



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Análisis y diseño de un ascensor residencial de 8 personas
y 7 plantas.

Analysis and design of a residential lift for 8 people and 7
floors.

MEMORIA

Autor

D. Ignacio Sánchez Francisco

Director

D. Javier Abad Blasco

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
Año 2018





Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

TRABAJOS DE FIN DE GRADO / FIN DE MÁSTER

D./D^{ña}. Ignacio Sánchez Francisco,

con nº de DNI 73134272-E en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster) Grado en Ingeniería Mecánica, (Título del Trabajo) Análisis y diseño de un ascensor residencial de 8 personas y 7 plantas.

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 30 Enero 2018

Fdo: Ignacio Sánchez Francisco



ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN ASCENSOR RESIDENCIAL PARA 8 PERSONAS Y 7 PLANTAS.

RESUMEN

Los ascensores constituyen en la actualidad el medio de transporte de personas y cargas más usado y más seguro de todos los existentes. Un ascensor se define como un sistema de transporte vertical diseñado para desplazar de forma eficiente a personas y cargas entre distintos niveles tanto en edificios como en construcciones subterráneas.

El presente proyecto se basa en el diseño de un ascensor de un edificio residencial de 7 plantas con capacidad para 8 personas y accesible para personas con movilidad reducida. Partiendo de estas características y teniendo en cuenta las condiciones normativas correspondientes, se han planteado diferentes configuraciones hasta adoptar una solución final eficiente y acorde a la normativa.

El diseño incluye la selección de los principales componentes de los sistemas de tracción, suspensión, dispositivos de seguridad y guías así como el diseño de las dimensiones necesarias en el hueco del edificio para la correcta instalación del ascensor en estudio. Finalmente se ha realizado un análisis generalizado del bastidor de cabina con el fin de conocer los esfuerzos a los que está sometido bajo diferentes condiciones de carga.

El resultado final supone el diseño de un ascensor residencial con unas prestaciones óptimas de confort, consumo energético y aprovechamiento del espacio.



INDICE GENERAL

<u>CAPÍTULO 1: RESUMEN, OBJETIVOS Y ALCANCE</u>	7
1.1. RESUMEN.....	7
1.2. OBJETIVOS.....	7
1.3. ALCANCE.....	8
<u>CAPÍTULO 2: EL ASCENSOR COMO MEDIO DE TRANSPORTE</u>	9
2.1. TIPOS DE ASCENSORES.....	10
2.2. NORMATIVA APLICABLE.....	11
<u>CAPÍTULO 3: PROCESO DE DISEÑO Y SOLUCIÓN ADOPTADA</u>	12
<u>CAPITULO 4: DISEÑO MECÁNICO DEL ASCENSOR</u>	14
4.1. CABINA Y CONTRAPESO.....	14
4.1.2. Dimensionado de contrapeso.....	15
4.2. SISTEMA DE SUSPENSIÓN.....	16
4.2.1. Selección del tipo de suspensión.....	16
4.2.2. Evaluación del coeficiente de seguridad.....	17
4.2.3. Evaluación de adherencia.....	18
4.2.3.1. Condiciones de carga en cabina.....	18
4.2.3.2. Condición de frenado de emergencia.....	19
4.2.3.2.1. Cabina con carga nominal y en situación de descenso.....	19
4.2.3.2.2. Cabina vacía y en situación de ascenso:.....	19
4.2.3.3. Condición de cabina/contrapeso retenidos.....	20
4.3. SISTEMA DE TRACCIÓN.....	20
4.3.1. Selección de motor.....	21
4.3.2. Selección de freno.....	22
4.3.2.1. Sentido descendente a velocidad nominal y carga nominal.....	23
4.3.2.2. Sentido ascendente a velocidad nominal y sin carga.....	23
4.4. LIMITADOR DE VELOCIDAD Y PARACAÍDAS.....	24
4.4.1. Selección del limitador de velocidad.....	25
4.4.2. Selección del paracaídas.....	25
4.5. AMORTIGUADORES DE FOSO.....	26
4.6. GUÍAS DE CABINA Y CONTRAPESO.....	27
4.6.1. Guías de cabina.....	27
4.6.2. Guías de contrapeso.....	28



4.7. HUECO DEL ASCENSOR.....	29
4.7.1. Hueco.....	30
4.7.2. Foso.....	30
4.7.3. Huida.....	30
4.8. ANÁLISIS DE BASTIDOR.....	31
4.8.1. Fase 1: Obtención de las tensiones máximas en cada uno de los componentes bajo la condición de carga de funcionamiento normal.....	31
4.8.2. Fase 2: Diseño de los perfiles necesarios en cada uno de los componentes.....	33
4.8.3. Fase 3: Comprobación de resultados a través del programa SolidWorks y optimización del diseño.....	34
4.8.4. Fase 4: Comprobación de validez de dicho diseño bajo la condición de carga de la actuación de los amortiguadores a través del programa SolidWorks.....	36
CONCLUSIONES.....	37
BIBLIOGRAFÍA.....	38
Bibliografía de consulta.....	38
Normativa aplicada.....	38
Biblioteca de catálogos.....	39
Programas empleados.....	39

CAPÍTULO 1: RESUMEN, OBJETIVOS Y ALCANCE

1.1. RESUMEN.

Los ascensores constituyen en la actualidad el medio de transporte de personas y cargas más usado y más seguro de todos los existentes. Un ascensor se define como un sistema de transporte vertical diseñado para desplazar de forma eficiente a personas y cargas entre distintos niveles tanto en edificios como en construcciones subterráneas.

El presente proyecto se basa en el diseño de un ascensor de un edificio residencial de 7 plantas con capacidad para 8 personas y accesible para personas con movilidad reducida. Partiendo de estas características y teniendo en cuenta las condiciones normativas correspondientes, se han planteado diferentes configuraciones hasta adoptar una solución final eficiente y acorde a la normativa.

El diseño incluye la selección de los principales componentes de los sistemas de tracción, suspensión, dispositivos de seguridad y guías así como el diseño de las dimensiones necesarias en el hueco del edificio para la correcta instalación del ascensor en estudio. Finalmente se ha realizado un análisis generalizado del bastidor de cabina con el fin de conocer los esfuerzos a los que está sometido bajo diferentes condiciones de carga.

El resultado final supone el diseño de un ascensor residencial con unas prestaciones óptimas de confort, consumo energético y aprovechamiento del espacio.

1.2. OBJETIVOS.

El objetivo de este proyecto consiste en realizar el diseño mecánico de un ascensor de nueva instalación para un edificio residencial de características habituales. En base a este principio, se ha buscado la mejor solución bajo los siguientes fundamentos.

- Permitir el acceso a personas con movilidad reducida.
- Ajustar el espacio de cabina a las características del edificio.
- Optimizar el espacio necesario para el sistema completo.
- Obtener un aprovechamiento energético eficiente.
- Garantizar la seguridad en uso normal y mantenimiento.

Así mismo, mediante la realización del proyecto se busca aplicar, afianzar y ampliar los conocimientos adquiridos durante la realización del grado de las técnicas de CAD y CAE puesto que actualmente todos los procesos de diseño en el ámbito de la ingeniería se apoyan en dichos sistemas computacionales.

La realización del presente proyecto también busca el conocimiento de un sistema de transporte enormemente extendido y del que generalmente se conoce poco acerca de su funcionamiento a día de hoy.



1.3. ALCANCE.

El presente proyecto se centra en el ámbito de la ingeniería mecánica en lo que se refiere al diseño mecánico y desarrollo de los diferentes planos del ascensor en estudio. En él se incluye como documento principal una memoria que recoge las principales características de los diferentes tipos de ascensores existentes en el mercado, así como resumen de los diferentes procedimientos, conclusiones y cálculos necesarios para la selección de las características y componentes que conforman el sistema de elevación planteado.

Como documentos adicionales se incluyen tres anexos con información adicional necesaria para la realización del presente proyecto:

- Anexo A: Desarrollo del proceso de selección y diseño: Incluye el desarrollo de los criterios y cálculos necesarios para la selección de los diferentes componentes del ascensor así como el desarrollo del análisis generalizado del bastidor mediante SolidWorks.

- Anexo B: Representaciones gráficas: Se incluyen diferentes planos referentes a las dimensiones necesarias en el hueco del ascensor para su correcta instalación y funcionamiento. No suponen un resultado definitivo de la instalación; su propósito se basa en ilustrar las dimensiones necesarias en base a los componentes planteados.

- Anexo C: Catálogos comerciales: Incluye los catálogos comerciales empleados para la selección de los diferentes componentes instalados en el sistema de elevación planteado.



CAPÍTULO 2: EL ASCENSOR COMO MEDIO DE TRANSPORTE

Un ascensor se define como un medio de transporte vertical para personas y cargas en edificios o construcciones subterráneas compuesto por sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos. En la actualidad, los ascensores y en general el transporte vertical, se posiciona como el medio de transporte más empleado además de consolidarse como el más seguro del mundo.

En términos de innovación, el mercado del transporte vertical se dirige hacia una revolución de igual forma que está sucediendo actualmente con otros medios de transporte como el automovilístico. Las tendencias sugieren que en unos años se contará con ascensores inteligentes, con nuevos sistemas de seguridad, guiados por imanes en vez de cables de forma que reduzcan su consumo energético, varias cabinas sobre un mismo eje o ascensores multidireccionales incrementando de este modo la capacidad de transporte de los ascensores.



Figura 1: Ascensor multidireccional.

[Fuente: <https://www.20minutos.es/noticia/2598046/0/ascensor-futuro/sin-cables/multi/>]



2.1. TIPOS DE ASCENSORES.

El sector de la elevación comprende principalmente dos tipos claramente diferenciados de ascensores en función del tipo de accionamiento mecánico que presentan.

- **Ascensor hidráulico:** Este tipo de ascensor se caracteriza por ser impulsado por un grupo hidráulico conectado directamente con la cabina o a través de poleas y cables mecánicos. Su funcionamiento se basa en un cilindro-pistón en el que se introduce aceite hidráulico a una determinada presión con el objetivo de elevar la cabina. De igual forma que en el caso anterior, se presentan diferentes sistemas de seguridad así como configuraciones diferenciadas principalmente por el tipo de tiro el cual puede ser directo o indirecto.

