



**Universidad
Zaragoza**

Trabajo Fin de Grado

Análisis y diseño del sistema de tracción de un
ascensor residencial

Analysis and design of the drive system of a
residential elevator

MEMORIA

Autor/es

Carlos Muñoz Villoria

Director/es

Javier Óscar Abad Blasco

Análisis y diseño del sistema de tracción de un ascensor residencial

Resumen

El objetivo del presente proyecto son el cálculo y definición de los distintos componentes del sistema de tracción y elevación de un ascensor residencial, así como su posterior modelización y simulación del movimiento en SolidWorks Motion.

La metodología aplicada para la consecución del proyecto constará de varias fases, en primer lugar, el cálculo de los componentes se realizará mediante calculo analítico, partiendo de las prestaciones y limitaciones del diseño, procediendo en segundo lugar, a la selección de los componentes en distintos catálogos en función de los parámetros obtenidos en el cálculo previo. Por último, se validarán los cálculos mediante la simulación que se realizara con SolidWorks Motion, comparando dichos resultados con los obtenidos analíticamente.



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).

D./D^a. CARLOS MUÑOZ VILLORIA,

con nº de DNI 73158561T 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, (Título del Trabajo)

ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA DE TRACCIÓN DE UN ASCENSOR RESIDENCIAL

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

Zaragoza, 21 NOVIEMBRE 2016

Fdo: CARLOS MUÑOZ VILLORIA

Índice Memoria

1	Introducción	5
1.1	Contexto y motivación del proyecto.....	5
1.2	Ascensores como medio de transporte en la actualidad	6
1.3	Tipos de ascensores.	7
1.3.1	Ascensor eléctrico	7
1.3.2	Ascensor hidráulico	8
2	Antecedentes.....	10
3	Soluciones y especificaciones adoptadas	11
3.1	Cabina ascensor	13
3.1.1	Cabina	13
3.1.2	Bastidor.....	14
3.2	Contrapeso.....	15
3.3	Motor	16
3.3.1	Selección motor	16
3.4	Freno electromagnético.....	19
3.5	Reductor sinfín corona.....	21
3.6	Sistema de suspensión.....	24
3.6.1	Descripción y tipos.....	24
3.6.2	Poleas de tracción.....	24
3.6.3	Cables de elevación	26
3.6.4	Suspensión seleccionada y características	26
3.6.5	Polea de desvío.....	28
3.7	Sistema de amortiguación	31
3.7.1	Amortiguador cabina.....	31
3.7.2	Amortiguador contrapeso	32
3.7.3	Comprobación pandeo amortiguadores	33
3.7.4	Deceleración por impacto	34
3.8	Limitador de velocidad	35
3.9	Paracaídas	37
4	Estudio cinemático	38
5	Modelado en SolidWorks Motion	40

5.1	Operación de elevación convencional	43
5.2	Operación de frenado convencional.....	47
5.3	Ascensor parado en planta	48
6	Conclusiones.....	49
6.1	Aporte del proyecto al autor	50
7	Bibliografía.....	51
8	Índice de Figuras.....	52
9	Índice de tablas.....	53

Índice Anexo Cálculos

1.	Ascensores como medio de transporte	4
1.1	Tipos de ascensores.....	4
1.1.1	Ascensor eléctrico	4
1.1.2	Ascensor hidráulico	11
1.1.3	Otros tipos de ascensores	14
2.	Calculo cabina.....	16
3.	Calculo contrapeso	18
4.	Calculo Motor de Tracción	20
4.1	Tipos de motor.....	20
4.1.1	Motores de corriente alterna asíncronos.....	20
4.1.2	Motores de corriente alterna síncronos	22
4.1.3	Motores de corriente continua	23
4.2	Cálculos	23
4.2.1	Potencia	24
4.2.2	Par de arranque	24
4.2.3	Par nominal.....	27
4.2.4	Selección catalogo motor	29
5.	Calculo Freno	30
5.1	Calculo par de frenada.....	30
5.1.1	Calculo par de frenada según norma	31
5.2	Dimensiones freno.....	33
5.3	Selección freno.....	36
6.	Reductor	37
6.1	Relación de transmisión.....	38
6.2	Calculo diámetros	39
6.3	Eficiencia de la transmisión	41
6.4	Momento torsor	42
6.5	Selección del reductor	43
7.	Sistema de suspensión	44
7.1	Cargas en las poleas y cableado seleccionado	45
7.1.1	Cables de elevación	46

7.2	Perfiles de gargantas y presión específica	50
7.3	Adherencia de los cables sobre la polea.....	53
8.	Amortiguadores.....	56
8.1	Calculo amortiguadores.....	59
8.1.1	Amortiguador cabina	62
8.1.2	Amortiguador de contrapeso	64
8.1.3	Comprobación del pandeo	66
8.2	Deceleración por impacto.....	68
9.	Calculo y selección limitador de velocidad.....	69
9.1	Perfil de garganta.....	70
9.2	Calculo de fuerzas en los cables	71
10.	Estudio cinemático	73
11.	Índice de figuras	78
12.	Índice de tablas.....	79

Índice Anexo Simulación

1	Modelado en SolidWorks Motion	3
2	Calculo componentes para Simulación	4
2.1	Motor de tracción	4
2.2	Freno	6
2.3	Reductor.....	7
3	Modelado de piezas y ensamblaje	8
4	Relaciones de posición mecánicas	12
5	Simulación de movimiento. SolidWorks Motion.....	16
5.1	Operación de elevación convencional	18
5.1.1	Resultados	20
5.2	Operación de frenado convencional.....	24
5.2.1	Resultados	26
5.3	Ascensor parado en planta	27
5.3.1	Resultados	29
6	Conclusiones simulación.....	30
7	Índice de figuras	31
8	Índice de tablas.....	32

1 Introducción

1.1 Contexto y motivación del proyecto

El presente proyecto nace con el objetivo de analizar y diseñar el sistema de tracción y elevación de un ascensor residencial, procediendo al estudio de uno de los sistemas de transporte más extendido en la sociedad actual, encontrándose en prácticamente la totalidad de nuevas edificaciones.

La motivación que impulsa este proyecto, es el interés por descubrir que origina que cada día podamos llegar cómodamente hasta la puerta de nuestra casa, hasta nuestra oficina o hasta nuestra aula.

Es un sistema tan implantado en la sociedad que no prestamos atención a las grandes facilidades que este sistema nos proporciona, sin embargo, es prácticamente imposible no emplearlo en el día a día.

De ahí nace la idea de analizar y diseñar el mecanismo que empleamos diariamente, del afán por descubrir que hay detrás de las cosas y no solo quedarnos en la superficie, es decir, potenciar la cualidad, que en mi opinión todo ingeniero debe tratar de desarrollar, la curiosidad.

Otra de las motivaciones que provocaron el interés por un proyecto de estas características, es la de ampliar y afianzar los conocimientos y técnicas de modelado y análisis con SolidWorks, en concreto el apartado de SolidWorks Motion.

La composición del presente proyecto consta de, una memoria en la que se presenta de forma resumida los procedimientos y objetivos marcados durante la realización del proyecto, así como las conclusiones y conocimientos adquiridos durante el mismo y un conjunto de anexos en los que se desarrolla ampliamente tanto los cálculos obtenidos de forma analítica, como los resultados obtenidos mediante SolidWorks Motion.

Una vez definida la dirección del proyecto, ascensores residenciales, se procede a la búsqueda y selección de la información, descubriendo los distintos tipos y modelos de ascensor, con el objetivo de centrar nuestro proyecto y seleccionar el tipo de ascensor a dimensionar.

Posteriormente se realizará el cálculo analítico de los distintos componentes que forman el sistema de tracción y elevación de un ascensor, partiendo de las prestaciones y limitaciones del diseño seleccionado. Los cálculos de los componentes buscan centrarse en la parte del mecanismo de tracción, restando importancia a la estructura portante del ascensor, la cual no abordaremos en gran medida en el presente proyecto.

Calculados los parámetros de los componentes del ascensor, procedemos a la selección de los mismo en distintos catálogos comerciales de diversos fabricantes en función de los resultados obtenidos en el cálculo previo.

Como complemento a los cálculos abordados, se realizará analíticamente un estudio cinemático del comportamiento del ascensor en distintos escenarios planteados, obteniendo diversos parámetros en función de las condiciones establecidas.

Finalmente se realiza una modelización del sistema de elevación mediante SolidWorks, a partir de la cual realizaremos la simulación de movimiento mediante SolidWorks Motion, sirviéndonos de validación y comparación de los resultados obtenidos mediante calculo analítico.

La simulación de movimiento mediante SolidWorks Motion se realizará en tres escenarios diferentes. El primer escenario a simular es una operación de elevación convencional desde el piso inferior al superior, en el que se buscará validar los parámetros obtenidos en relación al par de arranque y par nominal, velocidad nominal del ascensor, velocidad angular de la polea motor y aceleración de la cabina.

El segundo escenario simulado trata de una operación de frenado convencional, es decir, una operación en la que el ascensor se encuentra en movimiento, al igual que el escenario anterior, y tiene que realizar una parada en una planta. En este escenario busca validarse el par de frenada calculado, así como el tiempo de frenada establecido.

Finalmente, el último escenario planteado, el ascensor se encuentra parado en planta, de forma que debe permanecer inmóvil esperando a la subida o bajada de los usuarios en dicha planta. En este escenario busca validarse la fuerza necesaria para mantener el ascensor inmóvil.

1.2 Ascensores como medio de transporte en la actualidad

El ascensor se define como “Aparato elevador que sirve para transportar personas o cosas de unos pisos a otros en un edificio”, es decir, se trata de un sistema de transporte vertical diseñado para el transporte de personas o materias entre distintos pisos, pudiendo funcionar tanto en sentido ascendente como descendente.

Un ascensor está formado por elementos mecánicos, eléctricos, electrónicos, los cuales en conjunto permiten del movimiento del mismo, cumpliendo con su objetivo definido.

Hoy en día la gran mayoría de edificaciones que podemos encontrar en nuestras ciudades están condicionadas por el ascensor, convirtiéndose en un elemento tan extendido como imprescindible, suponiendo una gran comodidad para millones de usuarios en el mundo.

Sin la existencia de ascensores sería imposible el concepto de ciudad que conocemos en la actualidad, dado que sería inviable la construcción de edificios de gran altura como rascacielos, limitando en gran parte el desarrollo de ciudades, dado que la tendencia de las mismas es el desarrollo hacia arriba, en parte provocado por la limitación de territorio de algunas ciudades. De esta forma el acceso a vivienda sería mucho más caro y complicado para millones de personas, dado que construir viviendas en horizontal, consumiendo terreno es mucho más caro que construir en vertical, donde puedes dar cabida a un gran número de personas sin necesidad de ocupar mayor terreno.

Los ascensores han evolucionado a lo largo de los años, desde los primeros sistemas de elevación formados por palancas, poleas, rodillos o planos inclinados, pasando por sistemas de elevación accionados por máquinas de vapor para elevación de carbón desde las minas, hasta llegar a la versión de ascensor que conocemos hoy en día.

En la actualidad podemos encontrar distintos tipos de ascensores, los cuales exponemos a continuación, sirviéndonos de base para seleccionar el modelo a estudiar en el presente proyecto.

1.3 Tipos de ascensores.

Se exponen los distintos tipos de ascensores residenciales usados actualmente en el mercado, citando sus principales características y componentes, así como sus ventajas e inconvenientes, sirviendo como paso previo a la selección del modelo presentado a estudio.

Los principales tipos de ascensores que podemos encontrar son:

- Ascensor eléctrico
- Ascensor hidráulico

Otros modelos de ascensores que podemos encontrar en la actualidad para transportes de distintas mercancías son:

- Montacargas
- Montacamas
- Montacoches

1.3.1 Ascensor eléctrico

El ascensor eléctrico recibe este nombre debido al sistema de tracción empleado, formado por un grupo motor, un freno, un reductor y una polea de tracción y otra de desvío, las cuales arrastran los cables por adherencia. Este modelo de ascensor es el más

extendido dentro del mercado de ascensores residenciales, dado que presenta menos limitaciones que sus alternativas.

El grupo motor, en la mayoría de los casos está formado por un motor eléctrico de corriente alterna asíncrono, de una o dos velocidades y con la posibilidad de incorporar un variador de frecuencia, aunque también se emplean cada vez más motores de corriente alterna síncronos, mientras que los motores de corriente continua han experimentado una disminución en su uso.

El cuarto de máquinas en este tipo de ascensor se encuentra localizado en la parte superior del hueco, donde se encuentran los principales componentes descritos anteriormente.

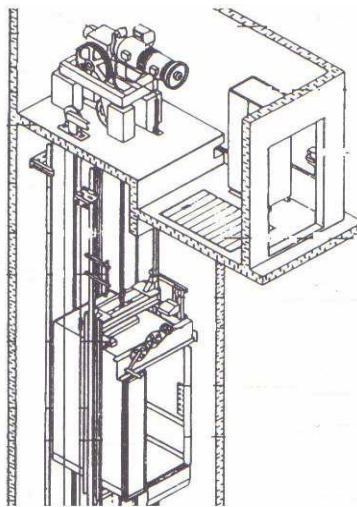


Figura 1.1. Ascensor eléctrico

Las principales ventajas de este tipo de ascensores son que no existe limitación en el recorrido, el mantenimiento, gasto eléctrico y repuestos más baratos, mayor eficiencia energética y gran rendimiento en su conjunto.

Por el contrario, sus principales inconvenientes se centran en un alto desgaste de los cables, una mayor sobrecarga de la estructura del edificio y una instalación menos flexible.

1.3.2 Ascensor hidráulico

El uso del ascensor hidráulico está menos extendido que el eléctrico, sin embargo, se siguen utilizando en la actualidad.

El sistema de tracción se compone de una central hidráulica, cilindro, pistón, válvula de control, cabina y un sistema de tuberías por donde circula el aceite empleado para el sistema hidráulico. A diferencia del ascensor eléctrico, este tipo de ascensor no incorpora contrapeso.

El accionamiento se logra por medio de un motor eléctrico acoplado a una bomba, la cual impulsa aceite a presión por unas válvulas de maniobra y seguridad, desde un depósito a un cilindro cuyo pistón sostiene y empuja a la cabina para ascender. En el descenso se deja vaciar el pistón del aceite mediante una válvula con gran pérdida de carga para un descenso controlado.

