



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Diseño de elevador interior para
aerogeneradores de gran potencia en
sustitución de escaleras estándar

Interior elevator design for high power wind
turbines to replace standard ladders

Autor

Andrés Gallego San Miguel

Director

Juan Carlos Sánchez Catalán

Escuela Universitaria Politécnica La Almunia

Noviembre 2021



**Escuela Universitaria
Politécnica** - La Almunia
Centro adscrito
Universidad Zaragoza

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

MEMORIA

Diseño de elevador interior para
aerogeneradores de gran potencia en
sustitución de escaleras estándar

Interior elevator design for high power wind
turbines to replace standard ladders

424.20.22

Autor: Andrés Gallego San Miguel

Director: Juan Carlos Sánchez Catalán

Fecha: 24/11/2021

INDICE DE ILUSTRACIONES

- Ilustración 1. Situación parque eólico
- Ilustración 2. Conjuntos fundamentales
- Ilustración 3. MADE A52
- Ilustración 4. Montaje aerogenerador
- Ilustración 5. Desmontaje aspas
- Ilustración 6. Grúa-aerogenerador
- Ilustración 7. Generador
- Ilustración 8. Vista interior aerogenerador
- Ilustración 9. Deformación estructura
- Ilustración 10. Deformación Cabina Posición Intermedia.
- Ilustración 11. Deformación Cabina Posición Superior.
- Ilustración 12. Unión
- Ilustración 13. Unión frontal
- Ilustración 14. Unión horizontal
- Ilustración 15. Unión horizontal perspectiva
- Ilustración 16. Unión horizontal superior
- Ilustración 17. Unión horizontal lateral
- Ilustración 18. Unión arriostre lateral
- Ilustración 19. Unión arriostre superior
- Ilustración 20. Unión base
- Ilustración 21. Unión base inferior
- Ilustración 22. Unión base frontal
- Ilustración 23. Unión base perspectiva
- Ilustración 24. Unión base hormigón
- Ilustración 25. Tabla Fz
- Ilustración 26. Tabla catalogo NORD
- Ilustración 27. Tabla freno motor
- Ilustración 28. Grupo motor
- Ilustración 29. Grupo motor frontal
- Ilustración 30. Rodillos
- Ilustración 31. Cabina
- Ilustración 32. Cabina perspectiva
- Ilustración 33. Cabina frontal
- Ilustración 34. Red
- Ilustración 35. ET200 PB
- Ilustración 36. ET200 ELEV
- Ilustración 37. Seguridad 1
- Ilustración 39. Seguridad 2
- Ilustración 39. Seguridad 3
- Ilustración 40. Seguridad 2
- Ilustración 41. Emergencia 1
- Ilustración 42. Emergencia 2
- Ilustración 43. Emergencia 3
- Ilustración 44. Bloques de función

Ilustración 45. Indra

Ilustración 46. Indra programación

Ilustración 47. Variables



INDICE DE CONTENIDO BREVE

1. RESUMEN
2. ABSTRACT
3. INTRODUCCIÓN
4. DESARROLLO
5. CONCLUSIONES
6. BIBLIOGRAFÍA

INDICE DE CONTENIDO

1. RESUMEN
 - 1.1. Palabras Clave
2. ABSTRACT
 - 2.1. Key Words
3. DESARROLLO
 - 3.1. INTRODUCCIÓN
 - 3.2. ASPECTOS AMBIENTALES
 - 3.3. MARCO TEÓRICO
 - 3.3.1. CONJUNTOS FUNDAMENTALES
 - 3.3.2. SISTEMA ELÉCTRICO Y CONTROL DEL AEROGENERADOR
4. ANTECEDENTES DE LOS SISTEMAS DE ELEVACIÓN
 - 4.1. TECNOLOGÍAS DE ELEVACIÓN
 - 4.2. FUNCIONAMIENTO DE UN ELEVADOR ACCIONADO MEDIANTE SISTEMA PIÑÓN-CREMALLERA
5. VERIFICACIÓN DE LA NORMA
6. METODOLOGÍA
 - 6.1. Comentar ligeramente el cypecad
7. DESARROLLO DEL PROYECTO
 - 7.1. DISEÑO DE SISTEMAS MECÁNICOS
 - 7.1.1. DEFINICIÓN DEL MÁSTIL Y DE LA CREMALLERA
 - 7.1.2. DEFINICIÓN DEL ARRIOSTRE
 - 7.1.3. ELECCIÓN DEL MOTO-REDUCTOR
 - 7.1.3.1. TIPOS DE MOTO-REDUCTORES
 - 7.1.3.2. CÁLCULO DE LOS MOTO-REDUCTORES
 - 7.1.4. DEFINICIÓN DEL GRUPO MOTOR

- 7.1.5. DEFINICIÓN DE LA CABINA
- 7.1.6. DEFINICIÓN DE LOS SISTEMAS DE SEGURIDAD
 - 7.1.6.1. RECINTO BASE DE SEGURIDAD
 - 7.1.6.2. FINAL DE CARRERA DE ASCENSO
 - 7.1.6.3. FINAL DE CARRERA DE DESCENSO
 - 7.1.6.4. EMERGENCIA FINAL DE CARRERA DE ASCENSO/DESCENSO
 - 7.1.6.5. INDUCTIVO DETECCIÓN DE MÁSTIL
 - 7.1.6.6. CIERRE ELECTROMECAÁNICO DE LAS PUERTAS DE ENTRADA/SALIDA
 - 7.1.6.7. CIERRE TRAMPILLA TECHO CABINA
 - 7.1.6.8. MOTORES AUTOFRENANTES
 - 7.1.6.9. DISPOSITIVO DETECCIÓN SOBRECARGA
 - 7.1.6.10. CONTROL CON SETA DE EMERGENCIA E INTERRUPTOR DE BLOQUEO
 - 7.1.6.11. PARACAIDAS
- 7.2. DISEÑO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS
- 7.3. DISEÑO DEL PROGRAMA

- 8. CONCLUSIONES Y MEJORAS
 - 8.1. CONCLUSIONES
 - 8.2. POSIBLES MEJORAS

- 9. BIBLIOGRAFÍA

- 10. ANEXOS
 - 10.1. SOFTWARE EMPLEADO
 - 10.1.1. INTRODUCCIÓN
 - 10.1.2. CYPECAD
 - 10.2. CÁLCULOS
 - 10.3. PLANOS
 - 10.4. NORMATIVA
 - 10.5. PRESUPUESTO

1. RESUMEN

El aprovechamiento de la energía que poseen las masas de aire en movimiento viene siendo utilizada desde hace largo tiempo. Son las formas de utilización y la tecnología aplicada las que han ido cambiando a lo largo del tiempo.

Es esperable que con la tendencia política actual que apuesta por el respeto al medio ambiente, la demanda creciente de energía, el aumento del coste de los combustibles fósiles provocado por su agotamiento, las energías renovables sean una de las alternativas de mas prometedor futuro. Y entre las renovables, la energía eólica, la mejor preparada por su madurez tecnológica y su sostenibilidad.

De esta manera el desarrollo y la mejora de los aerogeneradores abarca un campo muy amplio en el que nos centraremos en dicho trabajo.

Para poder acceder a la parte superior de las torres de los aerogeneradores y realizar su mantenimiento, éstas deben contar al menos con una escalera en su interior.

El objeto del trabajo es dotar a las torres eólicas de un elevador para facilitar el ascenso a la parte superior, conservando las escaleras.

La elevación de materiales, herramientas y personas ha sido fundamental para el desarrollo de las civilizaciones desde la antigüedad hasta tiempos presentes. En la actualidad existe una gran variedad de tecnologías de elevación utilizadas por el hombre en diferentes sectores. Dentro de cada variante tecnológica existe a su vez un amplio rango de diferentes soluciones en función de otros factores tales como la capacidad de carga, la velocidad de elevación, las dimensiones de la carga a elevar, los sistemas de seguridad incluidos,...etc.

Todas las tecnologías de elevación están en constante desarrollo, mejora y adaptación, para satisfacer las nuevas necesidades de un mercado global cada vez más exigente, sobre todo en cuestiones de seguridad, innovación y flexibilidad en los diseños. Existe una creciente demanda de las tecnologías de elevación tanto en países desarrollados como en países emergentes, principalmente en los sectores industriales y de construcción. Las principales tecnologías de elevación usadas en estos sectores son entre otras: grúas, elevadores hidráulicos, andamios colgantes, puentes grúa, ascensores y sistemas de elevación accionados mediante un sistema de piñón cremallera.

En el ámbito de la construcción, la tecnología de elevación basada en sistemas piñón-cremallera ha sufrido un gran auge en las últimas dos décadas, existiendo una gran demanda de esta tecnología en el mercado mundial. Estas máquinas poseen una amplia gama de variantes que proporcionan diversas soluciones a las necesidades que se plantean en la ejecución de las obras. Pueden ser utilizadas por si mismas o en

combinación con otras tecnologías de elevación más convencionales, como por ejemplo las grúas torre.

Dentro de la familia de los sistemas de elevación piñón-cremallera existe una creciente demanda por las máquinas que poseen una alta capacidad de carga de personas y materiales, una elevada velocidad de desplazamiento y una gran altura de instalación.

La seguridad juega un papel fundamental en el diseño de los elevadores accionados mediante un sistema de piñón-cremallera. Un mal diseño podría causar importantes destrozos en la máquina o en lo que se transporta en su interior, generando pérdidas económicas e incluso la pérdida de vidas humanas. Por estos motivos se hace imprescindible el cumplimiento de la norma que regula estas máquinas. Esta norma establece las pautas de diseño, como realizar los cálculos mecánicos de los principales componentes, cuáles y cómo han de ser los componentes mínimos de seguridad con los que ha de contar el elevador y cómo realizar los test de seguridad para validar la máquina para su uso y comercialización.

Para poder cumplir todos los requisitos de diseño y seguridad que establece la normas es imprescindible para los ingenieros apoyarse en el uso de softwares de diseño 3D y de softwares de cálculos de elementos finitos. Gracias a los softwares de diseño 3D se pueden crear modelos virtuales complejos y detallados de las máquinas sin necesidad de fabricarlos. Una vez finalizados los modelos, es posible exportarlos a los softwares de cálculo de elementos finitos para realizar los análisis de tensiones, deformaciones y desplazamientos a los que se vería sometido el elevador según las condiciones de carga más desfavorables impuestas por la norma.

Sobre este ámbito, en el presente proyecto se realizará un diseño de un elevador accionado por un sistema de piñón-cremallera.

El sistema de elevación está configurado por una estructura autoportante con la escalera como uno de los elementos integrados en dicha estructura. Esta aplicación de la escalera, como elemento integrante de la estructura autoportante, es tanto para las torres de nueva construcción como para las ya existentes a las que se quiere adaptar el elevador, como es nuestro caso, para las torres pertenecientes a los parques eólicos de la empresa Gamesa en la provincia de Soria.

