



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Diseño y Fabricación de un Paracaídas
Instantáneo con Activación Electromecánica

Design and Manufacture of an Instantaneous
Safety Gear with Electromechanical Activation

Autor

Jorge Mateo Pueyo

Directora

Sonia Val Blasco

Ingeniería Mecánica

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2025



**Universidad
Zaragoza**



**Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza**

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	3
2	OBJETIVOS	3
3	DESCRIPCIÓN DE UNA INSTALACIÓN DE ASCENSOR CONVENCIONAL.....	4
3.1	Tipos de paracaídas y funcionamiento	7
3.2	Justificación y explicación de la activación electromecánica	13
4	DISEÑO DEL PARACAÍDAS INSTANTÁNEO	20
4.1	Diseño del bloque	21
4.2	Diseño del rodillo	26
5	DISEÑO DE LA ACTIVACIÓN ELECTROMECAÁNICA.....	27
5.1	Estados de funcionamiento: Preacuñado	29
5.2	Estados de funcionamiento: Rearmado	31
5.3	Monitorización	32
5.4	Selección de las bobinas y dimensionamiento del muelle	33
6	FABRICACIÓN DEL PARACAÍDAS.....	38
6.1	Componentes del paracaídas	38
6.2	Bloque	39
6.3	Rodillo	40
7	FABRICACIÓN DE LA ACTIVACIÓN ELECTROMECAÁNICA.....	41
7.1	Chapa de protección autoportante, chapa de empuje de rodillo, biela, leva y pulsador de rearme41	
7.2	Pivotes cortos, pivote largo y pasador	43
7.3	Pisador	44
7.4	Calce muelle	44
8	CONCLUSIONES	45
9	BIBLIOGRAFÍA.....	46
10	ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.
	Anexo I Términos y definiciones	¡Error! Marcador no definido.
	Anexo II Planos y hojas de proceso	¡Error! Marcador no definido.

1 INTRODUCCIÓN

El mundo del ascensor está en constante evolución, buscando optimizar productos y procesos, a la vez que se reducen costes y se obtiene un servicio más ecológicamente sostenible. Guiados por estos principios, se obtiene la idea de este trabajo, una evolución de un paracaídas instantáneo, con la novedad de una activación electromecánica.

El paracaídas instantáneo es un dispositivo que se encarga de frenar al ascensor en caso de una sobrevelocidad ocasionada por algún fallo en la instalación. Este fallo puede ser debido a una rotura de los cables de suspensión, rotura del freno motor, picos de corriente en el variador de velocidad...etc.

En las instalaciones de ascensor convencionales, detectar la posición de la cabina y activar los elementos de seguridad requiere de muchos componentes mecánicos. Sensores magnéticos, interruptores de final de carrera, limitador de velocidad, cables de acero...etc.

Hasta la entrada en vigor de la enmienda A1 de la norma EN81 en 2005, los paracaídas obligatoriamente tenían que ser de tipo mecánico. A partir de ese momento, se permitió la posibilidad de usar sistemas eléctricos y electrónicos para funciones de seguridad, entre ellas la activación del paracaídas.

La activación electromecánica se encarga de activar el paracaídas de forma remota, sin necesidad de un limitador de velocidad mecánico y sus elementos de transmisión. Se trata de un sistema que permite simplificar la instalación y el mantenimiento de las instalaciones de ascensores, a la vez que se mejora la seguridad. Además, su implementación permite una monitorización remota de la instalación, mejorando el mantenimiento predictivo.

En este trabajo se analizará el funcionamiento y los componentes de un paracaídas de tipo tradicional para valorar cuáles son sus principales inconvenientes.

Posteriormente, se desarrollará el diseño de un paracaídas con activación electromecánica, dimensionando todos sus componentes, teniendo en cuenta el cumplimiento de todos los requisitos de la normativa.

Una vez definidos los componentes, se explicará el proceso de fabricación de cada pieza, explicando las principales fases y el objetivo de cada una de ellas.

2 OBJETIVOS

Los objetivos principales de este trabajo son los siguientes:

- Diseñar un paracaídas instantáneo para ascensor.
- Diseñar una activación electromecánica para dicho paracaídas.
- Describir los procedimientos de fabricación del paracaídas y de la activación electromecánica.

3 DESCRIPCIÓN DE UNA INSTALACIÓN DE ASCENSOR CONVENCIONAL

Hay dos tipos principales de instalaciones de ascensor, de actuación eléctrica y de actuación hidráulica. En este proyecto nos vamos a centrar en el tipo de ascensor más ampliamente extendido por todo el mundo, que es el ascensor de actuación eléctrica.

En una instalación convencional de ascensor con actuación de tipo eléctrica, se tienen las siguientes partes:

- **Cabina:** Se compone de la caja y el bastidor, y es el lugar en el que viajan las personas o cargas en general. Se desliza normalmente por dos guías de perfil en T que discurren verticalmente por el hueco del ascensor gracias a unas rodaderas o deslizaderas. Se encuentra unida a la máquina de tracción gracias a una serie de cables de acero de suspensión.
- **Contrapeso:** Se trata de un lastre, a menudo de hormigón, que está unido a la máquina de tracción mediante unos cables de acero. Facilita el trabajo de la máquina ya que no tiene que hacer toda la fuerza para mover la cabina.
- **Cables de suspensión:** Cables unidos a la cabina, contrapeso o masa de equilibrado con el fin de moverla en la dirección deseada.
- **Cuadro de maniobra:** Es el sistema que controla los movimientos de la cabina, velocidades, paradas, luces...etc.
- **Motor de tracción:** Se trata de un motor eléctrico controlado por un variador que mueve la polea de tracción. La polea de tracción mueve los cables de suspensión, que a su vez hacen que la cabina se desplace a la velocidad nominal deseada.
- **Limitador de velocidad:** Se trata del sistema de seguridad que se encarga de limitar la velocidad a la que se mueve el ascensor. Está compuesto por una polea por la que circula un cable de acero que se mueve solidario a la cabina. Mediante un sistema de centrífugos o de trinquete, es capaz de enclavarse cuando supera la velocidad de disparo. Al enclavarse, el cable del limitador tira del paracaídas, activándolo. El limitador puede situarse estático en la parte superior del hueco del ascensor, o ir embarcado sobre la cabina.
- También está compuesto por una polea tensora, que mantiene el cable del limitador a la tensión de trabajo permitiendo que tire del paracaídas en una actuación. Se sitúa anclada en la parte inferior del hueco. Pueden ser de dos tipos: de masas o de muelles.
- **Paracaídas:** Es el sistema de seguridad que frena al ascensor en el caso de que ocurra una sobrevelocidad o un movimiento inintencionado de cabina (UCM). Va montado

en el bastidor, y cuando el limitador enclava, el cable del limitador tira del paracaídas, activando un sistema de rodillo y zapata (en el caso de mi diseño), que frena contra la guía, deteniendo así la cabina.

Los paracaídas tienen mano derecha e izquierda, cada una actuando sobre cada guía del ascensor. Se activan mediante una timonería, que los une entre ellos y al cable limitador.

Hay dos tipos principales: instantáneos y progresivos.

- Guías: Componentes rígidos destinados a guiar la cabina, el contrapeso o la masa de equilibrado.
- Otros elementos, como por ejemplo los operadores de puertas de cabina y hueco, los amortiguadores de la parte inferior del hueco, los diferentes interruptores de final de carrera; los de nivel, los de puertas, los de límite inferior y superior de hueco, los de inspección...etc.

En el Anexo I hay un listado de terminología y definiciones relacionadas con el ascensor para ampliar la información.

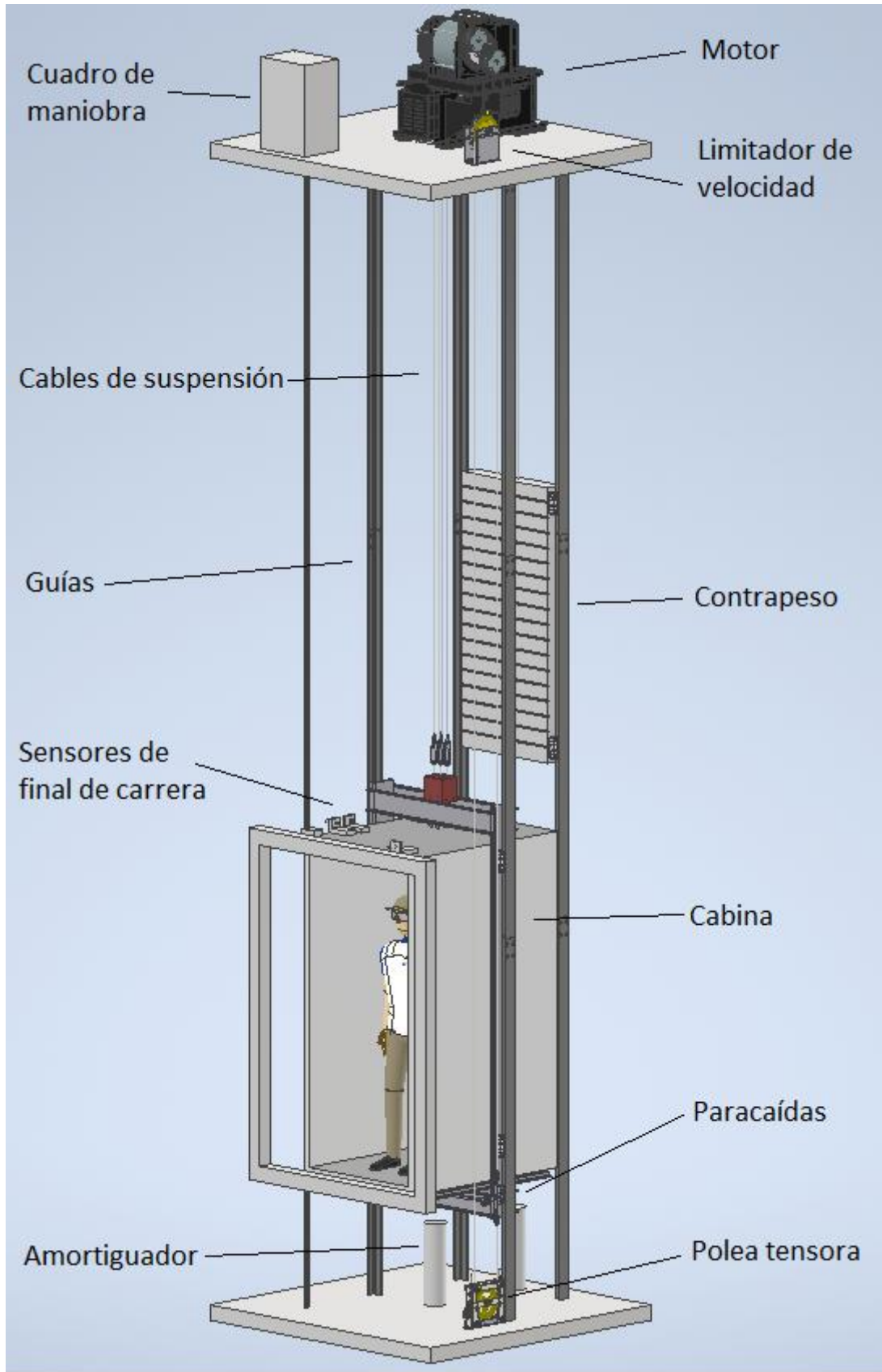


Ilustración 1- Instalación tradicional de ascensor. Fuente: Elaboración propia.

3.1 Tipos de paracaídas y funcionamiento

Hay dos tipos de paracaídas de ascensor, progresivos e instantáneos. Ambos tienen el mismo objetivo, frenar la cabina en caso de una sobrevelocidad o un movimiento incontrolado. La principal diferencia es la deceleración que aplican a la cabina, en los progresivos está comprendida entre 0,2g y 1g y en los instantáneos es más de 1g.

En un paracaídas progresivo, hay un elemento que se deforma elásticamente (puede ser un conjunto de arandelas Belleville o una lámina de acero biapoyada sometida a flexión) debido a la fuerza transmitida por la zapata de frenado. Esto permite obtener deceleraciones en frenada comprendidas entre 0,2g y 1g, según la norma EN 81-20, punto 5.6.2.1.3. *“Para los paracaídas progresivos, la deceleración media debe estar comprendida entre 0,2 g y 1 g, en el caso de caída libre de la cabina con su carga nominal, del contrapeso o de la masa de equilibrado”.*



Ilustración 2- Paracaídas progresivo. Fuente: Dynatech-Elevation.

Un paracaídas instantáneo, por otra parte, es un concepto mucho más simple ya que no tiene este elemento elástico.

El paracaídas frena a la cabina lanzando un rodillo contra la guía, que se acuña a lo largo de una rampa, forzando a todo el conjunto contra la otra pared del bloque y reduciendo la velocidad del bastidor casi instantáneamente.

En este proceso se produce una deformación del bloque y de las guías, absorbiendo de esta forma toda la energía cinética del bastidor.

Estos paracaídas están diseñados según la normativa EN 81-20 y EN 81-50 para velocidades nominales de cabina de 0.63m/s o inferior (EN81-20 punto 5.6.2.1.2.1), lo que supone una velocidad de actuación máxima de 1m/s.

Si se utilizan en el contrapeso, para actuar en el caso de una sobrevelocidad en subida, este límite de velocidad nominal es de 1m/s.

Este límite de velocidad tan bajo tiene lógica, ya que para velocidades más altas supondría unas deceleraciones en la actuación demasiado grandes, que podrían ocasionar lesiones a los ocupantes de cabina.

Debido a estos límites, los paracaídas instantáneos suelen ser usados en instalaciones lentas, de recorridos relativamente cortos, como homelifts, o en contrapesos, cuando el instalador decide utilizar un paracaídas progresivo unidireccional (actuación solo en descendente) en lugar de uno bidireccional en cabina. De esta forma el paracaídas instantáneo, se encarga solamente de frenar en caso de una sobrevelocidad en subida.

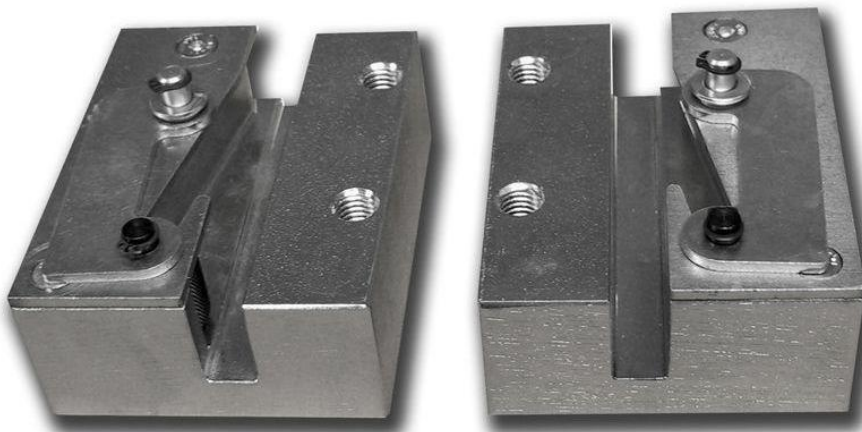


Ilustración 3- Paracaídas instantáneo. Fuente: Dynatech-Elevation.

La activación tradicional de este tipo de paracaídas (tanto progresivos como instantáneos) se produce gracias a la acción del limitador de velocidad.

Un cable de acero solidario a la cabina discurre por su polea, transformando la velocidad lineal de la cabina en velocidad angular de la polea del limitador.