Especificaciones: Sistema hidráulico

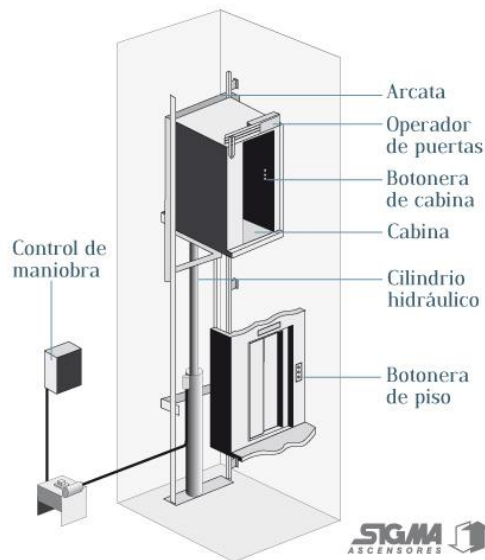


Figura 1.2. Ascensor hidráulico

Las principales ventajas de un ascensor hidráulico son que no necesitan cuarto de máquinas, un menor desgaste de componentes, menor sobrecarga del edificio y un arranque y paradas más suaves, además de no necesitar paracaídas.

Por el contrario, los principales inconvenientes son una mayor potencia necesaria a igualdad de prestaciones, un mayor coste de mantenimiento, limitación de altura y velocidades nominales más bajas.

Teniendo en cuenta la comparación entre ventajas e inconvenientes para ambos modelos de ascensores, podemos concluir, que supone una mayor rentabilidad la selección de un ascensor eléctrico para edificios de viviendas, dado que las limitaciones en el caso de los ascensores hidráulicos son mayores, tanto de altura como de velocidad.

Además, el uso de lubricantes supone un mayor mantenimiento, así como un mayor coste, suponiendo además un gran impacto medioambiental.

Como alternativa al ascensor eléctrico tradicional, se está empezando a extender el uso de ascensores eléctricos sin cuarto de máquinas, suponiendo un ahorro en los costes.

2 Antecedentes

Una vez expuestas las distintas opciones disponibles en el mercado, y tras conocer sus características y limitaciones, se opta por el estudio de un ascensor eléctrico, dado que es el modelo más comercializado, ampliamente utilizado para edificios de viviendas en todo el mundo, siendo de hasta el 70% el porcentaje de uso de este tipo de ascensores.

El presente proyecto se centra en ascensores residenciales, es decir ascensores que podemos encontrar en cualquier edificio de viviendas de la actualidad, por lo tanto, las decisiones y soluciones que se detallan en el proyecto van orientadas a dicho mercado.

Los ascensores residenciales suelen ser de 320 kg (4 personas), 450 kg (6 personas) o 630 kg (8 personas), en función del tráfico existente en el inmueble.

Finalmente, se ha llegado a la conclusión de que es conveniente proceder al estudio de un ascensor de 450 kg de carga nominal para 6 personas, el cual es el más extendido en ascensores residenciales, además permite el acceso a personas minusválidas, factor que se vería perjudicado en ascensores de menores dimensiones. Por otro lado, se ha decidido no trabajar con ascensores de mayores características de carga, ya que estos elevadores están más orientados a edificios con mayor tráfico de personas como podría ser centros comerciales, hoteles u oficinas.

En cuanto a la altura del inmueble, y por tanto del recorrido del ascensor, se ha decidido proyectar un ascensor para una altura de 8 plantas, la cual es la más normalizada dentro de los edificios de viviendas actuales. Estas 8 plantas corresponderían a 24 metros de altura (3 metros por planta), siendo este un factor determinante en la selección de un ascensor eléctrico, dadas las limitaciones en altura que padecen los ascensores hidráulicos.

3 Soluciones y especificaciones adoptadas

En el presente apartado se detallan las soluciones y especificaciones finales adoptadas para el cálculo y diseño de los distintos componentes que conforman un ascensor.

Como se ha mencionado en el apartado anterior, se opta por un ascensor eléctrico. Los motivos que justifican su elección son los siguientes.

- El edificio consta de 8 plantas y 24 metros de altura, dimensiones demasiado elevadas para un ascensor hidráulico
- La potencia necesaria para hacer funcionar el ascensor es menor, por lo que la eficiencia y el consumo energético será menor
- Menor coste de montaje, compra y mantenimiento
- Menor impacto ambiental dado el menor uso de lubricantes

El ascensor contará con un reductor de velocidad de tipo sinfín-corona, ya que a pesar de que los ascensores sin reductor o gearless están extendiéndose en su uso, para velocidades bajas (menores de 2 m/s) es recomendable la implantación de un reductor.

Las especificaciones principales para comenzar a dimensionar el ascensor son las siguientes:

Especificaciones principales	
Numero de pasajeros	6
Carga util	450 kg
Tipo de traccion	Electrica
Velocidad nominal	1 m/s

Tabla 3.1. Especificaciones ascensor

Los componentes seleccionados y dimensionados para el ascensor son los siguientes:

- Cabina
- Contrapeso
- Motor eléctrico
- Freno electromecánico
- Reductor sinfín-corona
- Polea de tracción
- Cables
- Polea de desvío
- Elementos de amortiguación
- Limitador de velocidad

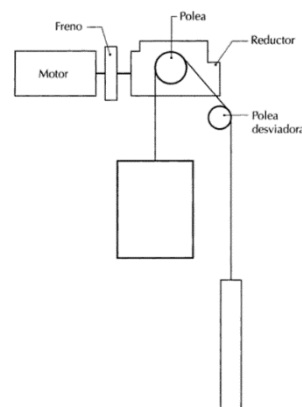


Figura 3.1. Sistema elevación

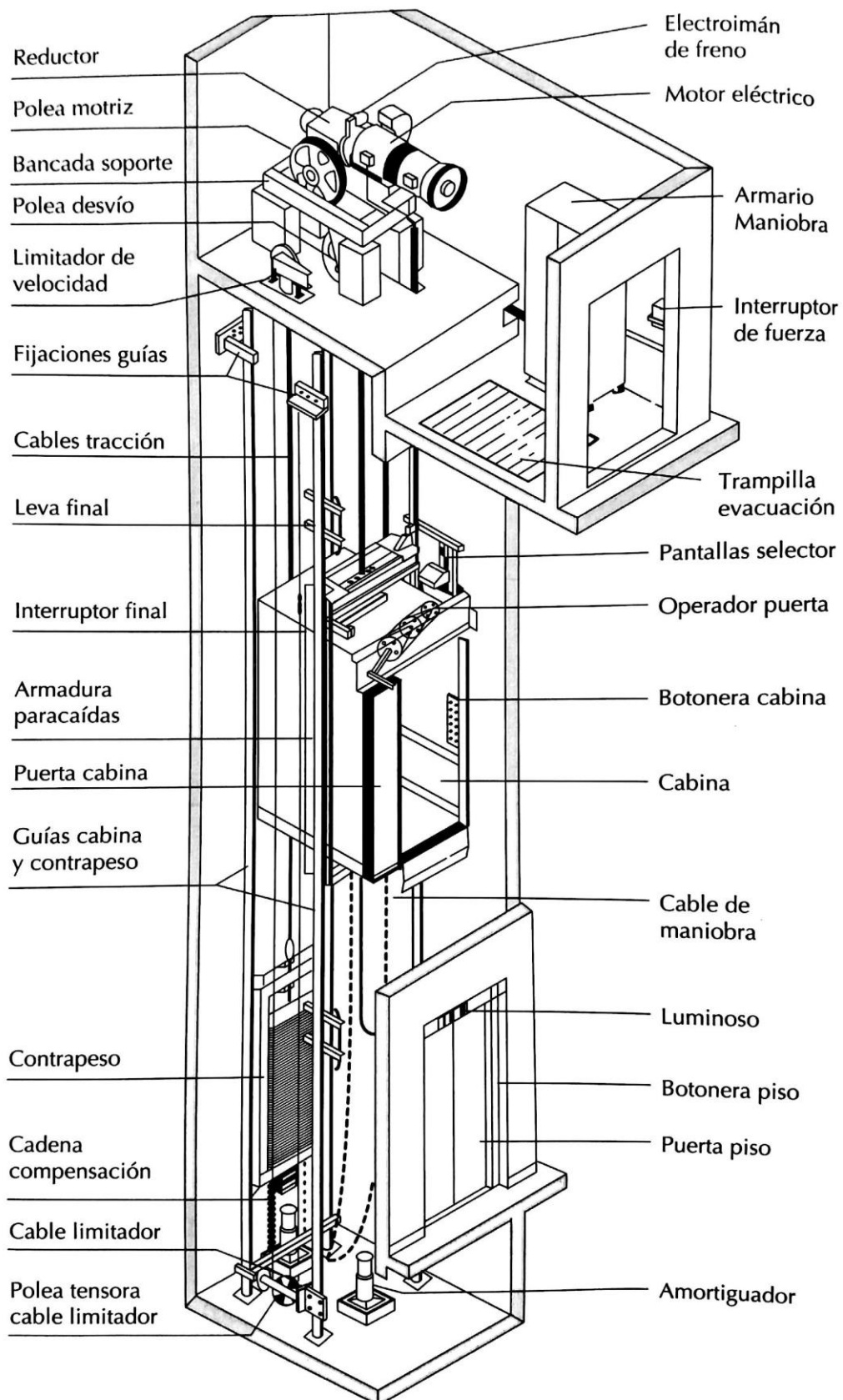


Figura 3.2. Componentes del ascensor

3.1 Cabina ascensor

La cabina es el elemento encargado del transporte en un elevador, está formado por dos elementos principales, un bastidor y una caja.

3.1.1 Cabina

La caja es el elemento destinado realmente al transporte de pasajeros, debe ser un habitáculo cerrado completamente por paredes, piso, y techo, excepto en la apertura donde se situará la puerta de acceso. Los materiales empleados para estos elementos deben ser de una alta resistencia mecánica, así como ser incombustibles.

Las dimensiones de la cabina deberán estar diseñadas en función del número de pasajeros y la carga nominal máxima fijada según la directiva europea 95/16/CE. Además, debe estar diseñada de forma que facilite el acceso y utilización a minusválidos.

Deben a su vez cumplir ciertas condiciones definidas en la norma EN 81.

La superficie máxima y mínima útil en función del número de pasajeros viene especificada en la siguiente tabla:

Número de pasajeros	Carga mínima equivalente	Superficie útil en m ²	
		Máxima	Mínima
2	150	0.60	0.50
3	225	0.80	0.61
4	300	1.00	0.81
5	375	1.20	1.01
6	450	1.40	1.21
7	525	1.55	1.41
8	600	1.70	1.56
9	675	1.85	1.71
10	750	2.00	1.86

Tabla 3.2. Superficie en función de pasajeros y carga

En cuanto a las dimensiones de la cabina según el número de pasajeros:

Capacidad y dimensiones montacargas				
Carga (kg)	Nº personas	Ancho puerta (mm)	Ancho cabina (mm)	Fondo cabina (mm)
320	4	700	950	950
450	6	800	1100	1225
630	8	900	1100	1400
800	10	900	1350	1400

Tabla 3.3. Dimensiones de cabina

Por lo tanto, para nuestro ascensor, finalmente las dimensiones seguirán la siguiente configuración.

- Anchura: 1100 mm
- Fondo: 1225 mm
- Altura: 2100mm
- Superficie útil máxima: 1,40 m²
- Peso cabina 6 personas: 450 kg

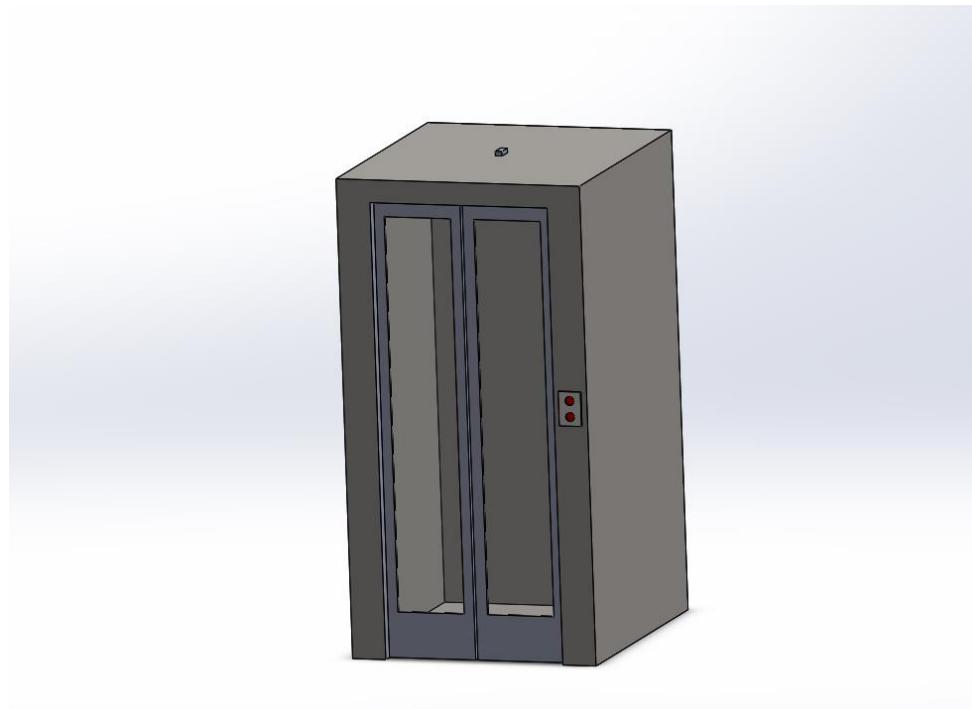


Figura 3.3. Cabina ascensor Simulación

3.1.2 Bastidor

El bastidor es el elemento resistente al que se acoplan los cables de suspensión y el mecanismo paracaídas. La estructura debe diseñarse para ser capaz de resistir los esfuerzos sin que se produzca rotura ni deformaciones en ninguna de sus componentes, en ninguna de las situaciones, tanto en las operaciones normales del ascensor, como en caso de actuación del mecanismo paracaídas o impacto contra los amortiguadores.