OBJETIVO Y JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

El principal objetivo es el diseño y análisis mecánico de un elevador accionado mediante un sistema piñón-cremallera. En el trabajo se abordará, desde un punto de vista mecánico, el diseño modular del elevador, su cálculo estructural, su sistema de accionamiento motor, la caja de elevación y los sistemas auxiliares y desde el punto de vista electrónico, la programación del elevador, el conexionado eléctrico y la comunicación con el exterior. Debido al uso del dispositivo, se prestará especial importancia a la seguridad.

Los aerogeneradores que se fabrican e instalan actualmente tienen la opción de incorporar un sistema de elevación en el interior de la turbina para el acceso a la góndola de la parte superior, que se instala en la fase de montaje. Los que se pusieron en marcha hace unos años solo tienen escaleras desde el suelo hasta la góndola, no tienen instalados sistemas de elevación. Para algunos modelos se diseñaron como mejora de turbina elevadores y ayudadores para facilitar el acceso del personal de mantenimiento a góndola.

De esta manera, se pretende poner fin a estos sistemas de elevación, con la intención de ahorrar tiempos de paradas y de subida y bajada de operarios, acelerar el mantenimiento entre varias turbinas por el mismo personal y agilizar la subida de material pesado de los operarios a la turbina y evitar futuras lesiones habituales originadas por la subida constante a las turbinas sin ningún tipo de ayuda como pueden ser lesiones de rodilla y rotura de ligamentos.

Las torres son en general troncocónicas con una altura típicamente superior a los 50 metros de altura. Los equipos que se encuentran en la parte superior de la turbina necesitan de un mantenimiento periódico a pesar de las averías que puedan tener por lo que la instalación de un elevador supondría un ahorro de tiempo para el personal y, por lo tanto, una menor pérdida económica.

Una vez estudiadas las distintas partes de un aerogenerador, así como la diferencia principal que hay con los sistemas eléctricos y los sistemas de control, haremos una elección del modelo en el que centraremos el estudio.

Compañía Eólica de Tierras Altas S.A. (CETASA) tiene 4 parques eólicos con tres modelos de aerogeneradores: P.E. Oncala 33 aerogeneradores NM 48/750 , P.E. Magaña 33 NM 52/900 y P.E. Castilfrío y El Cayo con 66 aerogeneradores en total modelo Made AE52 serie 800. Los aerogeneradores de Oncala y Magaña son de paso fijo y los de Castilfrío y El Cayo son de paso variable. Con estos últimos modelos de turbina se aprovecha mejor el recurso eólico pero requieren un mayor número de intervenciones en turbina en mantenimiento preventivo y correctivo, motivo por el que el presente trabajo se centra en este modelo.



Ilustración 1. Situación parque eólico

A continuación, detallaremos brevemente y pondremos en contexto las partes que comprenden un aerogenerador y lo que abarca al campo de la energía eólica.

1.1 PALABRAS CLAVE

- Elevador
- Aerogenerador
- Cabina
- Estructura
- Energía eólica

2. ABSTRACT

The utilization of the energy of moving air masses has been used for a long time. It is the forms of utilization and the technology applied that have changed over time.

It is to be expected that with the current political trend towards respect for the environment, the growing demand for energy, the increase in the cost of fossil fuels caused by their depletion, renewable energies will be one of the most promising alternatives for the future. And among the renewable energies, wind energy is the best prepared due to its technological maturity and sustainability.

In this way, the development and improvement of wind turbines covers a very wide field on which we will focus in this work.

Autor: Andrés Gallego San Miguel

- 7 -

424.20.22

In order to be able to access the top of the wind turbine towers and carry out their maintenance, they must have at least one ladder inside.

The purpose of the work is to equip the wind towers with an elevator to facilitate the ascent to the top, preserving the stairs.

The lifting of materials, tools and people has been fundamental for the development of civilizations from ancient times to the present. Nowadays there is a great variety of lifting technologies used by man in different sectors. Within each technological variant there is in turn a wide range of different solutions depending on other factors such as load capacity, lifting speed, dimensions of the load to be lifted, safety systems included,...etc.

All lifting technologies are constantly being developed, improved and adapted to meet the new needs of an increasingly demanding global market, especially in terms of safety, innovation and design flexibility. There is a growing demand for lifting technologies in both developed and emerging countries, mainly in the industrial and construction sectors. The main lifting technologies used in these sectors include cranes, hydraulic lifts, suspended scaffolding, overhead cranes, elevators and rack and pinion driven lifting systems.

In the construction industry, rack-and-pinion hoisting technology has experienced a boom in the last two decades, and there is a great demand for this technology on the world market. These machines have a wide range of variants that provide diverse solutions to the needs that arise in the execution of works. They can be used on their own or in combination with other more conventional lifting technologies, such as tower cranes.

Within the family of rack and pinion hoists, there is a growing demand for machines that have a high load capacity for people and materials, high travel speed and high installation height.

Safety plays a key role in the design of rack and pinion hoists. A bad design could cause significant damage to the machine or to what is transported inside it, generating economic losses and even the loss of human lives. For these reasons, it is essential to comply with the standard that regulates these machines. This standard establishes the design guidelines, how to perform the mechanical calculations of the main components, what and how the minimum safety components the elevator must have and how to perform the safety tests to validate the machine for its use and commercialization.

In order to meet all the design and safety requirements established by the standards, it is essential for engineers to rely on the use of 3D design software and finite element calculation software. Thanks to 3D design software, complex and detailed virtual models

of the machines can be created without the need for manufacturing. Once the models have been finalized, they can be exported to finite element calculation software to perform stress, deformation and displacement analyses to which the elevator would be subjected according to the most unfavorable load conditions imposed by the standard. In this area, the present project will include the design of an elevator driven by a rack and pinion system.

The lifting system is configured by a self-supporting structure with the ladder as one of the elements integrated in this structure. This application of the ladder, as an integral element of the self-supporting structure, is both for new construction towers and for existing towers to which the elevator is to be adapted, as in our case, for the towers belonging to the wind farms of the company Gamesa in the province of Soria.

OBJECTIVE AND JUSTIFICATION OF THE SUBJECT

The main objective is the design and mechanical analysis of an elevator driven by a rack and pinion system. The work will address, from a mechanical point of view, the modular design of the elevator, its structural calculation, its motor drive system, the hoistway and the auxiliary systems, and from an electronic point of view, the programming of the elevator, the electrical connection and the communication with the outside. Due to the use of the device, special importance will be given to safety.

The wind turbines currently being manufactured and installed have the option of incorporating a lifting system inside the turbine for access to the nacelle at the top, which is installed at the assembly stage. Those commissioned a few years ago only have stairs from the ground to the nacelle, no lift systems are installed. For some models, lifts and helpers were designed as turbine upgrades to facilitate access of maintenance personnel to the nacelle.

In this way, it is intended to put an end to these lifting systems, with the intention of saving time of stops and raising and lowering of operators, speeding up maintenance between several turbines by the same personnel and speeding up the raising of heavy material from the operators to the turbine and avoiding future common injuries caused by the constant raising to the turbines without any type of help, such as knee injuries and torn ligaments.

The towers are generally truncated cone-shaped with a height typically in excess of 50 meters. The equipment at the top of the turbine requires periodic maintenance despite any breakdowns that may occur, so the installation of an elevator would save time for the personnel and, therefore, a lower economic loss.

Once we have studied the different parts of a wind turbine, as well as the main difference with the electrical systems and control systems, we will choose the model on which we will focus the study.

Compañía Eólica de Tierras Altas S.A. (CETASA) has 4 wind farms with three models of wind turbines: P.E. Oncala 33 wind turbines NM 48/750 , P.E. Magaña 33 NM 52/900 and P.E. Castilfrío and El Cayo with 66 wind turbines in total model Made AE52 series 800. The wind turbines of Oncala and Magaña are of fixed pitch and those of Castilfrío and El Cayo are of variable pitch. The latter turbine models make better use of the wind resource but require a greater number of interventions on the turbine for preventive and corrective maintenance, which is why this work focuses on this model.

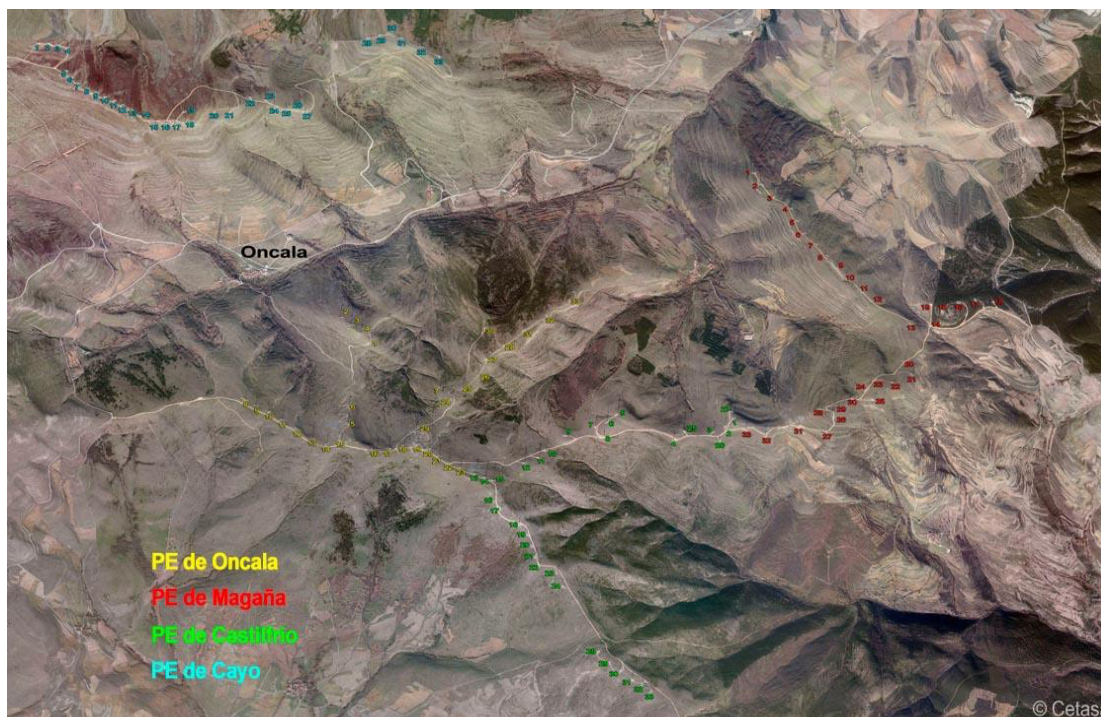


Ilustración 1. Situación parque eólico

In the following, we will briefly detail and put into context the parts that comprise a wind turbine and what it encompasses in the field of wind energy.