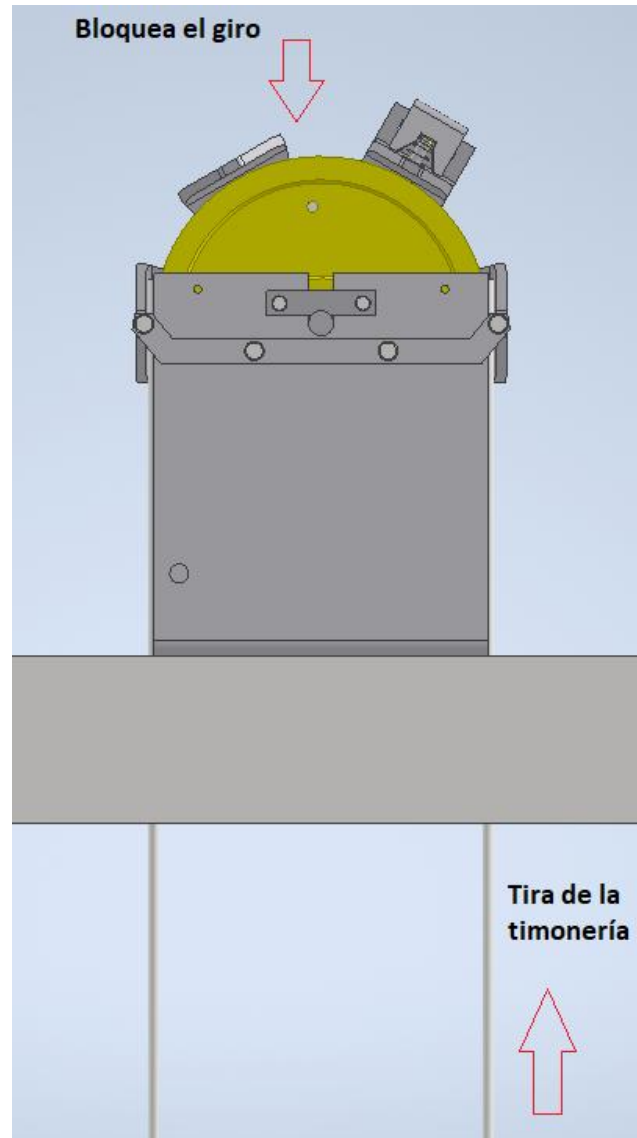
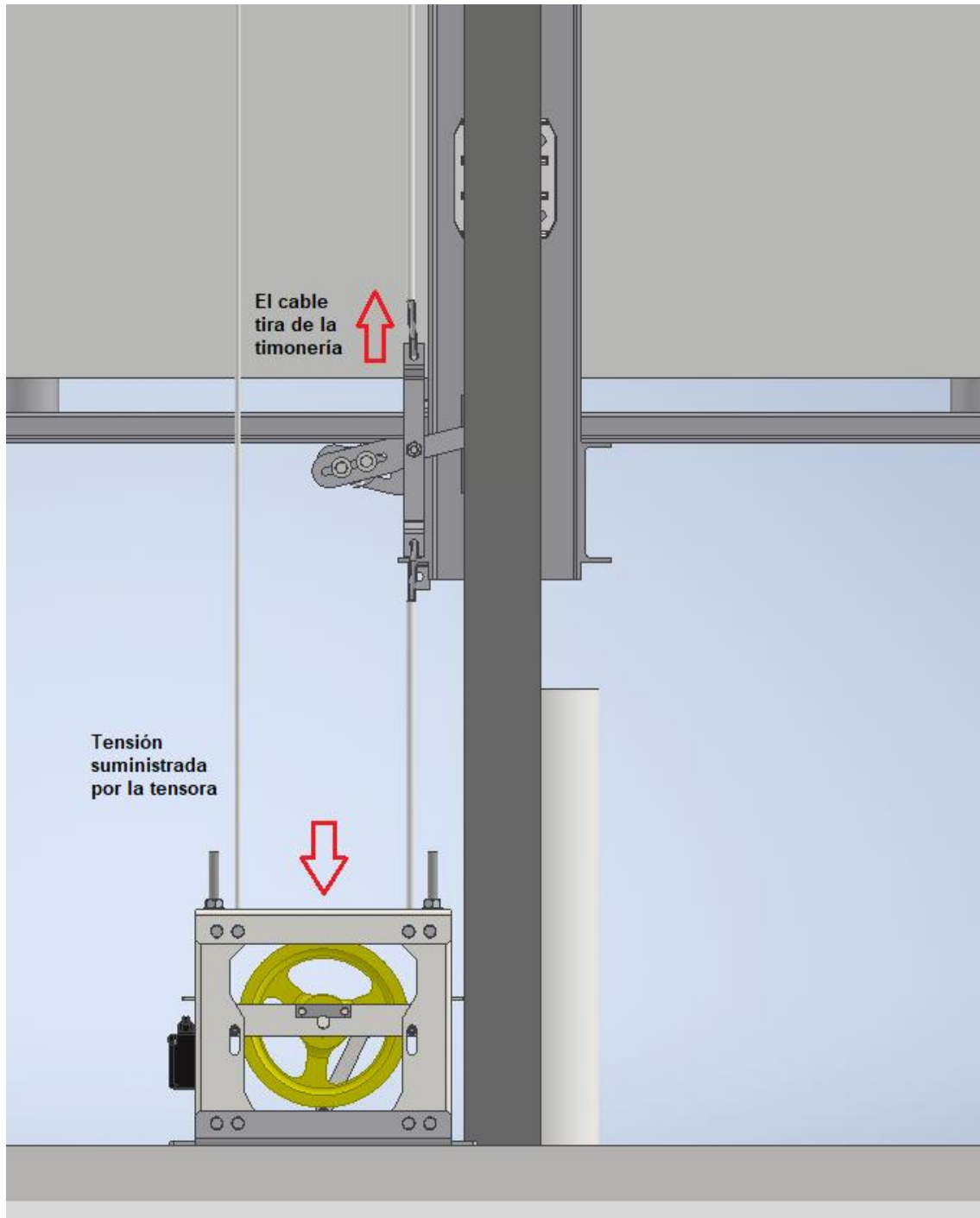


Ilustración 4- Actuación de un limitador de velocidad. Fuente: Elaboración propia.



Una vez que esta velocidad angular de la polea traspasa un límite definido, unas masas centrífugas bloquean el giro de la polea, y gracias a la adherencia del cable a la misma, éste transmite una fuerza de actuación a la timonería del paracaídas, y ésta a los dos rodillos, acuñándolos contra las guías.

La tensión de este cable se garantiza gracias a la polea tensora, situada en el foso.

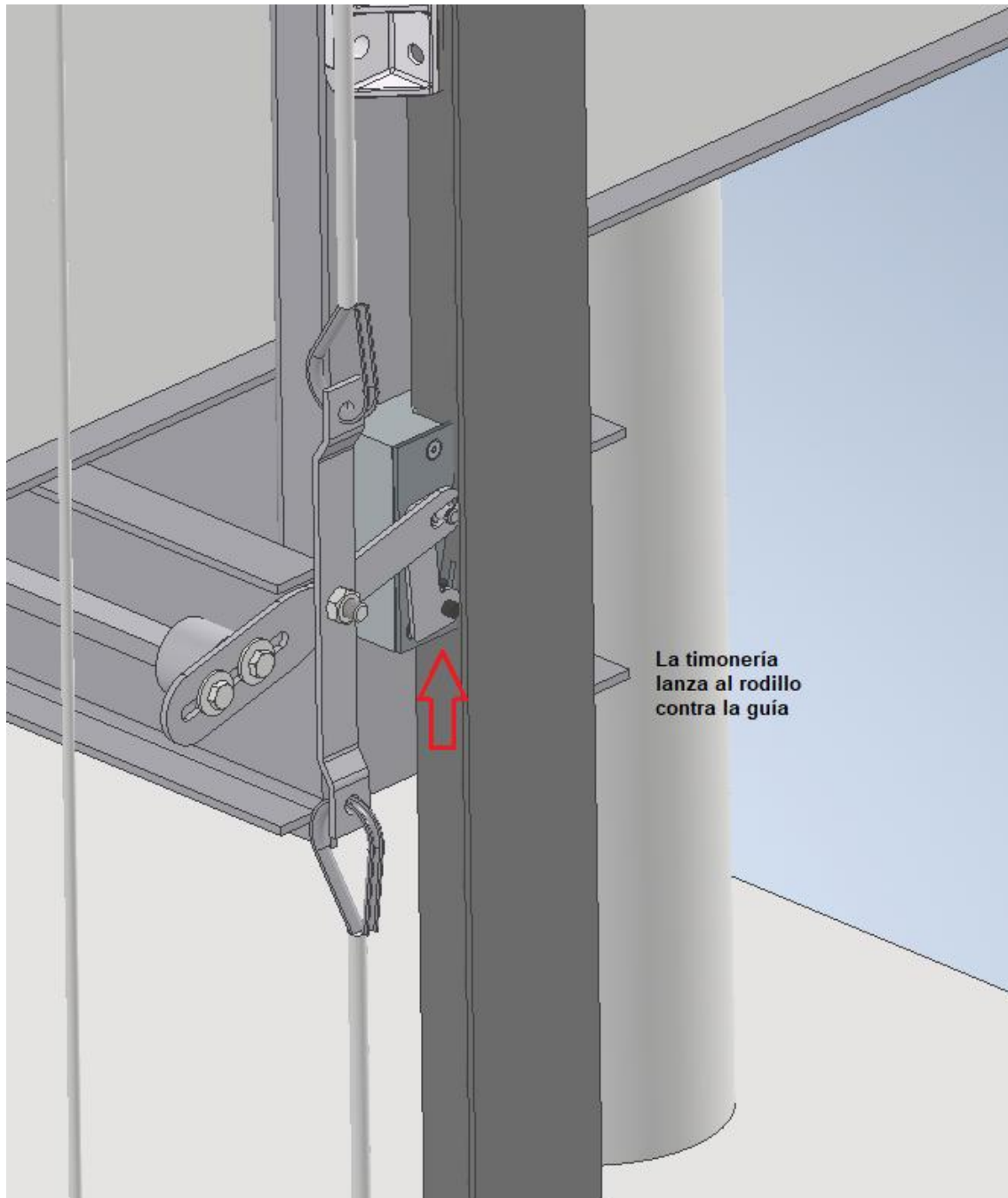


Ilustración 6- Actuación de un paracaídas instantáneo tradicional. Fuente: Elaboración propia.

Esta timonería suele ser un mecanismo simple que se encarga de que los rodillos de la mano derecha e izquierda actúen simultáneamente sobre las dos guías. El cable del limitador debe garantizar una buena adherencia a la polea del mismo para poder transmitir esta fuerza cuando se enclava. Esto se consigue gracias a la tensión suministrada por la polea tensora, normalmente situada en la parte inferior del hueco.

Ilustración 7

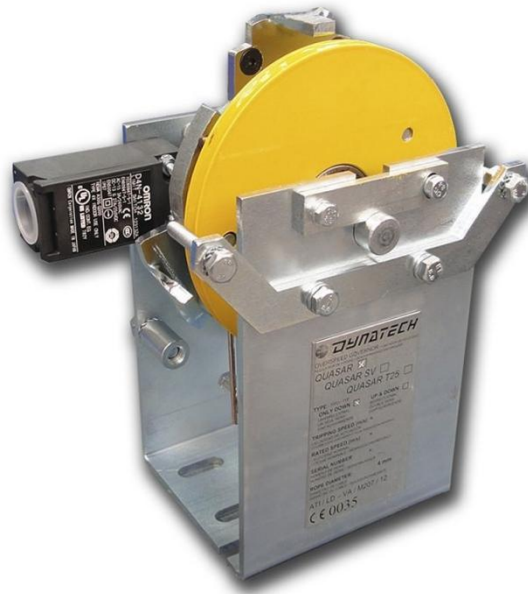


Ilustración 7- Limitador de velocidad. Fuente: Dynatech-Elevation.

Ilustración 8

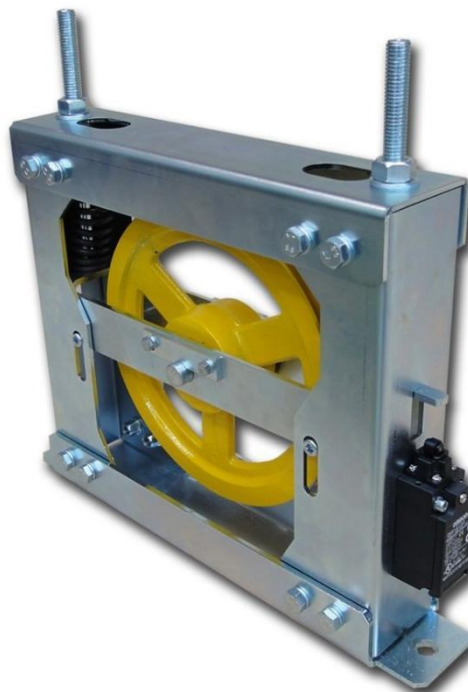


Ilustración 8 - Polea tensora. Fuente: Dynatech-Elevation.

Una vez vistos los componentes de un paracaídas y su funcionamiento, podemos decir que los inconvenientes principales de una instalación tradicional son:

- El número de elementos que la componen el sistema de actuación asociado al paracaídas (limitador, cable, timonería, polea tensora), con su coste correspondiente.
- Tareas de mantenimiento y de instalación elevadas.
- La actuación no es remota.

3.2 Justificación y explicación de la activación electromecánica

La activación electromecánica diseñada se basa en el concepto de activación remota del paracaídas mediante el corte del suministro eléctrico al mismo.

Se le denomina electromecánica porque realmente el paracaídas se activa mecánicamente gracias a un muelle de compresión que se mantiene comprimido debido a un solenoide. Cuando se le corta alimentación al solenoide, este resorte mueve el mecanismo que lo mantenía comprimido, y enclava el rodillo contra la guía.

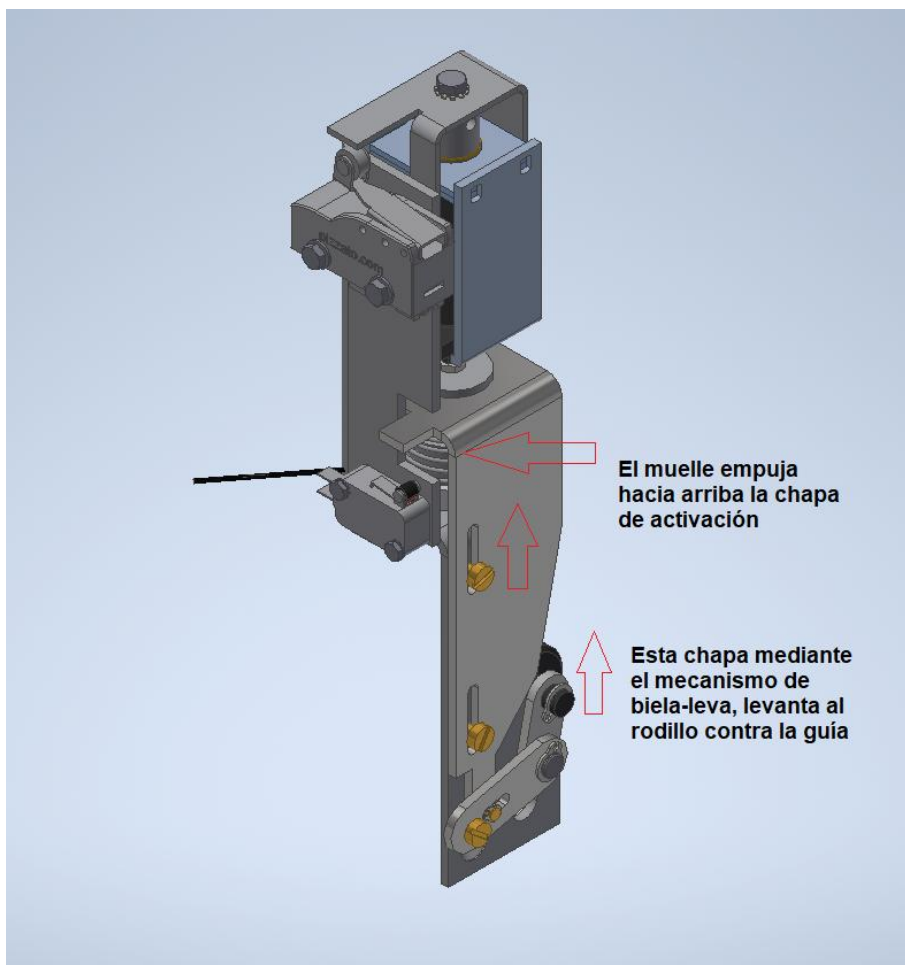


Ilustración 9- Activación electromecánica. Fuente: Elaboración propia.