Según la norma EN 81, el mínimo coeficiente de seguridad para el diseño de este elemento, es de 5.

3.2 Contrapeso

El contrapeso es un elemento del ascensor encargado de equilibrar el peso de la cabina y de una parte de la carga nominal, normalmente el 50% de esta, de forma que la carga que debe elevar el grupo tractor sea menor, disminuyendo la potencia necesaria, y por lo tanto el consumo eléctrico, disminuyendo a su vez el coste, tanto de compra, al necesitar un motor de menor potencia, como de consumo.

El contrapeso está formado por bloques de hormigón colocados sobre un bastidor con un coeficiente de seguridad de al menos 5 según la norma EN 81.

Para efectuar los cálculos del contrapeso debe tenerse en cuenta la altura del edificio, ya que si esta altura es menor de 35 el peso del cable para el cálculo del contrapeso es despreciable y no se dispone de un cable de compensación, dado que nuestro modelo es de 24 metros de altura, no será necesario contar con el peso de los cables en el cálculo.

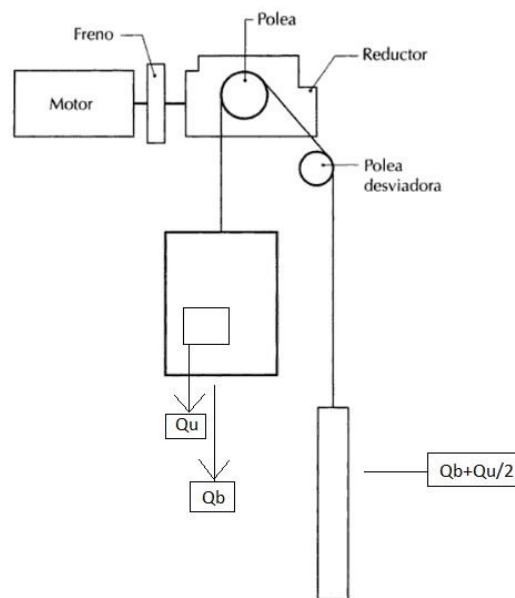


Figura 3.4. Cálculo contrapeso

En el caso de nuestro ascensor tras efectuar los cálculos que pueden consultarse en el *Anexo de Cálculos*, el peso total del contrapeso (Q_c) para poder compensar el peso de la cabina (650 kg) y una parte de la carga nominal será.

$$Q_c = Q_b + \frac{Q_u}{2} \quad (3.1)$$

$$Q_c = 650 + \frac{450}{2} = 875 \text{ kg}$$

Por lo tanto, el peso del contrapeso será de 875 kg.

3.3 Motor

El motor es el componente del ascensor que transmite la tracción a los distintos elementos para elevar la carga. Debe suministrar la potencia necesaria para elevar al conjunto.

Las características que definen el motor a emplear vienen determinadas por la velocidad nominal del ascensor y el servicio que van a prestar.

Podemos distinguir dos grupos de motores, los cuales podemos ver explicados en detalle en el *Anexo de Cálculos*:

- Motores de corriente alterna
 - Motores corriente alterna asíncrono
 - De una velocidad
 - De dos velocidades
 - Controlados por variador de frecuencia
 - Motores síncronos
- Motores de corriente continua con convertidores alterna-continua

3.3.1 Selección motor

Una vez expuestas las distintas opciones existentes para la selección del motor eléctrico, podemos ver en este grafico las distintas opciones en función del tipo de edificio y de la velocidad nominal.

Clase de instalacion	Velocidad nominal	Grupo tractor
Edificios de viviendas bajos	hasta 0,70 m/s	Con reductor y motor asincrono de una velocidad
Edificios de viviendas altos y oficinas	desde 0,70 a 1 m/s	Con reductor y motor asincrono de dos velocidades
Oficinas, comercios, hospitales	desde 1 a 2.5 m/s	con reductor y variador de frecuencia o motor corriente continua
Oficinas comerciales con trafico intenso	mayor de 2.5 m/s	traccion directa con variador de frecuencia
Almacenes y talleres con montacargas y montacamillas de hospitales	hasta 0,70 m/s	con reductor y motor asincrono de una o dos velocidades o con variador de frecuencia

Tabla 3.4. Selección del motor según clase de instalación y velocidad nominal

En nuestro caso, al tratarse de un edificio de 8 plantas, elegimos un motor asíncrono de dos velocidades con un reductor de tipo sinfín-corona.

Elegimos motor de corriente alterna frente al resto de opciones por los siguientes criterios:

- Motores de corriente alterna asíncronos son más baratos respecto al resto para la misma potencia consumida
- Menor mantenimiento respecto al resto de opciones y motor más robusto
- Selección de 2 velocidades frente a una velocidad, por confort y características del edificio, así como por un mayor control y rapidez

La potencia necesaria para el funcionamiento del ascensor depende de varios factores:

- Carga no equilibrada por el contrapeso
- Velocidad de régimen
- Resistencia pasivas que se oponen al movimiento, como puede ser el rozamiento con los distintos componentes del ascensor

Una vez seleccionado el motor que se va a emplear, se procede al cálculo de la potencia del mismo.

Teniendo en cuenta los cálculos desarrollados en el *Anexo de Cálculos* obtenemos que la potencia necesaria para el motor es de:

$$P = \frac{Q \cdot v}{\eta} \quad (3.2)$$

$$P = \frac{(225 \cdot 9,8) \cdot 1}{0,7} = 3150 \text{ W} = 3,15 \text{ kW}$$

El cálculo del par motor necesario para el arranque y funcionamiento del mecanismo debe ser capaz de vencer los momentos resistentes producidos durante el arranque, tanto el momento torsor producido en la polea de tracción por las cargas de la cabina y el contrapeso, el momento de inercia y el momento resistente producido por el rozamiento.

Una vez calculados los distintos componentes necesarios para el cálculo del par de arranque, y teniendo en cuenta la eficiencia de la instalación, obtenemos un valor final de:

$$M_m = \frac{M_{util} + M_I}{\eta} \quad (3.3)$$

$$M_m = \frac{13,96 + 60,37}{0,7} = 106,18 \text{ Nm}$$

Además del par necesario para el arranque, se calculará el par nominal en régimen normal de velocidad, es decir, una vez el ascensor esté funcionando. Una vez acelerado el sistema a su velocidad nominal, el motor solo deberá suministrar la potencia necesaria para mantener esa velocidad constante, por lo que el par resistente producido por las inercias y aceleraciones lineales es nulo, lo cual disminuye en gran medida el par motor, obteniendo un par nominal de:

$$M_{m \text{ nominal}} = \frac{M_{util}}{h} \quad (3.4)$$

$$M_{m \text{ nominal}} = \frac{13,96}{0,7} = 19,94 \text{ Nm}$$

Una vez obtenidos los valores de potencia, par nominal y par de arranque podemos seleccionar el motor en el catálogo del fabricante Rossi.

La selección del motor viene condicionada por el par de arranque necesario, siendo esta la característica empleada para la selección, cumpliendo con el par calculado en el apartado anterior.

4 polos - 1 500 min⁻¹

IP 55

IC 411

Aislamiento clase F

Sobrettemperatura clase B

4 pôles - 1 500 min⁻¹

IP 55

IC 411

Classe d'isolement F

Classe de surtempérature B

IE2⁴⁾

400V - 50Hz

ErP

ULC 1571

P _N 1) kW	n _N min ⁻¹	M _N N m	I _N A 400V	cos φ	η IE2 ⁴⁾ IEC 60034-2-1			$\frac{M_s}{M_N}$	$\frac{M_{max}}{M_N}$	$\frac{I_s}{I_N}$	J ₀ kg m ²	Z ₀ arr./h dém./h	Masa Masse kg
					100%	75%	50%						
0,75	1 420	5	1,7	0,8	79,6	79,7	77	2,9	3,6	6	0,0032	7 100	11
1,1 *	1 400	7,5	2,8	0,79	75	75,6	72	2,9	3	5,2	0,0032	5 000	11
1,1	1 430	7,3	2,6	0,75	81,4	81,2	77,9	3,2	4	6,2	0,0032	5 000	15,5
1,5	1 430	10	3,6	0,73	83,1	83,2	81	3,6	4,3	6,6	0,0041	4 000	18,5
1,85 *	1 400	12,6	4,5	0,76	78,6 ³⁾	80	77,1	2,9	3,2	5,1	0,0036	4 000	17
2,2 * □	1 400	15	5,7	0,70	79,7	80,3	77,2	2,8	3,2	4,9	0,0041	3 150	18,5
2,2	1 430	14,7	4,9	0,77	84,7	85,6	84,4	2,9	3,7	6,5	0,0061	3 150	22
3	1 430	20	6,6	0,79	85,5	86,4	85,7	2,9	3,5	6,5	0,0076	3 150	26
4	1 430	26,7	8,2	0,81	87	88,2	87,9	3	3,7	7,1	0,013	2 500	33
5,5 * □	1 420	37	12,3	0,76	84,7	86,1	85,7	3	3,4	6,1	0,013	1 800	33
5,5	1 450	36,2	11,2	0,81	88,1	88,6	87,8	3,4	3,7	7	0,0263	1 800	47
7,5 ²⁾	1 460	49,1	15,8	0,77	88,8	89,5	88,7	3,5	4	7,5	0,0357	1 250	58
9,2 ²⁾ *	1 460	60	19,2	0,77	89,4 ²⁾	89,4	87,9	3,7	4,25	7,8	0,0432	900	66
11 * □	1 450	72	23	0,78	87,8	88,2	87	3,5	3,8	7,3	0,0432	900	66
11	1 450	72	23	0,78	87,8	88,2	87	3,5	3,8	7,3	0,0432	900	75

Figura 3.5. Tabla selección motor tracción Rossi

Se selecciona el motor, con una potencia de 5,5 kW, dado que cumple el par de arranque necesario, además de cumplir con los requisitos de potencia, velocidad y par nominal.

3.4 Freno electromagnético

El sistema de freno es el componente encargado de la detención del ascensor en caso de corte de energía eléctrica.

Este sistema de frenado se consigue gracias a un freno de disco electromagnético. Cuando el ascensor está en reposo o cuando no hay tensión, el conjunto se encuentra frenado por este sistema, de forma que ante un corte del suministro se produce la parada inmediata del ascensor.

El freno eléctrico consiste en un freno de corrientes parásitas de Foucault, formando un mismo bloque con el motor, de forma que produce la parada del ascensor con un frenado suave y a nivel.

El freno mecánico actúa para inmovilizar el ascensor una vez detenida la cabina.

Según la norma EN 81-1, el par de frenada debe ser capaz de frenar de forma segura el ascensor con una carga equivalente al 125% de la carga nominal y de bloquearlo después de la parada. El par de frenada se compone de dos componentes, la componente dinámica para absorber la energía cinética de las partes móviles del sistema, y de la componente estática, encargada de bloquear el sistema después de la detención.

Para realizar el cálculo del par de frenada, debemos calcular el trabajo que realiza el freno, teniendo en cuenta su energía cinética y potencial durante la frenada.

$$W_{freno} = \sum E_{cinética} + \sum E_{potencial} \quad (3.5)$$

$$W_{freno} = 7552,73 \text{ W}$$

A partir del trabajo que realiza el freno, podremos calcular su par de frenada, calculando la variación angular durante el tiempo de frenada. Este tiempo de frenada lo calculamos en función de la aceleración de frenada establecida, en este caso $0,6 \text{ m/s}^2$.

$$t_f = \frac{v}{a} = \frac{1}{0,6} = 1,66 \text{ seg} \quad (3.6)$$

$$W_{freno} = M_F \cdot (\theta_1 - \theta_2) \quad (3.7)$$

$$M_F = \frac{W_{freno}}{\theta_2 - \theta_1} = \frac{7552,73}{130,39}$$

$$M_F = 57,92 \text{ Nm}$$

Este resultado corresponde con una carga equivalente del 125% de la carga nominal.

Otras prestaciones de interés en el cálculo del freno son, sus dimensiones, la fuerza axial y la presión máxima de contacto.

Suponemos una hipótesis de desgaste uniforme, es decir, se genera un desgaste uniforme en el disco.

Las dimensiones del freno las obtenemos del catálogo del fabricante Mayr, tanto el coeficiente de rozamiento como los diámetros del disco, de forma que podamos dimensionar el resto de parámetros.

$$f = 0,35$$

$$D = 0,270 \text{ m}$$

$$d = 0,1 \text{ m}$$

Obteniendo una presión máxima y una fuerza axial de:

$$p_a = \frac{M_F \cdot 8}{\pi \cdot f \cdot d \cdot (D^2 - d^2)} = 0,067 \text{ MPa} = 67 \text{ KPa} \quad (3.8)$$

$$F = \frac{M_F \cdot 4}{f \cdot (D + d)} = \frac{57,92 \cdot 4}{0,35 \cdot (0,270 + 0,100)} = 1789,03 \text{ N} \quad (3.9)$$

Al tratarse de dos pastillas, la fuerza axial será de:

$$F_A = \frac{1789,03}{2} = 894,51 \text{ N}$$

Sabiendo que la pastilla de freno ocupa aproximadamente 1/4 del tamaño del disco, los valores finales de presión y fuerza axial se ven multiplicados por el mismo factor, dándonos unos valores finales de:

$$p_a = 0,268 \text{ MPa} = 268 \text{ KPa}$$

$$F_A = 3578,06 \text{ N}$$

La selección del freno se realiza en función del par de frenada, seleccionando el tamaño de 6.

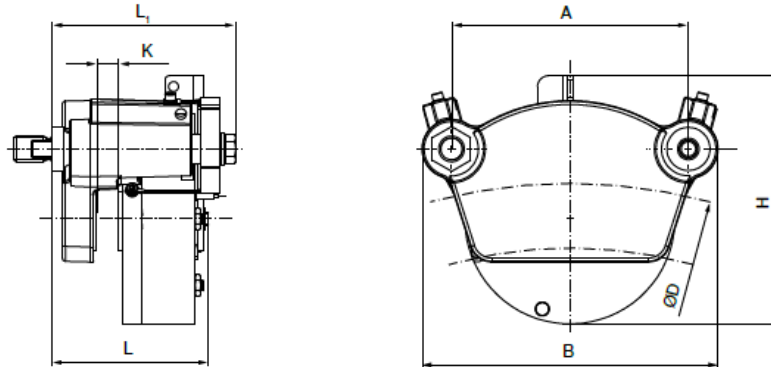
$$M_{frenada_{max}} = 1,296 \cdot (D - 40) = 1,296 \cdot (270 - 40) = 298,08 \text{ Nm} \quad (3.10)$$

Considerando suficiente el valor del par de frenada del fabricante.