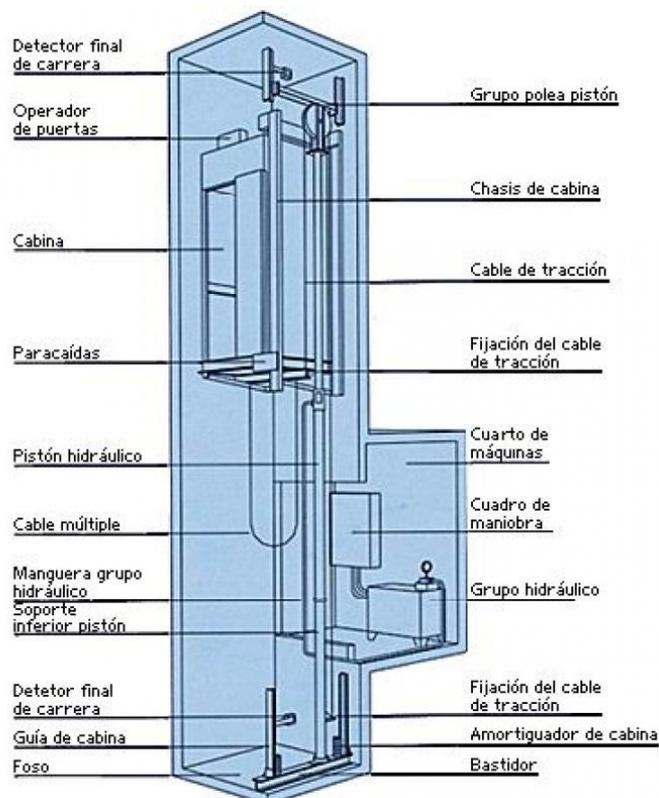


Figura 2: Componentes ascensor hidráulico.

[Fuente: <http://www.catalanaelevadors.com/es/ascensor-hidraulic-2-2/>]

- **Ascensor eléctrico:** Este tipo de ascensores presenta una fuente de energía a través de un motor eléctrico junto con un sistema de suspensión basado en poleas y un contrapeso que favorece la adherencia de los cables de tracción así como un ahorro de energía en el sistema. Así mismo, dispone de diversos sistemas de seguridad para asegurar la fiabilidad del ascensor. Este tipo de ascensores presenta diferentes configuraciones en función del tipo de accionamiento, tipo de motor, suspensión o la ubicación del sistema de tracción.

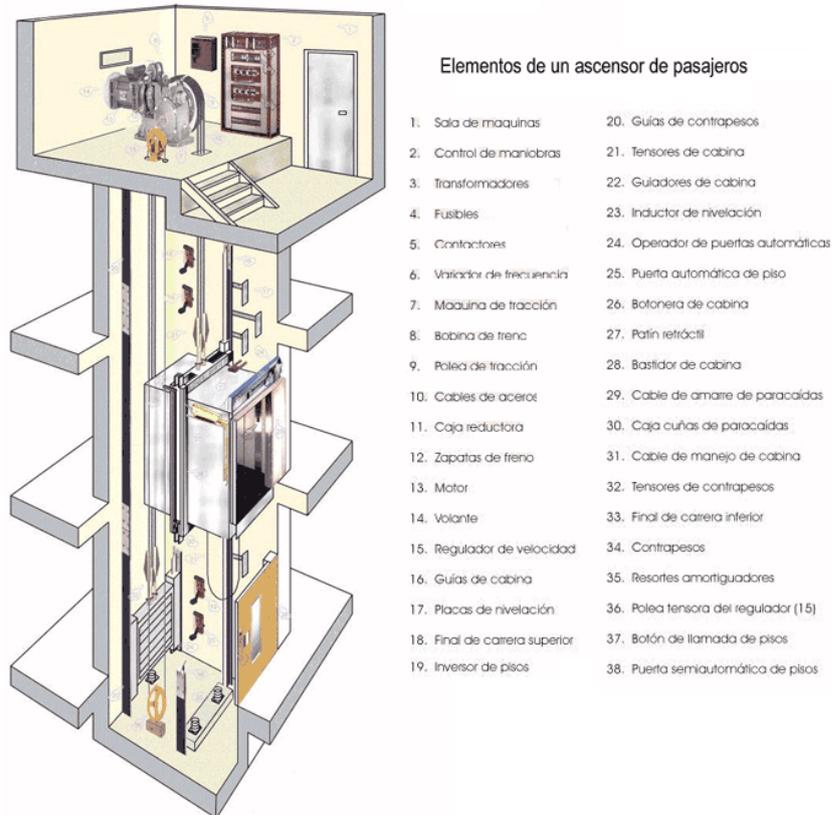


Figura 2: Elementos de un ascensor eléctrico. [1.4]

2.2. NORMATIVA APLICABLE.

Los sistemas de elevación a los que hace referencia el presente proyecto están sometidos a un conjunto de disposiciones legislativas y normativas que buscan garantizar la seguridad de los usuarios y la libre circulación de los productos en el mercado europeo. En cuanto a disposiciones legislativas la Directiva 2014/33/UE establece las bases en cuanto a diseño y fabricación de los ascensores y sus componentes de seguridad en base a requisitos de seguridad y salud. Así mismo, las normativas EN 81-20, EN 81-50 establecen criterios de diseño, fabricación y homologación de los diferentes componentes con el fin de facilitar el cumplimiento de las disposiciones legislativas. Existen diversas normativas adicionales referentes a diversos aspectos tales como la accesibilidad para personas con movilidad reducida EN 81-70.



CAPÍTULO 3: PROCESO DE DISEÑO Y SOLUCIÓN ADOPTADA

El proceso de diseño del ascensor en estudio parte de unas características básicas de las que se desea dotar al sistema. Para el presente caso, se busca realizar un ascensor para un edificio residencial de tamaño medio.

De esta forma, el recorrido del ascensor se establece en 21 metros considerando un edificio residencial de 7 plantas. Este criterio plantea el primer punto de selección en el proyecto, siendo necesaria la instalación de un ascensor de tipo eléctrico dado el recorrido establecido. Además, se va a plantear una configuración global sin cuarto de máquinas en el que todos los componentes se instalan dentro del hueco, minimizando de esta forma espacio requerido.

Una vez determinado el tipo de ascensor que se va a instalar, el proceso de diseño del resto de características del ascensor planteado sigue las siguientes etapas:

- Dimensionado de cabina y contrapeso: Se basa en especificar las dimensiones de cabina, así como la carga nominal máxima junto con la masa del contrapeso instalado.
- Diseño del sistema de suspensión: Selección de los cables de tracción y poleas de tracción y desvío en el caso de ser necesarias a partir de las condiciones establecidas en las Normas EN 81-20 y EN 81-50.
- Diseño del sistema de tracción: Selección del tipo de motor de tracción y freno mecánico más adecuado además de su selección a partir de catálogos comerciales.
- Selección del limitador de velocidad, paracaídas y amortiguadores: Su selección en catálogos comerciales se realizara de acuerdo a los criterios normativos establecidos.
- Selección de guías de cabina y contrapeso: A partir de las condiciones y cálculos establecidos en la normativa vigente, se seleccionarán los tipos de guías más adecuados tanto para el sistema de cabina como de contrapeso.
- Dimensionado del hueco del ascensor: Se fijarán unas dimensiones mínimas necesarias en el edificio para la instalación de todo el sistema de elevación planteado.

El diseño de un ascensor requiere una visión global en la que cada uno de los componentes tiene influencia sobre el resto, siendo de esta forma un proceso iterativo hasta obtener un diseño en el que todos los componentes cumplen las características especificadas; de esta forma el presente proyecto ha requerido numerosos cambios de componentes y de fases de diseño dada la inexperiencia personal en este campo de la ingeniería. Así mismo, durante este proceso de diseño se han aplicado modificaciones como la instalación del sistema de tracción sobre las guías de contrapeso con el propósito de reducir dimensiones de hueco, o el cambio de configuración de la suspensión de cabina, reemplazando una configuración de poleas superiores por una configuración de poleas inferiores por motivos de confort en cabina.



Una vez obtenido un diseño acorde a todas las características establecidas, se ha plasmado en el presente documento una sucesión de etapas que se considera la más adecuada para seguir un proceso de diseño lo más continuo posible. Así mismo, el presente proyecto únicamente incluye los cálculos correspondientes a los componentes finales que conforman el sistema, siendo una justificación de la validez de dichos componentes.

Por último, tal y como se ha comentado, se va a realizar un análisis generalizado del bastidor con el fin de conocer los esfuerzos principales a los que está sometido, el presente proyecto incluye el análisis bajo funcionamiento normal e impacto contra amortiguadores de foso.

Tras la finalización del proyecto, las características principales que presenta el sistema de elevación planteado son las siguientes:

Características principales	
Tipo	Eléctrico SCM (Sin cuarto de máquinas)
Recorrido y N° de paradas	21 m (7 paradas)
Carga nominal y N° de personas	630 Kg (8 personas)
Velocidad nominal	1 m/s
Dimensiones hueco (Foso /Huida)	22.85m (1350mm/3500mm)
Características especiales	- Accesible a personas con movilidad reducida. - Sistema de tracción sobre guías de contrapeso

Tabla 1: Características principales.

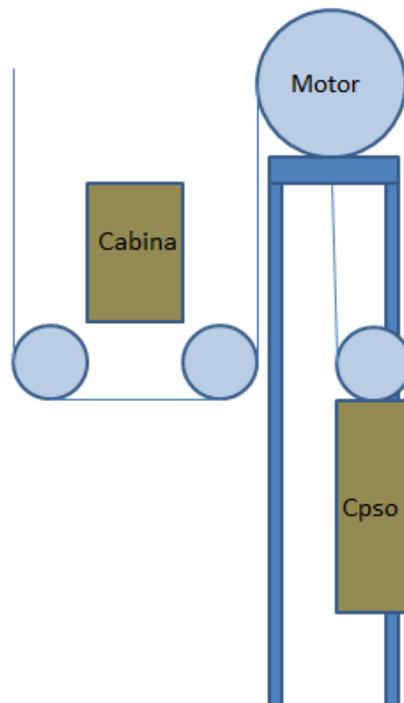


Figura 4: Esquema de configuración.

CAPITULO 4: DISEÑO MECÁNICO DEL ASCENSOR

El presente capítulo describe el desarrollo realizado para el diseño y selección de los principales componentes mecánicos de los que está compuesto el sistema de elevación planteado, así como las principales condiciones establecidas por la normativa vigente. El Anexo A incluye un mayor desarrollo de los cálculos realizados para cada uno de los siguientes apartados.

4.1. CABINA Y CONTRAPESO.

4.1.1. Dimensionado de cabina.

La cabina se define como el espacio cerrado destinado a alojar y transportar a pasajeros y cargas durante el trayecto. Este componente se sitúa encajado en un chasis o pórtico que soporta el peso de la cabina permitiendo el desplazamiento vertical de este a través de las poleas o cilindros en el caso de ascensores hidráulicos. Así mismo, incluye diversos componentes como sistemas de seguridad, puntos de sustentación, deslizaderas o componentes electrónicos que no se incluyen en el presente proyecto.

Tal y como se ha comentado en el Capítulo 3, las características del sistema deben permitir el acceso a personas con movilidad reducida ya que su diseño está planteado para un uso público en un edificio residencial. De esta forma, las dimensiones de la cabina y su acceso deben realizarse acordes a la Norma EN 81-20/50 y EN 81-70.