Esta activación electromecánica está regulada a través de un limitador electrónico, que sustituye al limitador mecánico tradicional, y que actúa como posicionador absoluto del ascensor. Este limitador

suele ser una cinta perforada o con imanes o con un código QR continuo, que, con un lector solidario a la cabina, registra la posición y velocidad de la cabina en todo momento. Cuando detecta una sobrevelocidad o un movimiento incontrolado de la cabina (UCM), activa el paracaídas mediante una señal eléctrica.



Ilustración 10- Limitador electrónico. Fuente: Kübler-Group.

En la imagen superior se puede ver un ejemplo de un limitador electrónico. Ese limitador en concreto utiliza una cinta metálica perforada con un patrón por la que discurre un lector solidario a la cabina del ascensor. El lector lee la información de la cinta y determina la posición de la cabina y, derivándola obtiene la velocidad. Con esta información, puede hacer actuar los paracaídas electromecánicos cuando sea necesario.

En el pasado, la normativa EN 81-1 del ascensor, solamente permitía sistemas mecánicos puros, sin ningún tipo de sistema electrónico que interviniera en la detección de sobrevelocidades y activación del paracaídas. Prohibía expresamente activaciones puramente eléctricas o neumáticas.

A partir del año 2005, en la enmienda A1 de la norma EN 81, se añade la posibilidad de utilizar sistemas eléctricos y electrónicos para funciones de seguridad en ascensores. Debido a ello, aparece un nuevo concepto denominado PESSRAL (Programmable Electronic System in Safety Related Applications for Lifts).

Para la detección de sobrevelocidades, gestión de UCM y disparo de los paracaídas electromecánicos, el limitador electrónico PESSRAL debe tener un estándar de seguridad alto: SIL 3 (Safety Integrity Level). Este nivel de seguridad es un indicador de la reducción del riesgo que se aplica tanto a software como a hardware (sección 5.11.2.6, EN 81-20:2020).

En la Ilustración 11 se pueden ver los elementos de una instalación de ascensor tradicional que serían sustituidos si se introduce un limitador electrónico con un paracaídas con activación electromecánica.

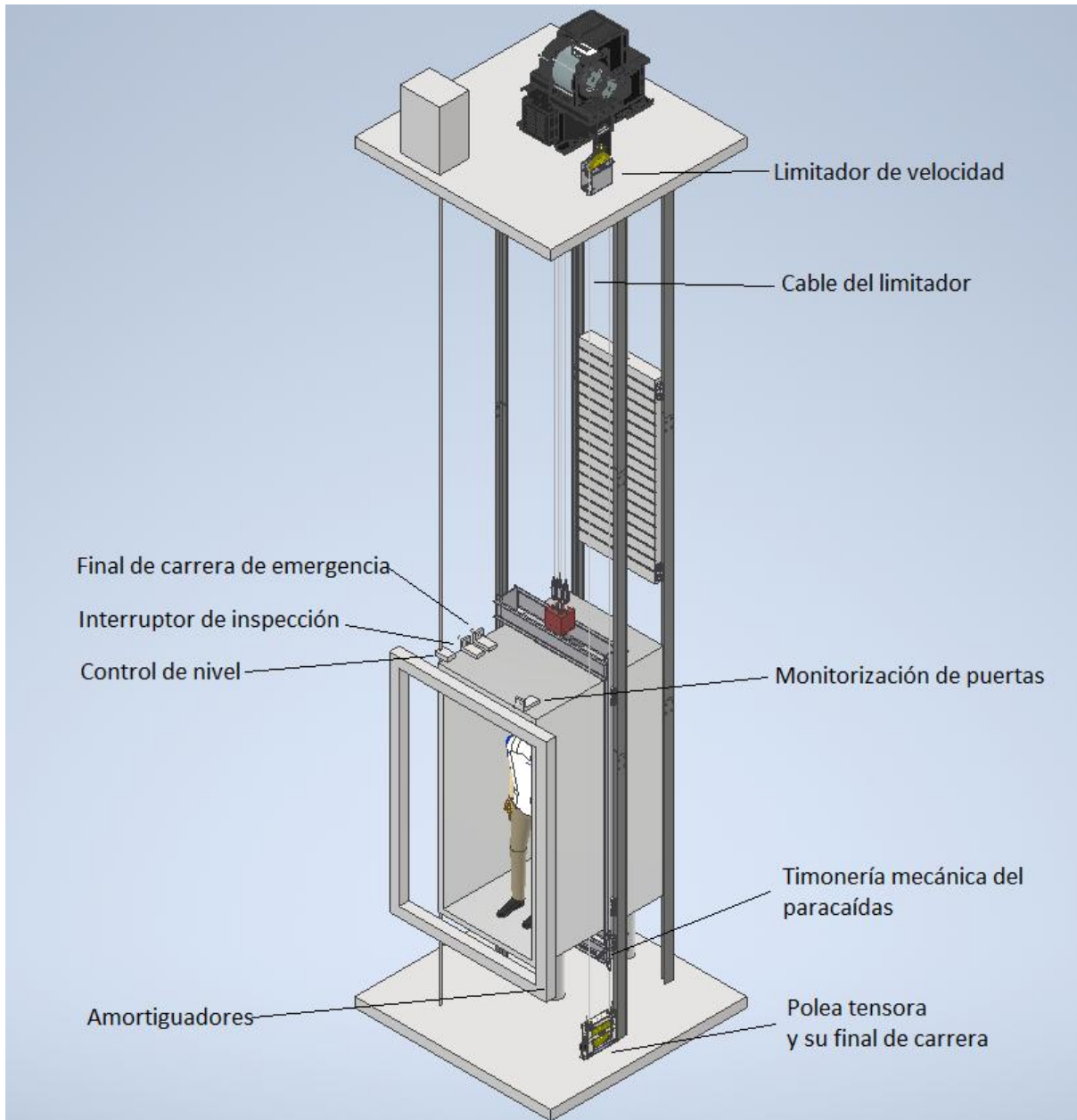


Ilustración 11 - Elementos eliminados de una instalación tradicional. Fuente: Elaboración propia.

Entre ellos podemos destacar:

- El limitador de velocidad mecánico. Se sustituiría por un limitador de velocidad electrónico, que consiste en un lector en la cabina y una centralita en la maniobra. Es mucho más compacto, utiliza muchos menos materiales a la hora de fabricarse y es mucho más preciso y seguro a la hora de dispararse a la velocidad requerida.
- Todos los interruptores de final de carrera; los de nivel de cada planta, los de final de recorrido superior e inferior, los de revisión, los de puertas, los de emergencia, y los de monitorización de limitador o de polea tensora.
- El cable de acero del limitador de velocidad, que sería sustituido por la cinta lectora del limitador electrónico.

- La polea tensora del cable del limitador, que sería sustituida por un simple muelle tractor para la cinta ya que ésta requiere de tensiones mucho menores para funcionar.
- La timonería del paracaídas, ya que no es necesaria al eliminar la transmisión de fuerza del cable limitador. El limitador electrónico manda una señal a ambas manos del paracaídas y éstas se disparan perfectamente sincronizadas sin necesidad de ninguna palanquería entre ellas.

Si se cumple adecuadamente la norma EN 81-21 para ascensores con hueco reducido, también podría eliminarse el amortiguador buffer de la base del foso. Este amortiguador sería redundante porque la combinación del limitador electrónico con el paracaídas electromecánico cumple por sí sola con los requisitos de la EN 81-21.

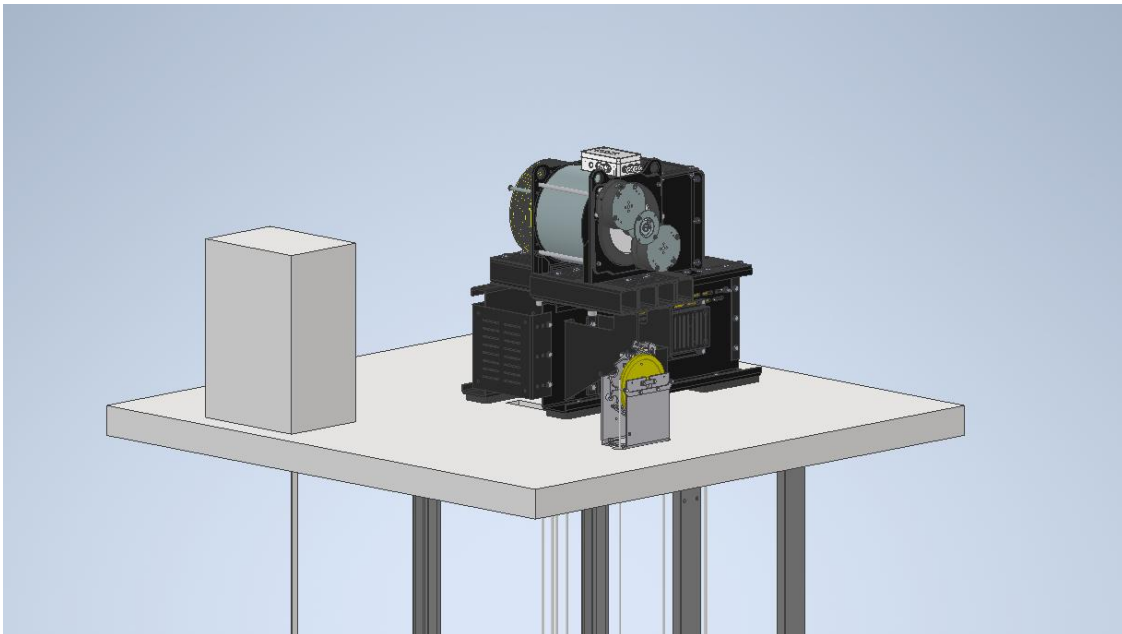


Ilustración 12 - Detalle de la parte superior con el limitador de velocidad. Fuente: Elaboración propia

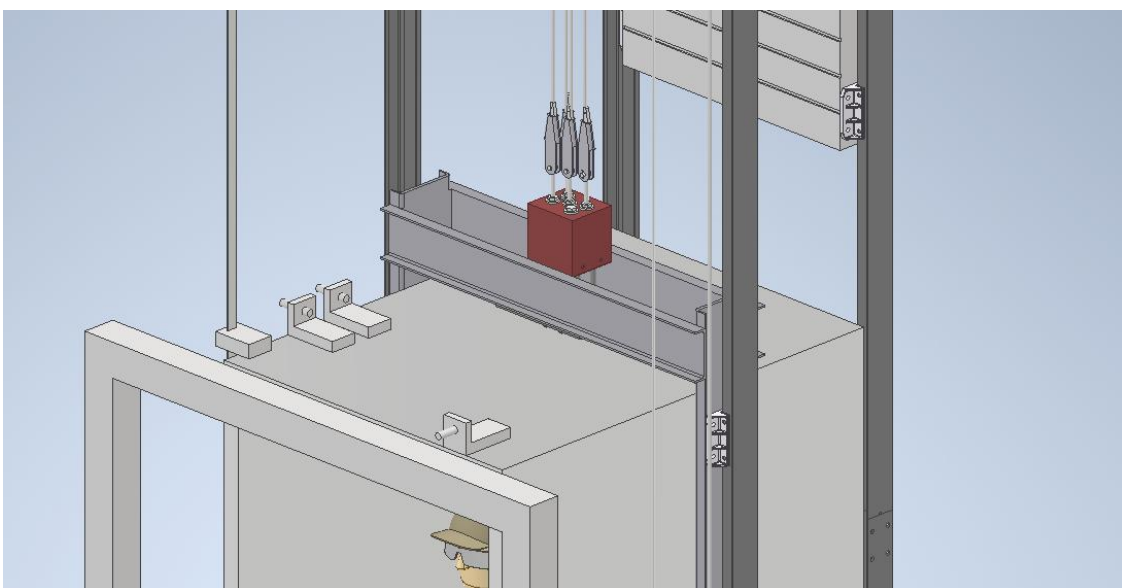


Ilustración 13- Detalle de la parte superior de la cabina. Fuente: Elaboración propia.

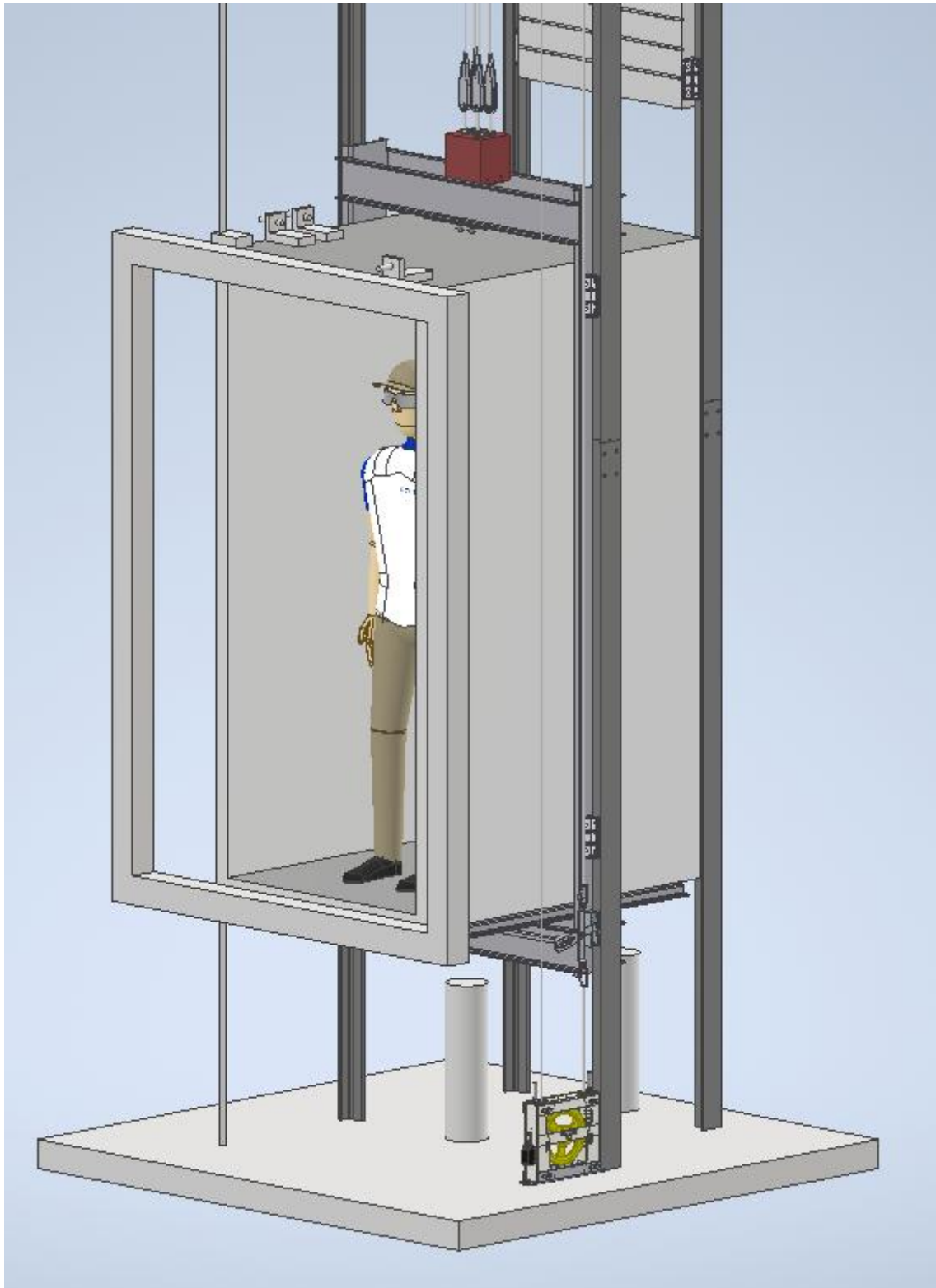


Ilustración 14- Detalle de la parte inferior del hueco. Fuente: Elaboración propia.