ROBA®-diskstop®- Sizes 6 – 8

mayr®

Sizes 6 – 8



Technical Data and Dimensions				Size		
				6	7	8
Braking torque ¹⁾ "performance-optimised"	M	[Nm]		1,615 x (D - 40)	1,870 x (D - 50)	2,450 x (D - 50)
Example for brake disk diameter D = 1000 mm				1550	1777	2328
Braking torque ¹⁾ "noise-optimised"	M	[Nm]		1,296 x (D - 40)	1,615 x (D - 50)	1,960 x (D - 50)
Example for brake disk diameter D = 1000 mm				1244	1534	1862
Nominal power		[W]		41	53	63
Brake disk	Outer diameter	D	[mm]	270 – ∞	390 – 1500	390 – ∞
	Width ²⁾	K	[mm]	15	15	20
Brake	Bolt distance	A	[mm]	140	180	220
	Length	L	[mm]	125	138	146
	Length (with alignment mechanism)	L ₁	[mm]	161	161	173
	Height	H	[mm]	198	225,5	229
	Width	B	[mm]	184	227	275

Figura 3.6. Tabla selección freno Mayr

3.5 Reductor sinfín corona

El objetivo del reductor sinfín-corona nace de la necesidad de adaptar las revoluciones del motor eléctrico que suministra la potencia a la polea tractora encargada del movimiento del ascensor.

El reductor está formado por un sinfín de acero engranado con una corona de bronce. La gran mayoría de elevadores incorpora un reductor formado por un sinfín corona.

El mecanismo de tornillo sin fin se podría asemejar a que el tornillo sinfín y su correspondiente corona son un par de engranajes helicoidales en donde el primero de ellos posee un Ángulo de hélice tal que uno de sus dientes da una vuelta completa alrededor del diámetro primitivo.

En el caso de nuestro reductor, el filete es simple, por lo que se considera como un engranaje helicoidal de un solo diente y su relación de velocidades será:

$$\frac{\text{Velocidad angular corona}}{\text{Velocidad angular sinfin}} = \frac{1}{\text{número dientes corona}}$$

El primer paso para dimensionar el reductor es conocer su relación de transmisión, la cual va a depender tanto de la velocidad de salida como de la velocidad de entrada:

$$i_G = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1500}{50,25} = 29,84 \cong 30 \quad (3.11)$$

Obteniendo los dientes de la corona.

$$z_r = 30 \text{ dientes}$$

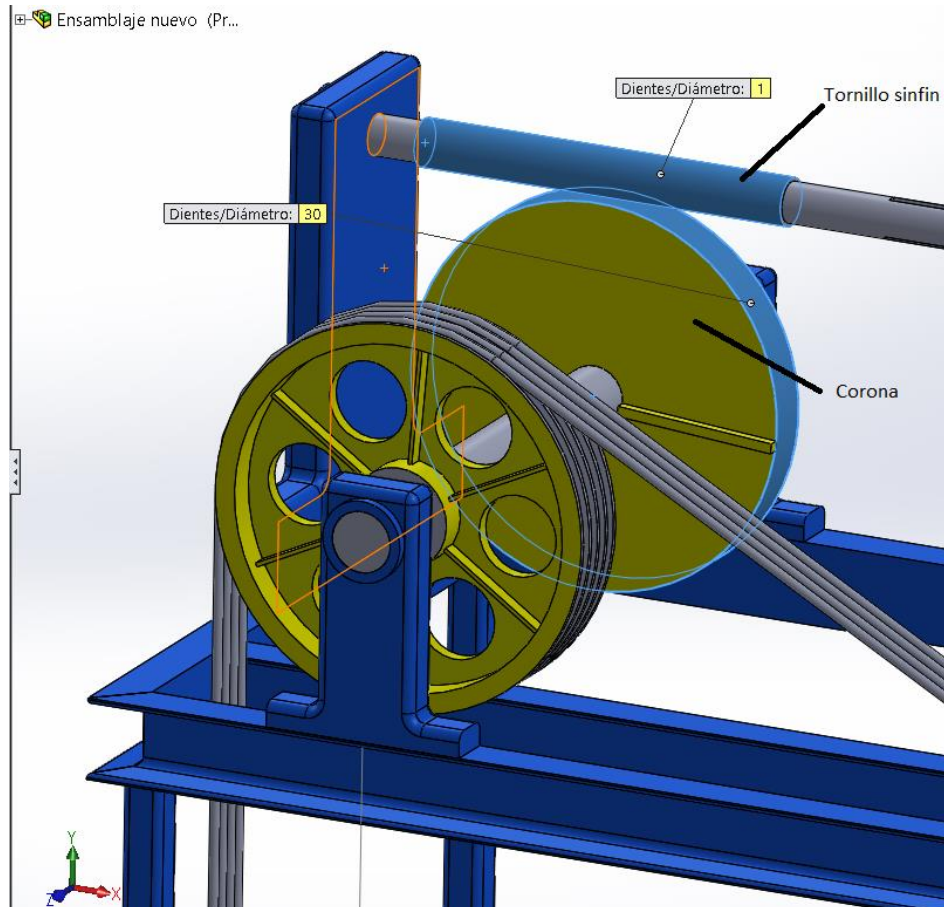


Figura 3.7. Reductor Simulación

Calculada la relación de transmisión del reductor, podemos proceder al dimensionamiento del resto de parámetros que definen el sinfín corona. Obtenemos el valor del diámetro primitivo del tornillo sinfín y de la corona, además de otros parámetros detallados en el *Anexo de Cálculos*.

$$D_{P1} = 0,0475 \text{ m}$$

$$D_{P2} = 0,380 \text{ m}$$

Una vez determinados los parámetros de dimensión del reductor, es necesario calcular el momento torsor capaz de transmitir a la cabina. Suponiendo el momento torsor en la polea y en la corona del reductor iguales, obtenemos un momento torsor en la corona de:

$$M_r = 418,95 \text{ Nm}$$

Teniendo en cuenta este resultado, así como la eficiencia de la instalación, en función de la eficiencia de la transmisión obtenida en el *Anexo de Cálculos* y la eficiencia del resto de componentes, obtenemos un momento torsor en el tornillo sinfín de:

$$\eta = 0,7$$

$$M_p = 19,95 \text{ Nm}$$

Finalmente se selecciona el reductor del fabricante LENTAX, teniendo en cuenta para la elección, el valor de la velocidad de salida y entrada, así como el momento útil capaz de transmitir por el reductor.

Seleccionamos el modelo 26, identificado en la siguiente imagen.

Potencia Entrada		Velocidad de Entrada aprox. (RPM)	Velocidad de Salida aprox. (RPM)	Modelo		Factor de Seguridad (Fz)	Momento Útil (Kgr cm)
CV	KW						
7.50	5.50	1440.0	25.0	26HR	750	1.00	17500
			30.0	26HR	750	1.28	14325
			40.0	26HR	750	1.65	11415
			• 37.0	26	750	1.00	11590
			50.0	26	750	1.34	8700
			54.0	26	750	1.41	8221
			76.0	26	750	1.83	6192
			99.0	26	750	2.32	4789
			139.0	26	750	3.00	3498
			• 72.0	25	750	1.15	6572
			99.0	25	750	1.56	4720
			137.0	25	750	1.95	3550

Figura 3.8. Tabla selección reductor Lentax

3.6 Sistema de suspensión

3.6.1 Descripción y tipos

El sistema de suspensión es el sistema formado por la polea de tracción, la polea de desvío y el cableado que transmite el movimiento a la cabina y al contrapeso. Es el encargado de transmitir la tracción suministrada por el motor al resto de componentes del sistema.

Existen dos configuraciones de suspensión mostradas a continuación:

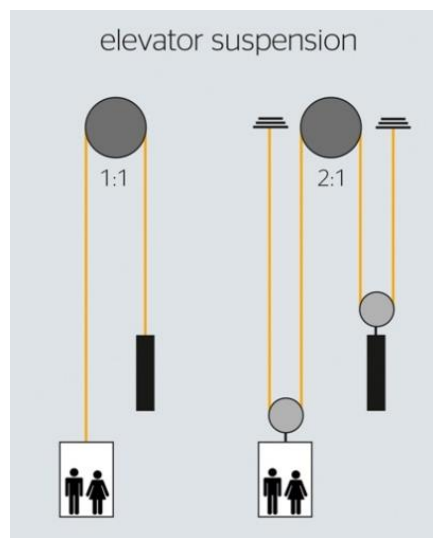


Figura 3.9. Configuración suspensión

3.6.2 Poleas de tracción

Las poleas de tracción deben ser capaces de soportar los esfuerzos que le transmiten los cables, y a la vez transmitir la tracción a estos cables mediante adherencia.

Las características que definen la selección de las poleas, son su diámetro, perfil de sus gargantas y el material de construcción.

El diámetro está relacionado con la velocidad de desplazamiento de la cabina; sin embargo, existe una relación entre el diámetro de la polea de tracción y los cables, la cual busca asegurar el mínimo desgaste de los cables. La norma EN 81 fija esta relación en:

$$\frac{D_T}{D_{cable}} = 40 \quad (3.12)$$

El perfil de las gargantas tiene una gran influencia en la duración de los cables, dado que un mal dimensionamiento dará lugar a un desgaste prematuro. Si seleccionamos una garganta muy estrecha, los cables se quedarían enclavados en ella, mientras que, si escogemos una garganta muy ancha, los cables no disponen del apoyo necesario, aplastándose.

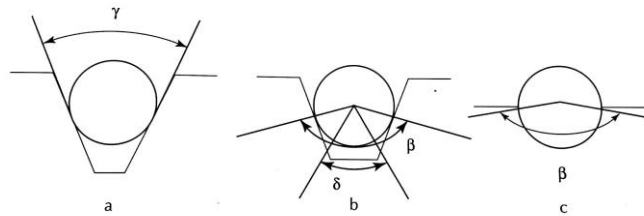


Figura 3.10. Tipos de gargantas

La garganta más empleada en ascensores es la semicircular con ranura o entalla (b), dado que mejora la adherencia de la garganta, evitando el rozamiento y deformación de la garganta.

El gráfico de Wornle refleja la duración de los cables en función de la garganta seleccionada.

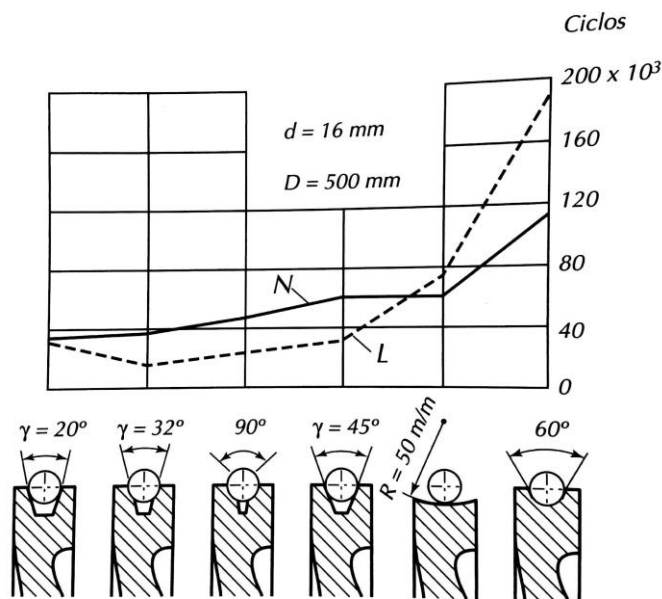


Figura 3.11. Gráfico de Wornle

El material empleado para la construcción de las poleas de tracción es la fundición de hierro gris, con la resistencia suficiente para soportar la presión de los cables sobre la garganta.

3.6.3 Cables de elevación

El tipo de cableado empleado es el cable metálico, constituido por una serie de alambres de acero agrupados formando cordones, que a su vez se enrollan sobre un alma formando un conjunto apto para resistir esfuerzos de extensión.

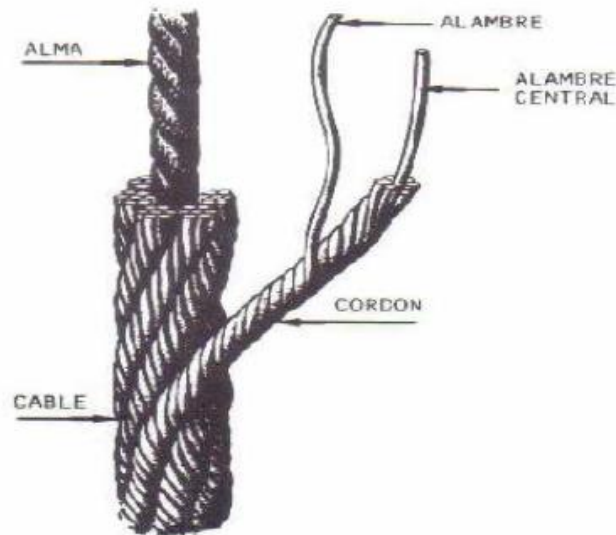


Figura 3.12. Componentes cable

Los cables de los ascensores se fabrican con alambres de distinto diámetro, variando su configuración en función del tipo que sea. Los principales tipos de cables empleados son los tipos Seale, Warrington y Filler-Wire.

Las secciones más empleadas suelen ser la Seale de 8 cordones para ascensores de altas prestaciones, y la Seale de 6 cordones para ascensores de prestaciones menores.

Las ventajas del Seale de 6 cordones y alma textil son una gran resistencia a la rotura debido a su elevada sección metálica y un precio muy bajo; sus inconvenientes son su excesiva rigidez que limita su resistencia a la fatiga y la poca superficie de contacto con las gargantas de la polea lo que origina fuertes presiones específicas.