2.1 Key Words

- Elevator
- Wind Turbine
- Cabin
- Structure
- Wind energy

3. DESARROLLO

3.1 INTRODUCCIÓN

La energía eólica ha sido utilizada desde hace mucho tiempo para molienda de grano o bombeo de agua. Lo que ha ido cambiando a lo largo del tiempo han sido los modelos y máquinas utilizados para aprovechar el recurso eólico, en la actualidad se utilizan para generación de electricidad.

Con la situación energética actual, la demanda creciente de energía, el aumento del coste de la electricidad y de los combustibles fósiles provocado por su agotamiento, se espera que la generación eléctrica del futuro sea cada vez más renovable; y entre las renovables, la energía eólica, la mejor preparada por su madurez tecnológica y su sostenibilidad.

Un aerogenerador es una máquina utilizada para transformar la energía cinética del viento en energía mecánica para posteriormente en el generador transformar la energía mecánica en energía eléctrica para su posterior utilización. El viento al chocar con las palas provoca el giro del rotor eólico (entre 20 y 13 rpm) que está unido al tren de potencia.

El diseño y uso de los mismos puede ser variado, adaptándose a diferentes requerimientos.

La evolución de las máquinas ha sido muy acelerada, pasando de ser casi un experimento en los años ochenta, a ser una alternativa consolidada hoy en día, fundamental para satisfacer los descomunales crecimientos de consumo energético dentro de un entorno de sostenibilidad.

Partiendo de unas potencias modestas en los primeros años 80, en las pocas decenas de kilovatios, la segunda mitad de los 90 y los primeros años del siglo XXI han visto un crecimiento casi geométrico en potencias, alturas y diámetros, instalándose comercialmente en la actualidad y en gran número de aerogeneradores de potencia unitaria de 3MW, y de manera masiva, igual o superior a 2MW.

Actualmente, se están instalando de forma comercial aerogeneradores comprendidos en dos rangos de potencia:

- Los de potencia inferior al megavatio, aproximadamente entre 800 kW y 900kW. Se conocen como máquinas kilovatio.
- Los que superan el megavatio, a partir de 1,5MW y hasta 3MW, iniciándose la instalación de máquinas de potencia aún superior. Las máquinas superiores a 2,5MW se conocen como máquinas multi-megavatio.

Finalmente, las superiores a 5MW son equipos que se están desplegando comercialmente en el mar, y cuya futura instalación comercial en tierra plantea unos retos importantes de cadena de suministro, transporte y montaje.

La elección del aerogenerador está limitada fundamentalmente por las condiciones climatológicas y del terreno y siempre dentro de la satisfacción de los requisitos de rentabilidad mínimos buscados.

3.2 ASPECTOS AMBIENTALES

- Beneficios ambientales y sociales:

La energía eólica se define como una fuente de energía renovable y limpia, obtenida a partir del viento. Este es un recurso inagotable, de ahí su carácter renovable, y además su aprovechamiento no produce ninguna contaminación.

La energía eólica es beneficiosa por las numerosas ventajas que aporta: permite una generación distribuida cercana a los puntos de consumo, ahorrando costes de transporte de electricidad, crea puestos de trabajo, es una fuente de ingresos adicional en el mundo rural, etc.

Por otro lado, la energía eólica también presenta una serie de inconvenientes que se deben mitigar en la medida de lo posible. Los parques eólicos suponen un impacto visual, pueden ser fuente de generación de ruido, pueden provocar la erosión del suelo y alteraciones sobre la flora y la fauna en los lugares donde se instalan, etc. Por todo esto, los parques eólicos llevan estudios y análisis para garantizar su construcción y para que su explotación sea lo más sostenible posible con el medio ambiente.

Este estudio se denomina Estudio de Impacto Ambiental (EIA), y es un documento técnico realizado por expertos de la materia que presenta en la administración el propietario del parque para que su proyecto sea evaluado.

El resultado de esta evaluación es una declaración favorable o desfavorable y unas medidas correctoras si son necesarias.

- Legislación vigente:

Toda la tramitación ambiental esta regulada por una serie de leyes de carácter general. Cada Comunidad Autónoma tiene sus propias peculiaridades y leyes más restrictivas que las del ámbito nacional, por lo que estas leyes están en constante revisión y actualización.

Cabe recalcar, por ejemplo, el Real Decreto 1432/2008 de 29 de agosto, por el que se establecen medidas para la protección de la avifauna, contra la colisión y electrocución en líneas eléctricas.

- Evaluación de impacto ambiental:

Es un procedimiento administrativo que tiene por objeto determinar la compatibilidad entre la instalación de parques eólicos y el medio ambiente.

Es imprescindible contar entre los documentos con una memoria resumen del proyecto, un estudio de impacto ambiental, diversas alternativas de implantación de aerogeneradores, análisis de impactos ambientales, medidas preventivas, correctoras o compensatorias, y un plan de vigilancia ambiental.

3.3 MARCO TEÓRICO

3.3.1 CONJUNTOS FUNDAMENTALES

Un aerogenerador para la producción de electricidad en parques eólicos es desde el exterior un receptáculo, orientable al viento, que sostiene un rotor, que captura la energía del viento, y en cuyo interior hay un tren electromecánico transformador de la energía cinética que lleva el viento en energía eléctrica, y situado a una determinada altura por una estructura de soporte.

Los conjuntos fundamentales que tenemos son el rotor (compuesto por las palas y el buje), la barquilla o góndola y la torre.

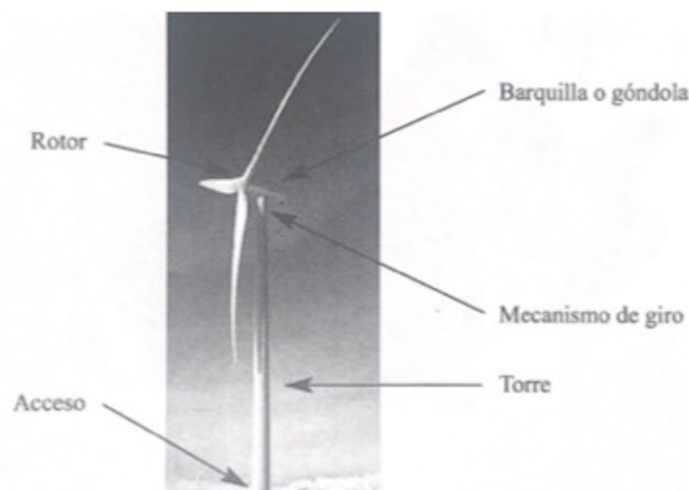


Ilustración 2. Conjuntos fundamentales

En el interior de la barquilla, y con carácter general, se encuentran: eje, multiplicador, freno, generador eléctrico, transformador y parte del sistema de control, y en su parte superior externa la instrumentación (anemómetro y veleta).

El generador es el elemento fundamental en todas las tecnologías, pudiendo variar la presencia o posición del resto de los elementos.

En la siguiente imagen pondremos en contexto las partes que comprenden el aerogenerador Made AE 52 para el que vamos a diseñar el elevador.

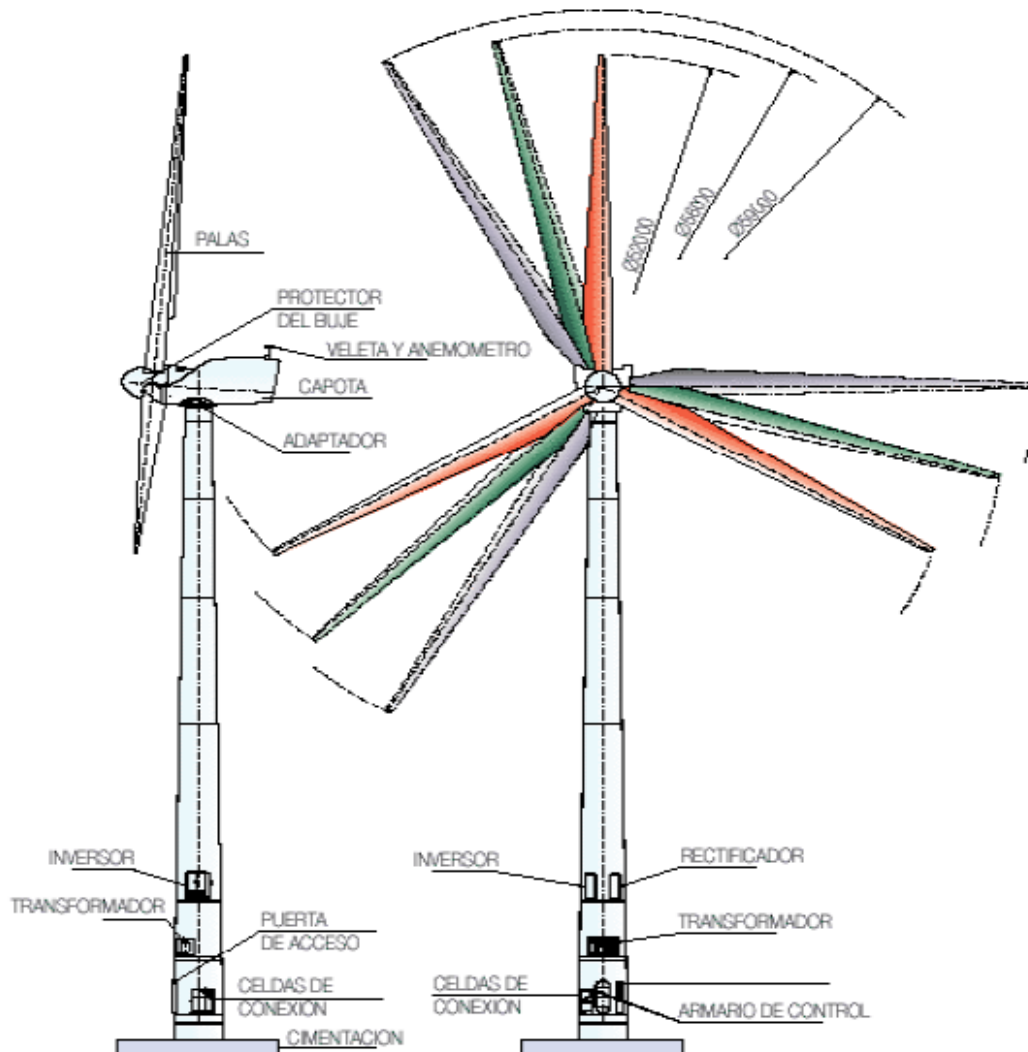


Ilustración 3. MADE AE 52

A continuación se van a describir de manera general las características fundamentales de cada una de las diferentes partes:

- Torre y cimentación:

Es la estructura soporte de todo el conjunto, aguanta el peso del rotor y la góndola con todos sus componentes, y las fuerzas de empuje que ejerce el viento sobre el aerogenerador, durante toda su vida útil.