En primer lugar y de acuerdo a la Norma EN 81-70 se establece accesibilidad para una persona con silla de ruedas manual y un acompañante permitiendo de esta forma el uso a personas con condiciones especiales sin incrementar excesivamente las características del sistema. Esta condición establece unas dimensiones de cabina mínimas así como una carga nominal mínima de 630Kg, la cual se adopta como valor definitivo para el sistema planteado. [Tabla 1 EN 81-70].

A continuación, en base a la Norma EN 81-20 se establecen las dimensiones de cabina y la capacidad en Nº de personas de la misma. Según las especificaciones de la norma EN 81-20, la superficie máxima para la carga nominal establecida es de 1.66 m².

De esta forma, se fija una superficie de 1.65m² distribuidos en un área de 1100mm de ancho y 1500mm de fondo. De acuerdo a estas características y a las condiciones normativas, el número máximo de personas que permite transportar en un trayecto se limita a 8.

Además de la superficie de cabina, se establece una altura libre de cabina de 2200mm cumpliendo de esta forma el requisito establecido en el artículo 5.4.1 EN 81-20. Así mismo, la Normativa de accesibilidad establece una anchura mínima de acceso (puertas de piso y cabina) en función del tipo de ascensor, siendo para el caso en estudio una anchura mínima de 900mm [art 5.2.1 EN 81-70]; valor que se establecerá para el diseño en desarrollo.

De esta forma, el ascensor planteado presenta unas características suficientes para un edificio residencial de 7 plantas de forma que se validan los parámetros propuestos.

Características cabina	
Capacidad/ N° Personas	630 Kg/8 Personas
Superficie útil	1.65 m ²
Ancho/ Fondo	1100 mm/1500 mm
Altura	2200 mm
Anchura puerta	900 mm

Tabla 2: Características cabina.

4.1.2. Dimensionado de contrapeso.

El contrapeso se define como un elemento del ascensor que asegura la tracción en ascensores de tipo eléctrico, el cual presenta un desplazamiento inverso al de la cabina. De igual forma que para la cabina del ascensor, el contrapeso incluye diferentes componentes como puntos de sustentación, deslizaderas, paracaídas y amortiguadores de foso. La normativa vigente establece el contrapeso en el mismo hueco que la cabina además de estar guiado en todo su recorrido. [art. 5.2.5.1.2, 5.7.1.1 EN 81-20]

El contrapeso también sirve como un sistema de ahorro de energía; la práctica habitual se basa en establecer una masa de contrapeso equivalente al peso de la cabina más el 50% de la carga nominal admisible por el ascensor, de forma que se reduce la carga que debe elevar el grupo tractor, y en consecuencia, reduce la potencia necesaria en el motor, el consumo eléctrico, y el coste económico tanto de compra como de uso.

En consecuencia, para el ascensor en estudio, la masa del contrapeso debe ser:

$$Q_{cabina} = 950Kg \quad Q_n = 630Kg$$

$$P = Q_{cabina} + \frac{Q_n}{2} = 1265Kg \quad [ec. 1]$$

El peso de la cabina corresponde al conjunto de la cabina junto con el bastidor que la soporta. Dicho valor se ha estimado en base a diferentes pedidos de la empresa MP Ascensores con unas características similares al ascensor en estudio.

Las dimensiones del contrapeso se incluyen en el Anexo B. Para dichas dimensiones, se ha seguido el criterio de establecer las mayores dimensiones posibles. Este criterio se sigue puesto que se requerirán pesas con una menor densidad y por consiguiente un menor coste para el propietario.

El sistema de contrapeso no incluye medios de compensación puesto que dadas las dimensiones del recorrido, la masa de los cables de tracción puede considerarse como una carga más sin tener grandes efectos sobre el sistema total. En caso contrario, sería necesaria la instalación de una cadena entre la parte inferior de cabina y contrapeso para contrarrestar el peso de los cables de tracción.

4.2. SISTEMA DE SUSPENSIÓN.

El sistema de suspensión se compone por aquellos elementos que permiten el movimiento tanto de cabina como contrapeso gracias a la energía proporcionada por el sistema de tracción. En este caso se tienen en consideración cables de tracción y poleas tractoras y de suspensión en cabina y contrapeso.

La selección de estos componentes se debe realizar de forma cuidadosa puesto que supone el principal elemento de seguridad del ascensor. Por ello, la normativa plantea una serie de estrictos criterios con el fin de garantizar la seguridad del sistema. (Ver Anexo A)

4.2.1. Selección del tipo de suspensión.

Previo al diseño de estos componentes, es preciso determinar el tipo de suspensión que presenta el sistema. Se puede diferenciar entre dos tipos de suspensiones:

- Directa (1:1): La velocidad de la cabina corresponde con la velocidad de la polea tractora y los esfuerzos son soportados totalmente por el eje del motor.
- Diferencial (2:1, 4:1): Presenta una velocidad de cabina inferior y proporcional al factor de la suspensión. Así mismo, los esfuerzos soportados por el eje del motor se reducen por el mismo factor, siendo la estructura del hueco u otros componentes los que deban soportar el esfuerzo restante.

Dadas las condiciones establecidas previamente para el ascensor planteado junto con la velocidad nominal (1m/s) definida en el apartado 4.3 es perfectamente válida la instalación tanto de una suspensión directa como diferencial. Para el sistema en diseño, se opta por instalar una suspensión diferencial 2:1 puesto que de esta forma se reduce tanto el tamaño como la potencia necesaria por parte del motor.

Una vez determinado el tipo de suspensión, se procede a la selección de los cables así como de las poleas tractora, de cabina y contrapeso. Para ello se van a emplear como base los criterios establecidos por la normativa.

La norma EN 81-20 establece que el sistema de suspensión debe estar compuesto por al menos dos cables de acero con un diámetro mínimo de 8 mm [ap. 5.5.1 EN 81-20], así mismo, el diámetro de la polea tractora debe ser 40 veces superior al de los cables de tracción [art. 5.5.2.1 EN 81-20] de forma que se establecen los siguientes valores para el sistema en estudio.

$$\varnothing_{cable} = 8mm \quad \varnothing_{polea tractora} = 320mm$$

Para los cálculos que siguen a continuación, es preciso definir las características de la garganta de las poleas de tracción y desvío en chasis y contrapeso; para el sistema en estudio se establecen gargantas tipo U desfondadas a 90° y 25° de garganta.

Según normativa, se recomienda compensar el peso de los cables de acuerdo al apartado 5.5.6 de la Norma EN 81-20. Es práctica habitual no considerar dicha masa hasta alcanzar recorridos de cabina de 50m, por lo que, en el sistema planteado no se instalarán medios de compensación.

Para definir el número de cables necesarios en el sistema de suspensión, la Normativa establece criterios resistentes en los que se requiere un coeficiente de seguridad de 16 en el caso de instalar 2 cables y 12 para los casos de 3 cables o más, así mismo, el coeficiente de seguridad obtenido debe ser superior al resultante del cálculo realizado en la Norma EN 81-50 en su apartado 5.12 [art 5.5.2.2 EN 81-20].

El cable de tracción seleccionado se obtiene a partir del catálogo del fabricante DRAKO, el cual cumple las condiciones impuestas bajo la Norma EN 12385-5 y cuyas características se incluyen en la tabla a continuación.

Características cable de tracción	
Modelo (Tipo)	250T (8x19W+ IWRC)
Diámetro nominal	8 mm
Fuerza mínima de rotura	43.3 kN
Masa lineal	27.3 Kg/100m
Sección	31.6 mm ²

Tabla 3: Características cable de tracción.

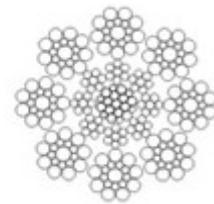


Figura 5: Cable 8x19W

4.2.2. Evaluación del coeficiente de seguridad.

Una vez conocidas las características del cable de tracción a instalar, se procede a calcular el número de cables necesarios. Para ello se plantea un proceso iterativo de cálculo de los coeficientes de seguridad anteriormente planteados a través de tablas Excel para agilizar el proceso en el que se varía el número de cables hasta obtener una solución válida. Los resultados definitivos incluyen 4 cables de tracción y unas poleas de chasis de diámetro 240 mm con una masa de 12Kg. A continuación se establece la justificación de los resultados finales obtenidos.

En primer lugar se calcula el coeficiente de seguridad a tracción en situación de parada en planta en su posición de planta inferior, con la totalidad de su carga nominal tal y como se establece en el artículo 5.5.2.2 de la Norma EN 81-20. De esta forma:

$$F_{conjunto} = \frac{Q_n + Q_c + m_{poleasc} + m_{hasis} + m_{cables}}{2}; \quad F_{cable} = \frac{F_{conjunto}}{N^{\circ}cables}; \quad C_s = \frac{F_{rotura}}{F_{cable}} \quad [ec. 2]$$

Introduciendo los valores correspondientes en las ecuaciones anteriores:

$$F_{conjunto} = \frac{630Kg + 950Kg + (2 * 12Kg) + (4cables * 47m * \frac{0.273Kg}{m})}{2} * g = 8119.36 N$$

$$F_{cable} = \frac{8119.36 N}{4} = 2029.84N; \quad C_s = \frac{43300N}{2029.84N} = 21.33$$

Nota: La longitud total de un cable se calcula a partir de la siguiente relación: $L_{cable} = 2 * Recorrido + 5m = 47m$, donde el valor de 5m corresponde a una estimación de la longitud recorrida por el cable en poleas y entre poleas de desvío. Dicho valor está estimado al alza. Así mismo, el cálculo del peso de las poleas se desarrolla en el apartado 5.3 del Anexo A.

A continuación se obtiene el valor del coeficiente de seguridad definido por la Norma EN 81-50 cuyo valor debe ser inferior al obtenido anteriormente.

El desarrollo de dicho cálculo se realiza en el apartado 5.1.1 del Anexo A, donde los resultados obtenidos son como sigue:

$$N_{equiv(t)} = 5; \quad N_{equiv(p)} = \left(\frac{320}{240}\right)^4 * (2 + 4 * 0) = 6.32 \quad [\text{ec. 3, 4}]$$

$$N_{equiv} = 5 + 6.32 = 11.32; \quad Sf = 19.54 \quad [\text{ec. 5, 6}]$$

Con los resultados obtenidos, podemos concluir que las características del sistema de suspensión empleado cumplen con los requisitos impuestos de acuerdo a la resistencia a tracción del sistema. A continuación es preciso realizar la comprobación de las condiciones de adherencia del sistema.

4.2.3. Evaluación de adherencia.

Además de criterios resistentes, el sistema de suspensión debe cumplir una serie de características de forma que se asegure la adherencia de los cables bajo diferentes condiciones que se establecen en el apartado 5.5.3 de la Norma EN 81-20.