3.6.4 Suspensión seleccionada y características

Se selecciona un sistema de suspensión de tipo directo 1:1 dado que la carga es menor de 2000 kg. La tracción seleccionada es mediante adherencia, dadas las ventajas proporcionadas por este sistema.

En referencia a los cálculos obtenidos en el *Anexo de Cálculos* obtenemos las especificaciones del cable.

Para seleccionar el diámetro de la polea, seleccionamos previamente el diámetro de los cables, dado que conocemos la relación de diámetros entre ambos elementos. Para el cálculo del diámetro de los cables, calculamos una carga mayorada Q_m . Es necesario aplicar un coeficiente de seguridad, según la norma EN 81, de 8, por lo que esta carga mayorada deberá estar multiplicada por este factor de seguridad, C_s :

$$Q_m = (Q_m + Q_u + Q_c) \cdot g \cdot C_s \quad (3.13)$$

$$Q_m = (650 + 450 + 875) \cdot 9,8 \cdot 8 = 154840 \text{ N}$$

Una vez conocida la carga total sobre los cables, dividimos el resultado obtenido entre el número de cables, en nuestro caso 4, para obtener la carga sobre cada ramal:

$$Q_{ramal} = \frac{Q_m}{4} \quad (3.14)$$

$$Q_{ramal} = \frac{154840}{4} = 38710 \text{ N} = 38,71 \text{ kN}$$

El cable seleccionado es del tipo Seale de 6 cordones con fibra de alma textil (Seale 6x19 (9+9+1) + 1 textil), siendo 4 el número de cables que transmitirán la tracción al ascensor.

Con este resultado, obtenemos varias soluciones, las cuales se exponen en la siguiente tabla, para finalmente obtener el diámetro de cable deseado, así como su peso, su resistencia y su carga de rotura:

Cable Seale 6x19(9+9+1)			
Diametro cable (mm)	Peso (kg/m)	Resistencia (Mpa)	Carga rotura (kN)
8	0,24	2000	44
9,5	0,32	1800	55
10,5	0,41	1600	62

Tabla 3.5. Características cable Seale 6x19

A pesar de que las 3 opciones seria validas, seleccionamos la segunda opción, con un diámetro de 9,5mm de cable.

De esta forma, dado que la relación entre diámetro de cable y diámetro de polea según la norma EN 81 debe ser de mínimo 40, aplicando la ecuación 3.12, el diámetro de la polea será de:

$$D_T = D_{cable} \cdot 40 = 9,5 \cdot 40 = 380 \text{ mm}$$

La garganta de polea seleccionada es la semicircular con entalla, dadas las ventajas expuestas, proporcionando una buena adherencia con poco rozamiento.

En cuanto al material seleccionado, la fundición de hierro gris posee una densidad de 7100kg/m³, aportándole un peso de 35 kg a la polea de tracción.

Además, para el correcto dimensionamiento de los elementos, debemos mantener la presión específica de los cables sobre las gargantas dentro de unos límites máximos.

Según la norma EN 81 la presión específica para gargantas semicirculares con entalla se calcula de la siguiente forma.

$$p = \frac{T}{n \cdot d \cdot D_T} \cdot \frac{8 \cdot \cos \frac{\delta}{2}}{\pi - \delta - \text{sen} \delta} I_B \quad (3.15)$$

Siendo:

$$\delta = 90^\circ$$

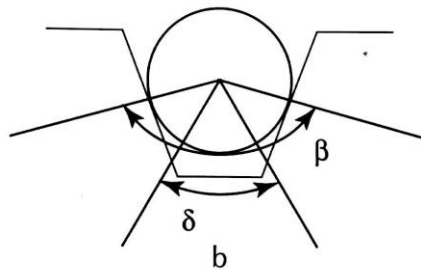


Figura 3.13. Ángulos garganta

Según los cálculos del *Anexo de cálculos*, la presión máxima es:

$$p_{max} < \frac{12,5 + 4 \cdot v}{1 + v} = 8,25 \text{ MPa} \quad (3.16)$$

Mientras que la presión que ejercen los cables sobre la garganta es de:

$$p = 7,79 \text{ MPa} < p_{max} = 8,25 \text{ MPa}$$

A raíz de los resultados, podemos observar que la presión específica de los cables no supera la presión específica máxima, considerando correctos los cálculos obtenidos.

3.6.5 Polea de desvío

El sistema se configura con una polea de tracción y otra de desvío, la cual mejora la adherencia de los cables con la polea. Es necesario acoplar una polea de desvío en el sistema si la distancia entre el amarre de los cables con bastidor y contrapeso es mayor al diámetro de la polea tractora, dado que el arco de contacto de los cables con la polea tractora sería demasiado elevado.

El diámetro de la polea de desvío es de 300 mm y se sitúa 500 mm por debajo de la polea tractora. $h = 0,5$ m

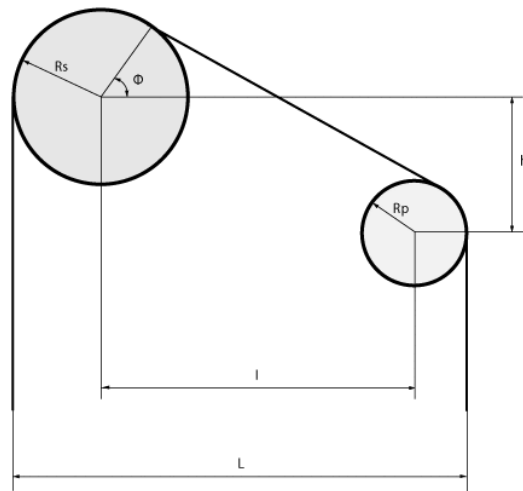


Figura 3.14. Configuración polea de desvío

Esta diferencia de altura se explica en que la capacidad para transmitir tracción por adherencia de una polea al cableado es mayor cuanto más arco de contacto exista entre ellos, de no ser el suficiente se derivará en un patinaje del cable sobre la polea impidiendo el movimiento del ascensor. Si colocáramos la polea de desvío a la misma altura, el ángulo sería de 90° , siendo muy pequeño. La comprobación de los cálculos para un ángulo tan bajo puede verse reflejado en el *Anexo de Cálculos*.

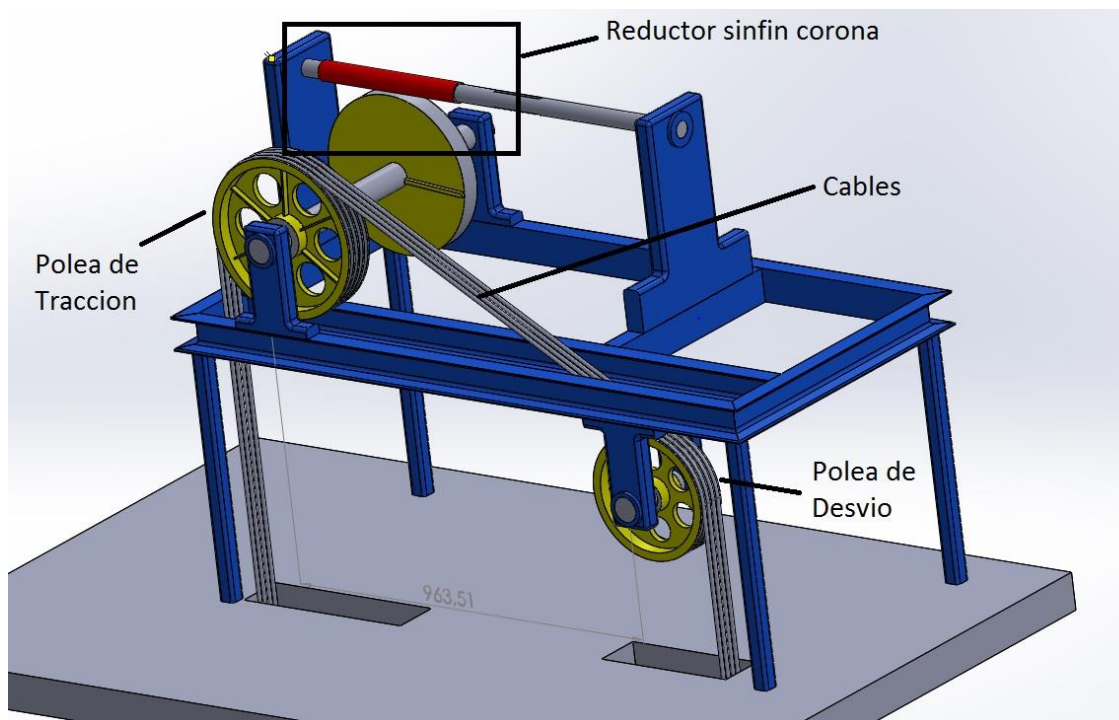


Figura 3.15. Polea de tracción y desvío Simulación

Una vez comprobado que un ángulo de 90 grados es insuficiente, bajamos la polea de desvío 0,5 m con respecto a la polea tractora, obteniendo un nuevo ángulo de adherencia que debemos calcular.

Realizamos el cálculo del ángulo ϕ :

$$\phi = 61,38^\circ$$

Una vez conocido el Angulo ϕ , calculamos el valor del arco de contacto de los cables sobre la polea α , mediante trigonometría:

$$\alpha = 180 - 61,38 = 118,62^\circ$$

De esta forma comprobamos que se cumplen las condiciones de tracción según la fórmula de Euler.

Siendo C_1 un coeficiente en función de la velocidad del ascensor, C_2 un coeficiente en función del tipo de garganta de la polea, T_1 y T_2 la relación entre carga mayor y carga menor, y f el coeficiente de rozamiento de los cables en las gargantas:

$$\frac{T_1}{T_2} \cdot C_1 \cdot C_2 < e^{f \cdot \alpha} \quad (3.17)$$

$$\frac{10780}{8583,75} \cdot 1,13 \cdot 1 = 1,41$$

$$e^{0,184 \cdot 2,07} = 1,46$$

Finalmente comprobamos que se cumple la ecuación 3.17, considerando correctos los cálculos obtenidos.

$$1,41 < 1,46$$

Como resumen del sistema de suspensión seleccionado, obtenemos la siguiente tabla.

Sistema de suspension	
Tipo	Suspension directa 1:1
Cable	4 cables tipo Seale 6x19 (9+9+1) con alma de fibra textil
Polea traccion	Fundicion de hierro gris Diametro 380 mm
Polea desvio	Fundicion de hierro gris Diametro 300 mm

Tabla 3.6. Características finales sistema suspensión

3.7 Sistema de amortiguación

Los ascensores deben estar provistos de amortiguadores para amortiguar la cabina o el contrapeso en caso de caída y no actuación de los paracaídas. Estos amortiguadores deben estar colocados en el foso.

Según la norma EN 81-1, se distinguen tres clases de amortiguadores:

- a) Amortiguadores de acumulación de energía: sólo pueden emplearse para ascensores de velocidad nominal no superior a 1 m/s.
- b) Amortiguadores de acumulación de energía con amortiguación del movimiento de retorno: para ascensores de velocidad nominal no superior a 1.6 m/s.
- c) Amortiguadores de disipación de energía: pueden ser empleados en ascensores de cualquier velocidad.

Una vez conocidos los tipos de amortiguadores que podemos aplicar a nuestro modelo, debemos seleccionar el tipo que más se ajuste al objeto de estudio.

Conociendo la velocidad nominal del ascensor, 1 m/s, se opta por el modelo de acumulación de energía para la cabina y el contrapeso.

El principal componente de un amortiguador de acumulación de energía es un resorte helicoidal de espiras, el cual trabaja de forma análoga a una barra de torsión que se ha enrollado en forma de hélice, por lo que el material trabaja a torsión en sus secciones.

En lo que respecta al material utilizado para los muelles, tanto de cabina como de contrapeso, se emplea un acero F1442, debido a que este acero permite la conformación de muelles helicoidales de grandes dimensiones, además de ser apto para aplicaciones con choques. El módulo de cortadura de dicho material es $G = 81,5 \text{ GPa}$, mientras que su resistencia es de 1600 N/mm^2 .

3.7.1 Amortiguador cabina

Para el cálculo del amortiguador, se realiza el cálculo del coeficiente de Wahl Ψ , el cual nos proporciona el factor de corrección de la tensión. Para el caso de la cabina el resultado del coeficiente de Wahl es:

$$\psi = \frac{\frac{D_s}{d} - 0,25}{\frac{D_s}{d} - 1} + \frac{0,615}{\frac{D_s}{d}} \quad (3.18)$$

$$\psi = \frac{6 - 0,25}{6 - 1} + \frac{0,615}{6} = 1,254$$

Para el cálculo de este coeficiente es necesario estimar la relación entre el diámetro del resorte y de la sección del hilo, el cual estimamos en 6.

$$\frac{D_s}{d} = 6 \quad (3.19)$$

Además, debemos calcular el valor de la fuerza máxima, la cual corresponde al momento en el que el resorte está completamente comprimido:

$$F_{max} = 4 \cdot (Q_u + Q_b) \cdot g \quad (3.20)$$

$$F_{max} = 4 \cdot (450 + 650) \cdot 9,8 = 43164 \text{ N}$$

Dado que colocamos dos amortiguadores en el foso, esta fuerza se ve reducida a la mitad, siendo el nuevo valor de:

$$F_{max} = \frac{43164}{2} = 21582 \text{ N cada resorte}$$

A partir de esta suposición, se realiza el cálculo del diámetro del hilo, el cual viene detallado en el *Anexo de Cálculos*, obteniendo un valor de diámetro de hilo de:

$$d \geq 31 \text{ mm}$$

A partir de este valor y conociendo la relación de 6 entre diámetros según la ecuación 3.19, obtenemos el diámetro del resorte:

$$D_s = 6 \cdot 31 = 186 \text{ mm}$$

Por ultimo obtenemos el valor de la rigidez del resorte, y a partir de este valor, obtenemos el valor del número de espiras del resorte:

$$K = \frac{F_{max}}{f_{max}} = \frac{21582}{135} = 159,86 \text{ N/mm}$$

$$n = 9,14 \cong 10 \text{ espiras}$$

Una vez determinados los parámetros principales del resorte, es necesario calcular la longitud inicial del mismo:

$$L_0 = (10 + 1) \cdot 31 + 135 = 476 \text{ mm}$$

3.7.2 Amortiguador contrapeso

Para el caso del contrapeso, se realiza el mismo procedimiento de calculo que para el caso de la cabina, obteniendo los siguientes resultados:

$$\psi = 1,254$$

$$\frac{D_s}{d} = 6$$

$$F_{max} = 4 \cdot 875 \cdot 9,8 = 34335 \text{ N} \rightarrow \frac{F_{max}}{2} = 17167,5 \text{ N}$$

$$d \geq 28 \text{ mm}$$

$$D_s = 6 \cdot 28 = 168 \text{ mm}$$

$$K = \frac{17167,5}{133} = 127,167 \text{ N/mm}$$

$$n = 10,38 = 11 \text{ espiras}$$

3.7.3 Comprobación pandeo amortiguadores

Una vez obtenidos los valores de los amortiguadores, es necesario realizar una comprobación de pandeo para los mismos, para asegurarnos de que el dimensionamiento obtenido no provoca pandeo en los resortes.