Las torres pueden ser de celosías o tubulares: a pesar del coste inferior de las primeras, su escasa estética, su mayor nivel de perturbación sonora y su mayor impacto ambiental han cedido el paso a torres tronco-cónicas fabricadas a partir de chapas de acero

curvadas y soldadas formando viloras, que a la vez se sueldan entre sí formando tramos de torre y permiten posteriormente montar la torre completa sobre el emplazamiento. Las alturas de las torres actuales comerciales están entre 80 y 105 metros. Estas alturas tan grandes y el encarecimiento del acero han dado lugar a que empiecen a aparecer en el mercado torres de hormigón, que se montan en el propio emplazamiento partiendo de elementos prefabricados.

El hormigón, con características mecánicas distintas al acero, tiene una mayor resonancia y no transmite ni amplifica las vibraciones del conjunto rotor/barquilla. Una desventaja de este tipo de torre es el tiempo de montaje de la misma.

Las torres se anclan al suelo a través de la cimentación, elemento final que absorbe las fuerzas a las que está sometido todo el aerogenerador. Estas cimentaciones pueden ser gravitatorias o pilotadas, incluso monopilotadas. La cimentación más usada es la gravitatoria, y consta de una gran zapata de hormigón en la que se embebe un cilindro metálico sobre el que posteriormente se ancla, mediante pernos, y ya en la superficie, el tramo inferior de la torre.



Ilustración 4. Montaje aerogenerador

- Barquilla o góndola:

Conjunto que contiene todo el tren de transmisión y sus elementos auxiliares, y se sitúa en la parte superior de la torre, sobre la que gira, transmitiendo a la misma todos los esfuerzos y momentos generados por el rotor.

Tiene una abertura circular en su parte inferior para su conexión a la torre y acceso, otra en la parte superior para acceder al techo de la misma, y una tercera para evacuación del personal en caso de peligro o manejo de material.

En su parte superior incorpora un pararrayos y sensores de medición del viento, anemómetros, veletas redundantes y luces de señalización de gálibo.

En el interior se encuentran diferentes componentes según la tecnología, además del generador que siempre está presente. En las unidades de mayor altura y potencia se incorpora un transformador para evitar las pérdidas eléctricas.

- Eje principal:

Es un elemento de transmisión de energía rotacional en baja velocidad, que no se incorpora en aquellas tecnologías que no disponen de multiplicador.

Consiste en un eje de acero que transmite el movimiento del rotor al multiplicador.

- Multiplicador:

Transmite el movimiento giratorio del eje principal al generador, aumentando las revoluciones del mismo para que, en función del número de polos, la energía eléctrica generada esté en la frecuencia de la red.

- Generador:

El objeto del generador es transformar la energía mecánica que viene del rotor del aerogenerador en energía eléctrica que se entregará a la red o algún centro de consumo.

En los aerogeneradores de los años noventa, se instalaban rotores asíncronos de jaula de ardilla por su robustez y su bajo coste. Hoy en día esta tecnología ha quedado completamente fuera de uso ya que con generadores de este tipo no es viable cumplir los requerimientos actuales de la red eléctrica ni implementar técnicas de control sofisticadas, dando paso a generadores asíncronos de rotor bobinado, aerogeneradores síncronos bobinados y aerogeneradores de imanes permanentes.

- Transformador:

Es un elemento que puede estar situado en la misma barquilla o en la parte baja de la torre. Es un elemento encargado de elevar la tensión de salida del generador a la tensión de la red de distribución interna del parque, que une todos los aerogeneradores hasta la subestación; la potencia se eleva de tensión para disminuir la intensidad, y con ello las pérdidas en los cables durante el transporte de la electricidad.

- Rotor:

Consta de un buje que sostiene las palas y que está dispuesto en el exterior de la barquilla. Este componente recibe todo el empuje del viento y lo transforma en energía cinética de rotación.

○ Buje:

Es un elemento tanto estructural (en él se soportan las palas) como dinámico (transmite el movimiento giratorio del tren electromecánico de la barquilla). En su interior alberga los actuadores sobre las palas, los soportes de estas, y debe permitir el acceso y trabajo de los técnicos de servicio.

○ Palas:

Las palas se diseñan para aprovechar al máximo la energía del viento y minimizar el ruido aerodinámico. Físicamente consisten en dos valvas unidas a una estructura interna de soporte.

Al estar sometidas a intensas cargas aerodinámicas alternativas, se produce una fuerte vibración entre ellas. El acoplamiento entre los modos de vibración que sufren las palas y los que sufre la torre es objeto de diversos estudios, ya que un desajuste entre ambos puede producir torsiones que llegan a causar hasta la propia destrucción de la máquina.

El mayor momento lo tiene, en su unión con el buje, la parte de la pala conocida como raíz; de ahí que las palas deben ser más gruesas y resistentes en ese punto.

Generalmente la pala comienza con una sección circular de acoplamiento en la raíz y aumenta de tamaño hasta que progresivamente cambia hacia un perfil delgado.

3.3.2 SISTEMA ELÉCTRICO Y CONTROL DEL AEROGENERADOR

TIPOS DE MÁQUINAS

Conexión a red

El proceso de conexión de un aerogenerador a la red eléctrica difiere según sea el tipo de máquina; así, máquinas de paso fijo y velocidad fija seguirán una estrategia, si disponen de sistema de cambio de paso, seguirán otra y, por último, máquinas con cambio de paso y velocidad variable tendrán otra.

Todos los sistemas intentarán realizar la operación, de la manera más suave posible, para evitar puntas de par, del modo menos complejo posible y las menos veces posible. Para ello, se deberán implementar sensores de medida adecuados a los parámetros que se miden y deberán seleccionar valores adecuados de esos parámetros para que el control tome decisiones correctas.

Aerogeneradores con velocidad fija

Una vez que el control ha chequeado todas las variables necesarias y no ha detectado ninguna anomalía, esperará a que se supere el límite mínimo de velocidad del viento para comenzar a generar. Si se cumple esta condición, activa el sistema de orientación y una vez orientado libera el freno eléctrico, a la vez que coloca las palas en posición de operación, en el caso de máquina de paso variable, o los aerofrenos en el caso de paso fijo. El aerogenerador de esta manera está ya preparado para efectuar la conexión a red.

El aerogenerador comenzará a girar hasta alcanzar una velocidad mínima de rotación del eje de alta, momento en el cual activa el sistema de arranque suave para que la conexión se produzca sin esfuerzos mecánicos ni corrientes elevadas de conexión. El sistema de conexión suave suele consistir en un puente trifásico de tiristores que van aumentando gradualmente la tensión en bornes del generador hasta que se iguala a la tensión de la red eléctrica. Una vez efectuada la conexión, el sistema de control puentea el sistema de arranque suave y conecta las etapas de compensación de reactiva.

Sistemas de paso y velocidad variables

El sistema mide la velocidad del viento continuamente. Si durante pocos minutos se detecta una velocidad de viento suficiente para el funcionamiento del aerogenerador, se inicia el proceso de arranque automático. Para ello se coloca en una determinada posición y se lleva a cabo un chequeo de los sensores en torno a 1 minuto. A continuación, se alinea la góndola en la dirección del viento y las palas del rotor se ponen en posición de funcionamiento.

Al alcanzar el límite inferior de revoluciones, el aerogenerador comienza a inyectar potencia a la red.

Desconexión a red

El sistema de control está continuamente supervisando las revoluciones del rotor de alta; si las revoluciones disminuyen por debajo de un valor mínimo, se desconecta la compensación de reactiva, y, a continuación, el aerogenerador de la red.

En sistemas de paso fijo, en el caso de que se alcance el límite superior de revoluciones, se deberá actuar con el frenado de emergencia mediante aerofrenos, en el primer momento, hasta bajar un número de revoluciones suficiente, pero sin desconectar de la red al aerogenerador, con el fin de no perder el par resistente del generador y evitar embalamientos.

El aerogenerador se podrá desconectar de red cuando la velocidad de giro del rotor sea como máximo la de sincronismo. Por último, y ya a bajas revoluciones, se puede efectuar el freno eléctrico para efectuar la parada total.

En sistemas de paso variable, por encima de la velocidad nominal se mantienen las revoluciones del rotor, mediante la regulación del ángulo de paso de las palas. Para parar la máquina, ya sea de forma manual o por control, se aumenta el ángulo de las palas y, con ello, se reduce para el viento la superficie de incidencia efectiva de las mismas, hasta que el aerogenerador reduce su velocidad hasta casi la parada total. Existen sistemas de paso variable con palas independientes entre sí pero que actúan siempre sincrónicamente; en este tipo de sistemas se prevé que si falla una, las otras dos son suficientes para, cambiando el ángulo de paso, frenar la máquina.

Un problema en los aerogeneradores son las paradas por salida de los límites de operación. En este caso los sistemas de paso fijo deben actuar con los aerofrenos y, en el caso de paso variable, deben colocar inmediatamente las palas en bandera, ya que se pierde el par resistente del generador. El sistema de control detecta rápidamente cualquier situación de este tipo. En el caso de sistemas de velocidad variable, la desconexión de la red es inmediata, en cuanto se ha superado algún límite de red.

2.4 AEROGENERADOR MADE AE52

Antes de realizar el proyecto se sometió a estudio y observación el estado actual de los aerogeneradores con el fin de tener una base sólida para el comienzo del proyecto.

Se hizo una visita al parque eólico de El Cayo en la provincia de Soria.

En ese momento se estaba realizando una sustitución de un multiplicador por lo que se pudieron observar mejor las partes que componen a este modelo en concreto y, sobre todo, tomar las medidas necesarias, ver el estado interior de la torre y posibles opciones de colocación del elevador ya que el espacio es muy reducido.

Se adjuntan a continuación las distintas fotografías que se tomaron en el terreno.



Ilustración 5. Desmontaje aspas



Ilustración 6. Grúa-aerogenerador



Ilustración 7. Generador



Ilustración 8. Vista interior aerogenerador

4. ANTECEDENTES DE LOS SISTEMAS DE ELEVACIÓN

4.1 TECNOLOGÍAS DE ELEVACIÓN

La elevación de materiales, herramientas y personas ha sido fundamental para el desarrollo de las civilizaciones desde la antigüedad hasta tiempos presentes. En la actualidad existe una gran variedad de tecnologías de elevación utilizadas por el hombre en diferentes sectores. Dentro de cada variante tecnológica existe a su vez un amplio rango de diferentes soluciones en función de otros factores tales como la capacidad de carga, la velocidad de elevación, las dimensiones de la carga a elevar, los sistemas de seguridad incluidos, etc.