El cálculo de la adherencia se obtiene a partir de las pautas planteadas en el apartado 5.12 de la Norma EN 81-50, donde se establece el siguiente criterio en función de las condiciones establecidas en la Norma EN 81-20 comentadas anteriormente.

$$\frac{T1}{T2} \leq e^{f\alpha} \quad \text{Para las condiciones de carga en cabina y frenado de emergencia.}$$

$$\frac{T1}{T2} \geq e^{f\alpha} \quad \text{Para las condiciones de cabina o contrapeso retenidos en el hueco.}$$

De igual forma que para el cálculo del coeficiente de seguridad según la Norma EN 81-20, los cálculos de la evaluación de adherencia se desarrollan completamente en el apartado 5.1.2 del Anexo A. A continuación se desarrollan los resultados obtenidos.

4.2.3.1. Condiciones de carga en cabina.

Bajo esta condición, se debe evaluar para la cabina con su carga nominal en su posición de piso inferior con carga nominal mayorada un 25%.

Condición de carga en cabina					
μ	0.1	Coeficiente de fricción	a	0	Deceleración (m/s ²)
f	0.19	Factor de rozamiento	α	180°	Ángulo abrazamiento
T1	8835.23	Tensión en el lado de cabina (N)	T2	5506.82	Tensión en el lado de contrapeso(N)

Tabla 4: Adherencia. Condición de carga en cabina.

$$\frac{T1}{T2} \leq e^{f\alpha} \rightarrow 1.39 \leq 1.84$$

4.2.3.2. Condición de frenado de emergencia.

Esta condición plantea dos supuestos diferentes puesto que debe evaluarse para la condición de cabina con carga nominal y con cabina vacía, de forma que para el primer caso, se debe considerar que la cabina se encuentra en una situación de frenado de emergencia cuando está descendiendo, y para el segundo caso, sin carga nominal, cuando la cabina se encuentra ascendiendo.

Nota: La justificación de las deceleraciones seleccionadas para el cálculo se justifican en el Anexo A.

4.2.3.2.1. Cabina con carga nominal y en situación de descenso.

Cabina con carga nominal y situación de descenso					
μ	0.09	Coefficiente de fricción	a	1.5	Deceleración(m/s ²)
f	0.18	Factor de rozamiento	α	180°	Ángulo abrazamiento
T1	9153.08	Tensión en el lado de cabina (N)	T2	5266.70	Tensión en el lado de contrapeso(N)

Tabla 5: Adherencia. Cabina con carga nominal y situación de descenso.

$$\frac{T1}{T2} \leq e^{f\alpha} \rightarrow 1.738 \leq 1.74$$

4.2.3.2.2. Cabina vacía y en situación de ascenso.

Cabina vacía y en situación de ascenso					
μ	0.09	Coefficiente de fricción	a	1.13	Deceleración(m/s ²)
f	0.18	Factor de rozamiento	α	180°	Ángulo abrazamiento
T1	7084.34	Tensión en el lao de contrapeso(N)	T2	4068.76	Tensión en el lado de cabina (N)

Tabla 6: Cabina vacía y en situación de ascenso

$$\frac{T1}{T2} \leq e^{f\alpha} \rightarrow 1.74 \leq 1.74$$

Es preciso comentar que los valores de las deceleraciones impuestas en el presente apartado cumplen los requisitos normativos al ser mayores a 0.5m/s². [art. 5.11.2.2.2 EN 81-50] Así mismo, el sistema de frenado se limita con el fin de cumplir los requisitos planteados, estableciendo una deceleración máxima de 1.13m/s² para cualquier caso de carga y situación.

4.2.3.3. Condición de cabina/contrapeso retenidos.

De acuerdo estipulado en la Normativa, se debe evaluar para el caso de cabina retenida y vacía en las partes más alta y baja del recorrido[art 5.11.2.2.3 EN 81-50], siendo la más crítica en el caso de contrapeso en la parte inferior.

Condición de contrapeso retenido					
μ	0.2	Coefficiente de fricción	a	0	Aceleración (m/s ²)
f	0.39	Factor de rozamiento	α	180°	Ángulo abrazamiento
T1	4659.75	Tensión en el lado de cabina (N)	T2	112.48	Tensión en el lado de contrapeso(N)

Tabla 7: Condición de contrapeso retenido.

$$\frac{T1}{T2} \geq e^{f\alpha} \rightarrow 41.43 \leq 3.37$$

En vista de los resultados obtenidos anteriormente, tanto en consideraciones de factor de seguridad como en adherencia, podemos concluir que la instalación de un sistema de suspensión 2:1 con 4 cables del modelo 250T de la empresa DRAKO, junto con una polea tractora de 320mm es válido para nuestro sistema de elevación. A continuación se incluye una tabla con los datos obtenidos del cálculo.

Características sistema de suspensión	
Tipo de suspensión	2:1
Nº cables de tracción (Ø nominal)	4 cables (Ø8mm)
Ø Polea tractora (Kg)	320mm (19Kg)
Ø Poleas chasis (Kg)	240mm (12Kg)
Ø Polea contrapeso (Kg)	120mm (4Kg)

Tabla 8: Características sistema de suspensión.

4.3. SISTEMA DE TRACCIÓN.

El sistema de tracción proporciona la energía necesaria al sistema para permitir el movimiento vertical de cabina y contrapeso. Está compuesto por un motor eléctrico un freno mecánico que permite la detención del sistema.

En la actualidad existen diferentes tipos de motores, de forma que en función de las características del sistema es recomendable el empleo de un tipo concreto de motor. En cualquier caso, el Anexo A en su apartado 6.1.1 describe los diferentes tipos de motores con sus ventajas y desventajas así como una selección justificada del tipo de motor planteado para el sistema en estudio. Dicha selección falla finalmente sobre un motor de imanes permanentes dada su conexión directa con la polea tractora, menor consumo y mantenimiento entre otras características.

4.3.1. Selección de motor.

En el presente apartado se selecciona de forma justificada un sistema de tracción completo (motor y freno) del catálogo de motores de imanes permanentes de la empresa MP Ascensores. El catálogo proporcionado por el fabricante proporciona un valor de par nominal y un valor de potencia que se supondrá máximo, de esta forma para la selección del motor más adecuado se determinará la potencia necesaria en funcionamiento normal y posteriormente el tiempo de arranque cuya finalidad se destina a aspectos comerciales.

$$M_{nom} = \frac{M_t + M_i}{\eta_{inst}}; \quad P_{nom} = \frac{M_{nom} * \omega}{\eta_{motor}} \quad [\text{ec. 7. 8}]$$

Donde M_t corresponde al par resistente del sistema y M_i representa el momento resistente debido a inercias. Los rendimientos incluidos en las ecuaciones anteriores representan las pérdidas por rozamiento y las debidas al propio motor instalado.

De esta forma y de acuerdo a las características proporcionadas por el catálogo del fabricante, la velocidad nominal para un ascensor de 675Kg y polea tractora de 320mm se establece en 1m/s de forma que para el sistema en desarrollo se implanta dicho valor. El presente apartado únicamente muestra los resultados obtenidos; el desarrollo completo de los cálculos realizados se incluye en el apartado 6.1.2 del Anexo A. De esta forma, en situación de funcionamiento normal a velocidad nominal, las solicitaciones del motor son las siguientes.

$$M_{nom} = \frac{303.19 \text{ N.m} + 0 \text{ N.m}}{0.95} = 319.15 \text{ N.m}; \quad P_{nom} = \frac{319.15 \text{ N.m} * 12.5 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{0.85 * 1000} = 4.69 \text{ kW}$$

Una vez obtenidos los resultados de potencia y par nominal junto con el catálogo del fabricante, podemos concluir que el motor seleccionado para nuestra instalación es el modelo maGO175.2.320 cuyas principales características se recogen en la siguiente tabla.

Características motor seleccionado	
Modelo	maGO175.2.320
Carga nominal	675 Kg
Par nominal	420 N.m
Potencia máxima	5.3 kW
Tensión	400 V
Velocidad nominal	1 m/s
Peso	224 Kg

Tabla 9: Características motor seleccionado.



Figura 5: Motor seleccionado

A pesar de que el fabricante no presenta en su catálogo información relevante a tiempos de arranque, se considera que es un factor a tener en cuenta, de forma que en el presente estudio se va a hacer un cálculo aproximado del tiempo de arranque del sistema.

Tal y como se ha comentado, de acuerdo con los datos proporcionados por el fabricante, la potencia que este facilita se considera que es máxima, de forma que es posible obtener el tiempo de arranque a partir del máximo par resistente admisible por el motor.

$$M'_{nominal} = \frac{M_t + M_i}{\eta_{inst}}$$

El tiempo de arranque se obtiene a partir del momento resistente debido a inercias máximo de la ecuación anterior, de forma que finalmente:

$$\alpha = \frac{M_i}{\sum I_{equiv}} = \frac{39.19 N.m}{3.89 Kg*m^2} = \frac{10.07 m}{s^2}; \quad t_{arranque} = \frac{\omega}{\alpha} = \frac{12.5 rad/2}{10.07 m/s^2} = 1.24 seg \quad [ec. 9, 10]$$

La tabla a continuación presenta los resultados obtenidos referentes a la selección del motor.

Resultados selección de motor		
Valor	Funcionamiento normal	Situación de arranque
Mt	303.19 N.m	303.19 N.m
Mi	0 N.m	39.19 N.m
Mnom	319.15 N.m	342.38 N.m
Pnom	4.69 kW	5.3 kW
t _{arranque}	-	1.24 seg

Tabla 10: Resultados selección de motor.

4.3.2. Selección de freno.

Tal y como se ha comentado, la selección del freno incluye un sistema de frenado, de forma que el presente apartado se centra en la validación de dicha selección según los requerimientos establecidos por la normativa. De esta forma, su validación se realizara en situación de frenado desde su velocidad nominal y con la carga nominal aumentada en un 25%. Bajo esta condición, la deceleración producida no debe ser superior a la producida por la actuación de los sistemas de seguridad [art 5.9.2.2.1 EN 81-20]. Así mismo, se deben tener en cuenta las deceleraciones obtenidas en el apartado 4.2.3 del presente documento.

Por consiguiente, es necesario calcular el par de frenado necesario para detener el sistema con el fin de comprobar que el freno incluido en la selección del motor de tracción del apartado 4.3.1 es válido para nuestro sistema de elevación.

Características freno seleccionado	
Modelo motor	maGO175.2.320
Par freno	2x480 N.m
Potencia	2x85 W
Tensión	207 V

Tabla 11: Características freno.