Para esta comprobación debemos tener en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$\frac{\delta}{L_0} \quad (3.21)$$

$$v \cdot \frac{L_0}{D} \quad (3.22)$$

Siendo L_0 la longitud inicial del muelle, δ_{max} la deformación máxima del resorte, v un factor adimensional dependiente de la conexión entre muelle y masa que ejerce carga.

Obtenemos el valor de v a partir de la siguiente grafica, escogiendo el valor de $v = 0,7$ dado que coincide con el caso a estudiar. Comprobando si pandea a partir de la gráfica:

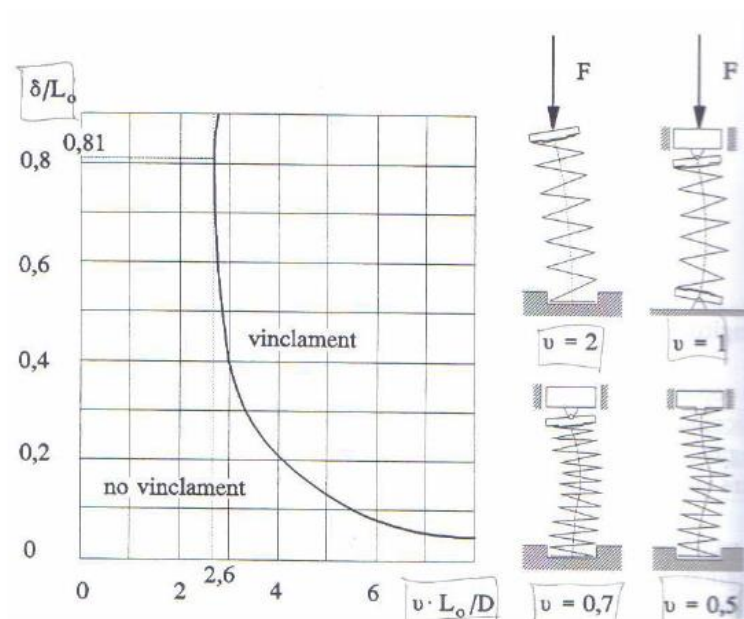


Figura 3.16. Comprobación de pandeo

Calculamos los valores para poder comprobar posteriormente en la gráfica.

$$\frac{\delta}{L_0} = \frac{135}{476} = 0,283$$

$$v \cdot \frac{L_0}{D} = 0,7 \cdot \frac{476}{186} = 1,79$$

Por lo tanto, podemos concluir que el dimensionamiento de los amortiguadores de la cabina es correcto, y por lo tanto NO pandean.

De igual manera, el caso del contrapeso:

$$\frac{\delta}{L_0} = \frac{135}{471} = 0,286$$

$$v \cdot \frac{L_0}{D} = 0,7 \cdot \frac{471}{168} = 1,96$$

Análogamente al caso de la cabina, podemos llegar a la conclusión de que los amortiguadores del contrapeso tampoco pandean.

3.7.4 Deceleración por impacto

En caso de impacto de la cabina sobre los amortiguadores, los usuarios experimentarán una fuerte deceleración, la cual no debe ser demasiado elevada, de forma que los mismos sean capaces de soportarla sin daños:

$$a = \frac{1,39^2}{2 \cdot 0,135} = 7,15 \text{ m/s}^2$$

Una vez obtenido el valor de la deceleración, es necesario comprobar que dicho valor no es demasiado excesivo para el cuerpo humano, dado que no supera a la aceleración de la gravedad.

3.8 Limitador de velocidad

El objetivo del limitador de velocidad es detener la cabina o el contrapeso en caso de que los mismos alcancen una velocidad superior a la fijada debido a diversas causas. Se compone de un cable limitador y dos poleas, la superior o limitador de velocidad y la inferior o de tensado.

El funcionamiento del limitador de velocidad es el siguiente, cuando por diversas causas, la cabina empiece a descender con movimiento acelerado, al llegar a cierta velocidad, la polea del limitador se bloquea provocando un tirón a la palanca del paracaídas y acciona el mecanismo que acciona las zapatas contra las guías deteniendo el ascensor.

El tipo de limitador que se decide instalar es un limitador de velocidad centrífugo.

De cara al dimensionamiento del limitador de velocidad, debemos proceder de forma análoga al dimensionamiento de las poleas de tracción. Las características que definen la selección de las poleas, son su diámetro, perfil de sus gargantas y el cableado seleccionado.

Previamente a la selección del cable limitador, debemos conocer la carga de rotura que es capaz de resistir. Según la norma EN 81-1, el esfuerzo provocado por el limitador de velocidad como consecuencia de su disparo debe ser como mínimo el mayor valor de los siguientes:

- 300 N
- Doble del esfuerzo para que actúe eficazmente el paracaídas

Por lo tanto, en este caso, el mayor de los valores es el doble del esfuerzo para que actúe el paracaídas, por lo que su carga a rotura será:

$$Carga\ a\ rotura = 2 \cdot 660 = 1320\ N = 1,32\ kN$$

Se opta por un cable Seale 6x19 + 1 con las siguientes características:

- Diámetro: 6 mm
- Peso: 0,14 kg/m
- Resistencia a tracción: 1600 MPa
- Carga a rotura: 22 kN

Dado que cualquier cable reúne las características de carga a rotura, y cuanto más pequeño sea, menor será el tamaño de la polea del limitador:

$$\frac{D}{d} \geq 30 \quad (3.23)$$

$$D \geq 6 \cdot 30 = 180\ mm$$

Para la selección del tipo de garganta, en el caso del limitador se opta por una garganta semicircular sin entalla, ya que presenta una mayor duración respecto al resto de los perfiles, manteniendo una correcta adherencia y menor rozamiento del fondo de la garganta.

Por último, comprobamos que la presión específica de los cables sea menor que la presión máxima:

$$p = \frac{T}{n \cdot d \cdot D} \cdot \frac{8 \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right)}{\pi - \beta - \operatorname{sen}\beta} = 1,55 \text{ MPa} \quad (3.24)$$

$$p_{\max} = \frac{12,5 + 4 \cdot v}{1 + v} = 8,25 \text{ MPa} \quad (3.25)$$

Como podemos observar $p < p_{\max}$ por lo que el dimensionamiento del sistema limitador de velocidad es correcto.

3.9 Paracaídas

Conocido los tipos de limitador, se debe especificar las prestaciones del mecanismo de paracaídas, puesto que el mismo va unido al sistema limitador de velocidad.

De igual manera que el limitador, el paracaídas actúa cuando la cabina o contrapeso adquieren una velocidad superior a la fijada. Cuando actúa el limitador, tira accionando una timonería que hace desplazar en dirección vertical a las dos varillas de actuación activando el mecanismo.

Según la norma EN 81- 1:

- Tipo progresivo si la velocidad de la cabina rebasa 1m/s
- Tipo instantáneo si la velocidad no supera 0.63 m/s
- Tipo instantáneo de efecto amortiguado si la velocidad nominal de la cabina no rebasa 1 m/s

Las principales diferencias entre ambos tipos radican en que en el segundo caso la frenada es de forma más brusca, lo que provoca un gran efecto de frenada en los usuarios, mientras que el progresivo realiza una parada de forma más constante.

Por este motivo, la elección final dado que la velocidad nominal del ascensor es de 1 m/s será un paracaídas de tipo instantáneo de efecto amortiguado.

Respecto a la tipología de los paracaídas instantáneos, será un paracaídas de zapatas de rodillos, ya que el efecto de frenado es más suave que el de cuñas.

4 Estudio cinemático

Se realiza un estudio cinemático con el fin de determinar las aceleraciones y reacciones que se producirán en el sistema frente a diversas situaciones, y comprobar que cumplen la normativa.

En primer lugar, establecemos la relación de fuerzas en la cabina, para poder analizar el sistema:

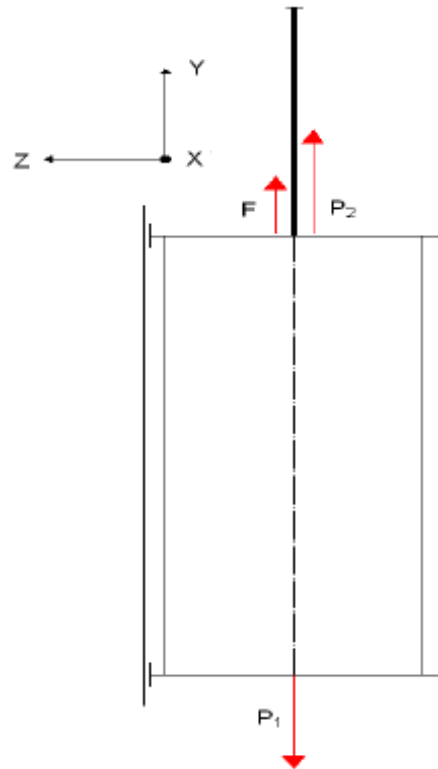


Figura 4.1. Distribución de fuerzas cabina

Siendo

P_1 Fuerza debida a masa de la cabina cargada

P_2 Fuerza debida a la masa del contrapeso

F Fuerza ejercida por el motor transmitido a la polea y a los cables

Las variaciones de velocidad experimentadas en el ascensor vienen dadas por la variación de la fuerza F , dado que tanto la fuerza P_1 como P_2 se consideran constantes:

$$P_1 = 1100 \text{ kg} \quad P_2 = 875 \text{ kg}$$

Se estudian los siguientes escenarios:

- Ascensor parado en planta
- Ascensor arranca en sentido ascendente
- Ascensor en frenada convencional
- Ascensor en operación de frenado de emergencia por acción del mecanismo paracaídas
- Ascensor en operación de frenado de emergencia por impacto contra los amortiguadores
- Ascensor en operación normal de funcionamiento a velocidad nominal

Los resultados obtenidos podemos resumirlos en la siguiente tabla:

	a)	b)	c)	d)	e)	f)
F (N)	2205	3580	2865			2205
Δv (m/s)	0	1	1	1,5	1,49	0
a (m/s²)	0	1,25	-0,6	-5,47	-8,22	0
Δt (seg)		0,8	1,66	0,274	0,181	
Δs (m)	0	0,4	0,83	0,206	0,135	0
Sentido		Ascendente	Descendente	Descendente	Descendente	Ambos

Tabla 4.1. Tabla resumen

Las aceleraciones que se producen en los distintos casos son perfectamente aceptables por el cuerpo humano, dado que este es capaz de soportar sin problema hasta una aceleración de 2-g durante un período prolongado.

5 Modelado en SolidWorks Motion

Una vez calculados y obtenidos los parámetros de diseño de los distintos componentes que conforman el sistema de tracción y elevación del ascensor residencial se procede a su modelado. Esta labor de modelado se realiza mediante SolidWorks, un software de CAD (diseño asistido por computadora) para modelado mecánico en 3D. Este programa permite modelar y diseñar piezas, realizar ensamblajes y obtener simulaciones de comportamiento de los componentes.

En nuestro caso, empleamos este software para realizar el modelado de las distintas piezas que forman el conjunto, para posteriormente realizar una simulación de movimiento en SolidWorks Motion.

Dado que el objetivo de este modelo es el estudio del movimiento del ascensor y la comprobación de los resultados obtenidos en el *Anexo de cálculos*, se trata de un modelo simplificado de un ascensor y no de un modelado real del ascensor en el que se muestren con realismo todos los componentes que conforman un ascensor.

Al tratarse de un modelo simplificado, no se van a tener en cuenta las pérdidas en el modelado para facilitar la simulación, suponiendo un rendimiento del 100%.

Por este motivo es necesario recalcular ciertos parámetros, los cuales podemos consultar en el *Anexo de Simulación*, para no tener en cuenta estas pérdidas que si se han considerado en el *Anexo de Cálculos*, para poder establecer una comparativa bajo las mismas condiciones.

En el caso del motor, los parámetros recalculados, son los siguientes:

$$P = \frac{Q \cdot v}{\eta} = \frac{(225 \cdot 9,8) \cdot 1}{1} = 2205 \text{ W} = 2,2 \text{ kW}$$

$$M_m = \frac{M_{util} + M_I}{\eta} = \frac{13,96 + 60,37}{1} = 74,33 \text{ Nm}$$

$$M_{m \text{ nominal}} = \frac{M_{util}}{\eta} = \frac{13,96}{1} = 13,96 \text{ Nm}$$

En cuanto al freno, se realiza el cálculo sin tener en cuenta el 125% de carga nominal exigido por la norma aplicando la ecuación 5.1 del *Anexo de Cálculos*.

$$M_F = 50,47 \text{ Nm}$$

Finalmente, el momento torsor en el tornillo sin fin, sin tener en cuenta las pérdidas en la instalación, aplicando la ecuación 5.1 del *Anexo de Cálculos* obtenemos el mismo valor que el par nominal del motor.

$$M_{p_teorico} = \frac{M_r}{i_G \cdot \eta} = \frac{418,95}{30 \cdot 1} = 13,96 \text{ Nm}$$

Una vez recalculados los parámetros para la comparación, se procede a la simulación.

En primer lugar, se realiza un modelado de los distintos componentes que conforman un ascensor.