Con este tipo de nueva instalación se buscan los siguientes objetivos:

- Reducir el número de componentes de la instalación.
- Simplificar la instalación de elementos de seguridad del ascensor, ya que no es necesario instalar el limitador tradicional con su cable y tensora, algo muy costoso en tiempo y personal. La instalación de la cinta de lectura es mucho más simple.
- Simplificar y reducir el gasto de materiales en el mantenimiento de los elementos de seguridad, ya que no se desgasta el cable ni las poleas del limitador.
- Introducir la capacidad de mantenimiento predictivo, al tener todos los datos recogidos por el limitador posicionador y por los contactos del paracaídas a distancia. De esta forma se pueden detectar antes de que sucedan posibles errores debido a bloqueos o fallos eléctricos e impedir situaciones no seguras.
- Mejorar la precisión de los sistemas de seguridad, ya que el limitador actúa a una velocidad mucho más precisa, y el paracaídas gracias a la activación electromecánica es más rápido en los enclavamientos, además de funcionar en perfecta sincronía. En las instalaciones tradicionales, el cable limitador tira únicamente de una mano del paracaídas y luego la timonería lo transmite a la otra, creando una leve desincronización que puede agravarse con holguras, tolerancias y vibraciones del sistema.
- Capacidad de reinicio remoto, en caso de una actuación.
- Establecimiento de espacio de refugios con gran precisión sin necesidad de ningún otro elemento nuevo, respetando la EN 81-21 (normativa para huecos reducidos).



Ilustración 15- Instalación de ascensor con paracaídas electromecánico y limitador electrónico. Fuente: Elaboración propia.

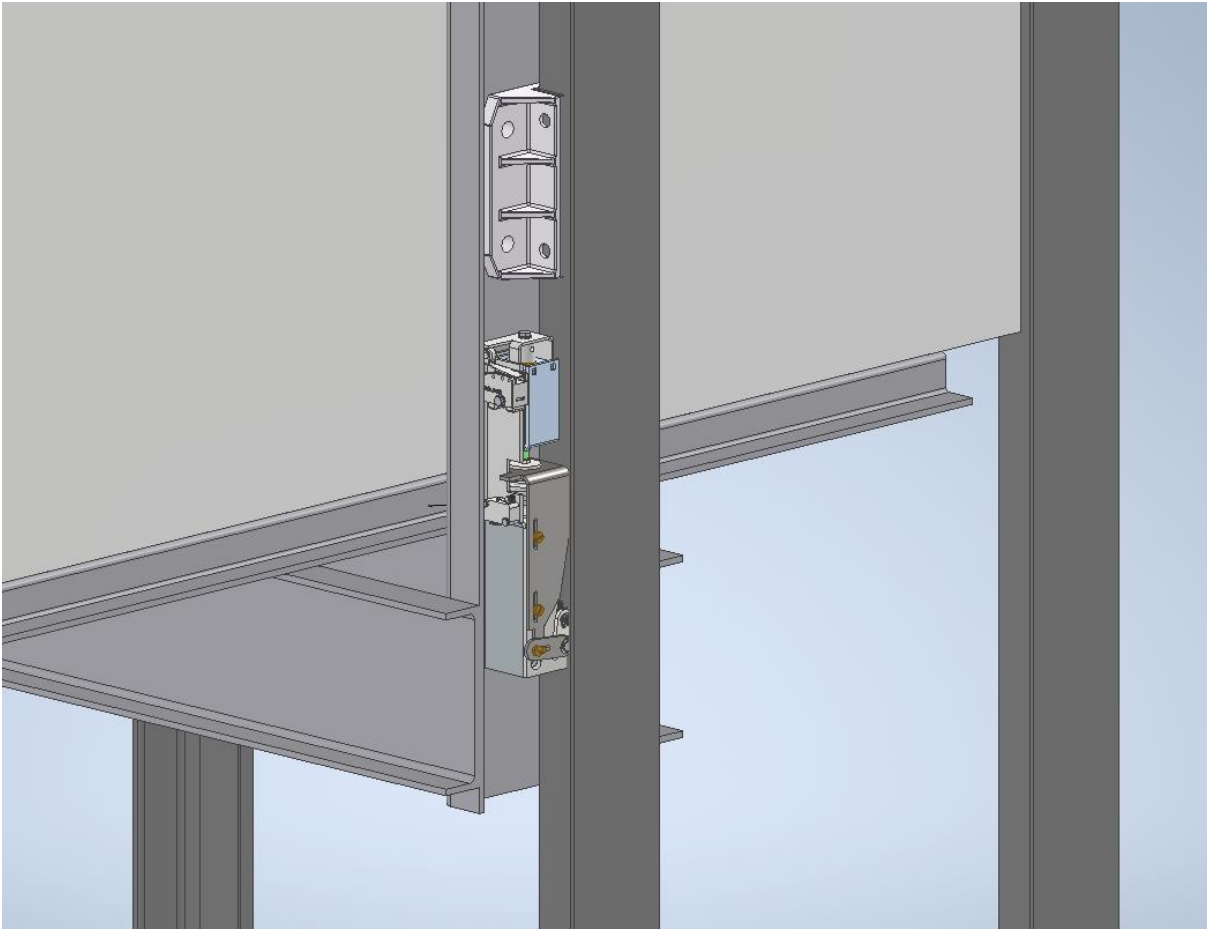


Ilustración 16- Detalle del paracaídas con activación electromecánica en el bastidor de la cabina. Fuente: Elaboración propia.

4 DISEÑO DEL PARACAÍDAS INSTANTÁNEO

El paracaídas instantáneo es aquél en el que la acción total de bloqueo sobre las guías es inmediata. Se usa en cabinas cuya velocidad nominal no supera los 0.63 m/s o en contrapesos cuya velocidad nominal no supere 1 m/s. No tiene ningún límite de deceleración según la EN 81-20.

Su accionamiento debe ocurrir a una velocidad al menos igual al 115% de la velocidad nominal y menor de 1 m/s.

El bloque y el rodillo son los dos elementos que conforman el paracaídas instantáneo. El bloque se fija al bastidor de la cabina mediante 4 tornillos y aloja en su interior al rodillo, que a su vez está unido al mecanismo de activación electromecánica.

Cuando este mecanismo se desalimenta, el rodillo se lanza contra la guía del ascensor, forzando todo el conjunto contra la otra pared del bloque y frenando la cabina.

4.1 Diseño del bloque

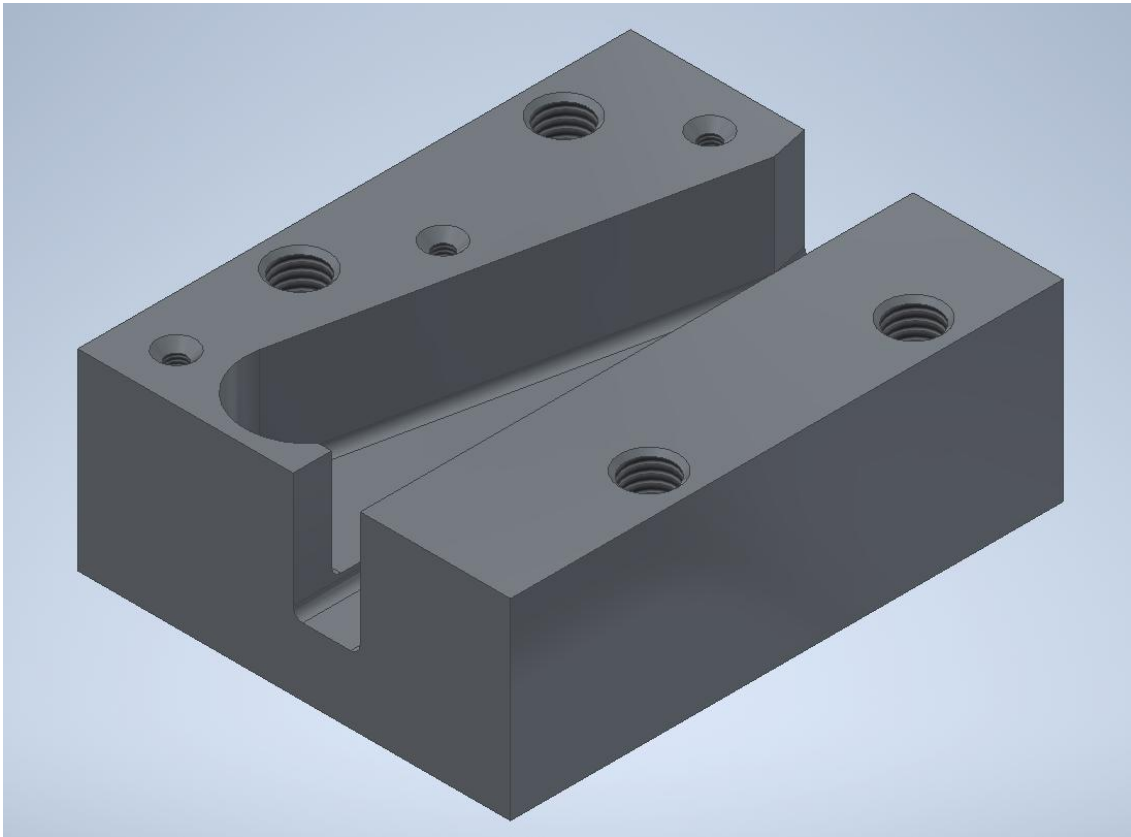


Ilustración 17 - Bloque del paracaídas. Fuente: Elaboración propia.

El paracaídas está diseñado para uso en una guía de 9 mm (T70-1/A, por ejemplo).

Por ello, partiendo de un bloque de 115x90x40 mm, se le hace el acanalado de 26 mm de profundidad para garantizar una anchura de frenado de 27 mm sobre la guía T70-1/A (Ilustración 18), y dejando una holgura de 2 mm con la base del bloque.

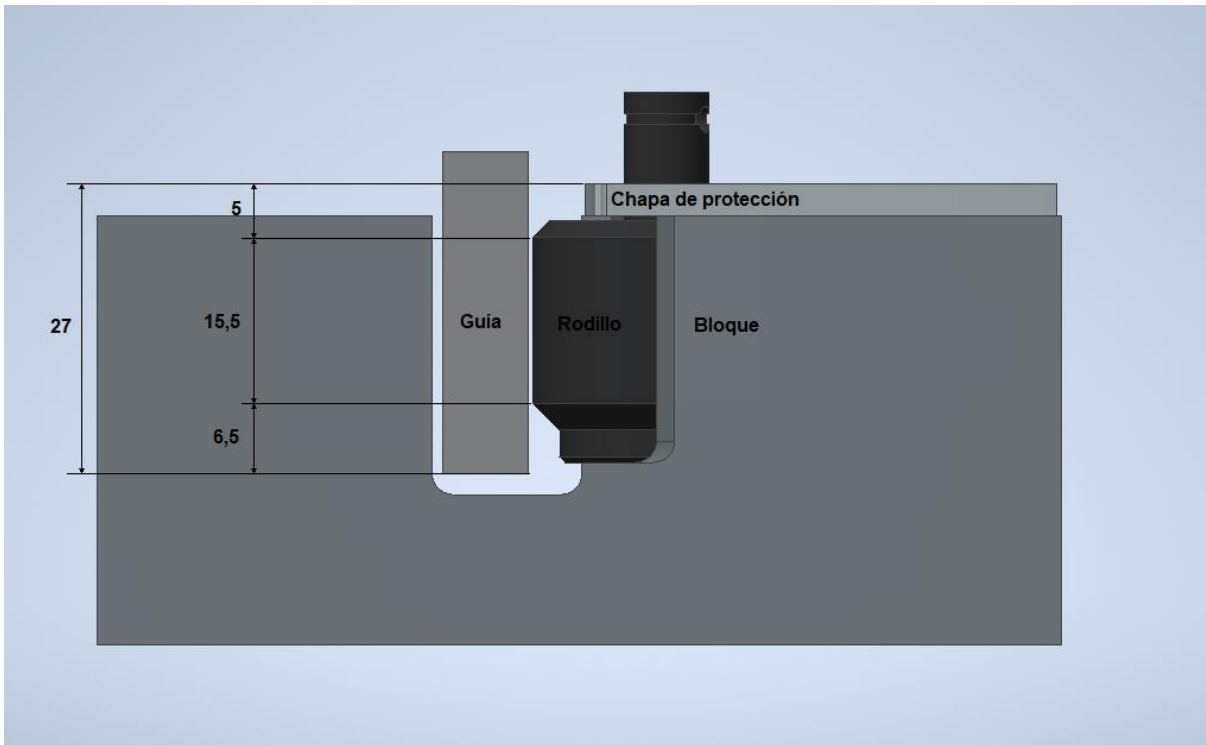


Ilustración 18 - Anchura de frenado. Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la guía, se dejan unas holguras de 4 mm en el lado del rodillo, y 1 mm en el lado de la pared maciza del bloque.

Estas holguras son iniciales, cuando el paracaídas se acuña, la guía se fuerza contra la pared del bloque opuesta al rodillo.

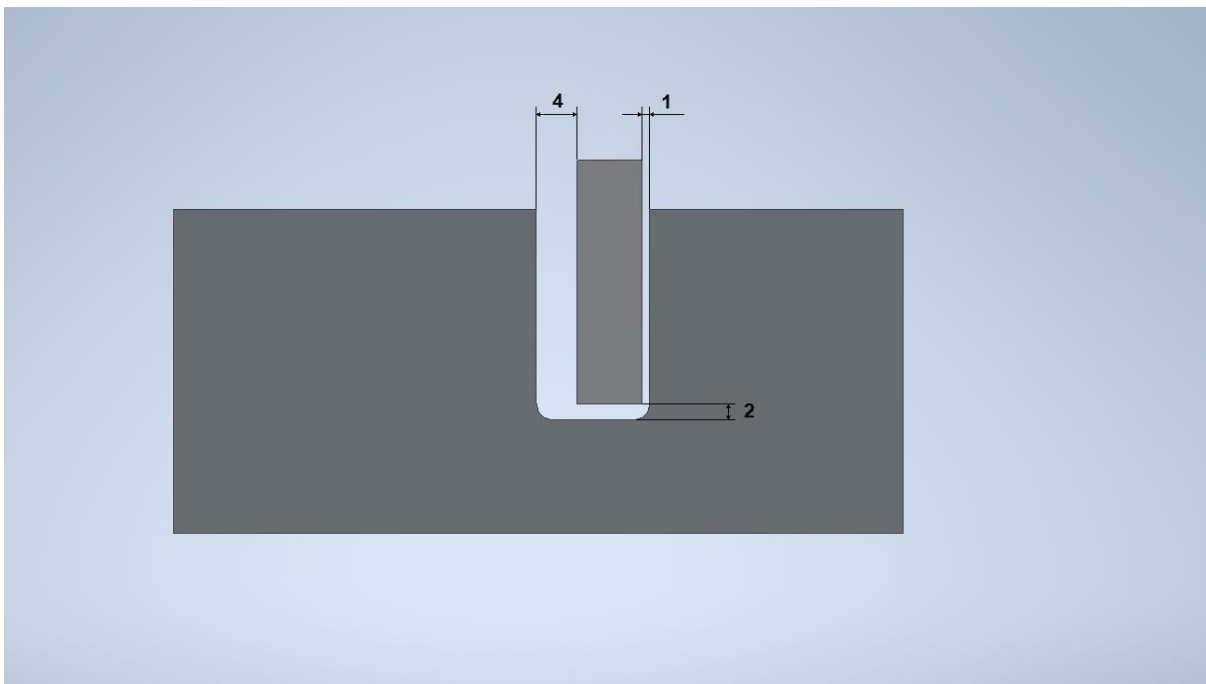


Ilustración 19- Holguras de la guía con el bloque. Fuente: Elaboración propia.