Puesto que no se tienen datos por parte del fabricante, se fija como primer valor un tiempo de frenada de 1.2 segundos; bajo esta condición, es posible calcular las deceleraciones y espacios recorridos por poleas y conjuntos lineales durante dicho proceso a través de las ecuaciones de movimiento rectilíneo uniformemente acelerado y sus equivalentes para los movimientos rotacionales y posteriormente el par de frenada necesario a través de la ecuación siguiente.

$$\sum E_c + \sum E_p = T_{freno} * \theta_{freno} \quad [\text{ec. 12}]$$

Los datos obtenidos establecen los siguientes resultados:

$$t = 1.2 \text{ seg}; \quad a = -0.83 \text{ m/seg}^2; \quad x = 0.6\text{m}; \quad T_{freno} = 606.78 \text{ N.m}$$

En vista de los resultados obtenidos y los datos proporcionados por el fabricante, podemos concluir que el sistema de frenado es capaz de detener la cabina en el tiempo especificado. Así mismo, la deceleración producida en el proceso no supera los valores obtenidos en los apartados 4.4 y 4.5 para los procesos de frenado de emergencia de impacto contra amortiguadores y paracaídas, de forma que se cumple el criterio establecido en el artículo 5.9.2.2.2.1 EN 81-20.

$$a_{freno} \leq a_{paracaídas} \rightarrow 0.83 \text{ m/seg}^2 < 3.35\text{m/seg}^2$$

Así mismo, tal y como se ha comentado anteriormente, se deben tener en cuenta las deceleraciones máximas obtenidas en el apartado 4.2.3 del presente documento, de forma que la máxima deceleración producida en un hipotético caso de frenado de emergencia se establece en $a=-1.13\text{m/s}^2$, aplicando de esta forma un par máximo sobre el freno de 683.5 N.m.

Así mismo, la normativa requiere la instalación del sistema por duplicado, siendo posible la detención del conjunto con únicamente uno de los sistemas bajo dos situaciones diferentes. [art. 5.9.2.2.2.1 EN 81-20] A continuación se presentan los resultados obtenidos en cada caso.

4.3.2.1. Sentido descendente a velocidad nominal y carga nominal.

$$t = 1.16 \text{ seg}; \quad x = 0.58 \text{ m}; \quad T_{freno} = 480 \text{ N.m}$$

4.3.2.2. Sentido ascendente a velocidad nominal y sin carga.

$$t = 0.89 \text{ seg}; \quad x = 0.44 \text{ m}; \quad T_{freno} = 480 \text{ N.m}$$

En vista de los resultados, el sistema es capaz de detener el sistema en ambos casos y ligado con los resultados obtenidos anteriormente podemos concluir que el sistema de tracción es válido según las características del sistema y cumple las condiciones normativas.

Resultados cálculos freno mecánico.				
Situación	T _{frenada}	Espacio recorrido	Par aplicado	Deceleración
Funcionamiento normal	1.2 seg	0.6 m	606.78 N.m	0.83 m/s ²
Frenado de emergencia	0.89 seg	0.44 m	683.5 N.m	1.13 m/s ²
1 freno (descendente con Qn)	1.16 seg	0.58 m	480 N.m	0.86 m/s ²
1 freno (ascendente sin Qn)	0.89 seg	0.44 m	480 N.m	1.13 m/s ²

Tabla 12: Resultados cálculos freno mecánico.



4.4. LIMITADOR DE VELOCIDAD Y PARACAÍDAS.

El conjunto formado por el limitador de velocidad y el paracaídas conforman un sistema de seguridad del ascensor que detiene la cabina o el contrapeso en caso de exceso de velocidad. Supone un elemento de seguridad intermedio entre la detención de la máquina por control electrónico (corte de corriente y actuación del freno del motor) y el impacto de la cabina o contrapeso contra los amortiguadores ubicados en el foso del hueco del ascensor.

Estos sistemas de seguridad están regulados y normalizados de acuerdo a la normativa vigente, de forma que la selección de la velocidad de actuación del sistema, las características del cable del limitador y el tipo de paracaídas a instalar tanto en cabina y contrapeso se regula a través de la Norma EN 81-20. Así mismo, la Norma EN 81-50 establece los criterios y condiciones para la verificación y homologación tanto para el limitador de velocidad como para el paracaídas.

El sistema de bloqueo conformado por los componentes anteriormente comentados se va a seleccionar de los catálogos correspondientes a la empresa MP Ascensores.

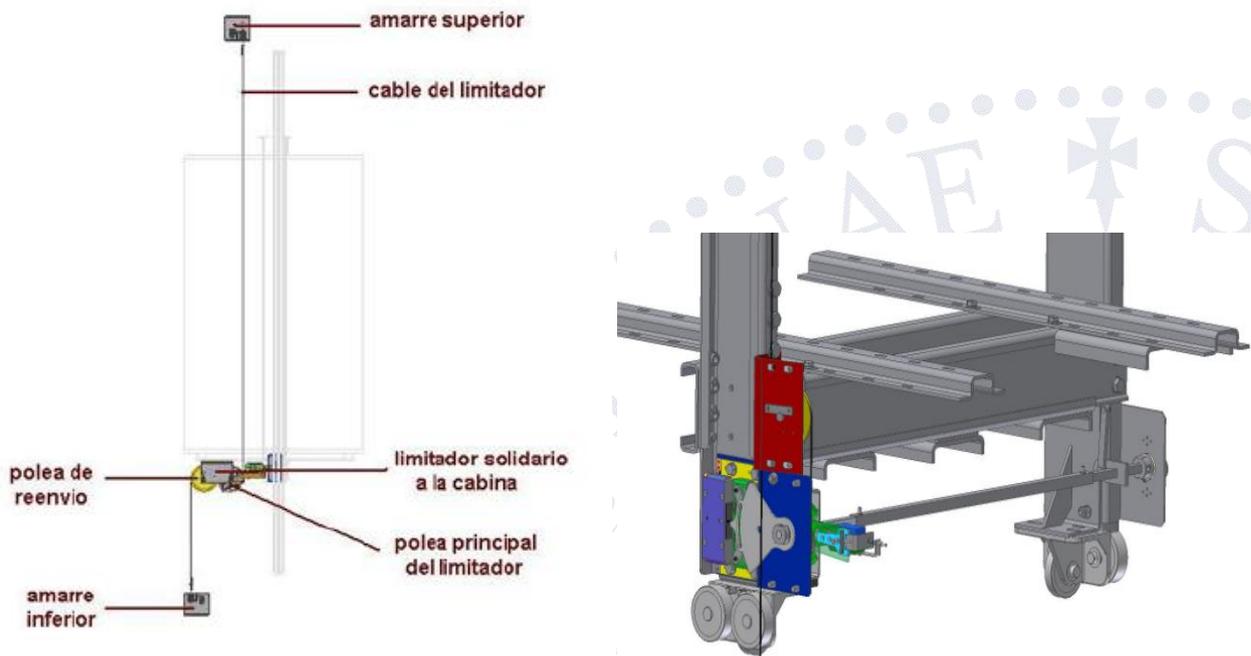


Figura 6: Esquema limitador de velocidad (izquierda); sistema de paracaídas (derecha).

4.4.1. Selección del limitador de velocidad.

De acuerdo con la normativa vigente se establecen criterios referentes a la velocidad de accionamiento, cables del limitador, poleas y distancia recorrida entre los puntos de accionamiento. [art.5.6.2.2.1.1 ,5.6.2.2.1.3 ,5.6.2.2.1.2 EN 81-20]

$$v_{lim} = \frac{1.15m}{s}; \quad h_{recorrida} = 0.19m$$

La selección del limitador se va a realizar a través del catálogo de la empresa MP Ascensores en base a las características que debe presentar el paracaídas, así como la velocidad nominal del sistema y de actuación del limitador calculada anteriormente. El modelo seleccionado incluye las siguientes características.

Características limitador de velocidad			
Modelo	E902EMXU	Enclavamiento	Unidireccional
Vn	0.2-1 m/s	Peso	10 Kg
Vd	0.8-1.5m/s	Polea tensora	TP2SEU

Tabla 13: Características limitador de velocidad.

4.4.2. Selección del paracaídas.

De acuerdo a los criterios normativos [art 5.6.2.1.1.1,5.6.2.1.2.1, 5.6.2.1.2.3,5.6.2.1.3 EN 81-20] se debe instalar un sistema de paracaídas de tipo progresivo unidireccional tanto para cabina como contrapeso. Dicha selección se va a realizar a partir de un catálogo de la empresa MP Ascensores, cuyas características cumplen las Normas EN 81-20/50.

La selección del tipo de paracaídas depende del limitador de velocidad, de la velocidad máxima de actuación del limitador y de la carga máxima de cabina o contrapeso (Q_n+Q_c). De esta forma, los resultados obtenidos en los cálculos del apartado 7.1.2 del Anexo A son los siguientes.

$$v_{actuación} \geq \frac{1.15m}{s}; \quad Q_{paracaídas} = 1655.32Kg$$

De forma que el paracaídas seleccionado presenta las siguientes características:

Características paracaídas	
Modelo	MPS6U
Velocidad máxima de actuación	2.16 m/s
Masa total admisible	651Kg - 1813 Kg
Valor de reglaje	1700Kg
Espesor de guías	9mm - 16mm
Deceleración	3.35 m/s ²

Tabla 14: Características paracaídas.

En vista de los resultados obtenidos, podemos validar la selección del limitador de velocidad y paracaídas al cumplir los requisitos establecidos tanto en la Norma EN 81-20 como en la EN 81-50 tal y como se especifica en el catálogo de dichos componentes.

4.5. AMORTIGUADORES DE FOSO.

Los amortiguadores de los sistemas de elevación conforman dispositivo de frenado de emergencia que detiene la cabina en el caso de la no actuación del paracaídas en caída libre cuando se encuentran más allá de su límite normal en la parte inferior del recorrido. Estos amortiguadores se sitúan en el foso del hueco.

Este sistema de seguridad en ascensores se regula a partir de la Norma EN 81-20, donde se establece el tipo de amortiguador a instalar así como las características que deben presentar dichos amortiguadores en función del comportamiento del dispositivo. De acuerdo con las características del sistema planteado, se decide instalar amortiguadores de tipo no lineal tanto para cabina como para contrapeso cuyas condiciones normativas se desarrollan en el apartado 5.8.2.1.2 de la Norma EN 81-20.

Se van a seleccionar amortiguadores pertenecientes al catálogo de la empresa AUTAN HE, en el cual se indica que dichos componentes cumplen la Normativa EN 81-20/50. De esta forma para cabina se instalan dos unidades con el fin de repartir las cargas sobre el bastidor en caso de impacto y una unidad para el sistema de contrapeso. Las características de ambos modelos se presentan a continuación.

Características amortiguadores		
	Cabina	Contrapeso
Modelo	101x80	101x80
Diámetro * Altura	101mm*80mm	101mm*80mm
Rango admisible	400-950 Kg	400-950 Kg
Masa real a soportar	827.66 Kg	660.12 Kg
Carrera	72mm	72mm

Tabla 15: Características amortiguadores.



Figura 7: Buffer.