Desde la antigüedad el hombre ha necesitado de las tecnologías de elevación para llevar a cabo los proyectos de construcción que realizaba. Las primeras referencias a grúas que se conocen son de la antigua Grecia y eran accionados por la fuerza motriz de hombres y animales. Por otro lado, algunos textos mencionan que en el año 236 a.C. Arquímedes habría construido el primer elevador del que se tiene constancia.

Todas las tecnologías de elevación están en constante desarrollo, mejora y adaptación, para satisfacer las nuevas necesidades de un mercado global cada vez más exigente, sobre todo en cuestiones de seguridad, innovación y flexibilidad en los diseños.

Existe una creciente demanda de las tecnologías de elevación tanto en países desarrollados como en países emergentes, principalmente en los sectores industriales y de construcción. Las principales tecnologías de elevación usadas en estos sectores son entre otras: grúas, elevadores hidráulicos, andamios colgantes, puentes grúa, ascensores y sistemas de elevación accionados mediante un sistema de piñón cremallera.

Grúas

- Grúas torre: son utilizadas en obra para elevación de carga, y en ocasiones también de personal (con su adecuada cesta). Permiten un radio de acción de 360 grados y una capacidad de carga de varias toneladas. Es posible mover la carga en toda la superficie del círculo que cubre la pluma. La velocidad de elevación, carro, giro y traslación son variables. Se pueden alcanzar alturas de hasta 200-300 metros.
- Grúas portuarias: usadas en los puertos marítimos para el transporte de contenedores. Pueden ser fijas o móviles. Con capacidad de carga muy elevada y una gran precisión.
- Grúas telescópicas: generalmente son móviles. Poseen un sistema hidráulico gracias al cual la pluma se extiende o se retrae a la longitud deseada. Entre otras aplicaciones cabe destacar las de usos en operaciones de rescate y en sistemas de barcos. Tienen una capacidad de carga y una velocidad de desplazamiento más limitada que las grúas torre. Son muy utilizadas en el sector de la energía eólica para la puesta en marcha de los aerogeneradores y su construcción y reparación.

Elevadores hidráulicos de tijera

Se caracterizan por una velocidad de desplazamiento lenta y una baja capacidad de carga. Normalmente tienen una limitación de altura por la poca estabilidad que ofrecen.

Andamios colgantes de cable

Principalmente usados para la rehabilitación de edificios y su mantenimiento (limpieza de fachadas, cristalerías, etc...). Por su diseño tienen una clara limitación de carga y de velocidad de desplazamiento. Puesto que se descuelgan de la fachada, se pueden posicionar a cualquier altura de la misma.

Puentes grúa

Usados principalmente en industria y astilleros. Pueden elevar varias decenas de toneladas. Permiten una velocidad de desplazamiento lenta, en las tres direcciones espaciales. Tienen una gran precisión.

Ascensores de edificios

Situados en el interior o exterior de los edificios, permiten el desplazamiento vertical de personas y carga, a cualquier planta y con velocidades y capacidades de carga muy variables.

Elevadores para aerogeneradores

- **Guiados por sirga:** El elevador guiado por sirga es un sistema mediante el cual los elevadores de servicio de seguridad están guiados por sirgas. El sistema de guiado por sirga permite que el elevador de servicio se mueva suavemente a través de los huecos de las plataformas de los aerogeneradores con pocos centímetros de separación entre el elevador de servicio y la plataforma. El elevador de servicio se suele construir como una estructura auto portante de planchas de aluminio sin chasis. El elevador de servicio guiado por sirga funciona de manera completamente independiente del sistema de escalera de seguridad en la torre. En la parte superior del aerogenerador se ha instalado la viga donde van montadas la sirga del motor, dos sirgas guía de mayor diámetro y una sirga de seguridad. Estas cuatro sirgas se fijan y aprietan en la base de la torre con un sistema tensionador de muelle, mientras que el cable de alimentación del elevador se aloja en un cubo recoge cable en la base de la torre. El cable se va enrollando dentro del cubo cuando el elevador desciende, eliminando el riesgo de desgaste o daños en el cable eléctrico debido a las oscilaciones o vibraciones que se generan cuando el aerogenerador está en funcionamiento.
- **Piñón-cremallera:** El elevador de piñón-cremallera ofrece un alto nivel de seguridad a los técnicos que trabajan en aerogeneradores. El elevador de servicio permite el transporte de dos personas junto con sus herramientas y equipos para realizar trabajos a una altura óptima en la torre del aerogenerador. El elevador va guiado por una estructura que alberga la cremallera y está equipado con un sistema de cable móvil. El sistema de cable móvil consiste en un cable que conecta el elevador de servicio a un soporte instalado en el centro de la torre. De esta manera, el cable se desplaza con el elevador de servicio. El elevador consta normalmente de dos motores ubicados en uno de los laterales del chasis que aplican movimiento a un engranaje de dientes que están

encajados a la cremallera. De esta manera los motores hacen subir y bajar el elevador a lo largo de la estructura.

- Guiados por escalera: El funcionamiento es similar al anterior con la diferencia de que este elevador va guiado por la escalera garantizando que la cabina del elevador no bascule durante el desplazamiento vertical. El movimiento suave está asegurado durante el trayecto de ascenso a torre. El sistema utiliza la escalera de seguridad para guiar el recorrido. El elevador utiliza la actual escalera de ascenso, teniendo un único eje para la escalera y el elevador.

4.2 FUNCIONAMIENTO DE UN ELEVADOR ACCIONADO MEDIANTE SISTEMA PIÑÓN-CREMALLERA

ELECCIÓN DEL DISEÑO

En el ámbito de la construcción, la tecnología de elevación basada en sistemas piñón-cremallera ha sufrido un gran auge en las últimas dos décadas, existiendo una gran demanda de esta tecnología en el mercado mundial. Estas máquinas poseen una amplia gama de variantes que proporcionan diversas soluciones a las necesidades que se plantean en la ejecución de las obras. Pueden ser utilizadas por sí mismas o en combinación con otras tecnologías de elevación más convencionales, como por ejemplo las grúas torre.

Dentro de la familia de los sistemas de elevación piñón-cremallera existe una creciente demanda por las máquinas que poseen una alta capacidad de carga de personas y materiales, una elevada velocidad de desplazamiento y una gran altura de instalación.

La seguridad juega un papel fundamental en el diseño de los elevadores accionados mediante un sistema de piñón-cremallera. Un mal diseño podría causar importantes destrozos en la máquina o en lo que se transporta en su interior, generando pérdidas económicas e incluso la pérdida de vidas humanas. Por estos motivos se hace imprescindible el cumplimiento de la norma que regula estas máquinas. Esta norma establece las pautas de diseño, como realizar los cálculos mecánicos de los principales componentes, cuáles y cómo han de ser los componentes mínimos de seguridad con los que ha de contar el elevador y cómo realizar los test de seguridad para validar la máquina para su uso y comercialización.

Para poder cumplir todos los requisitos de diseño y seguridad que establece la norma es imprescindible para los ingenieros apoyarse en el uso de softwares de diseño 3D y de softwares de cálculos de elementos finitos. Gracias a los softwares de diseño 3D se pueden crear modelos virtuales complejos y detallados de las máquinas sin necesidad de fabricarlos. Una vez finalizados los modelos, es posible exportarlos a los softwares de cálculo de elementos finitos para realizar los análisis de tensiones, deformaciones y

desplazamientos a los que se vería sometido el elevador según las condiciones de carga más desfavorables impuestas por la norma.

Sobre este ámbito, en el presente proyecto se realizará un diseño de un elevador accionado por un sistema de piñón-cremallera.

FUNCIONAMIENTO

El sistema de elevación está configurado por una estructura autoportante con la escalera como uno de los elementos integrados en dicha estructura. Esta aplicación de la escalera, como elemento integrante de la estructura auto portante, es tanto para las torres de nueva construcción como para las ya existentes a las que se quiere adaptar el elevador, como es nuestro caso, para las torres pertenecientes a los parques eólicos de Castilfrío y el Cayo propiedad de Cetasa en la provincia de Soria.

El elevador cuenta con uno o varios moto-reductores en su grupo motor que funcionan alimentados con energía eléctrica. Éstos tienen en su eje de salida una guía que conecta la cremallera con el eje del motor-reductor. De manera que cuando los moto-reductores son accionados tanto el grupo motor como la cabina del elevador ascienden o descienden. Los sistemas de rodillos unidos en el otro extremo de la cabina del elevador a la escalera de servicio, garantizan el correcto deslizamiento, así como la imposibilidad de desengranar, manteniendo un movimiento ascendente y descendente completamente perpendicular al suelo.

Las vigas además de alojar la cremallera sirven de estructura portante del elevador. Son elementos modulares fácilmente ensamblables entre sí hasta alcanzar la altura total requerida en la instalación, al igual que las cremalleras.

La base de la cabina posee unos topes de goma que absorben pequeños impactos en caso de una mala regulación de la altura a la que ha de parar el elevador en su posición más baja.

Los arriostres aseguran la verticalidad de la columna de las vigas transmitiendo los esfuerzos laterales a la pared del aerogenerador.

La cabina tiene la finalidad de transportar a las personas y los materiales, de manera que ha de tener las máximas dimensiones posibles de volumen, maximizando tanto el área libre de la entrada como el de la salida. Posee una trampilla de acceso al techo, a la que se accede desde el interior de la cabina, para que, en caso de parada de emergencia, el personal pueda salir y acceder a la escalera de servicio.

A la escalera se le añadirá un carril de seguridad. De esta manera, cuando el técnico necesite salir de la cabina del elevador por cualquiera de las trampillas, podrá colocar un corredor especial de clic situado en la correa de su arnés al carril de seguridad, evitando cualquier situación de peligro para el técnico.

El corredor se puede hacer clic dentro y fuera del carril de seguridad en cualquier lugar de la torre, lo que permite que varios usuarios lo usen al mismo tiempo. Otros sistemas basados en cables solo permiten un usuario a la vez.

El sistema de apertura de las puertas de acceso a la cabina es deslizante. El paracaídas está instalado en el interior de la cabina como elemento de seguridad totalmente independiente del grupo motor. En la parte inferior de la cabina se alojan otros rodillos que guían la caja sobre la escalera de servicio.

El panel de control del elevador se encuentra en el interior de la cabina y gracias a él se controla el movimiento del elevador, así como la programación del mismo y las alertas y emergencias que pueda tener la máquina. Todas estas acciones se realizan a través de una conexión externa con el PLC del elevador. El panel de potencia se encuentra en el lateral del elevador y alimenta a los motores y al resto de sistemas eléctricos.