Se realiza el acanalado para posicionar el rodillo y guiarlo en el enclavamiento.

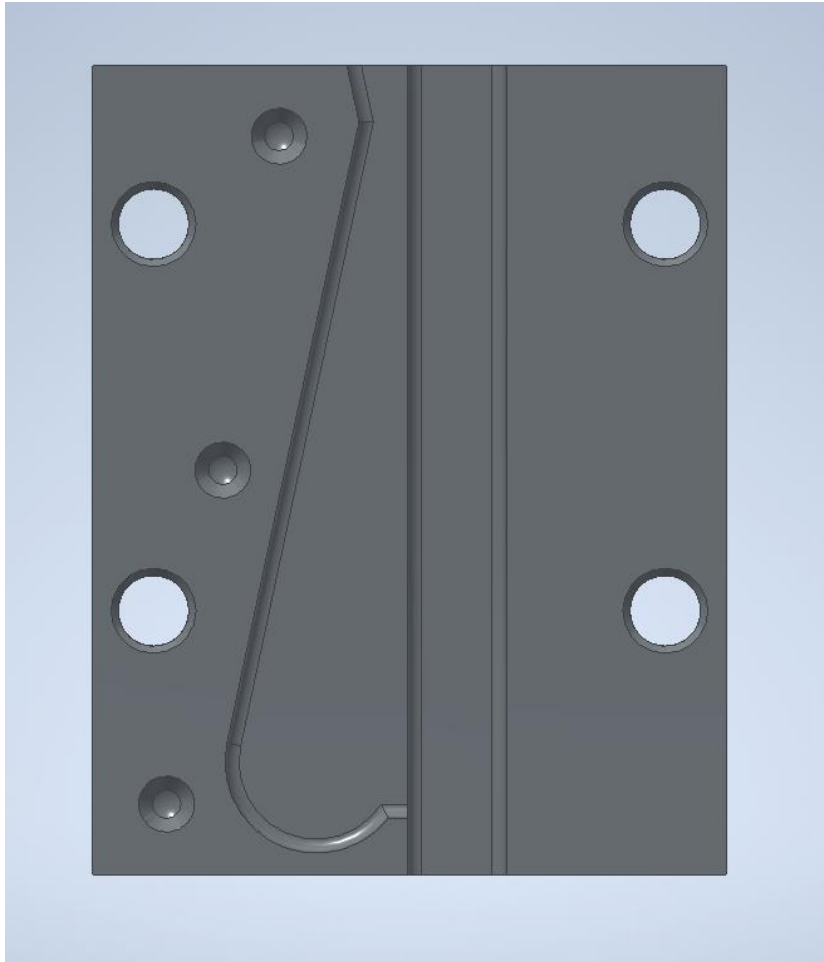


Ilustración 20- Bloque visto de frente. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a las fijaciones, se realizan 4 agujeros roscados de métrica 12. Los tornillos de fijación irán atornillados directamente al bloque, lo que significa que no tiene desplazamiento lateral, y la aproximación de la guía a la pared maciza del bloque deberá producirse por deformación en la actuación. También se realizan 3 agujeros avellanados de métrica 5 para fijar la chapa de soporte de la activación electromecánica.

El rango de aplicación viene marcado por la energía mecánica que es capaz de absorber el conjunto formado por bloque-rodillo y guía, por lo que el P+Q (Peso de la cabina y de la carga) dependerá de la velocidad de actuación (disparo del limitador de velocidad).

Se realiza el ensayo de bloques paracaídas en una máquina de tracción midiendo la fuerza con una célula de carga. La máquina de tracción fuerza al rodillo contra la guía y se mide el desplazamiento de la guía respecto del bloque. Con el valor obtenido, es posible determinar la energía potencial que se transmitirá en la caída al bloque, que debido a ello se deformará.

La curva obtenida representa el desplazamiento en metros en función de la fuerza en Newtons que tiene que hacer la máquina para vencer la oposición del rodillo en contacto con la guía.

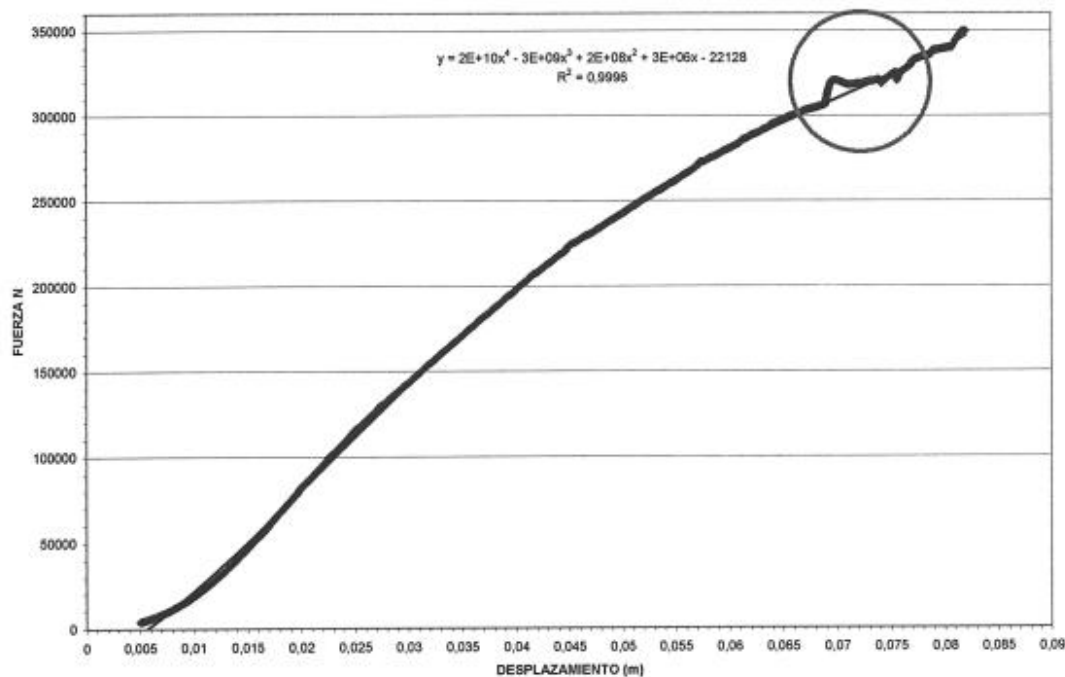


Ilustración 21- Energía absorbida en ensayo. Fuente: Dynatech-Elevation.

Se saca la línea de tendencia y con ella la ecuación de comportamiento de la energía total absorbida. La integramos para sacar la superficie debajo de la línea, que es la energía absorbida:

$$E = \int_{0,06}^{0,081} 2 \cdot 10^{10} \cdot x^4 - 3 \cdot 10^9 \cdot x^3 + 2 \cdot 10^8 \cdot x^2 + 2997100 \cdot x - 22128 \cdot dx = 18175,75J$$

Por bloque será la mitad, es decir, **9087,87 Julios**.

Con este dato, podemos obtener el P+Q admisible para este paracaídas instantáneo para cada velocidad de disparo requerida.

Para ello usaremos la fórmula definida en la norma EN 81-50, punto 5.3.2.3.1:

$$(P + Q) = \frac{2 \cdot K}{g_n \cdot h}$$

donde:

P+Q es la masa total admisible que buscamos en kg

K es la energía absorbida por un bloque paracaídas calculada anteriormente en Julios

g es la aceleración de la gravedad en m/s^2

h es la altura de caída libre, en metros, calculada con la siguiente fórmula:

$$h = \frac{v_1^2}{2 \cdot g_n} + 0,1 + 0,03$$

donde:

v_1 es la velocidad de actuación del limitador de velocidad en m/s.

1,1 m corresponde a la distancia recorrida en el tiempo de respuesta.

0,03 m es la distancia recorrida correspondiente a la eliminación de la holgura entre los órganos de fricción y las guías.

Dado que el ensayo se realiza sobrepasando el límite de elasticidad del bloque, adopto un coeficiente de seguridad de 3.5 tal y como indica la norma:

$$(P + Q)_1 = \frac{2 \cdot K_2}{3,5 \cdot g_n \cdot h}$$

K_2 se calcula por la integración de la superficie definida en el apartado 5.3.2.2.3.2b)2);

3,5 se adopta 3,5 como coeficiente de seguridad

Con estas ecuaciones se pueden obtener los valores de P+Q para distintas velocidades de disparo del limitador para $K = 9087,9 \text{ J}$ y $g = 9,81 \text{ m/s}^2$:

P+Q (kg)	V (m/s)	h (m)
3708,54	0,5	0,1427
3568,38	0,6	0,1483
3415,82	0,7	0,155
3255,23	0,8	0,1626
3090,56	0,9	0,1713
2925,18	1	0,181
2761,83	1,1	0,1917
2602,65	1,2	0,2034
2449,21	1,3	0,2161
2302,61	1,4	0,2299
2163,51	1,5	0,2447

2032,27	1,6	0,2605
---------	-----	--------

Tabla 1- P+Q máximo para velocidades nominales.

Podemos ver como baja el P+Q admisible conforme la velocidad de disparo aumenta, ya que el límite de energía que puede absorber es el mismo.

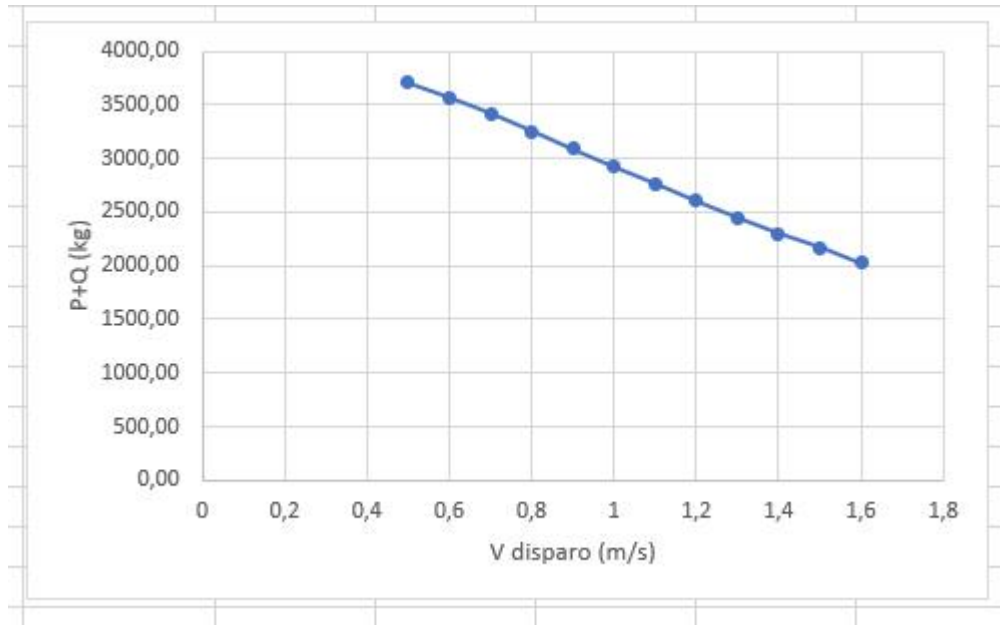


Ilustración 22 - Gráfica de P+Q en función de la velocidad nominal. Fuente: Elaboración propia.

4.2 Diseño del rodillo

Se aplica un diseño estándar de rodillo de paracaídas, con un moleteado en toda la superficie de frenado, que es de 15,5 mm de altura.

Este moleteado es necesario para asegurar un agarre correcto en el enclavamiento.

El paracaídas no depende únicamente de la fuerza de fricción entre el rodillo y la guía, sino que el moleteado de éste penetra en la guía y en la rampa de aproximación del bloque. Simplemente con una fricción entre dos superficies lisas no sería suficiente.

El rodillo, al estar compuesto de un acero más duro y al estar templado, revenido, y pavonado, presenta un límite elástico mucho más alto que el bloque, y podemos considerar su deformación despreciable respecto a lo que se deforma el bloque.

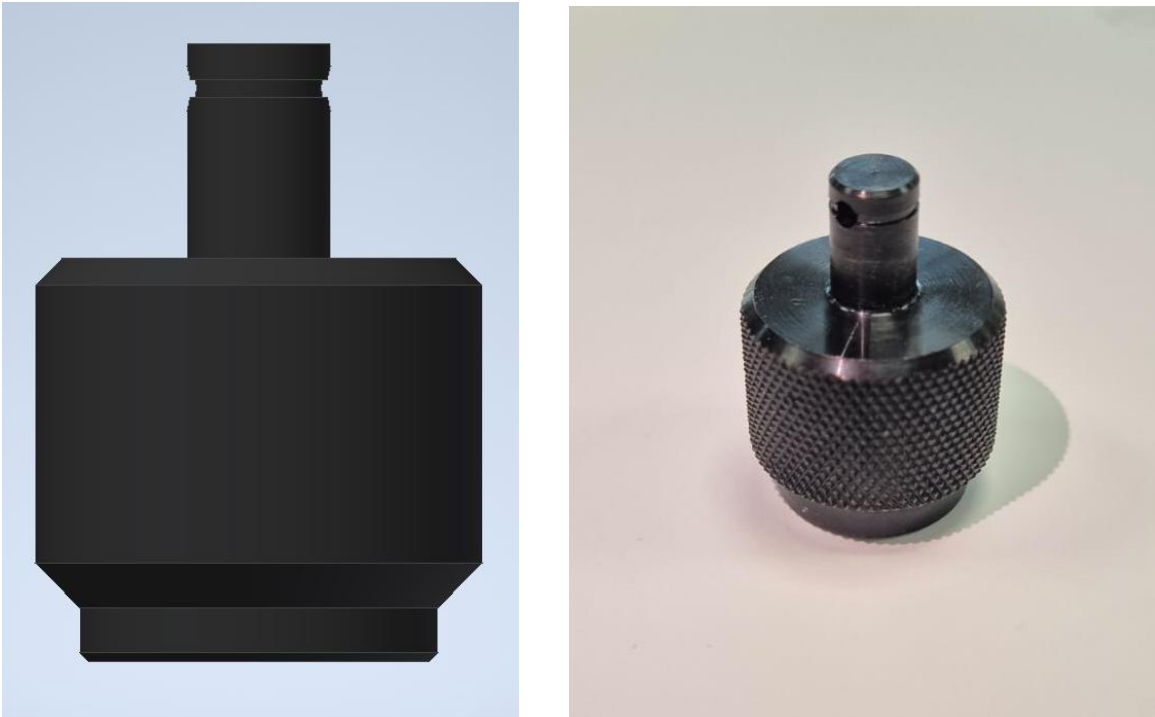


Ilustración 23- Rodillo del paracaídas. Fuente: Elaboración propia.

5 DISEÑO DE LA ACTIVACIÓN ELECTROMECAÁNICA

La activación electromecánica es la encargada de enclavar el rodillo contra la guía cuando el limitador electrónico dé la señal.

Se diseña de forma que todo el mecanismo cabe en la vertical del larguero del bastidor de cabina en el que va instalado. De esta forma, todo el conjunto de bobina de rearme, retención y muelle debe ir directamente vertical al bloque (arriba o abajo), minimizando así la anchura del conjunto para poder ajustarse al mayor tipo de largueros.

La activación consiste en una chapa de empuje de rodillo que, activada por un muelle de compresión, produce el desplazamiento del rodillo de frenado desde la posición de retención del rodillo o de funcionamiento del ascensor hasta la posición de preacñamiento.