Es preciso estimar el valor de la deceleración producida por el impacto de la cabina contra los amortiguadores para el cálculo de diversos componentes del sistema de elevación. De acuerdo con el artículo 5.8.2.1.2.1 de la Norma EN 81-20 y las condiciones impuestas en la Norma EN 81-50, la deceleración producida resulta:

$$a_{\text{amortiguador}} = -9.18m/s^2$$

De esta forma, los amortiguadores seleccionados para el sistema en estudio cumplen las condiciones impuestas por las Normas EN 81-20/50.

4.6. GUÍAS DE CABINA Y CONTRAPESO.

Las guías del sistema de elevación se definen como elementos estructurales sujetos al hueco del ascensor y cuya función se centra en el guiado de la cabina y contrapeso a lo largo de su recorrido. Así mismo, también sirven como apoyo en caso de rotura de los cables de tracción a través del sistema de paracaídas. Están formadas por diversos tramos unidos entre si habitualmente con sección en forma de T y fabricadas en acero estriado. [art. 5.7.1.1 EN 81-20]

Según la configuración final planteada, las guías de contrapeso deben tener en cuenta en su parte superior una viga sobre la que instalar tanto el sistema de tracción como los terminales de los cables provenientes del sistema de contrapeso. (Ver Figura 4)

De esta forma, el presente apartado se basa en la selección adecuada de las guías tanto de cabina como de contrapeso de acuerdo a las especificaciones planteadas en las normas EN 81-20/50.

El proceso de selección del modelo más adecuado para cabina y contrapeso se realiza a través de un proceso iterativo en el programa Excel en el que se han incluido las ecuaciones del apartado 5.10 y el Anexo C.2 de la Norma EN 81-50 tal y como se especifica en el artículo 5.7.4.7 de la Norma EN 81-20.

En el presente documento, únicamente se presentan los resultados obtenidos para cada sistema y los valores límite establecidos por normativa con el fin de verificar dichas selecciones. Un desarrollo más completo de los cálculos necesarios se incluyen en el apartado 9 del Anexo A del presente proyecto.

Las guías empleadas se han obtenido del catálogo perteneciente a la empresa SaveraGroup, documento que se encuentra en el apartado 7 del Anexo C.

4.6.1. Guías de cabina.

Para el sistema de cabina se emplean guías del modelo T89/A calibradas con una distribución en planta según la figura a continuación. Así mismo, se establece una distancia entre fijaciones de guía de 2500mm.

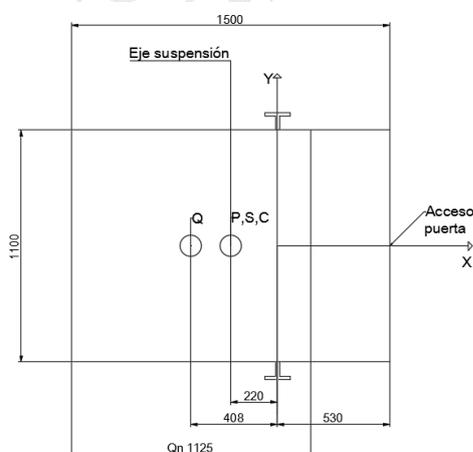


Figura 8: Esquema distancias a guía en cabina.

Donde el punto Q representa el punto de aplicación de la carga nominal (3/4 partes de la superficie de cabina en su posición más desfavorable [art 5.7.2.3.4 EN 81-20]) y P, S,C el punto de aplicación del peso de cabina, punto de suspensión y centro de cabina.

Los resultados obtenidos para las diferentes condiciones de cargas establecidas junto con las tensiones admisibles y deflexiones máximas se presentan en la tabla a continuación.

Resultados guías de cabina			
Actuación del paracaídas			
σ_{max}	101.16MPa	σ_{perm}	233.33 MPa
δ_{max}	3.27 mm	δ_{perm}	5 mm
Utilización normal, en funcionamiento			
σ_{max}	9.22 MPa	σ_{perm}	186.66MPa
δ_{max}	0.48 mm	δ_{perm}	5 mm
Utilización normal, cargando			
σ_{max}	21.12MPa	σ_{perm}	186.66MPa
δ_{max}	1 mm	δ_{perm}	5 mm

Tabla 16: Resultados guías de cabina.

En vista de los resultados obtenidos podemos concluir que la selección de la guía T89/A es válida para el sistema de cabina puesto que se cumplen las condiciones especificadas para cada caso de carga planteado.

4.6.2. Guías de contrapeso.

De igual forma que en el caso anterior, se va a seleccionar un modelo de guías T89/A con una distancia entre fijaciones de 3000mm. Los resultados obtenidos en el Anexo A junto con la distribución de las guías sobre el sistema.

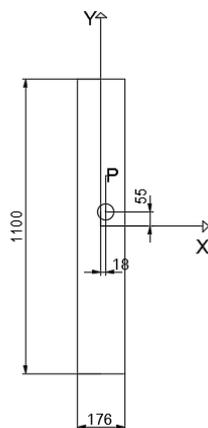


Figura 9: Esquema distancias contrapeso.

Donde el punto P representa el punto de aplicación de las masas de contrapeso. A continuación, de igual forma que en el caso de cabina, se presentan los resultados obtenidos para los diferentes casos de carga planteados en la normativa.

Resultados guías de contrapeso			
Actuación del paracaídas			
σ_{max}	151.65MPa	σ_{perm}	233.33 MPa
δ_{max}	1.48 mm	δ_{perm}	5 mm
Utilización normal, en funcionamiento			
σ_{max}	29.83MPa	σ_{perm}	186.66 MPa
δ_{max}	0.89mm	δ_{perm}	5 mm

Tabla 17: Resultados guías de contrapeso.

En vista de los resultados obtenidos podemos concluir que la selección de la guía T89/A es válida para el sistema de contrapeso puesto que se cumplen las condiciones especificadas para cada caso de carga planteado.

4.7. Hueco del ascensor.

El presente apartado se centra en el posicionamiento del conjunto del sistema de elevación dentro del hueco habilitado en el edificio residencial para su instalación con el propósito de obtener las dimensiones mínimas necesarias de foso y huída en base a los requerimientos establecidos por la normativa vigente.

Los resultados obtenidos en el presente apartado se pueden consultar en los planos incluidos en el Anexo B del presente documento, donde se incluye una vista con las dimensiones de planta, foso y huidas con cada una de las configuraciones planteadas.

Tal y como se ha comentado en otros apartados del presente documento, el sistema de elevación diseñado presenta las siguientes características que afectan a las dimensiones del hueco necesario:

- Sin cuarto de máquinas.
- Chasis con poleas inferiores.
- Amortiguadores tipo Buffer.
- Bancada de máquina y terminales de contrapeso sobre bancada de guías de contrapeso.

En cuanto a las dimensiones del hueco necesario, es preciso comentar la modificación realizada durante la realización del diseño en la en la cual se instala el motor de tracción sobre una viga horizontal ubicada sobre las guías de contrapeso y los terminales de los cables de tracción del lado de contrapeso sobre la parte inferior de dicha viga de forma que se consigue reducir las dimensiones de hueco tal y como se puede observar en los planos del Anexo B.

A continuación se van a presentar las principales características a tener en cuenta a la hora de dimensionar el hueco, siendo desarrolladas en mayor grado en el apartado 10 del Anexo A.

Las condiciones a continuación expuestas se desarrollan de forma más precisa en el apartado X del Anexo A, siendo la información del presente documento un resumen de las condiciones a tener en cuenta a la hora de definir el hueco del ascensor.

4.7.1. Hueco.

En cuanto a las dimensiones de hueco es preciso tener en cuenta las distancias mínimas definidas por normativa en referencia a cabina y contrapeso, entre partes móviles, entre puertas de cabina y contrapeso, así como la distancia entre guías y hueco para su propia instalación.

4.7.2. Foso.

La distancia de foso se define como aquella que existe entre el acceso del primer piso y el suelo del hueco habilitado para la instalación del ascensor. Este espacio se evalúa en el caso de situarse la cabina sobre los amortiguadores totalmente comprimidos. De esta forma debe existir un espacio de refugio para los trabajos de inspección y mantenimiento así como unas distancias mínimas respecto a diferentes componentes de la cabina.

4.7.3. Huida.

La distancia de huida corresponde a la existente entre el último piso y el techo del hueco del ascensor. Este espacio se evalúa en el caso de cabina en su posición extrema superior de acuerdo al apartado 5.2.5.6.1.1 de la Norma EN 81-20, en la cual se definen espacios de refugio, y distancias mínimas a techo de hueco respecto de diferentes componentes del sistema. Así mismo, es preciso tener en cuenta la instalación de barandillas de seguridad en el techo de cabina según el artículo 5.4.7.4 de la Norma EN 81-20.

De esta forma, finalmente obtenemos las siguientes características referentes al hueco del ascensor:

Características hueco.	
Recorrido	18m
Ancho/Fondo	1800/1850mm
Huida/Foso	3500/1350mm
Refugio superior/inferior	0.5x0.7x1m
Barandilla	700 mm

Tabla 18: Características hueco.



4.8. ANÁLISIS DE BASTIDOR.

El presente apartado se centra en un análisis generalizado del bastidor del ascensor en desarrollo con el propósito de conocer los esfuerzos a los que está sometido así como un desarrollo inicial de los principales componentes que conforman el bastidor del ascensor.

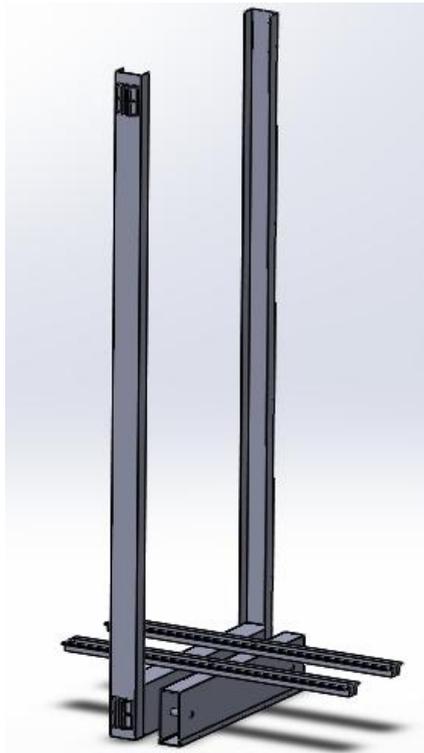


Figura 10: Configuración final de bastidor.

Dicho análisis se va a realizar en las diferentes fases presentadas a continuación.

4.8.1. Fase 1: Obtención de las tensiones máximas en cada uno de los componentes bajo la condición de carga de funcionamiento normal.

Para esta primera etapa del análisis, se va a emplear el módulo de cálculo por elementos finitos del programa SolidWorks con el fin de obtener los diagramas de esfuerzos de cada uno de los componentes, resultando de esta forma las secciones más desfavorables de cada componente con sus respectivas fuerzas y momentos con los que calcular posteriormente los perfiles necesarios.