El perímetro de la base del elevador ha de estar señalizado y delimitado mediante sistemas de seguridad o vallado para evitar que nadie se pueda posicionar dentro mientras que éste está funcionando y por lo tanto pueda existir peligro de aplastamiento. La puerta de acceso al recinto base sirve para acceder a la caja del elevador cuando éste se encuentra en suposición más baja.

Los guía cables son elementos que se fijan al mástil y con los que se evita que el cable de potencia se mueva de su vertical natural. De esta manera el cable se enrollará y desenrollará correctamente dentro del cubo recoge cable situado en la parte más baja del elevador, al lado del perímetro de la base.

Todos los componentes estructurales del elevador a excepción del grupo motor son sometidos después de la fabricación a un proceso de galvanización en caliente. La galvanización en caliente es un tratamiento superficial. Se trata de crear un recubrimiento en las piezas de acero al sumergirlas durante unos 5 minutos en un crisol de zinc fundido a 450°C. Con este tratamiento se evita la oxidación y la corrosión. Es un proceso económico que permite proteger las piezas en algunos casos durante más de 40 años. Además diversos estudios han revelado que este tratamiento de recubrimiento para el acero no afecta a sus propiedades mecánicas.

Las asociaciones de galvanizadores de todo el mundo realizan las siguientes consideraciones a tener en cuenta para diseños de piezas que serán sometidas a este proceso:

- Elección correcta del acero. Su composición ha de ser compatible con el proceso de galvanizado.
- Algunos procesos de conformado en frío como punzonado, plegado con radios pequeños, cizallado, muescado, pueden favorecer una fractura frágil de las piezas.
- Tamaño y forma de las piezas para evitar distorsiones.

- Es necesario realizar agujeros de drenaje a las piezas para facilitar su escurrido y secado. Estos agujeros han de seguir unas recomendaciones y no han de comprometer la resistencia de la pieza cuando se vea sometida a esfuerzos.
- Las soldaduras tienen que haber sido limpiadas previamente a la aplicación del recubrimiento en zinc.
- Es necesario cumplir algunas recomendaciones de diseño para superficies que estén solapadas, que tengan roscas o que contengan partes móviles.
- Una vez finalizado el proceso de galvanizado en caliente las piezas aumentan en unas décimas de milímetro su espesor debido al recubrimiento. Este aumento está influenciado por varios motivos como el tipo de acero, el espesor utilizado y el tiempo que se ha estado sumergido.

5. VERIFICACIÓN DE LA NORMA

Como ya se ha mencionado con anterioridad, el trabajo se basa en la norma UNE-EN 12159 Marzo 2013: Elevadores de obras de construcción para pasajeros y carga con caja guiada verticalmente.

Esto se debe principalmente a que en la actualidad no existe una norma reguladora sobre elevadores para aerogeneradores, la cuál, todavía se encuentra en fase de desarrollo, obligando a ceñirnos a una norma lo más cercana posible para obtener un diseño lo más realista posible.

En esta norma tenemos una serie de peligros y requisitos que debemos contemplar para diseñar el elevador.

- Peligros mecánicos:
 - Peligro de aplastamiento:
 - 5.5.2: Se tendrá en cuenta el diseño del cerramiento base del elevador ante la posible caída de objetos o salida de material o del personal cuando el elevador se encuentre en funcionamiento.
 - Cizallamiento:
 - 5.5: Se ve conveniente el diseño de un cerramiento base que abarque el perímetro de la cabina.
 - Peligro de corte o de seccionamiento:
 - 5.5: Se ve conveniente el diseño de un cerramiento base que abarque el perímetro de la cabina.
 - Peligro de arrastre o atrapamiento:

- 5.5.2: Se tendrá en cuenta el diseño del cerramiento base del elevador ante la posible caída de objetos o salida de material o del personal cuando el elevador se encuentre en funcionamiento.
 - 5.6.1.3 Se tendrá en cuenta el diseño de las paredes de la cabina para la construcción de una puerta de acceso en uno de los laterales y en el techo de la cabina.
- Peligro de impacto:
- 5.4.3: Amortiguadores:
 - El recorrido de la cabina está limitado en su parte inferior por dos topes amortiguadores instalados en la base.

La energía que ha de ser absorbida por el tope amortiguador se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$E_T = E_P + E_C = mgh + \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv^2 = 450$$

$$m = 400 \text{ kg}$$

$$v = 1,5 \text{ m/s}$$

$$h = 0 \text{ m}$$

- 5.6.2: Dispositivo de seguridad contra caída de la caja.
 - 5.6.2.1: El elevador posee un dispositivo de seguridad en caso de sobrevelocidad que actúa automáticamente llamado paracaídas.
 - 5.6.2.2: El paracaídas está dispuesto en la caja del elevador como un elemento completamente independiente del grupo motor. Está siempre operativo, incluyendo el montaje, desmontaje y durante el rearme después de haber actuado. El único componente sobre el que actúa es la cremallera del mástil y lo hace de una manera directa a través del piñón que tiene su eje de salida.
 - 5.6.2.3: El paracaídas está dimensionado para poder parar y mantener detenida la caja con 1.3 veces su carga nominal.
 - 5.6.2.4: El paracaídas cuenta con un micro que se activa en el momento de enclavamiento de este, cortando la alimentación de los moto-reductores y por lo tanto cerrando los frenos de estos. Además manda una señal que desarma el cuadro de control de la máquina (que se encuentra en el interior de la cabina) y se muestra un mensaje de alarma.
 - 5.6.2.5: Solo una persona cualificada y entrenada puede volver a rearmar la máquina una vez que se hubiese

identificado el motivo por el que se ha producido la parada de emergencia y una vez certificado al 100% que no existe ningún riesgo para las personas o el material que se transporta.

- 5.6.2.10: El paracaídas es un dispositivo independiente del resto del funcionamiento del elevador y que se acciona automáticamente por medios puramente mecánicos en caso de sobre velocidad en el descenso.
- 5.6.2.11: En ningún caso el suelo de la caja del elevador sufrirá deformación permanente cuando se accione el paracaídas.
- 5.6.2.12: La velocidad de actuación del paracaídas no ha de ser en ningún caso mayor de 0.4m/s la velocidad nominal del elevador.
- 5.6.2.13: El paracaídas está resguardado en el interior de la cabina, a salvo de las condiciones atmosféricas y de la acumulación de materiales extraños.

El peso total que ha de ser capaz de detener el paracaídas es por lo tanto:

$$P_{Total} = P_{Muerto Elevador} + (P_{Carga} * 1,3) = 445$$

La velocidad de accionamiento del paracaídas se ha calculado como la suma de la velocidad nominal más 0,2 m/s.

$$V_{accionam.} = 1,5 + 0,2 = 1,7$$

- Peligro de fricción o abrasión:
 - 5.5.2: Se tendrá en cuenta el diseño del cerramiento base del elevador ante la posible caída de objetos o salida de material o del personal cuando el elevador se encuentre en funcionamiento.
- Peligro de proyección de piezas:
 - 5.6.1.3: Se tendrá en cuenta el diseño de las paredes de la cabina para la construcción de una puerta de acceso en uno de los laterales y en el techo de la cabina.
- Peligros eléctricos producidos por:
 - Contacto eléctrico:
 - 5.7.4.11: La protección del freno debe ser, como mínimo IP 23.
 - 5.8: Se tendrá en cuenta en el programa del elevador los fallos previstos en el equipo eléctrico que se pueden originar para evitar un mal funcionamiento de este.

- Influencias externas:
 - 5.8.3: Los aparatos eléctricos del elevador estarán protegidos con un IP 53 para los armarios de control, conmutadores y componentes eléctricos de freno y con un IP 44 para el motor.
- Peligros térmicos que pueden dar lugar a:
 - Quemaduras y escaldaduras.
 - Efectos perjudiciales para la salud.
- Peligros producidos por no respetar los principios ergonómicos en el diseño de las máquinas:
 - Posturas incómodas o esfuerzo excesivo:
 - 5.1: Se considera un diseño del elevador que ofrezca facilidades de uso, montaje y mantenimiento.
 - 5.6.1.3: La cabina del elevador dispone de paredes en toda la altura entre el piso y el techo. Las paredes perforadas deben cumplir la norma EN ISO 13857, tabla 4, pero las aberturas no deben permitir el paso de una esfera de 25 mm.
 - Consideración inadecuada de la anatomía mano-brazo o pie-pierna:
 - 5.5: El elevador constará de un cerramiento base, protección entre la cabina y las vigas de la estructura y puertas para su entrada y salida segura en la base y en lo alto de la torre del aerogenerador.
 - 5.7.2: Las piezas como ejes rotatorios, acoplamientos son seguros por su diseño y posición y no precisan de resguardo.
 - 7.1.2.7: Se cumplen todas las especificaciones técnicas adicionales que aparecen en la norma.
 - Uso negligente del uso de los equipos de protección personal.
 - Error humano:
 - 5.6.3: El elevador dispondrá de un dispositivo de detección de sobrecarga.
 - 5.9: Todos los conmutadores a utilizar en el elevador deben cumplir la Norma EN 894-1.
 - 7.1.2.8: Se acuerda en el manual de instrucciones las configuraciones para instalar el elevador a no estar normalizado entre el fabricante, propietario y usuario.
 - 7.1.2.9: El manual de montaje muestra una clara información sobre el funcionamiento seguro y requisitos mínimos de entrenamiento para el personal operativo.
 - 7.3: los elementos de control estarán marcados mediante pictogramas.
- Peligros causados por fallos de la alimentación de energía, rotura de piezas de maquinaria u otros desórdenes funcionales:

- Fallo de la alimentación de energía:
 - 5.6.1.6: El programa de control del elevador y el diseño del mismo tiene en cuenta las posibles salidas de emergencia.
 - 5.7.4.1: El elevador dispone de un dispositivo de frenado automático si falta suministro eléctrico de red o falta de suministro a los circuitos de control eléctricos.
 - 5.8.2: Se tendrá en cuenta en el programa del elevador los fallos previstos en el equipo eléctrico que se pueden originar para evitar un mal funcionamiento de este.
 - 5.10: Los pasajeros deben disponer en la cabina un dispositivo de alarma accesible y fácilmente reconocible para pedir asistencia externa y debe de funcionar durante 1 hora sin el suministro eléctrico normal del elevador.
 - 7.1.2.5: Se utilizan datos normalizados para las unidades de medida del suministro de potencia-accionamiento eléctrico.
 - 7.1.2.6: Se controla la velocidad del elevador mediante el PLC y se tienen en cuenta en él las posibles paradas de emergencia.
- Proyección inesperada de piezas de maquinaria o fluidos:
 - 5.7.2.3: Se proporcionarán resguardos eficaces para las ruedas de engranaje, ejes rotatorios, volantes, rodaderas, acoplamientos y piezas rotatorias similares, salvo que esas piezas se hagan seguras por su diseño o posición, y estén diseñadas para permitir el fácil acceso a trabajos rutinarios de inspección o mantenimiento.
- Fallo o mal funcionamiento del sistema de control:
 - 5.8.2: Se tendrá en cuenta en el programa del elevador los fallos previstos en el equipo eléctrico que se pueden originar para evitar un mal funcionamiento de este.
 - 5.9.2.2: El elevador dispone de un final de carrera de emergencia en el final de la viga y un sensor inductivo si se diera el caso de pasar la cremallera.
- Errores de montaje:
 - 5.4.1: Las vigas están diseñadas para soportar todos los casos de carga como se indica en la memoria.
 - 7.1.2.8: Se acuerda en el manual de instrucciones las configuraciones para instalar el elevador al no estar normalizado entre el fabricante, propietario y usuario.
- Vuelco, pérdida inesperada de estabilidad de la máquina:
 - 5.3: El marco base se ha diseñado para soportar todas las fuerzas generadas por el elevador y debe ser capaz de transferirlas a la superficie de soporte.
 - 5.4: Las vigas están diseñadas para soportar todos los casos de carga como se indica en la memoria. Para el uso de los amortiguadores en la parte inferior de la cabina, la deceleración