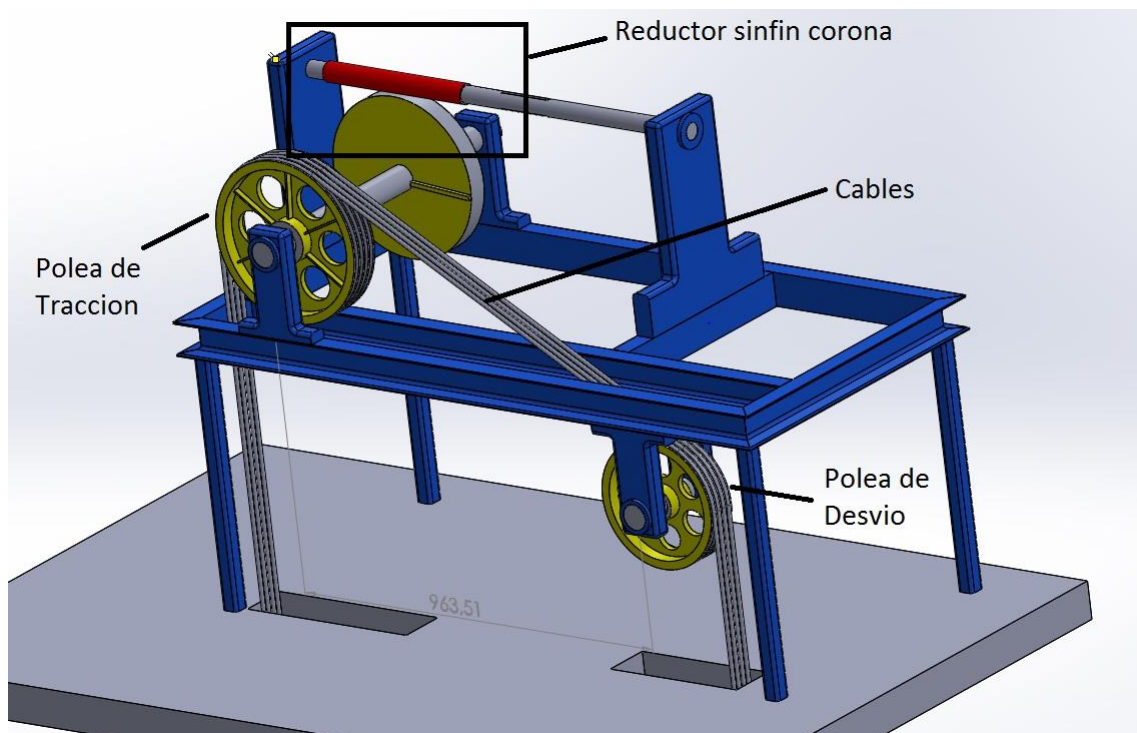


Figura 5.1. Conjunto tracción

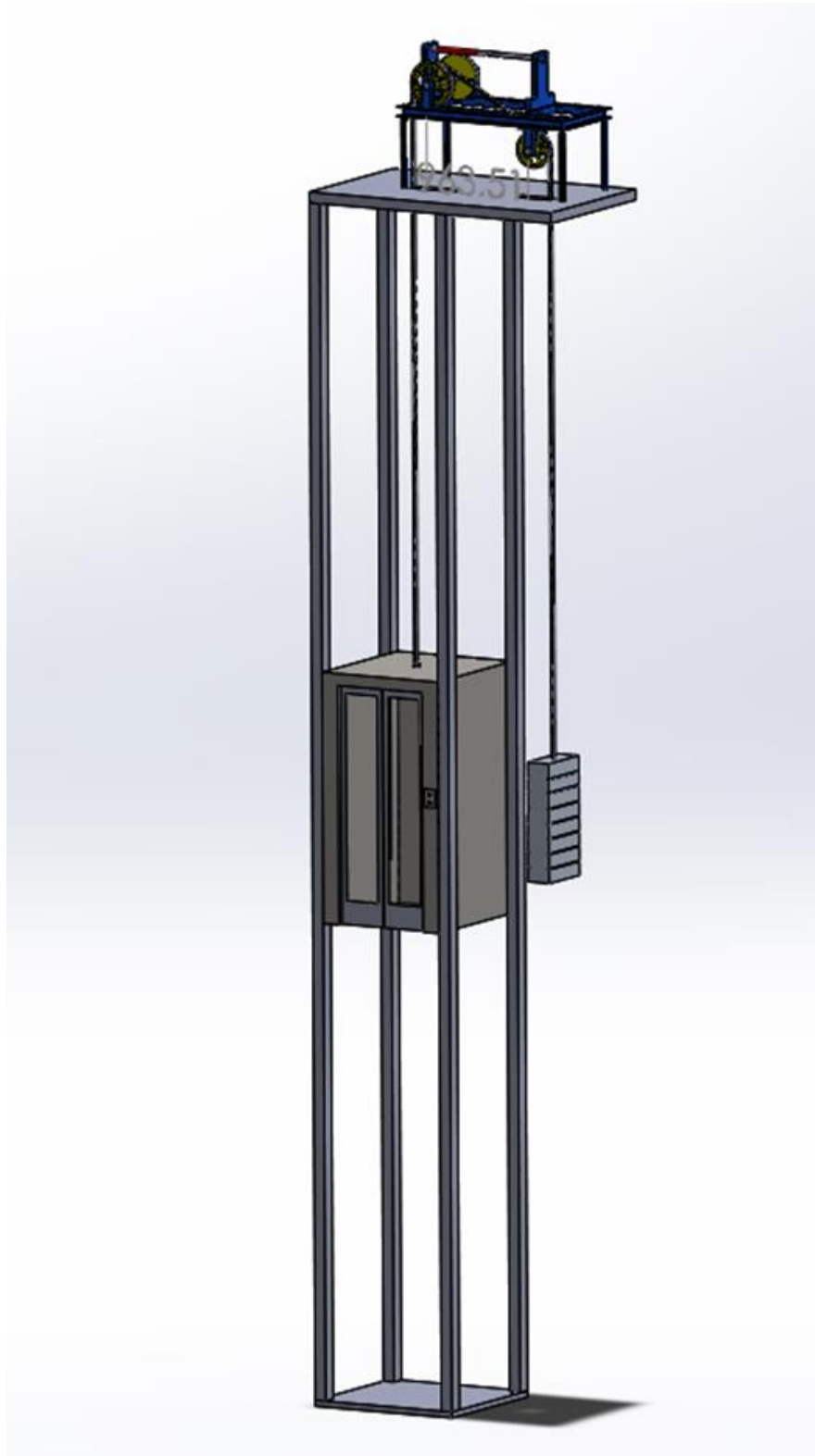


Figura 5.2. Conjunto ensamblado

Posteriormente se establecen las relaciones de posición entre los distintos elementos que forman el conjunto, destacando entre ellas las siguientes relaciones de posición mecánicas:

- Relación de posición de engranaje
- Relación de posición de correa
- Relación de posición de cremallera
- Relación de posición de acoplamiento lineal inverso

Una vez establecidas las relaciones de posición que permitan el movimiento de los componentes del ascensor, se procede al estudio de movimiento mediante SolidWorks Motion.

Se realizan tres estudios de movimiento:

- Operación de elevación convencional
- Operación de frenado convencional
- Ascensor parado en planta

5.1 Operación de elevación convencional

La operación de elevación convencional consiste en la operación normal de funcionamiento del ascensor. El objetivo de la simulación es la comprobación del par de arranque y par nominal, la velocidad y aceleración de la cabina, y las velocidades angulares del motor y polea.

Introducimos un motor rotatorio en el eje motor para inducir el movimiento con los siguientes valores:

Tiempo (s)	Valor
0s	0.00°/s
0.8s	9046.72°/s
8s	9046.72°/s
Haga clic para agregar una fila	

Tabla 5.1. Tabla motor

$$\omega = 9046,72 \frac{^\circ}{s} = 1500 \text{ rpm}$$

Los resultados obtenidos durante la simulación vienen resumidos en las siguientes gráficas, así como su comparación con los valores teóricos calculados.

- **Par de arranque y par nominal**

Valor teórico:

$$M_m = 74,33 \text{ Nm}$$

$$M_{m \text{ nominal}} = 13,96 \text{ Nm}$$

Simulación:

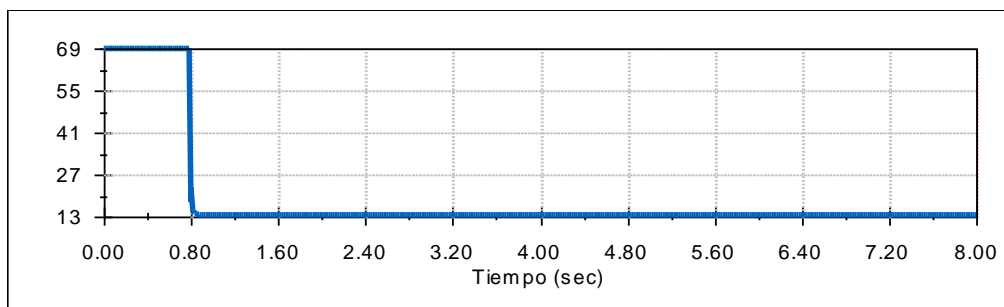


Figura 5.3. Par de arranque y par nominal

- **Velocidad angular motor**

Valor teórico:

$$\omega_m = 1500 \text{ rpm} = 157,1 \text{ rad} = 9046,72 \frac{\circ}{s}$$

$$t = 0,8 \text{ seg}$$

Simulación:

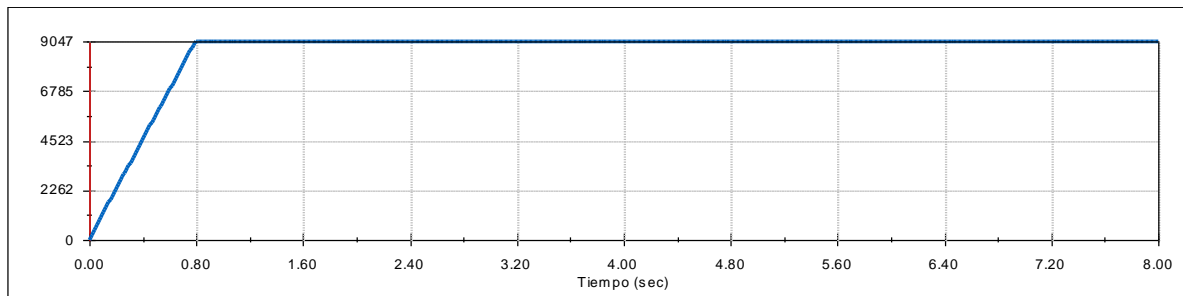


Figura 5.4. Velocidad angular motor

- **Velocidad nominal ascensor**

Valor teórico:

$$v_{nom} = 1 \frac{m}{s}$$

$$t = 0,8 \text{ seg}$$

Simulación:

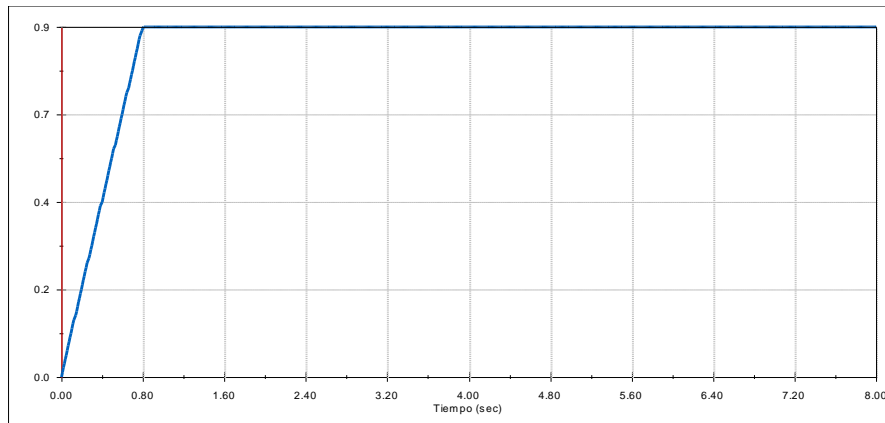


Figura 5.5. Velocidad nominal ascensor

- **Velocidad nominal contrapeso**

Valor teórico:

$$v_{nom} = 1 \frac{m}{s}$$

$$t = 0,8 \text{ seg}$$

Simulación:

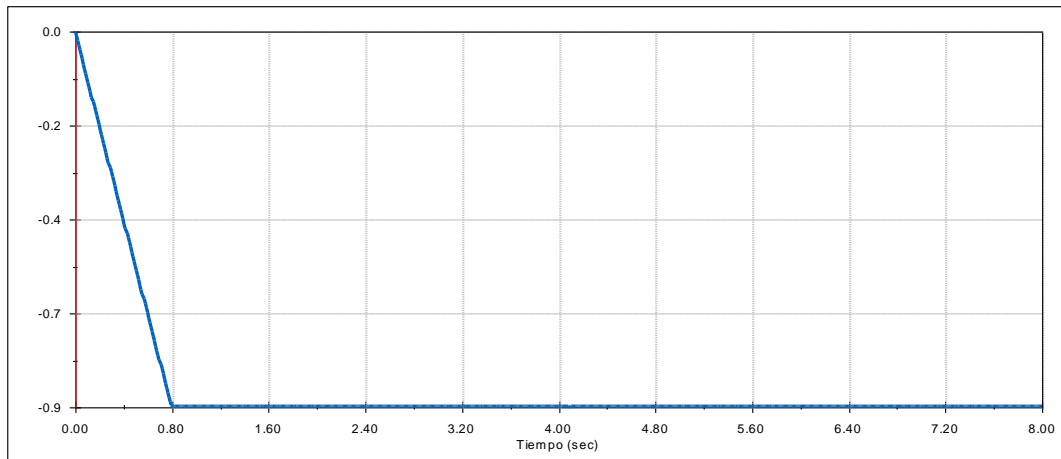


Figura 5.6. Velocidad nominal contrapeso

- **Velocidad angular polea**

Valor teórico:

$$w = 5,26 \text{ rad/s} = 50,25 \text{ rpm} = 301,5 \frac{\circ}{s}$$

Simulación:

