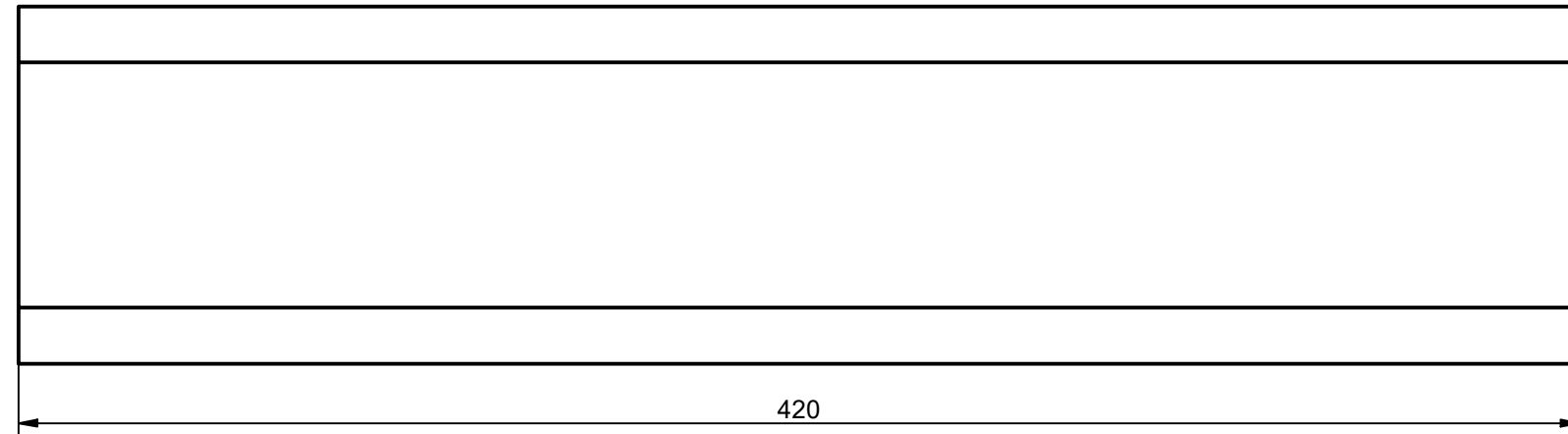
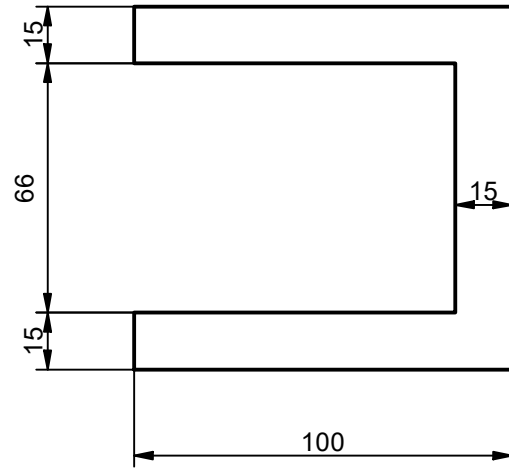
# A-A (1:2)



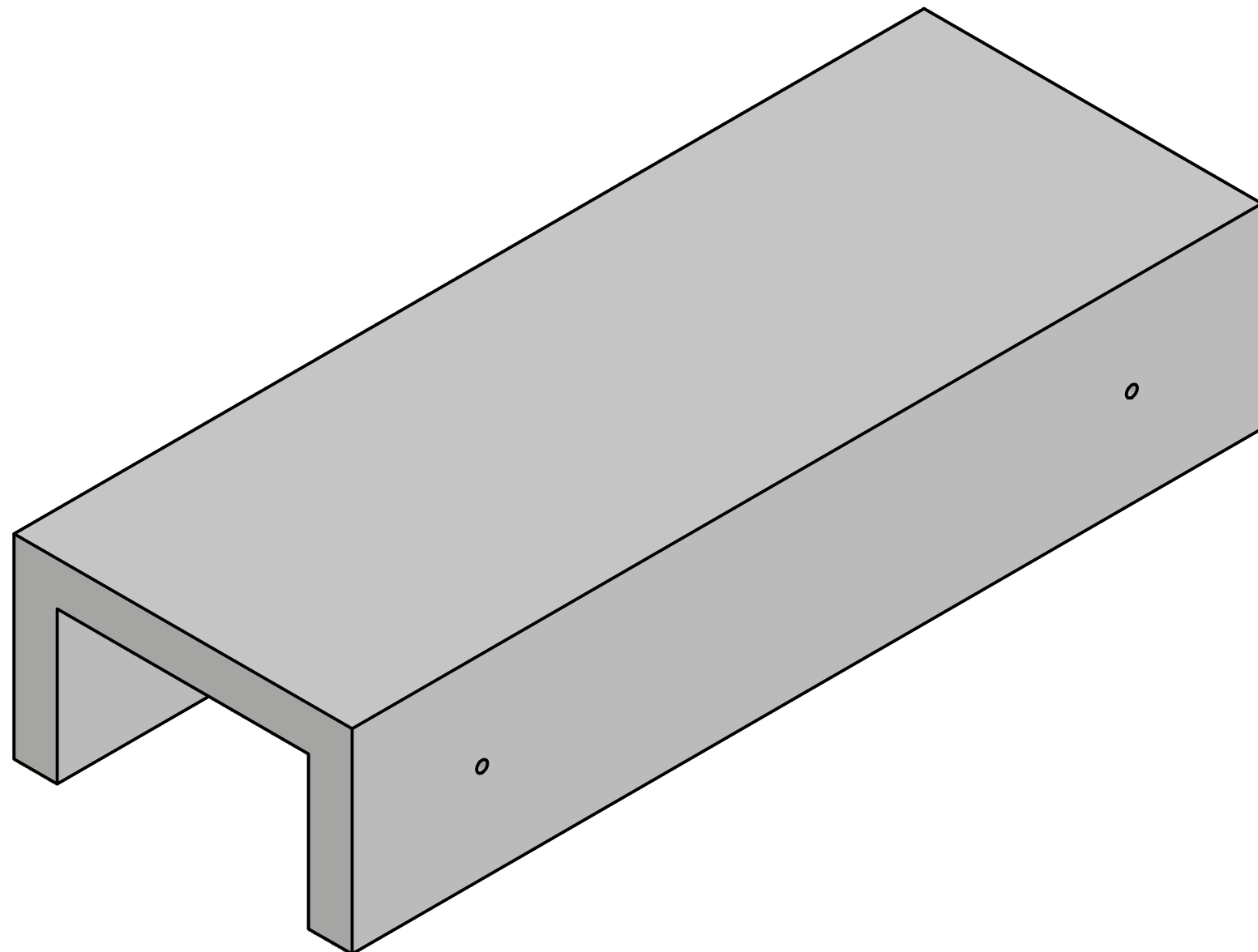
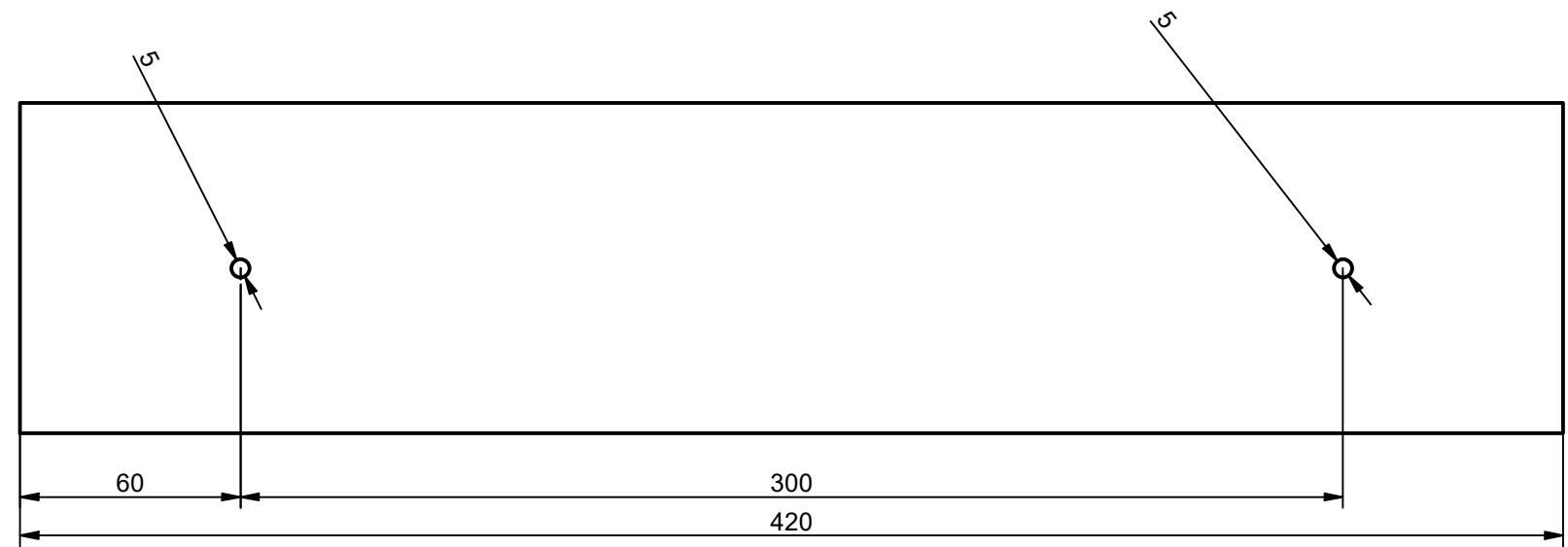
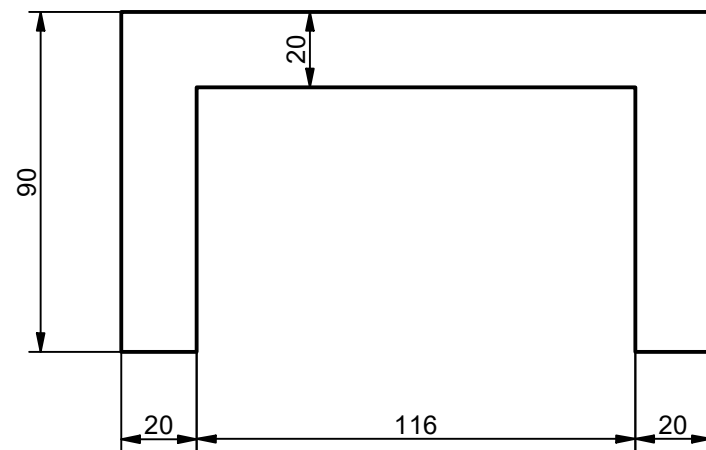
<b>DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA MÓVIL PARA ACCESO PEATONAL A UNA VIVIENDA</b>		 <b>ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES</b> <small>UNIVERSIDAD DE JAÉN</small>