- media de la cabina durante la actuación de estos no debe exceder de 1 g, sin picos que excedan 2,5 g durante más de 0.04s.
- 7.1.2.8: Se acuerda en el manual de instrucciones las configuraciones para instalar el elevador a no estar normalizado entre el fabricante, propietario y usuario.
- Peligros producidos por la ausencia (temporal) y/o el posicionamiento incorrecto de las medidas/medios relativos a la seguridad, por ejemplo:
- Todo tipo de resguardos:
 - 5.5: Se garantizan las protecciones en el cerramiento base, del hueco entre la cabina y las vigas y la seguridad en los accesos en las dos plantas.
 - 5.6.1.3: La cabina del elevador dispone de paredes en toda la altura entre el piso y el techo. Las paredes perforadas deben cumplir la norma EN ISO 13857, tabla 4, pero las aberturas no deben permitir el paso de una esfera de 25 mm.
 - 5.6.1.4: La cabina debe incluir un techo con una altura mínima de 2 metros. La trampilla del techo debe ser antideslizante y estar protegido por un guardarraíl.
 - 7.1.2.8: Se acuerda en el manual de instrucciones las configuraciones para instalar el elevador al no estar normalizado entre el fabricante, propietario y usuario.
 - 7.1.2.11: El manual de instrucciones debe indicar la frecuencia de revisiones periódicas y mantenimiento dependiendo del fabricante, condiciones de funcionamiento y frecuencia de uso. No procede en este proyecto la realización de dicho manual.
 - Dispositivos relacionados con la seguridad:
 - 5.5: Se garantizan las protecciones en el cerramiento base, del hueco entre la cabina y las vigas y la seguridad en los accesos en las dos plantas.
 - 7.1.2.8: Se acuerda en el manual de instrucciones las configuraciones para instalar el elevador al no estar normalizado entre el fabricante, propietario y usuario.
 - 7.1.2.11: El manual de instrucciones debe indicar la frecuencia de revisiones periódicas y mantenimiento dependiendo del fabricante, condiciones de funcionamiento y frecuencia de uso. No procede en este proyecto la realización de dicho manual.
 - Dispositivos de arranque y parada:
 - 5.9.5: El elevador llevará consigo dispositivos de parada para garantizar la seguridad en todas sus zonas.
 - 5.9.7: El elevador se controlará desde el interior de la cabina cuando un operario se encuentre en su interior y desde el exterior a través de las HMI que se encuentran en la parte inferior y superior. No se podrá controlar de las dos formas a la vez.

- 7.1.2.8: Se acuerda en el manual de instrucciones las configuraciones para instalar el elevador a no estar normalizado entre el fabricante, propietario y usuario.
- 7.1.2.9: El manual de montaje muestra una clara información sobre el funcionamiento seguro y requisitos mínimos de entrenamiento para el personal operativo.
- Dispositivos de aviso o información:
 - 5.6.3: El autómata dará el aviso correspondiente en caso de sobrecarga de la cabina impidiendo la utilización de la misma.
- Dispositivos de desconexión de las fuentes de energía:
 - 5.9.6: En caso de detección de un fallo de emergencia se parará inmediatamente el motor por medio de los contactores accionados a través del autómata.
- Dispositivos de emergencia:
 - 5.6.2: La cabina llevará un dispositivo mecánico externo a la instalación llamado paracaídas para garantizar la no caída del elevador en caso de emergencia. Los detalles se adjuntan en el apartado correspondiente a la memoria.
 - 5.10: Los pasajeros deben disponer en la cabina un dispositivo de alarma accesible y fácilmente reconocible para pedir asistencia externa y debe de funcionar durante 1 hora sin el suministro eléctrico normal del elevador.
 - 7.1.2.6: Se controla la velocidad del elevador mediante el PLC y se tienen en cuenta en él las posibles paradas de emergencia.
 - 7.1.2.8: Se acuerda en el manual de instrucciones las configuraciones para instalar el elevador a no estar normalizado entre el fabricante, propietario y usuario.
 - 7.1.2.11: El manual de instrucciones debe indicar la frecuencia de revisiones periódicas y mantenimiento dependiendo del fabricante, condiciones de funcionamiento y frecuencia de uso. No procede en este proyecto la realización de dicho manual.
- Equipo y accesorios esenciales para un ajuste y/o mantenimiento seguro:
 - 7.1.2.6: Se controla la velocidad del elevador mediante el PLC y se tienen en cuenta en él las posibles paradas de emergencia.
 - 7.1.2.8: Se acuerda en el manual de instrucciones las configuraciones para instalar el elevador a no estar normalizado entre el fabricante, propietario y usuario.
 - 7.1.2.11: El manual de instrucciones debe indicar la frecuencia de revisiones periódicas y mantenimiento dependiendo del fabricante, condiciones de funcionamiento y frecuencia de uso. No procede en este proyecto la realización de dicho manual.

- Peligros debidos a operaciones de elevación:
 - Falta de estabilidad:
 - 5.4.1: Las guías de la estructura garantizan la resistencia a los esfuerzos, así como la cremallera y las uniones entre las vigas, permitiendo el traspaso de cargas desde una a otras hasta la cimentación.
 - 7.1.2.8: Se acuerda en el manual de instrucciones las configuraciones para instalar el elevador al no estar normalizado entre el fabricante, propietario y usuario.
 - Descarrilamiento de la caja:
 - 5.4.1: Las guías de la estructura garantizan la resistencia a los esfuerzos, así como la cremallera y las uniones entre las vigas, permitiendo el traspaso de cargas desde una a otras hasta la cimentación.
 - 5.6.1: La cabina está rígidamente guiada para prevenir su descarrilamiento y colisión con objetos del exterior.
 - Pérdida de resistencia mecánica de la maquinaria y accesorios de elevación:
 - 5.2: El elevador garantiza la resistencia mecánica de todos sus componentes tal y como se observa en los cálculos estructuras y en los análisis de deformaciones y esfuerzos.
 - 5.3: El marco base se ha diseñado para soportar todas las fuerzas generadas por el elevador y debe ser capaz de transferirlas a la superficie de soporte.
 - 5.6.2: La cabina llevará un dispositivo mecánico externo a la instalación llamado paracaídas para garantizar la no caída del elevador en caso de emergencia. Los detalles se adjuntan en el apartado correspondiente a la memoria.
 - 5.7: El accionamiento del elevador irá unido a un grupo motor.
 - 7.1.2.11: El manual de instrucciones debe indicar la frecuencia de revisiones periódicas y mantenimiento dependiendo del fabricante, condiciones de funcionamiento y frecuencia de uso. No procede en este proyecto la realización de dicho manual.
 - Peligros causados por movimientos incontrolados:
 - 5.5.3: Para acceder al elevador será necesario pasar la puerta de seguridad ubicada en la base del aerogenerador.
 - 5.6.2: La cabina llevará un dispositivo mecánico externo a la instalación llamado paracaídas para garantizar la no caída del elevador en caso de emergencia. Los detalles se adjuntan en el apartado correspondiente a la memoria.
 - 5.10: Los pasajeros deben disponer en la cabina un dispositivo de alarma accesible y fácilmente reconocible para pedir asistencia externa y debe de funcionar durante 1 hora sin el suministro eléctrico normal del elevador.

- 7.1.2.9: El manual de montaje muestra una clara información sobre el funcionamiento seguro y requisitos mínimos de entrenamiento para el personal operativo.
- Peligros causados por movimiento de la caja:
 - 5.5: El elevador tendrá un cerramiento base y un acceso al mismo a través de puertas de seguridad.
 - 5.6.1: La cabina está rígidamente guiada para prevenir su descarrilamiento y colisión con objetos del exterior.
- Peligros causados por la caída de objetos sobre la caja:
 - 5.6.1.4: La cabina debe incluir un techo con una altura mínima de 2 metros. La trampilla del techo debe ser antideslizante y estar protegida por un guardarraíl.
- Peligros causados por la carga/sobrecarga:
 - 5.2: El elevador garantiza la resistencia mecánica de todos sus componentes tal y como se observa en los cálculos estructuras y en los análisis de deformaciones y esfuerzos.
 - 7.1.2.9: El manual de montaje muestra una clara información sobre el funcionamiento seguro y requisitos mínimos de entrenamiento para el personal operativo.
- Sobrecarga o exceso de personas en la caja:
 - 7.1.2.9: El manual de montaje muestra una clara información sobre el funcionamiento seguro y requisitos mínimos de entrenamiento para el personal operativo.
- Movimiento inesperado de la caja respondiendo a controles externos u otros movimientos de la máquina:
 - 5.7.4.1: El elevador dispone de un sistema de frenado que opera automáticamente en caso de falta de suministro eléctrico a la red o a los circuitos eléctricos de control.
 - 5.9.7.1.2: Todos los controles, excepto la parada de emergencia, son instalados de tal manera que solamente puedan ser accionados de manera manual intencionada.
 - 5.10.4: En caso de emergencia y por una persona competente, el elevador se podrá mover hasta una planta determinada siendo el esfuerzo requerido para moverla con su carga nominal no superior a 400N.
- Exceso de velocidad:
 - 5.4.3: El recorrido de la cabina estará limitado en su parte inferior por amortiguadores.