Esta transmisión del movimiento de la chapa de empuje hasta el rodillo se produce gracias a una biela, que actúa como multiplicador de carrera, y a una leva, que se encarga de corregir los desajustes en el eje horizontal.

Por lo tanto, la activación del paracaídas se lleva a cabo cuando el muelle de activación acerca el rodillo del paracaídas a la posición de preacñamiento. Para un funcionamiento normal del ascensor, el paracaídas se encuentra rearmado por un solenoide lineal y una bobina de retención o “ventosa” mantiene el mecanismo de actuación en su posición de rearme o de retención del rodillo.

Se usa este sistema de doble bobinado porque la bobina de rearme consume mucha potencia eléctrica y la bobina de retención muy poca. En un uso normal apenas se usará la bobina de rearme

mientras que la de retención debe estar alimentada todo el tiempo que necesite estar rearmado el mecanismo, a no ser que se establezca un modo stand-by.

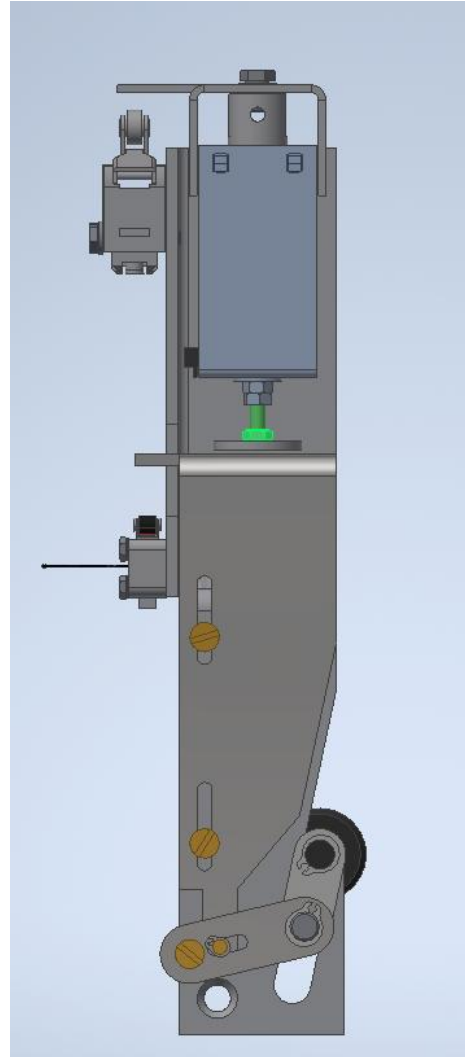
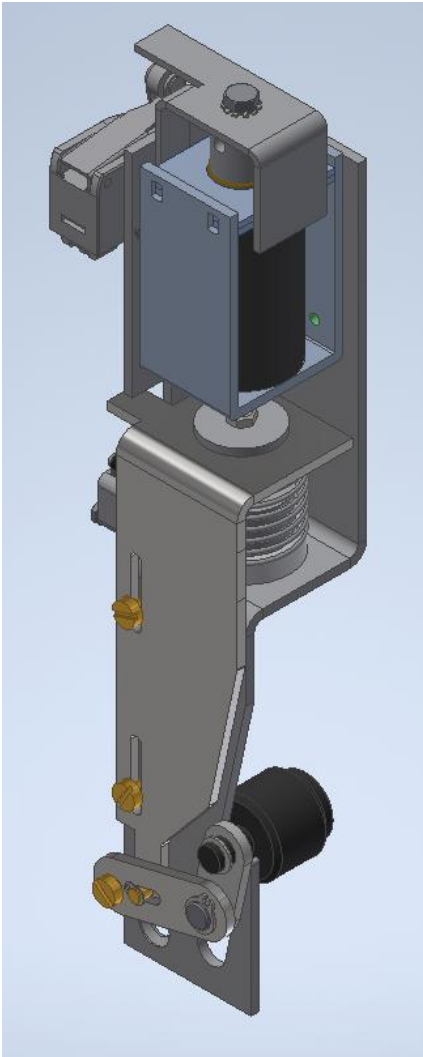


Ilustración 24- Activación electromecánica. Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente imagen puede verse la activación con cada uno de sus elementos:

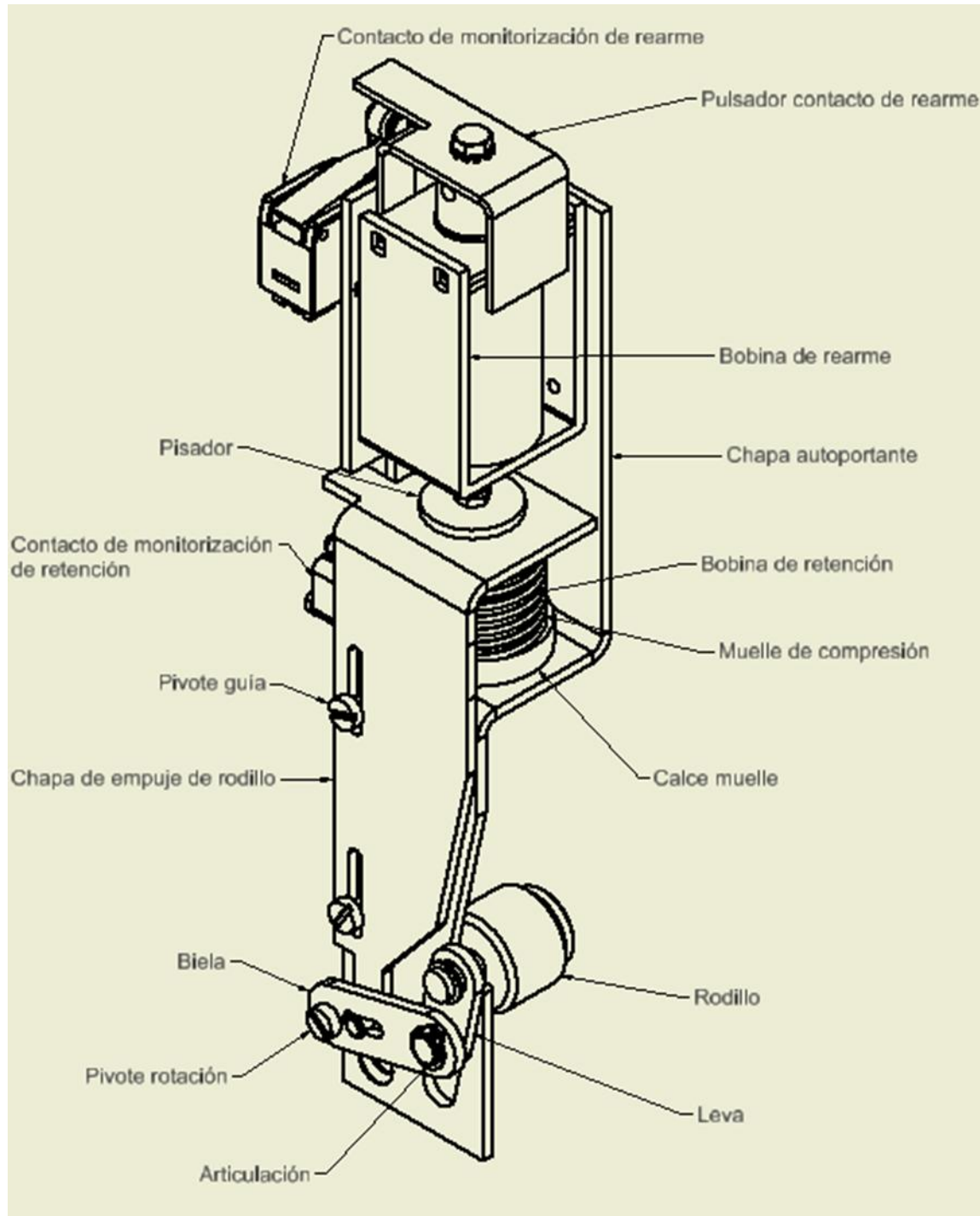


Ilustración 25- Partes de la activación electromecánica. Fuente: Elaboración propia.

La bobina de retención se encuentra concéntrica respecto al muelle de compresión (tapada en la ilustración 25 por el propio muelle) y fijada a la chapa autoportante mediante un tornillo.

5.1 Estados de funcionamiento: Preacuñado

Cuando el paracaídas se encuentra en el estado “preacuñado”, el rodillo se encuentra apoyado en la guía, ninguna de las dos bobinas está alimentada, el muelle de compresión se encuentra en su estado menos comprimido y la chapa de empuje de rodillo se encuentra en su posición superior.

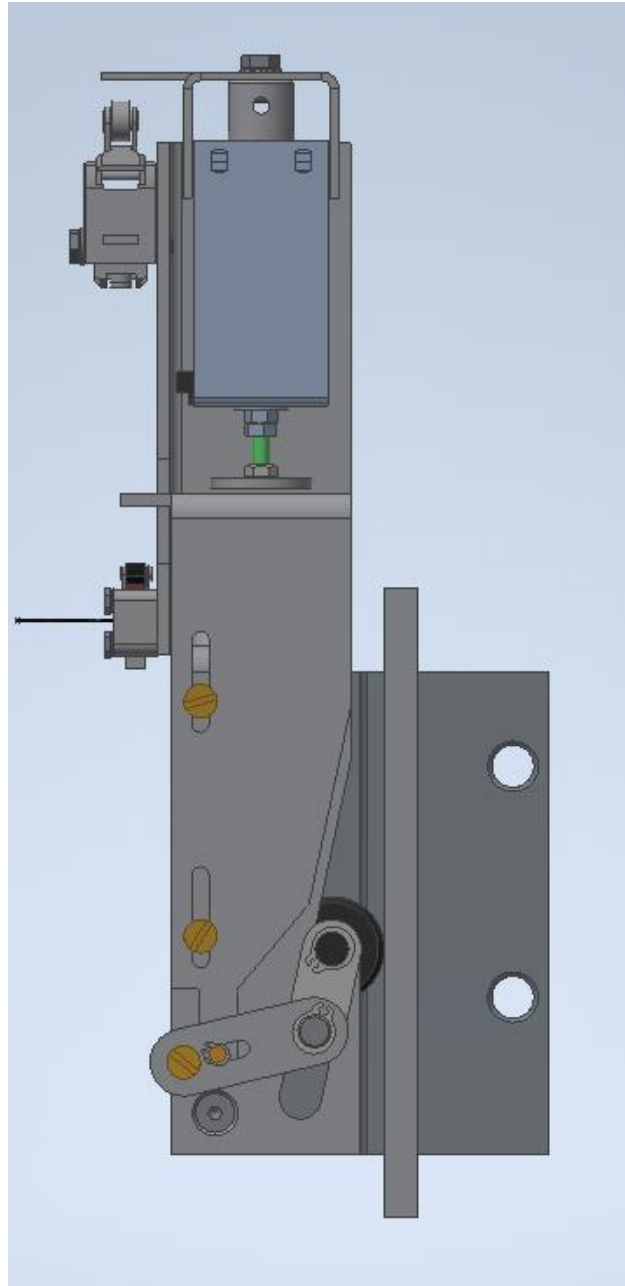


Ilustración 26 - Activación preacñada. Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración 26 se puede ver el rodillo preacñado, con una simulación de guía en el acanalado del paracaídas. Las dos bobinas están desalimentadas, la posición natural de la bobina de rearme es con el vástago en el punto más alto y la bobina de retención no tiene la chapa de empuje pegada a ella por lo que realmente da igual que esté alimentada o no.

Si el ascensor se moviera hacia abajo, el rodillo enclavaría contra la guía y, por consiguiente, frenaría la cabina.

5.2 Estados de funcionamiento: Rearmado

Cuando el sistema está rearmado, el rodillo se encuentra escondido en el bloque paracaídas en la posición inferior, la bobina de retención se encuentra alimentada y está manteniendo la chapa de empuje pegada a ella, en la posición inferior.

Para que el sistema esté en condiciones de funcionamiento, la bobina de rearme debe estar desalimentada con el vástago en su posición superior.

Si la bobina de rearme estuviera alimentada, su vástago estaría en la posición inferior y aunque desalimentáramos la bobina de retención en caso de una situación insegura, la chapa de empuje no podría subir hasta su punto superior, y el rodillo no enclavaría.

Para realizar el rearme, se parte desde la posición de precauñado, definida anteriormente y se alimentan a la vez la bobina de rearme y la bobina de retención. Esto hace que la chapa de empuje baje, bajando con ella al rodillo gracias al sistema biela-leva.

Una vez está abajo, se desalimenta sólo la bobina de rearme, volviendo su vástago a la posición superior.

La bobina de retención se mantiene alimentada en todo momento hasta que sea necesario que el paracaídas actúe, ordenado por el limitador electrónico. En ese caso, se desalimentará la bobina de retención y el paracaídas enclavará gracias al muelle de compresión que empujará la chapa de empuje hacia arriba.

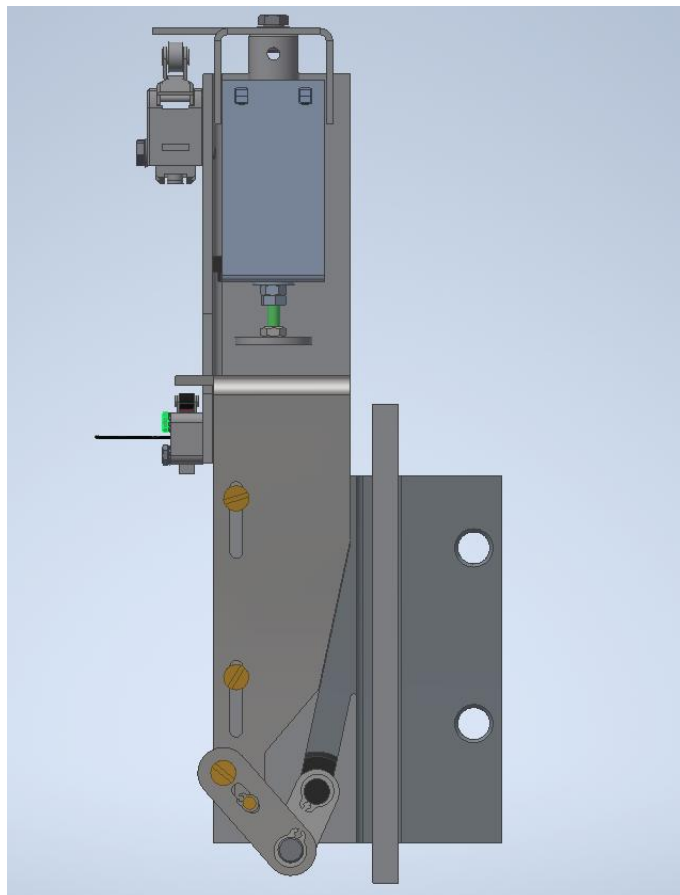


Ilustración 27- Activación rearmada. Fuente: Elaboración propia.

Por su propio diseño, el paracaídas tiene la característica de autoacñarse cuando el rodillo contacta la guía. Debido a ello, cuando la bobina de ventosa está sin corriente, el muelle de activación fuerza al rodillo a contactar contra la guía. De esta manera, si la cabina se moviera en sentido descendente el paracaídas se acuñaría inmediata y automáticamente. Esto se conoce como seguridad positiva.

Aunque se fuera la corriente eléctrica, el sistema seguiría siendo seguro.

5.3 Monitorización

El sistema cuenta con dos contactos de final de carrera para monitorizar el estado del mismo y transmitirlo al limitador electrónico o a la maniobra directamente.

Gracias a estos contactos, se puede ver de forma remota si el paracaídas está rearmado correctamente, con la chapa de empuje en su posición correcta, y si se ha desalimentado la bobina de rearme para poder funcionar correctamente el sistema en caso de una sobrevelocidad o situación insegura.

El contacto de monitorización de retención es un contacto microrruptor, normalmente cerrado, que, al ser pulsado por la chapa de empuje en su posición inferior, abre el circuito y el limitador detecta que el paracaídas está rearmado correctamente.