FECHA <b>23/07/2022</b>	APELLIDOS, NOMBRE: Robles García, Carlos	FIRMA <b>C.R.G.</b>
ESCALA <b>1:5</b>	<b>Columna</b>	Nº DE PLANO <b>1 / 7</b>



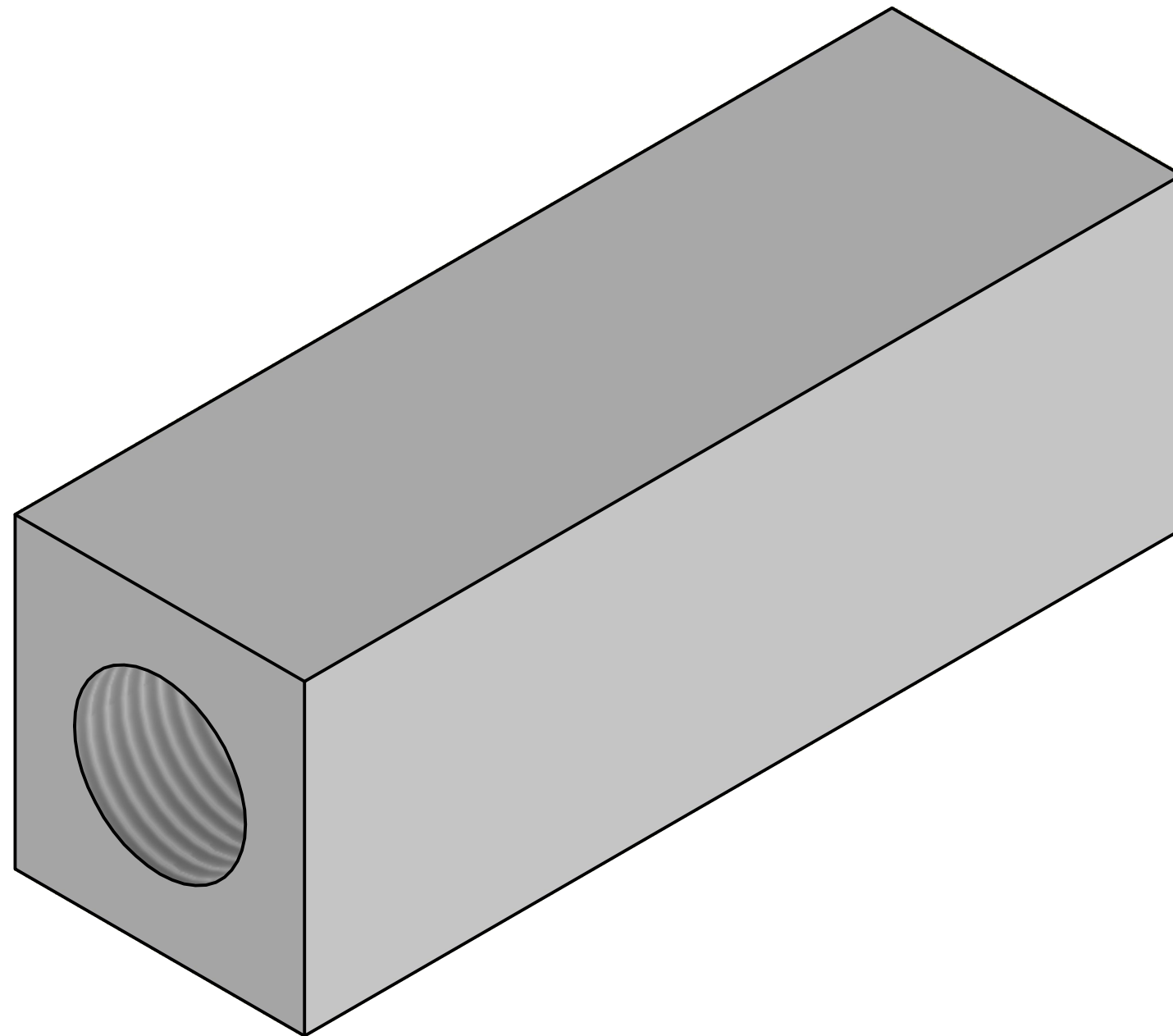
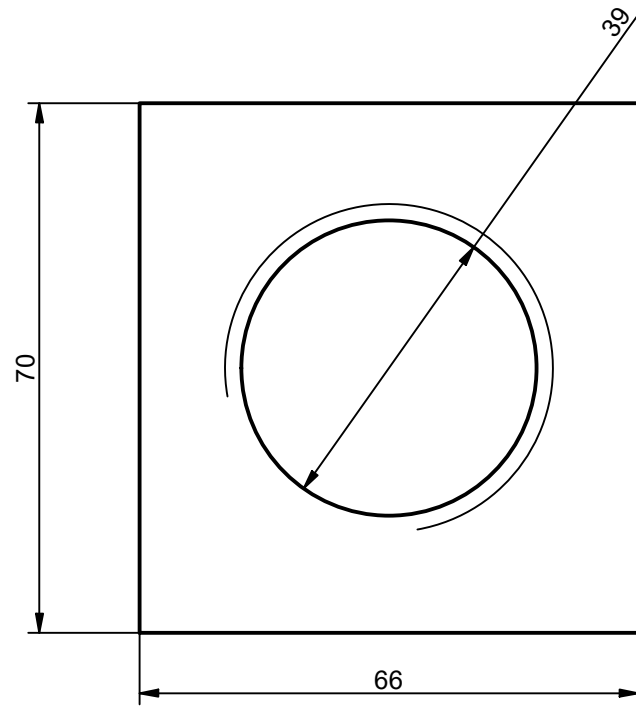
<p align="center"><b>DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA MÓVIL PARA ACCESO PEATONAL A UNA VIVIENDA</b></p>		 <b>ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES</b> <small>UNIVERSIDAD DE JAÉN</small>