Figura 11: Modelo viga del bastidor.

Para la realización de esta fase, se ha considerado el sistema de cargas en funcionamiento normal planteado para el cálculo de guías al suponer una distribución más desfavorable de la carga nominal. Por otra parte, se ha realizado la consideración de separar el peso de cabina y el de chasis, de esta forma, se considera que el peso de cabina empleado en el presente proyecto se reparte por igual entre el peso propio de chasis y cabina al no tener datos referentes a dichos componentes. Por consiguiente, la carga nominal junto con el 50% de la masa de cabina se distribuye sobre los perfiles de cabina inferiores, y el resto de la masa de cabina sobre los puntos de suspensión de la misma. Las condiciones de apoyo incluyen dos restricciones verticales en los puntos de suspensión y restricciones horizontales en el punto de apoyo de las guías en largueros.

Una vez introducidas en el programa las condiciones de apoyo y cargas comentadas anteriormente se obtienen los esfuerzos de cada uno de los componentes; obteniendo como máximas sollicitaciones los valores incluidos en la tabla a continuación.

Esfuerzos máximos		
Perfiles de cabina	Mx	949.203 N.m
	My	0.2247 N.m
	Mo	394.454 N.m
Perfil de suspensión	N	8119.34 N
	Mz	1497.855 N.m
Travesaño inferior	Mx	392.9901 N.m
	Mo	579.066 N.m
Largueros verticales	Mx	579.066 N.m

Tabla 19: Esfuerzos máximos de bastidor.

4.8.2. Fase 2: Diseño de los perfiles necesarios en cada uno de los componentes.

La realización de la presente fase se realiza de forma iterativa, modificando las dimensiones de los distintos perfiles hasta obtener un resultado acorde a las dimensiones necesarias y las características especificadas, siendo en este caso un coeficiente de seguridad superior a 3 y empleando acero S275JR [UNE-EN 10027-1] para todos los componentes en estudio.

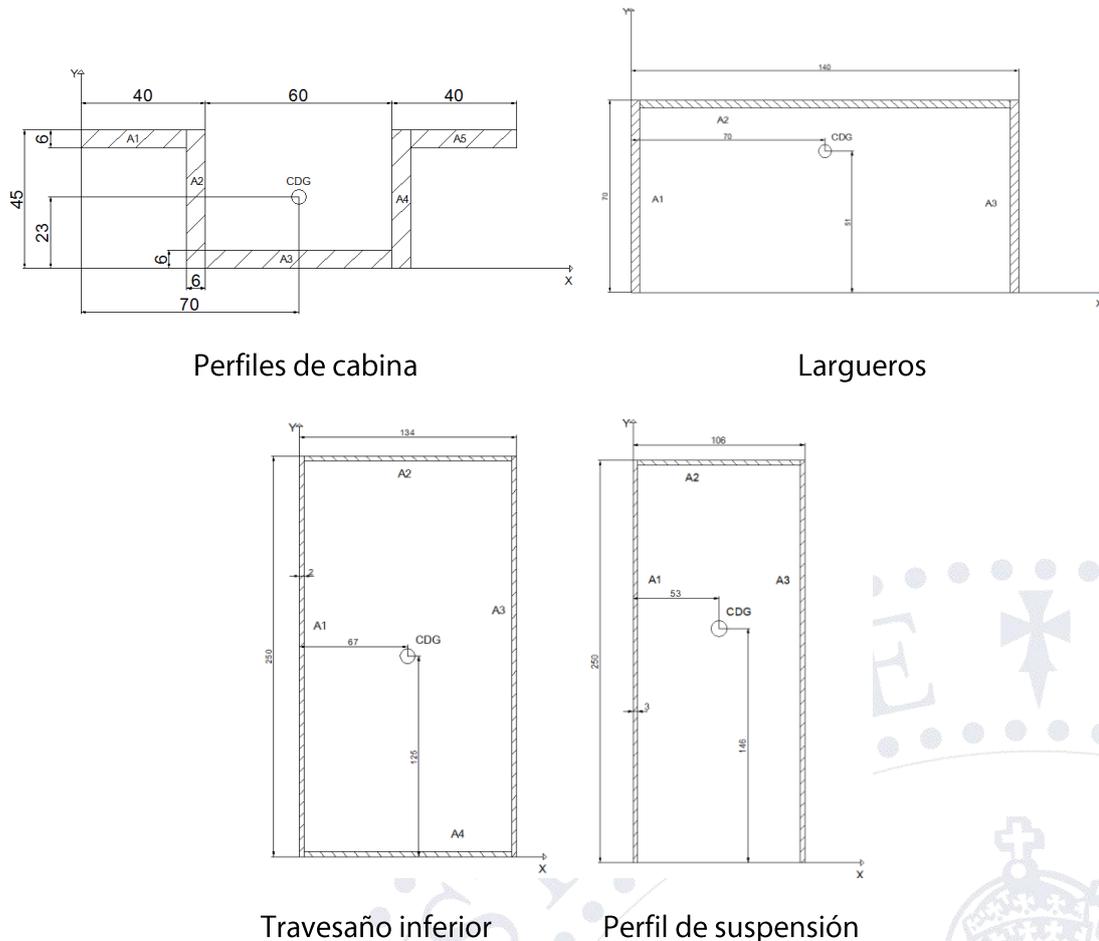


Figura 12: Sección de perfiles de bastidor.

Las secciones propuestas para cada uno de los componentes resultan las siguientes tensiones y coeficientes de seguridad para el caso de carga planteado cumpliendo de esta forma el criterio de seguridad planteado.

Tensiones y coeficientes de seguridad bastidor		
Componente	σ_{vm} (max)	C_s
Perfil de cabina	61.38 Mpa	4.48
Perfil de suspensión	23.04 Mpa	11.94
Travesaño inferior	5.26 Mpa	52.23
Largueros verticales	48.72 Mpa	5.65

Tabla 20: Tensiones y coeficientes de seguridad bastidor.



4.8.3. Fase 3: Comprobación de resultados a través del programa SolidWorks y optimización del diseño.

Una vez obtenidas las máximas tensiones bajo el modelo viga del bastidor, se procede a analizar el modelo tridimensional del bastidor según la misma condición planteada con el propósito de comprobar resultados y optimizar el diseño en caso de ser necesario.

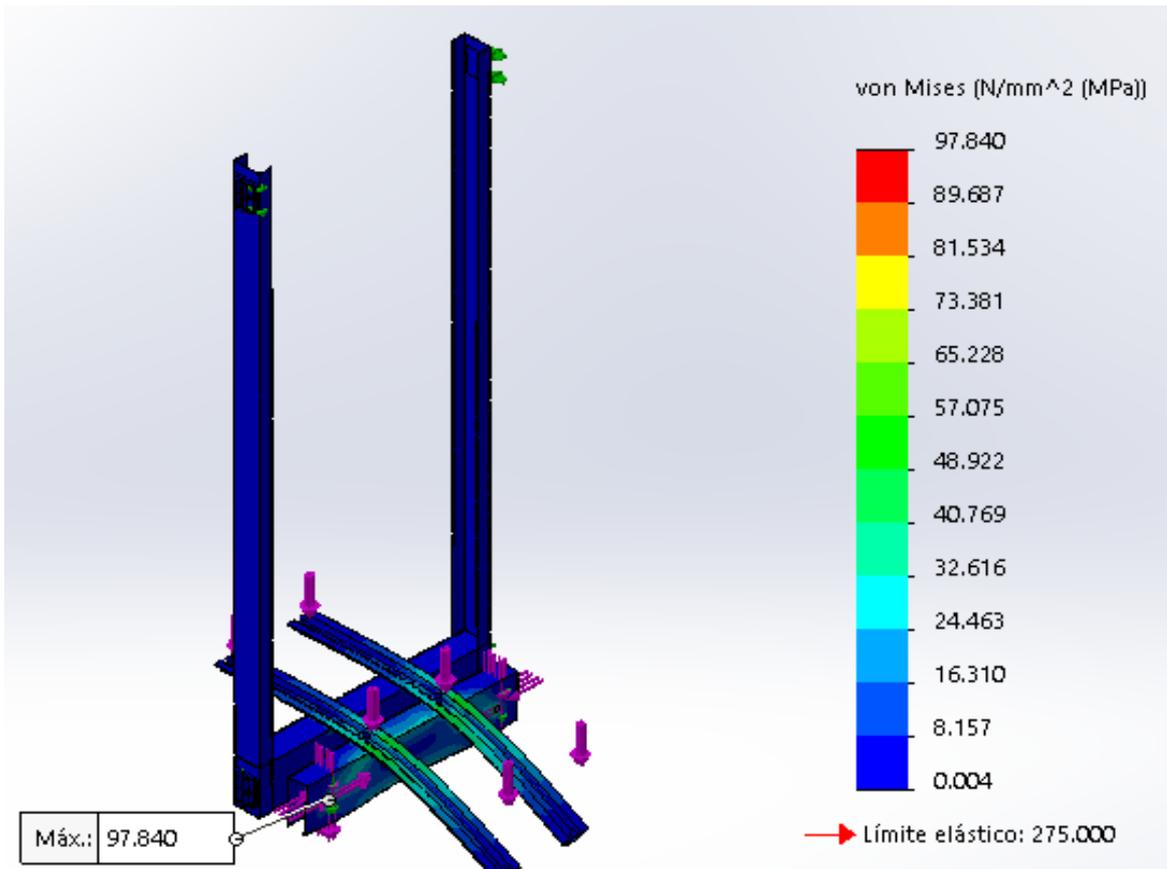


Figura 13: Tensiones máximas y configuración deformada inicial.

Tras realizar el análisis, se denota una tensión máxima superior a la obtenida anteriormente de 97.84 MPa sobre la unión entre ejes de suspensión y perfil de suspensión, dicha tensión no podía ser obtenida en el modelo anterior dado que la naturaleza del estudio no contemplaba dicha unión. Así mismo, se obtiene una deformación en dicho perfil de 0.5mm con una configuración propia de pandeo, por lo que se va a plantear una solución con el fin de reducir tanto las deformaciones como las tensiones obtenidas. De esta forma se plantea el aumento de espesor del perfil de suspensión así como un refuerzo en la parte inferior para incrementar su rigidez y reducir las deformaciones producidas.

$$C_{S_{chasis}} = 2.81 \leq 3$$

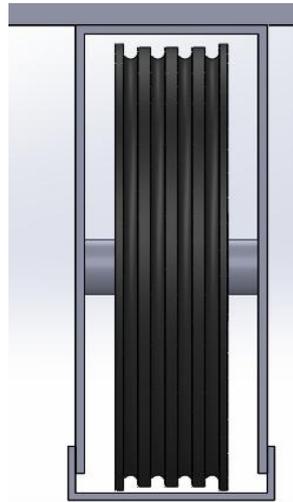


Figura 14: Solución planteada.