El contacto de monitorización de rearme es un contacto de seguridad, de apertura positiva, normalmente cerrado, que cuando es pulsado por el pulsador de rearme, abre la serie.

Éste es un contacto de seguridad porque se utiliza solamente en el caso de que las bobinas sean actuadas por la maniobra en vez de directamente desde el limitador electrónico. Cuando son actuadas directamente a través del limitador electrónico, no es necesario colocarlo porque al ser SIL 3 (Safety Integrity Level 3), la norma permitiría no incluirlo.

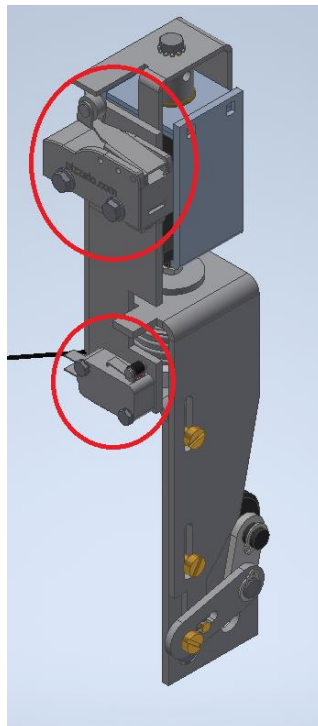


Ilustración 28- Contactos de monitorización. Fuente: Elaboración propia

5.4 Selección de las bobinas y dimensionamiento del muelle

Para poder seleccionar las bobinas adecuadas y dimensionar el muelle que se requiere, se necesita conocer la carrera que tendrá el vástago, así como la fuerza de actuación máxima requerida por el sistema.

Para conocer la carrera, se simula el mecanismo en el programa Inventor de Autodesk y se coloca el rodillo en su posición inferior, completamente escondido, y luego en su posición superior, completamente enclavado.

Gracias a las restricciones traslacionales y de contacto, se puede ver cuanto varía la altura de la chapa de empuje (que, gracias a los pivotes-guía, sólo puede tener desplazamiento vertical).

De esta forma obtenemos una carrera total de 13,3 mm. La redondearemos hasta 15 milímetros en el diseño de la chapa final con unos agujeros rasgados para tener en cuenta holguras y tolerancias de producción de las partes y poder corregirlas in situ.

Para obtener la fuerza, nos guiamos por el punto 5.6.2.2.3 de la norma EN 81-20, que dice lo siguiente sobre la activación del paracaídas mediante el cable del limitador (lo aplicaremos al muelle en su lugar):

- a) la fuerza de tracción ejercida por el cable de seguridad debe ser de, al menos, el mayor de los dos valores siguientes:
- 1) dos veces la necesaria para accionar el paracaídas, o
 - 2) 300 N.

Ilustración 29 - Punto 5.6.2.2.3. Fuente: Norma EN 81-20.

Se toma como referencia el apartado 1, por lo que calculamos la fuerza necesaria del muelle para enclavar el rodillo contra la guía y la multiplicaremos por 2.

Se hace el cálculo de la fuerza en la posición más desfavorable, que es cuando la fuerza del muelle es la mínima, que es en la posición de preacuñado (chapa de empuje en la posición superior), ya que la x comprimida del muelle es la mínima según la ley de Hooke ($F = k \cdot x$).

Hacemos equilibrio de fuerzas en eje vertical en las siguientes piezas: Chapa de empuje y leva para sacar las fuerzas que intervienen en ellas.

$$\sum F_y = 0$$

$$F_b = F_{muelle} - m_{chapaempuje} \cdot g$$

$$F_c = m_{rodillo} \cdot g + m_{leva} \cdot g$$

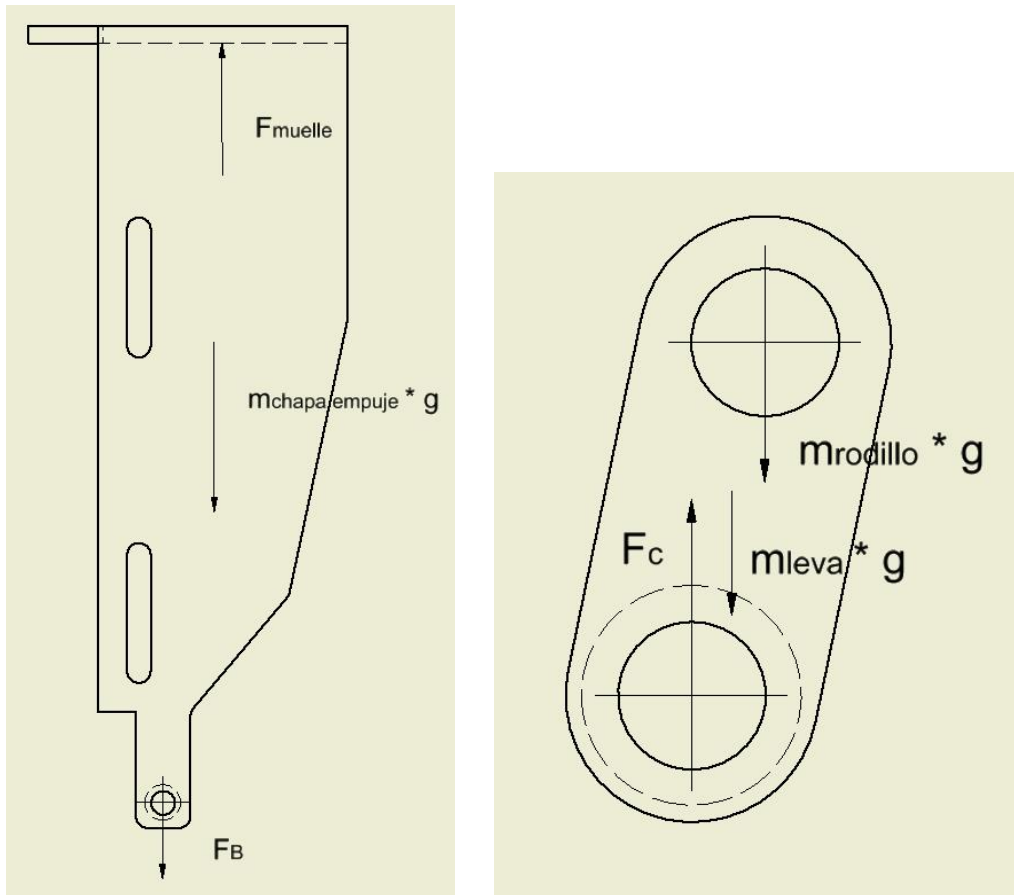


Ilustración 30- Equilibrio de fuerzas en chapa de empuje y leva. Fuente: Elaboración propia.

Con estos diagramas obtenemos el valor de las fuerzas F_c y F_b en función de F_{muelle} .

Sustituyendo en la ecuación del momento en el pivote A de la biela:

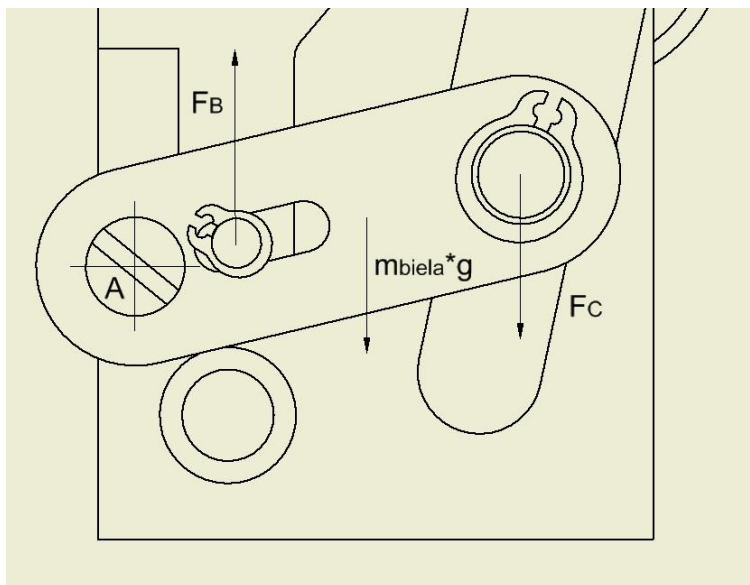


Ilustración 31 - Equilibrio de fuerzas en biela. Fuente: Elaboración propia

No se tiene en cuenta el ángulo de la biela con la horizontal puesto que se simplifica en la ecuación.

$$\sum M_A = 0$$

$$(F_{muelle} - m_{chapaempuje} \cdot g) \cdot L_{AB} = (m_{rodillo} \cdot g + m_{leva} \cdot g) \cdot L_{AC} + m_{biela} \cdot g \cdot L_{biela}/2$$

Obteniendo los datos de las masas y distancias desde el programa Inventor, y sustituyendo, obtenemos un valor de **Fuerza del muelle de 5,06 N**.

Este valor se multiplica por 2 para cumplir con lo indicado en el punto 5.6.2.2.3 de la EN 81-20 y así se obtiene la **fuerza del muelle que necesitaremos en su posición de compresión mínima: 10,12 N**.

Esta será la fuerza mínima del muelle, sin embargo, también debemos conocer la fuerza máxima para poder seleccionar nuestros solenoides correctamente. La calcularemos utilizando la ley de Hooke:

$$F_{mínima} = k \cdot x_{mínima}$$

$$F_{máxima} = k \cdot x_{máxima}$$

Siendo la fuerza mínima 10,12 N, la x mínima la variación de longitud del muelle en la posición superior (mínima compresión = x) y la x máxima, la variación de longitud del muelle en la posición inferior (máxima compresión = x + 13.3). Estos 13.3 mm es la carrera que será necesaria para operar el mecanismo.

Operando el sistema de dos ecuaciones, se simplifica la constante del muelle y se obtiene la relación de la fuerza máxima con la compresión inicial del muelle (en la posición superior, mínima compresión).

$$F_{máxima} = 10,12 + 134,6/x_{mínima}$$

De esta forma, se puede ver que cuanto mayor sea la compresión inicial, menor será la fuerza máxima del muelle.

Es deseable que esta fuerza máxima sea la menor posible para tener un buen coeficiente de seguridad respecto a la bobina de rearme que se seleccionará.

Teniendo en cuenta estos criterios, se elige el muelle siguiente:

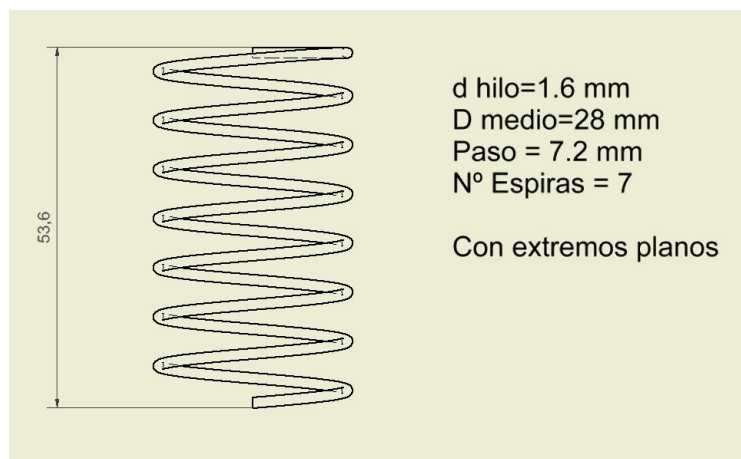


Ilustración 32- Especificaciones del muelle seleccionado. Fuente: Elaboración propia.

Con este muelle se tiene una compresión inicial x mínima de 30 mm, lo que significa que la fuerza máxima será de 14,6 N.

Ahora, se seleccionarán las bobinas. Se utilizarán bobinas lineales de tiro-empuje como bobinas de ventosa electromagnéticas que se ajustan a las especificaciones requeridas.

Como ya se ha comentado anteriormente, el motivo de usar esta configuración de doble bobinado es mantener un consumo bajo cuando la retención está alimentada, y conseguir la suficiente fuerza en el rearme cuando se alimente la bobina de rearme.

La bobina de retención (ventosa) elegida es una bobina de 25 mm de diámetro, de 24V de la empresa Nafsa, ya que tiene una fuerza de retención de 114 N para chapa de 3 mm y entrehierro de 0 mm (nuestro caso). Esto significa que tiene un coeficiente de seguridad de retención de 7,8, más que suficiente para nuestra aplicación de seguridad.

También tiene un factor de marcha del 100%, lo que significa que puede estar alimentada de forma continua, algo esencial para la aplicación.

TAMAÑO	$\varnothing A (-0,3)$	B	C ± 0.1	D	E	F	Peso(Kg)
VEM 20	20	M-3	12	5	---	---	0,02
VEM 25	25	M-4	20	6	---	40	0,06
VEM 30	30	M-4	22	6	---	45	0,10
VEM 40	40	M-5	26	8	---	55	0,20
VEM 50	50	M-5	30	8	---	65	0,30
VEM 65	65	M-8	35	12	112	80	0,80
VEM 80	80	M-8	38	12	127	95	1,30
VEM 100	100	M-10	43	15	147	115	2,10
VEM 150	150	M-16	56	24	197	165	6,40

Tabla 2

TAMAÑO	P a 20°C (W)	e (mm)	Entrehierro (mm) δ_L					Fm (N)
			0	0,1	0,2	0,5	1	
VEM20	1,6	1	14,5	3,8	1,6	0,3		
		3	27	5,7	2,6	0,35		
VEM25	3,2	1	27	19	12	3		
		3	114	47	20	3,5		
		6	135	50	21	3,7		
VEM30	4	1	37	24	18	6	1,5	
		3	170	80	40	9,5	1,6	
		6	190	90	45	12	2	
		1	38	30	24	13	4	

Ilustración 33- Especificaciones de la bobina de retención. Fuente: Nafsa.

La bobina de rearme elegida es la ER 50-15/C de 24 V con un factor de marcha (ED) del 15%. Esta bobina produce una fuerza de 30 N en la posición superior y una fuerza de 23 N en la posición inferior, resultando en unos coeficientes de seguridad de 2,05 y 2,27 respectivamente, suficientes ya que, en caso de fallo, lo único que sucedería es que el paracaídas no rearmaría. Este tipo de fallo no da como resultado un sistema inseguro, por lo que es adecuado.

No es necesario un factor de marcha más alto que un 15% ya que esta bobina va a estar alimentada como mucho durante 1 segundo e inmediatamente se desalimenta, manteniendo únicamente la bobina de retención alimentada, que tiene un consumo mínimo.

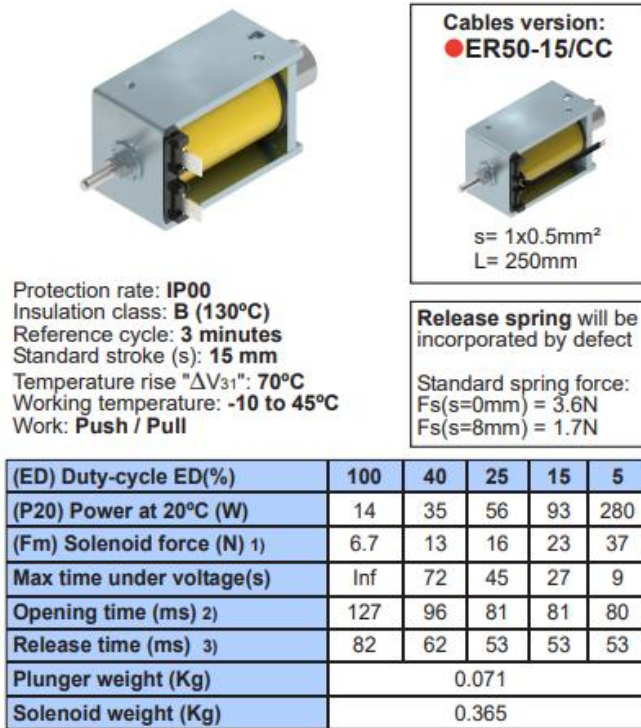


Ilustración 34 - Especificaciones de la bobina de rearme. Fuente: Nafsa.