FECHA <b>23/07/2022</b>	APELLIDOS, NOMBRE: Robles García, Carlos	FIRMA <b>C.R.G.</b>
ESCALA <b>1:5</b>	<b>Lateral</b>	Nº DE PLANO <b>2 / 7</b>



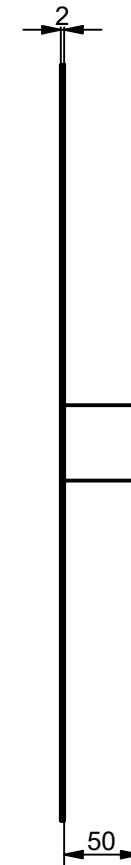
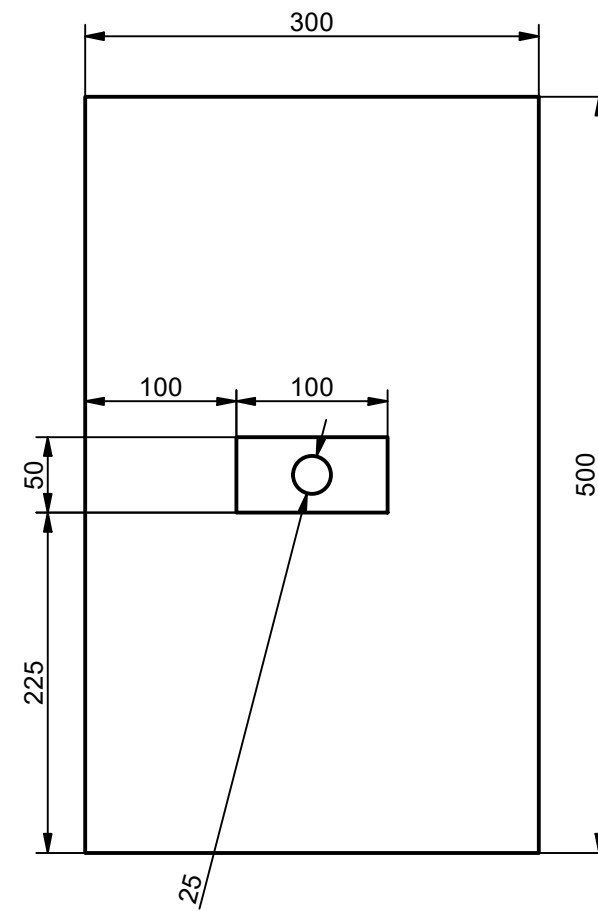
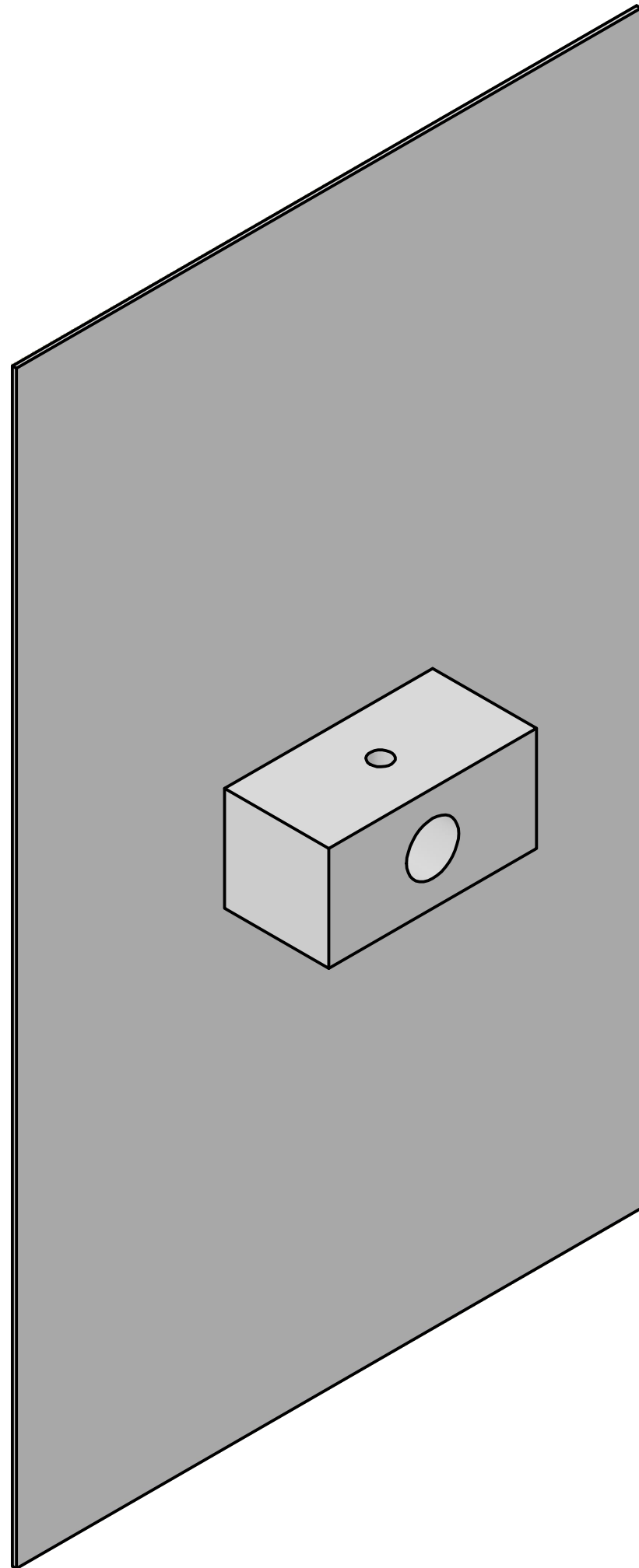
<b>DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA MÓVIL PARA ACCESO PEATONAL A UNA