Dicha solución reduce a 52Mpa la tensión y a 0.47mm la deformación producida mejorando las condiciones resistentes del conjunto. De esta forma, la tensión máxima vuelve a producirse en los perfiles de cabina, presentando un coeficiente de seguridad general de 4.27. (Ver Tabla 18).

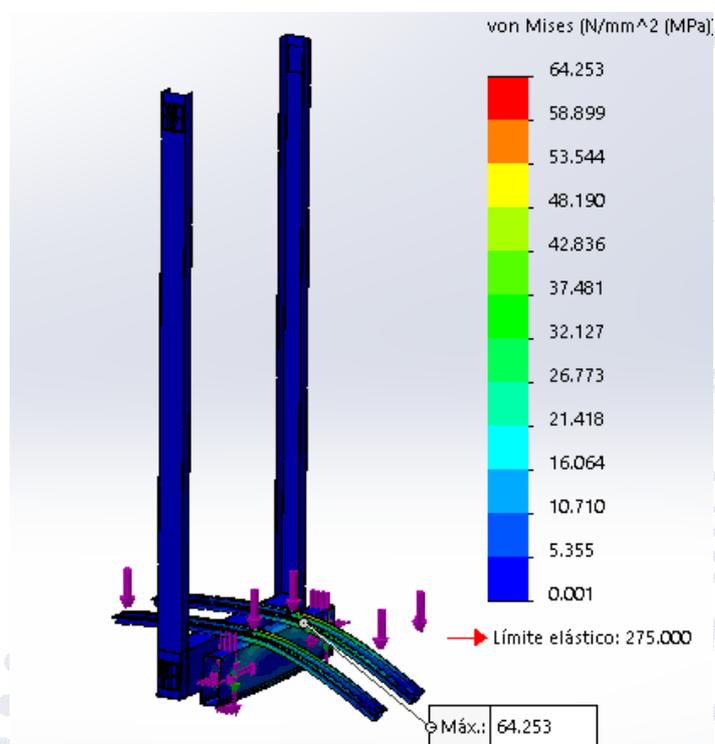


Figura 15: Tensiones modelo modificado.

$$C_{S_{chasismodificado}} = 4.27$$



4.8.4. Fase 4: Comprobación de validez de dicho diseño bajo la condición de carga de la actuación de los amortiguadores a través del programa SolidWorks.

Con el fin de evaluar el bastidor planteado bajo la condición de carga más desfavorable, se van a calcular las tensiones producidas en el mismo en el caso de que se produzca el impacto contra los amortiguadores. Los amortiguadores se ubican sobre el travesaño inferior separados una distancia de 400mm. Así mismo, es preciso obtener la fuerza generada a partir de la velocidad de impacto y la carrera de los amortiguadores

$$E_c = F * h$$

[ec. 13]

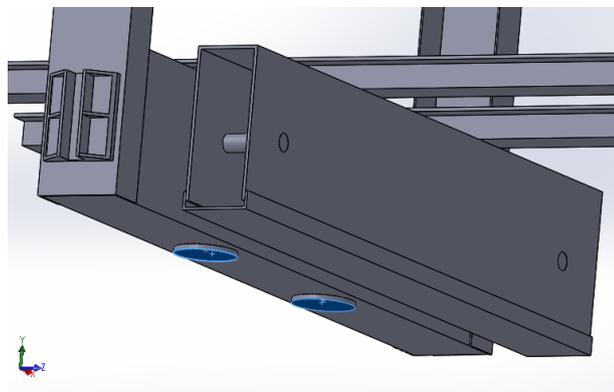


Figura 16: Amortiguadores sobre bastidor.

Tras realizar el cálculo por elementos finitos podemos validar el diseño al presentar una tensión máxima no superior a la del límite elástico del material empleando.

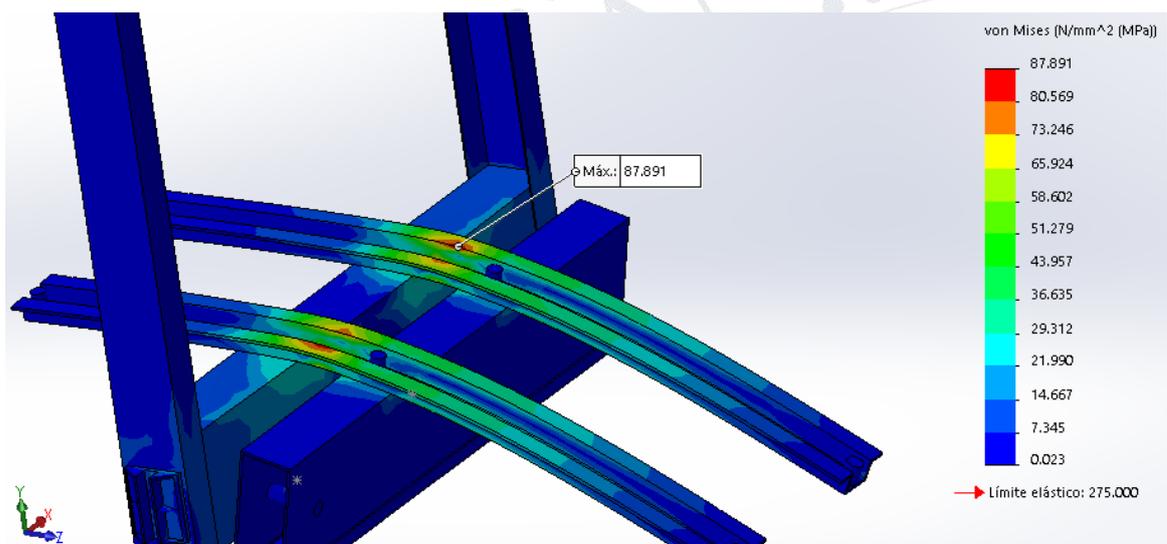


Figura 9: Resultados impacto contra amortiguadores.

$$CS_{chasisamortiguador} = 3.12$$

CONCLUSIONES

El campo de la ingeniería presenta un ámbito de trabajo tan extenso y variado que una vez finalizada la titulación considero que únicamente se poseen una serie de ideas, bases y conocimientos sobre los que fundamentar los futuros proyectos del ámbito profesional. Por ello, un proyecto de final de grado tal y como está planteado actualmente permite la demostración de conocimientos pero limita la innovación ya que prácticamente se parte desde cero en cualquier sector de ingeniería; véase en mi caso personal el sector de la elevación.

La realización de este proyecto nace de la voluntad de realizar un proyecto puramente mecánico que contenga dos de las principales herramientas de trabajo: Legislaciones sobre las que establecer las condiciones de diseño y herramientas computacionales que facilitan enormemente el trabajo de un ingeniero. Así mismo, la realización de prácticas en una empresa especializada en ascensores declinó mi decisión sobre fundamentar mi proyecto en este sector al poder acceder a información y catálogos de una forma más precisa y certera pero siempre manteniendo el principio de autorrealización del proyecto.

La realización del proyecto me ha supuesto ciertos problemas debido a la falta de todo el tiempo que me hubiera gustado dedicarle así como la falta de experiencia en dicho campo; véase este concepto en el proceso de selección de los componentes, necesitando en mi caso la reiteración de cálculos al incluir nuevos componentes en el sistema siendo de esta forma un proceso muy poco productivo.

Así mismo, la falta de experiencia en el manejo del módulo de cálculo de SolidWorks ha supuesto un reto a la hora de evaluar un sistema cuyas características se presentan relativamente especiales; pero permitiéndome de esta forma adquirir nuevos conocimientos claramente útiles en mi futuro ámbito profesional.

En cualquier caso, tras la realización de dicho proyecto considero que he adquirido conocimientos suficientes como para tener una visión general del funcionamiento de un ascensor, así como del proceso de realización proyectos de ingeniería, adquiriendo experiencia en aplicación de normativa y nuevos conocimientos de herramientas computacionales.

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía de consulta.

- 1.1. Análisis y diseño del sistema de tracción de un ascensor residencial. (2016). Zaragoza: Carlos Muñoz Villoria.
- 1.2. Cálculo y selección de elementos de máquinas. (2016). Zaragoza: Paula Canalís, Hugo Malón.
- 1.3. Criterios de diseño de máquinas. (2015). Zaragoza: Javier Abad, Paula Canalís, Hugo Malón.
- 1.4. Introducción al ascensor. (n.d.). Zaragoza: ITAINNOVA.
- 1.5. Sistema de elevación para edificios de espacio reducido. (2012). Barcelona: Alejandro Barahona Zarco.
- 1.6. Thimoshenko. Resistencia de materiales. (2009). 5th ed. Madrid: James M. Gere.

Normativa aplicada.

- 2.1. Cables de acero. Seguridad. Parte 5: Cables de cordones para ascensores. UNE-EN 12385-5:2004. (2004). Madrid: AENOR.
- 2.2. *Directiva 95/16/CE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros relativas a los ascensores..*
- 2.3. *Directiva 2006/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a las máquinas y por la que se modifica la Directiva 95/16/CE.*
- 2.4. *Directiva 2014/33/UE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de ascensores y componentes de seguridad para ascensores.*
- 2.5. Reglas de seguridad para la construcción e instalación de ascensores. Ascensores para el transporte de personas y cargas. Parte 20: Ascensores para personas y personas y cargas. UNE-EN 81-20. (2017). Madrid: AENOR.
- 2.6. Reglas de seguridad para la construcción e instalación de ascensores. Exámenes y ensayos. Parte 50: Reglas de diseño, cálculos, exámenes y ensayos de componentes de ascensor. UNE-EN 81-50. (2017). Madrid: AENOR.
- 2.7. Reglas de seguridad para la construcción e instalación de ascensores. Aplicaciones particulares para los ascensores de pasajeros y de pasajeros y cargas. Parte 70: Accesibilidad a los ascensores de personas, incluyendo personas con discapacidad. UNE-EN 81-70:2004/A1:2005. (2005). Madrid: AENOR.
- 2.8. Sistemas de designación de aceros. Parte 1: Designación simbólica. UNE-EN 10027-1:2017. (2017). Madrid: AENOR.



Biblioteca de catálogos.

- 3.1. ACLA-WERKE GMBH. Catálogo de amortiguadores.
- 3.2. MP ASCENSORES. Catálogo de motores de imanes permanentes.
- 3.3. MP ASCENSORES. Catálogo de frenos mecánicos.
- 3.4. MP ASCENSORES. Catálogo de limitadores de velocidad.
- 3.5. MP ASCENSORES. Catálogo de paracaídas.
- 3.6. PFEIFER DRAKO. Catálogo cables de tracción.
- 3.7. SAVERA GROUP. Catálogo de guías.

Programas empleados.

- 4.1. Autodesk AutoCAD.
- 4.2. Microsoft Office Word.
- 4.3. Microsoft Office Excel.
- 4.4. MEFI.
- 4.5. SolidWorks.