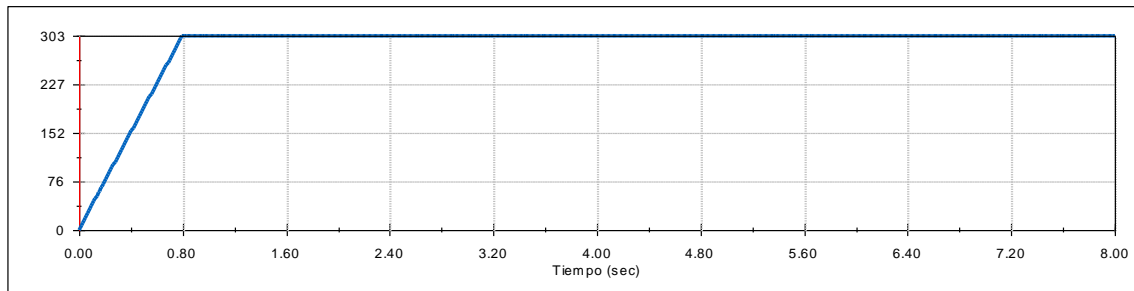


Figura 5.7. Velocidad angular polea

- **Aceleración lineal ascensor**

Valor teórico:

$$a = \frac{1-0}{0,8-0} = 1,25 \text{ m/s}^2$$

Simulación:

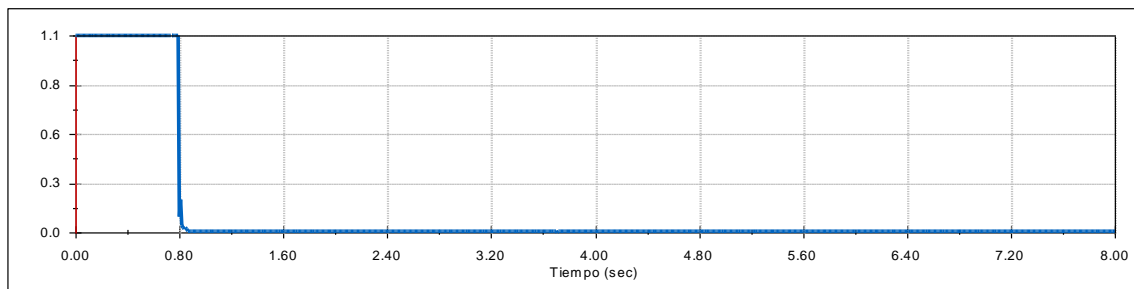


Figura 5.8. Aceleración lineal ascensor

5.2 Operación de frenado convencional

La operación de frenado convencional consiste en la frenada del ascensor durante un movimiento convencional, como podría ser una parada en un piso. El objetivo de esta simulación es la comprobación del par de frenada calculado en el *Anexo de Cálculos* en el tiempo calculado para la frenada.

Introducimos el valor del freno mediante la herramienta de fuerza de torsión:

Tiempo (s)	Valor
2s	0.00N·m
3.66s	50.47N·m
Haga clic para agregar una fila	

Tabla 5.2. Tabla par de frenada

Los resultados obtenidos durante la simulación vienen resumidos en las siguientes gráficas, así como su comparación con los valores teóricos calculados:

- **Par de frenada y tiempo de frenada**

Valor teórico:

$$t_f = 1,66 \text{ seg}$$

Simulación:

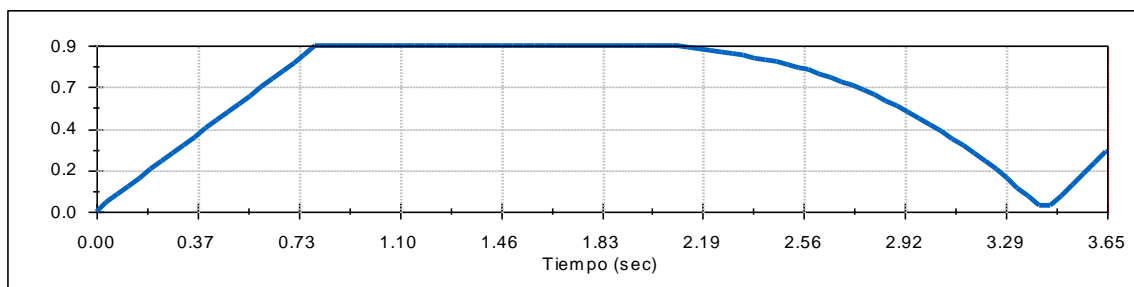


Figura 5.9. Par de frenada y tiempo de frenada

Valor gráfico:

$$t_f = 1,5 \text{ seg}$$

5.3 Ascensor parado en planta

Cuando el ascensor se encuentra parado en planta, la velocidad del ascensor es nula, ya que no se ha iniciado aún el movimiento del mismo, es decir, se trata de la situación de equilibrio del ascensor. El objetivo de la simulación es comprobar que la fuerza calculada en el *apartado 10 del Anexo de Cálculos* es la correcta para mantener el ascensor parado en planta.

Según el apartado 10-a), la fuerza en la situación de equilibrio es de:

$$F = 2205 \text{ N}$$

Introduciendo dicho valor de fuerza en la cabina, comprobamos si el ascensor permanece parado en planta.

Los resultados obtenidos se resumen en la siguiente gráfica, así como su comparación con los valores teóricos:

- **Velocidad nominal ascensor**

Valor teórico:

$$v = 0 \text{ m/s}$$

Simulación:

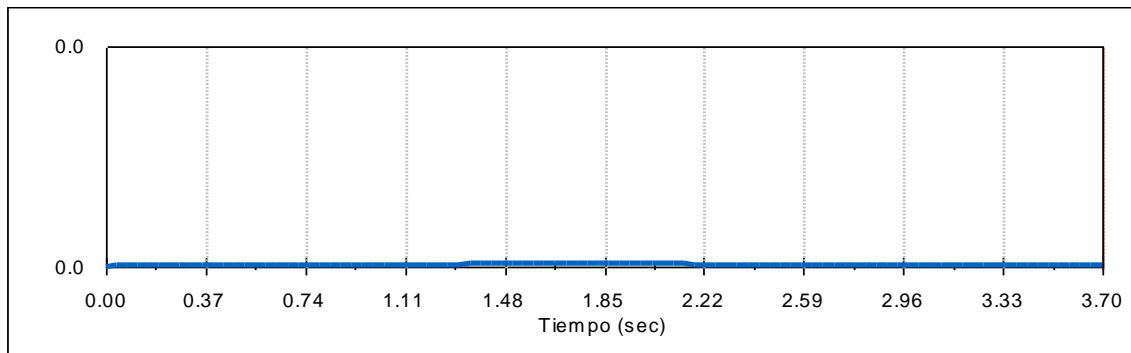


Figura 5.10. Velocidad nominal ascensor

6 Conclusiones

La idea de orientar el trabajo de fin de grado hacia los ascensores surgió de la curiosidad y la cercanía hacia este tipo de máquinas, con el fin de conocer más acerca de su funcionamiento, sus componentes y sus diferentes características, por lo que con este proyecto vi la oportunidad de plasmar y resolver dichas inquietudes.

Tras una primera fase de búsqueda y selección de las características y tipos de ascensores en el mercado, se planteó la necesidad de orientar el proyecto hacia un modelo en concreto, optando finalmente por el modelo, a mi modo de ver, más extendido en la actualidad, acudiendo de nuevo a la cercanía de ascensores vistos día a día.

Una vez orientado el proyecto, el siguiente paso consistía en realizar los cálculos de los distintos componentes y mecanismos que forman el ascensor, así como su selección en los distintos catálogos. La dificultad encontrada durante este proceso fue conseguir sincronizar todas las decisiones y selecciones tomadas con cada componente para conseguir un funcionamiento armónico del conjunto, es decir, conseguir que cada componente funcionara como un “mecanismo de reloj” con el contiguo, lo que supuso un trabajo de cálculo y reajuste de cada cálculo para conseguir este objetivo.

Una vez obtenidos todos los parámetros a dimensionar, surgió la necesidad de validar estos cálculos mediante algún modelo de simulación. Se optó por la herramienta de modelado SolidWorks por haber trabajado con ella durante la carrera, buscando además ampliar y afianzar los conocimientos adquiridos durante la misma.

Se realizó el modelado del mecanismo, y se procedió a la simulación del movimiento mediante el módulo de SolidWorks Motion, con el principal objetivo de validar los resultados obtenidos durante el cálculo analítico, de forma que pudiéramos tener alguna referencia para comprobar los resultados.

El principal objetivo de la realización de los cálculos mediante dos metodologías diferente se encuentra en la comparación de ambos métodos, de forma que tengamos una referencia clara del camino seguido, obteniendo una interpretación visual y grafica de los parámetros definidos, aportando una visión muy representativa del proyecto que se lleva a estudio.

Realizando una modelación en SolidWorks del movimiento del ascensor se busca dar forma a los números y cálculos analíticos, que por sí solos, no consiguen aportar toda la claridad que se desea en el proyecto.

Por lo tanto, en referencia a los resultados obtenidos mediante ambos métodos y tras su comparación, podemos concluir en que los resultados calculados de forma analítica coinciden con los obtenidos durante la simulación, validando la metodología seguida durante la redacción del proyecto, y por tanto considerando como válidos los cálculos realizados.

Por último, como proyecto de mejora del presente estudio, para alcanzar una mayor precisión en los cálculos de SolidWorks, dado que el modelo planteado supone un modelo ideal en el que no existen pérdidas, se plantea como línea futura la implantación de un análisis de las pérdidas que se producen en cada componente del ascensor de forma independiente, de forma que en su conjunto, se tengan en cuenta las pérdidas en la instalación constituyendo un modelo más fiel a la realidad.

Otra línea futura con posibilidad de implantarse en el proyecto, sería el análisis estructural de todos los componentes portantes del ascensor, como bastidores, guías de cabina y contrapeso, estructura portante del motor, reductor y corona, etc.

6.1 Aporte del proyecto al autor

El proyecto de fin de carrera se planteó como una forma de plasmar los conocimientos adquiridos durante la misma, enfocándolo en un mecanismo cercano y usado habitualmente con el fin de conocer y ampliar mis conocimientos acerca del mismo.

Debo decir que sin duda el proyecto ha sido un reto, con ciertas dificultades encontradas durante el camino, sin embargo, gracias a la constancia y al trabajo, las dificultades han sido superadas para conseguir los objetivos y obtener los resultados.

Finalmente, cabe destacar que uno de los objetivos planteados era el aprendizaje y ampliación de conocimientos, tanto del mecanismo del ascensor como tal, como de la metodología y el software de modelado utilizado, los cuales, en mi opinión, han sido totalmente conseguidos, aportándome con este proyecto una gran ampliación en mis conocimientos y capacidades.

Como conclusión final, la selección y realización de este proyecto, me ha aportado un gran aprendizaje en el análisis y diseño de componentes de máquinas, permitiéndome profundizar en temas de gran interés para un ingeniero en general, y para mí en particular, sirviendo de gran apoyo para cumplir las exigencias requeridas de un ingeniero en el mundo laboral.

7 Bibliografía

- ABAD BLASCO, J. (2015). *Apuntes de la asignatura "Sistemas mecanicos en maquinas y vehiculos"*. Zaragoza: Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza.
- ABAD BLASCO, J., CANALIS MARTINEZ, P., & MALÓN LITAGO, H. (2014). *Apuntes de la asignatura "Criterios de diseño de maquinas"*. Zaragoza: Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza.
- CANALIS MARTINEZ, P., & MALON LITAGO, H. (2015). *Apuntes de la asignatura "Calculo de elementos de máquinas"*. Zaragoza: Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza.
- JANOVSKY, L. (1993). *Elevator Mechanical Design*. Ellis Horwood Series .
- MIRAVETE , A., & LARRODÉ, E. (2007). *Elevadores: Principios e innovaciones*. Barcelona: Editorial Reverté, S.A.
- MIRAVETE , A., LARRODÉ, E., CASTEJON, L., & CUARTERO, J. (2014). *Los transportes en la ingeniería industrial*. Barcelona: Editorial Reverté, S.A.
- NORTON, R. L. . *Diseño de maquinas*. Ed. Prentice-Hall Hispanoamericana.
- SCHINDLER, S. (4ª Edicion). *Manual de transporte vertical*. Madrid: Schindler, S.A.
- SOLIDWORKS EDUCATION. (2010). *Guia del estudiante para el aprendizaje de software SolidWorks*. Massachusetts: Dassault Systèmes.
- ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE INGENIERIA GIJON. (s.f.). *Ayuda SolidWorks Motion*.

8 Índice de Figuras

<i>Figura 1.1. Ascensor eléctrico.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 1.2. Ascensor hidráulico.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 3.1. Sistema elevación.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 3.2. Componentes del ascensor.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 3.3. Cabina ascensor Simulación.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 3.4. Calculo contrapeso.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 3.5. Tabla selección motor tracción Rossi.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 3.6. Tabla selección freno Mayr.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 3.7. Reductor Simulacion.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 3.8. Tabla selección reductor Lentax.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 3.9. Configuración suspensión.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 3.10. Tipos de gargantas.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 3.11. Gráfico de Wornle.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 3.12. Componentes cable.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 3.13. Ángulos garganta.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 3.14. Configuración polea de desvío.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 3.15. Polea de traccion y desvio Simulacion.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 3.16. Comprobación de pandeo.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 4.1. Distribución de fuerzas cabina.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 5.1. Conjunto tracción.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 5.2. Conjunto ensamblado.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 5.3. Par de arranque y par nominal.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 5.4. Velocidad angular motor.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 5.5. Velocidad nominal ascensor.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 5.6. Velocidad nominal contrapeso.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 5.7. Velocidad angular polea.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 5.8. Aceleración lineal ascensor.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 5.9. Par de frenada y tiempo de frenada.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 5.10. Velocidad nominal ascensor.....</i>	<i>48</i>

9 Índice de tablas

<i>Tabla 3.1. Especificaciones ascensor</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 3.2. Superficie en función de pasajeros y carga.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 3.3. Dimensiones de cabina</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 3.7. Selección del motor según clase de instalación y velocidad nominal</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 3.8. Características cable Seale 6x19.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 3.9. Características finales sistema suspensión</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 4.1. Tabla resumen</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 5.1. Tabla motor</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 5.2. Tabla par de frenada</i>	<i>47</i>