VIVIENDA</b>		 <b>ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES</b> <small>UNIVERSIDAD DE JAÉN</small>
<small>FECHA</small> <b>23/07/2022</b>	<small>APELLIDOS, NOMBRE:</small> Robles García, Carlos	<small>FIRMA</small> <b>C.R.G.</b>
<small>ESCALA</small> <b>1:2</b>	<b>Soporte pieza roscada</b>	<small>Nº DE PLANO</small> <b>3 / 7</b>



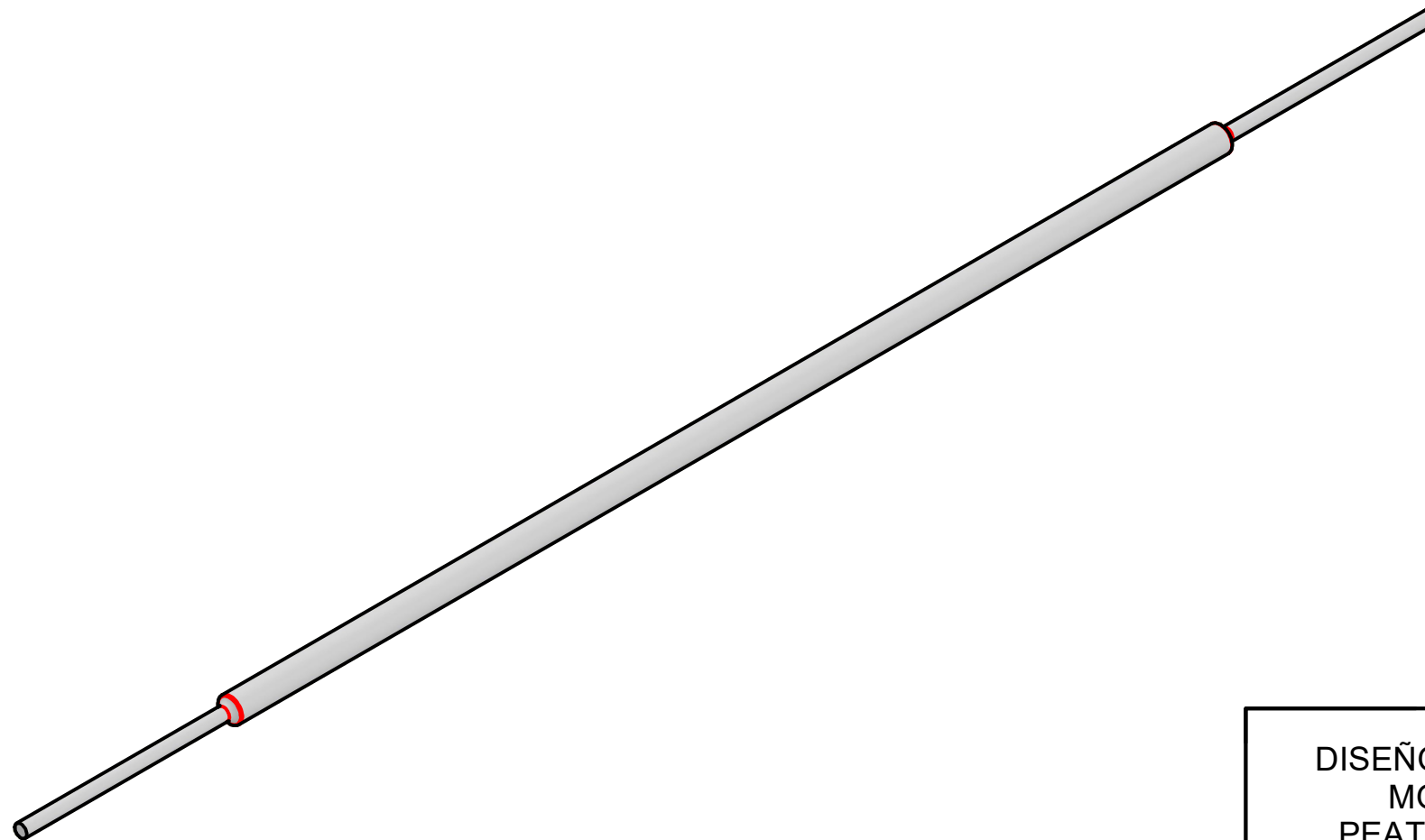
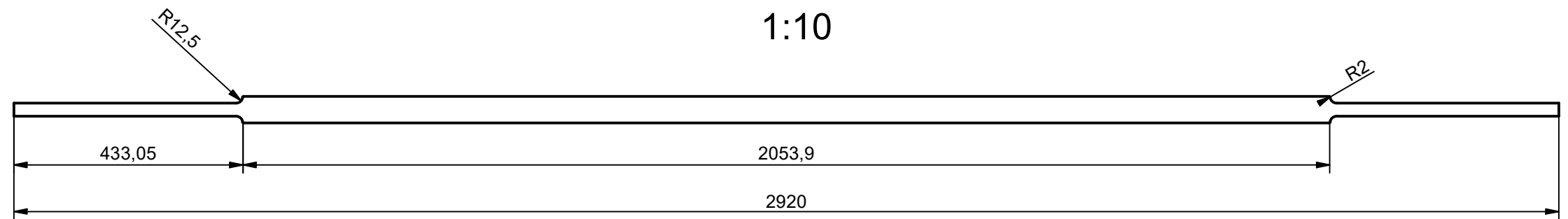