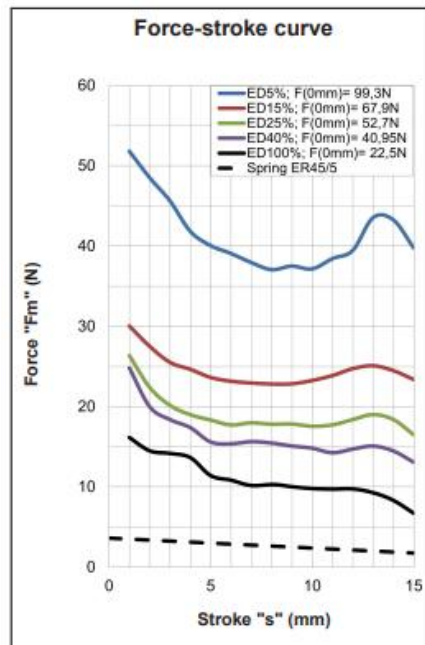


Ilustración 35- Curva Fuerza-Carrera de la bobina de rearme. Fuente: Nafsa.

6 FABRICACIÓN DEL PARACAÍDAS

6.1 Componentes del paracaídas

El paracaídas se compone de los siguientes elementos:

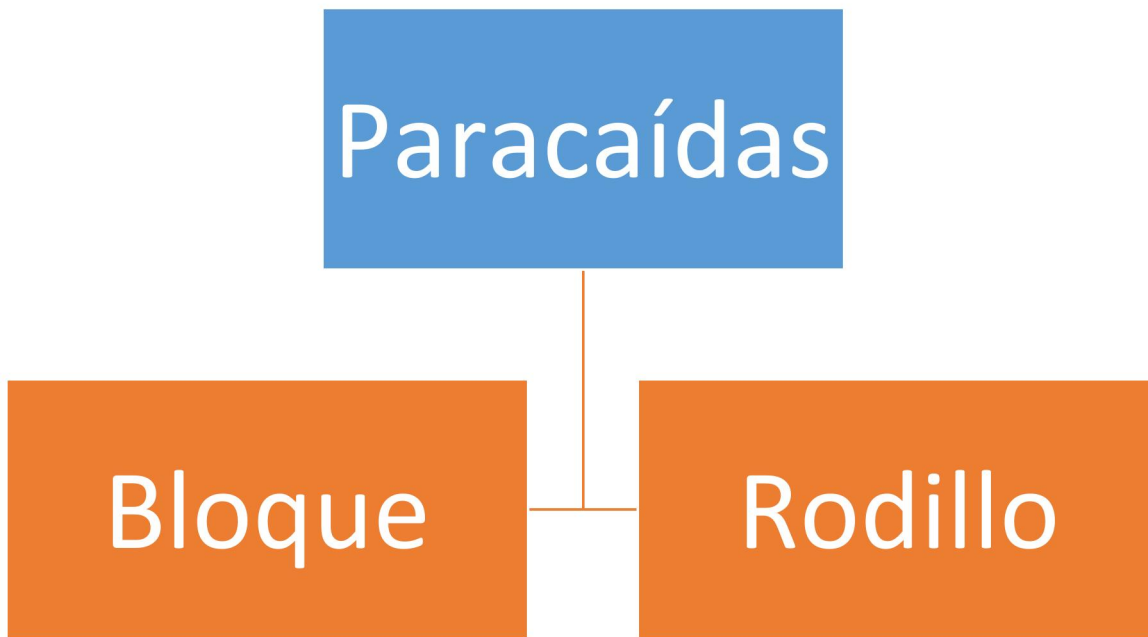


Ilustración 36 – Componentes de un paracaídas. Fuente: Elaboración propia.

Aquí el explosionado.

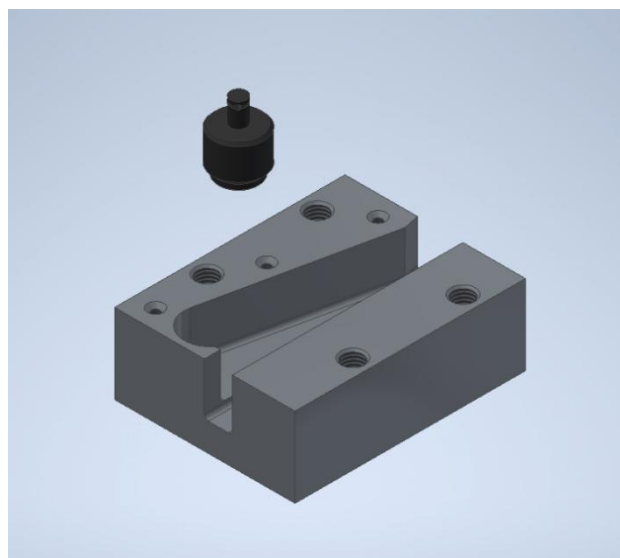


Ilustración 37 – Explosionado 3D de un paracaídas. Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo II se encuentran los planos y hojas de proceso de los principales componentes del paracaídas diseñado.

6.2 Bloque

Se parte de un bloque de acero F-110. Se trata de un acero al carbono dulce ya que no necesitamos que tenga ninguna resistencia añadida. Su función principal es disipar la energía de frenado mediante la deformación plástica del bloque.

Este bloque se mecaniza en una fresadora OKUMA – MA – 500 HII, con un husillo de hasta 45 KW y un tamaño de mesa de 500 x 500 mm.

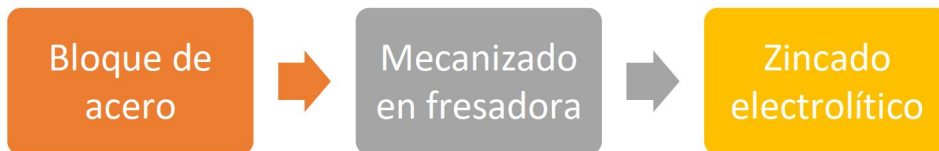


Ilustración 38 - Fases de la operación de fabricación del bloque. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 39 - Fresadora Okuma MA 500-HII. Fuente: Okuma.

Una vez mecanizado, el bloque se somete a un proceso de zincado, mediante el cual se recubre la pieza con una capa de zinc para prevenir la oxidación y corrosión.

Se utilizará un cincado electrolítico en bastidor debido al tamaño de la pieza.

6.3 Rodillo

Se parte de una barra de acero F-120. Se trata de un acero aleado de temple y revenido, con unas resistencias superiores para soportar mayores esfuerzos.

Esta barra se alimenta a un torno CNC HAAS ST-10 con un husillo de hasta 6000 rpm y 11 KW de potencia.



Ilustración 40 - Fases de la operación de fabricación del rodillo. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 41- Torno HAAS ST-10. Fuente: HAAS Automation.

Tras el mecanizado en el torno, se le somete a un tratamiento térmico de temple y revenido, para dotarlo de gran resistencia y tenacidad.

Se utiliza un temple martensítico neutro, en el cual se calientan las piezas hasta una temperatura de temple de unos 1000 °C para transformar la microestructura del acero en la austenita. Después de

mantener esta temperatura de temple un tiempo determinado y conseguir la austenización completa, se enfrían las piezas en agua.

Tras el temple, se le somete a un proceso de revenido para mejorar la tenacidad de las piezas a costa de disminuir su dureza. Consiste en un calentamiento de las piezas a una temperatura de 250 °C en unos hornos con un gas protector para evitar oxidación. A continuación, se deja enfriar lentamente a temperatura ambiente.

Después del temple y revenido, se le somete a un proceso de pavonado que consiste en la generación controlada de una capa superficial de óxido de hierro para evitar la corrosión. Se elige este proceso en lugar del zincado porque mantiene mejor las tolerancias dimensionales de los rodillos y garantiza que el moleteado mecanice adecuadamente las guías en una actuación.

7 FABRICACIÓN DE LA ACTIVACIÓN ELECTROMECAÁNICA

7.1 Chapa de protección autoportante, chapa de empuje de rodillo, biela, leva, y pulsador de rearme

Para la fabricación de todas las siguientes piezas de chapa (chapa de protección autoportante, chapa de empuje de rodillo, biela, leva y pulsador rearme), partiremos de la misma materia prima y se usará la misma máquina.

Se parte de chapas de acero F-110 de 3 mm de grosor para la chapa de protección autoportante, biela y leva, y de 2 mm de grosor para la chapa de empuje de rodillo y el pulsador de rearme. Se utiliza un acero dulce dado que no están sometidas a ningún esfuerzo extremo.



Ilustración 42 -Fases de la operación de fabricación de las chapas de la activación. Fuente: Elaboración propia.

Se utiliza una máquina de corte combinado TRUMATIC 7000. Se trata de una máquina con cabezal de punzonado y cabezal láser con resonador CO2 de 4kW, con carga y descarga de chapa y descarga de pieza automatizada. Esta máquina combina todas las ventajas del punzonado y mecanizado láser. Con el cabezal de punzonado se pueden realizar las operaciones de avellanado de la chapa de protección autoportante y los escariados de la chapa de empuje de rodillo y la leva. Con el cabezal láser se realizan cortes con gran precisión.



Ilustración 43 - Máquina de corte combinado Trumatic 7000. Fuente: TRUMPF

Después de las operaciones de corte, avellanado y escariado, se procede al plegado de la chapa de protección autoportante (3 pliegues), la chapa de empuje de rodillo (1 pliegue) y el pulsador de rearme (2 pliegues).

Estos pliegues se realizan con una plegadora TRUBEND SERIES 7000 de hasta 360 kN de fuerza y una longitud máxima de plegado de 1020 mm, más que suficiente para esta aplicación. Los topes posteriores motorizados controlan la posición exacta de la pieza, incluso si tiene un plegado previo o plegados en cuña.



Ilustración 44 - Plegadora TRUBEND Series 7000. Fuente: TRUMPF

Después del proceso de plegado, se someten al proceso de zincado, solo que al ser más pequeñas que el bloque del paracaídas, se utiliza un zincado en tambor rotativo.

7.2 Pivotes cortos, pivote largo y pasador

Para los pivotes y el pasador, se parte de una barra de bronce al estaño CC481K. Se utiliza bronce en lugar de acero por su menor coeficiente de rozamiento y su alta resistencia a la corrosión sin necesitar de otro tratamiento superficial que podría desgastarse con el tiempo y los movimientos de rearme y acuñaamiento.

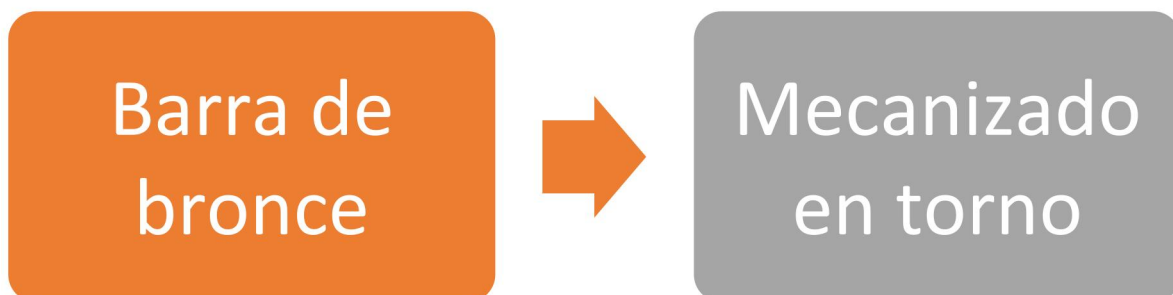


Ilustración 45 -Fases de la operación de fabricación del pasador y los pivotes. Fuente: Elaboración propia.

Estas tres piezas se mecanizan en el torno CNC HAAS ST-10, el mismo tipo de torno utilizado para los rodillos.

7.3 Pisador

Para el pisador, se parte de una barra de acero F-110 y se mecaniza en un torno como el de la ilustración 39.

Posteriormente se le somete a un cincado en tambor.

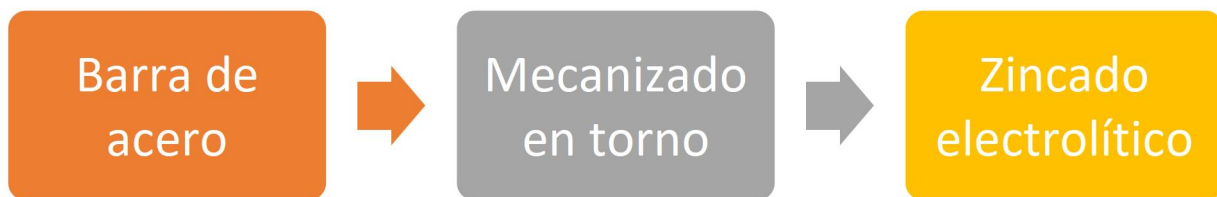


Ilustración 46 -Fases de la operación de fabricación del pisador. Fuente: Elaboración propia.

7.4 Calce muelle

El calce del muelle se fabrica con un plástico PLA mediante un proceso de impresión 3D. Se utiliza este plástico por su bajo coste, ya que es una pieza que no está sometida a prácticamente ningún esfuerzo, y el corte lateral en la anilla dificulta su mecanización en torno.

Se utiliza una impresora 3D BCN 3D EPSILON W50 con un diseño cerrado y cámara de control de humedad óptima para ambientes industriales.



Ilustración 47 - Impresora 3D Epsilon W50. Fuente: BCN3D

8 CONCLUSIONES

Una vez desarrollado el TFG se puede decir que se ha realizado con éxito todo el proceso de diseño indicado en los objetivos y que se han explicado los procesos de fabricación para cada pieza de dicho diseño.

El paracaídas instantáneo se valora como un avance frente a los modelos tradicionales por diferentes motivos. Las principales ventajas del paracaídas instantáneo con activación electromecánica frente a los modelos tradicionales son las siguientes:

- Se reduce el número de componentes requeridos en la instalación. En la instalación sólo son necesarios el paracaídas electromecánico y el limitador electrónico.
- Como consecuencia, la instalación es más sencilla.
- Por otra parte, también se reduce el coste total de mantenimiento de la instalación, ya que no se tienen que cambiar poleas desgastadas del limitador ni de la tensora. Así mismo, no hay un cable limitador que se desgaste.
- Asociado a la reducción de componentes requeridos, está el tiempo de instalación, que también disminuye considerablemente.
- El nuevo paracaídas tiene capacidad de monitorización a distancia, mejorando el mantenimiento y dando la capacidad de comprobarlo y rearmarlo a distancia en caso de una actuación.
- Un aspecto de la máxima importancia es que este tipo de paracaídas aporta mayor seguridad en una actuación ya que actúa de una forma mucho más rápida y precisa que un paracaídas tradicional. No depende de un limitador mecánico, a menudo impreciso, ni tiene una cadena mecánica cable-timonería-rodillo, que retarda la actuación. El paracaídas actúa casi instantáneamente y a la velocidad marcada.

Por tanto, se puede concluir que este tipo de activación es una innovación que nunca ha sido aplicada a paracaídas instantáneos y que, con un precio competitivo, puede tener una buena recepción en un mercado tan amplio y en continua evolución como el del ascensor.

9 BIBLIOGRAFÍA

Asociación española de normalización. (2020). *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.* (Norma núm. EN 81-20). <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=norma-une-en-81-20-2020-n0064392>

Asociación española de normalización. (2020). *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.* (Norma núm. EN 81-50). <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=norma-une-en-81-50-2020-n0063854>

Asociación española de normalización. (2022). *Reglas de seguridad para la construcción e instalación de ascensores. Ascensores para el transporte de personas y cargas. Parte 21: Ascensores nuevos de pasajeros y de pasajeros y cargas en edificios existentes.* (Norma núm. EN 81-21). <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=norma-une-en-81-21-2022-n0070534>