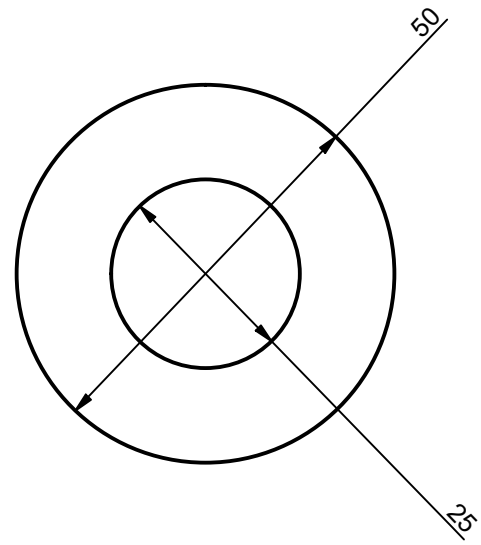
<b>DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA MÓVIL PARA ACCESO PEATONAL A UNA VIVIENDA</b>		 <b>ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES</b> <small>UNIVERSIDAD DE JAÉN</small>
<small>FECHA</small> <b>23/07/2022</b>	<small>APELLIDOS, NOMBRE:</small> Robles García, Carlos	<small>FIRMA</small> <b>C.R.G.</b>
<small>ESCALA</small> <b>1:2</b>	<b>Refuerzo interior bulones</b>	<small>Nº DE PLANO</small> <b>4 / 7</b>



<p>DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA MÓVIL PARA ACCESO PEATONAL A UNA VIVIENDA</p>		 <p>ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES</p> <p>UNIVERSIDAD DE JAÉN</p>
<p>FECHA 23/07/2022</p>	<p>APELLIDOS, NOMBRE: Robles García, Carlos</p>	<p>FIRMA C.R.G.</p>
<p>ESCALA 1:1</p>	<p>Soporte tornillo de potencia</p>	<p>Nº DE PLANO 5 / 7</p>



<b>DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA MÓVIL PARA ACCESO PEATONAL A UNA VIVIENDA</b>		 <b>ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES</b> <small>UNIVERSIDAD DE JAÉN</small>
<small>FECHA</small> <b>23/07/2022</b>	<small>APELLIDOS, NOMBRE:</small> Robles García, Carlos	<small>FIRMA</small> <b>C.R.G.</b>
<small>ESCALA</small> <b>1:5</b>	<b>Soporte de eje inferior</b>	<small>Nº DE PLANO</small> <b>6 / 7</b>



<p>DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA MÓVIL PARA ACCESO PEATONAL A UNA VIVIENDA</p>		 <p>ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES</p> <p>UNIVERSIDAD DE JAÉN</p>
<p>FECHA 23/07/2022</p>	<p>APELLIDOS, NOMBRE: Robles García, Carlos</p>	<p>FIRMA C.R.G.</p>
<p>ESCALA 1:1</p>	<p>Eje inferior</p>	<p>Nº DE PLANO 7 / 7</p>