- 5.6.2: La cabina llevará un dispositivo mecánico externo a la instalación llamado paracaídas para garantizar la no caída del elevador en caso de emergencia. Los detalles se adjuntan en el apartado correspondiente a la memoria.
- Caída de personas de la caja:
 - 5.6.1: La cabina está rígidamente guiada para prevenir su descarrilamiento y colisión con objetos del exterior.
- Exceso de aceleración o frenado de la caja:
 - 5.4.3: El recorrido de la cabina estará limitado en su parte inferior por amortiguadores.
 - 5.6.2: La cabina llevará un dispositivo mecánico externo a la instalación llamado paracaídas para garantizar la no caída del elevador en caso de emergencia. Los detalles se adjuntan en el apartado correspondiente a la memoria.
- Peligros por la presencia de personas en o sobre la caja:
 - 5.4.3: El recorrido de la cabina estará limitado en su parte inferior por amortiguadores.
 - 5.10: Los pasajeros deben disponer en la cabina un dispositivo de alarma accesible y fácilmente reconocible para pedir asistencia externa y debe de funcionar durante 1 hora sin el suministro eléctrico normal del elevador.
- Controles en la planta:
 - 5.9.7.1: El elevador se podrá controlar desde el interior de la cabina y desde la planta inferior y superior, pero nunca al mismo tiempo.

CASO DE CARGA

- 5.2.2.1: Todos los pesos muertos entre la cabina, personal, material y componentes movidos por la misma es de 400 kg.
- Calculamos el coeficiente de impacto:

$$\mu = (1,1 + 0,264v) = 1,496$$

Siendo v la velocidad nominal del elevador.

Ahora multiplicamos los 250 Kg correspondientes a los pesos muertos de la cabina descargada y el equipo que se mueve por ella por el coeficiente de impacto, obteniendo la fuerza:

$$P' = 250kg * 9,81 * 1,496 = 3665,2N$$

En este proyecto con la disposición relativa entre la cabina y el mástil que se ha escogido en el diseño, existirían 3 posibles distribuciones de carga en la caja que podrían considerarse como más desfavorables. Para determinar cuál es la peor, se han analizado cada una de ellas por separado usando las siguientes simplificaciones:

- 1- El peso muerto de la máquina (P') más el peso de la carga que se eleva (P) es transmitido a la cremallera a través de los piñon en el eje de salida del moto-reductor.
- 2- La posición del centro de gravedad del peso muerto de la máquina completa (P') queda fuera del alcance de este proyecto. A efectos de cálculo para este proyecto, es considerado actuando en la línea de acción de engrane de la cremallera.
- 3- Si el centro de gravedad de la carga a elevar (P) se encuentra en el plano ZY de simetría del mástil no se transmiten fuerzas laterales al mástil (eje X).

El cálculo de tensiones y desplazamientos de toda la estructura portante (columna de mástiles, arriostres y base) no se podría realizar utilizando un software de elementos finitos debido a las dimensiones de la instalación (hasta 50m de altura). Por este motivo el análisis se centra en los componentes más críticos, que en el caso de la estructura portante son: la base de la estructura de los mástiles de la instalación con la base de la cabina y el arriostre inicial.

La norma exige un coeficiente de seguridad mínimo en el límite elástico de 1,5.

ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS DE LA ESTRUCTURA

Para simplificar el estudio de las 3 posibles distribuciones más desfavorables, hemos escogido para su visualización las posiciones intermedia y superior, ya que la deformación máxima es la misma.

Todos los aceros de la estructura portante son S355 (límite elástico 355MPa).

Según la norma el coeficiente de seguridad mínimo permitido en el límite elástico para el caso de carga es de 1.5. En el caso de la cremallera el coeficiente de seguridad en el límite elástico ha de ser como mínimo 2 (apartado 5.7.3.1.2.2 de la norma). De manera que todos los puntos del elevador estudiados en este caso de carga han ofrecido coeficientes de seguridad en el límite elástico mejores de los requeridos.

Se observa en las siguientes imágenes las deformaciones obtenidas en estas dos posiciones más desfavorables, así como la deformación del soporte de la cabina.

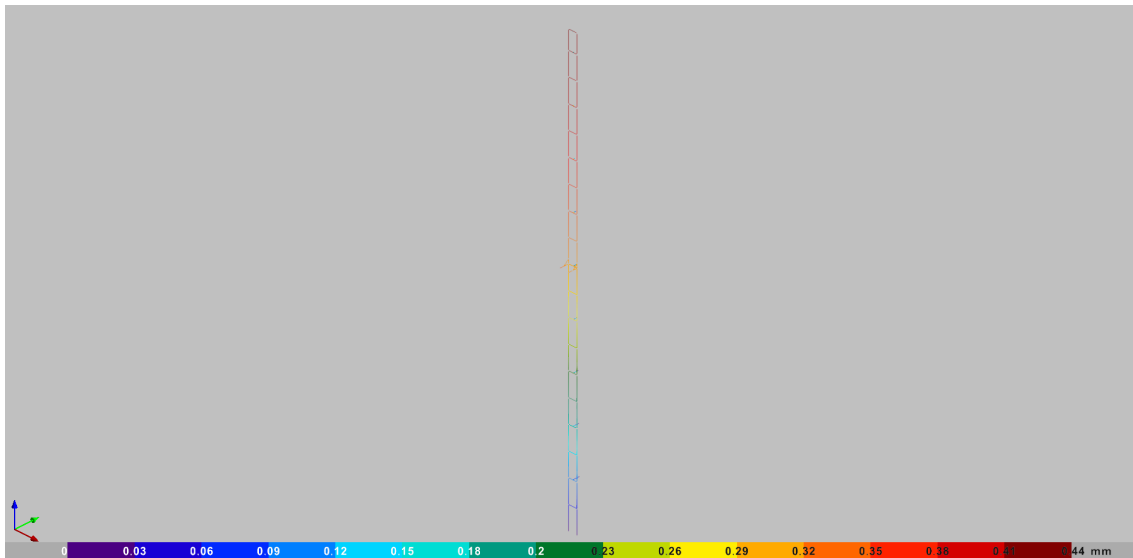


Ilustración 9. Deformación estructura

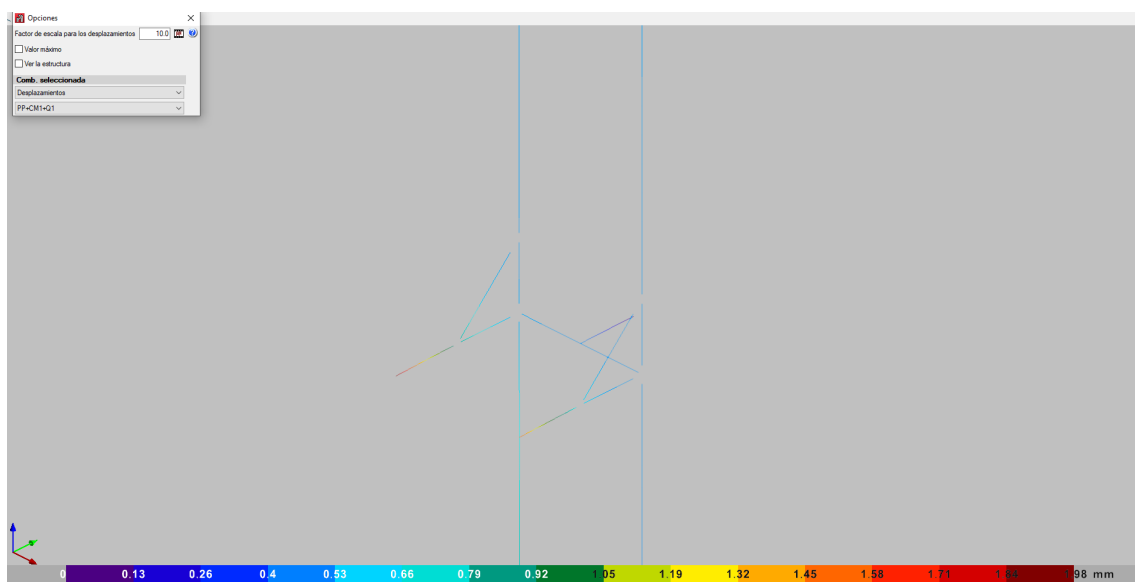


Ilustración 10. Deformación Cabina Posición Intermedia.

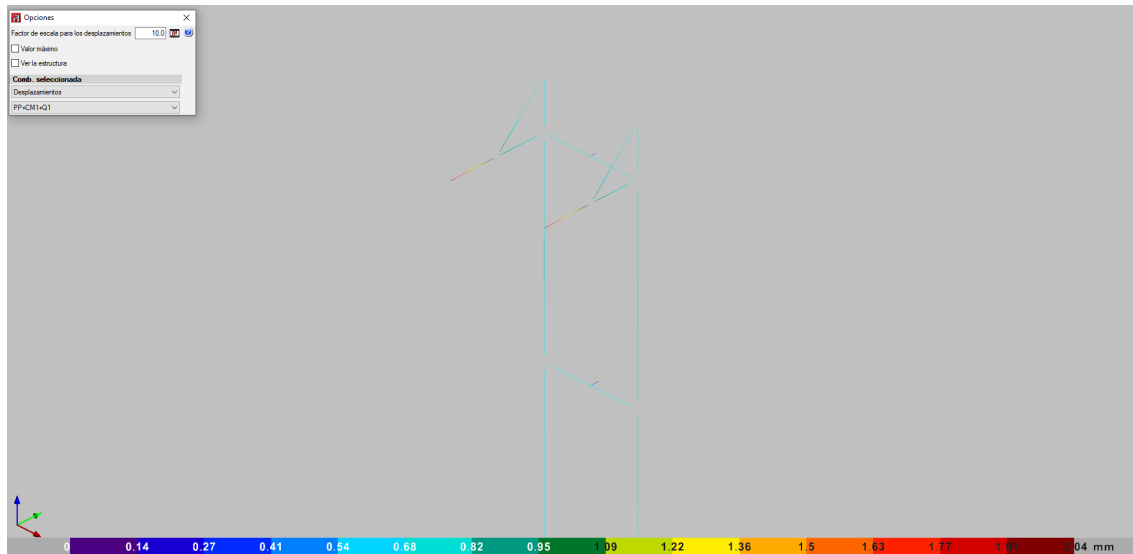


Ilustración 11. Deformación Cabina Posición Superior.

Se adjunta en el anexo los cálculos y fórmulas utilizados para dichas deformaciones y los listados de todas las barras de la estructura para cada una de las posiciones estudiadas.

ANÁLISIS DE LAS UNIONES DE LA ESTRUCTURA

Las uniones entre las vigas de la estructura se realizarán en su mayoría mediante uniones atornilladas con tornillos pretensados para favorecer su montaje y posible sustitución con el paso del tiempo.

Habrán cinco tipos de uniones a tener en cuenta:

- Unión mástil-mástil:

Será la encargada de unir las vigas HEB 140 entre sí a lo largo de la vertical. Esta unión se realizará mediante la unión de unas placas de montaje en ciertas caras de la viga, uniéndose unas con otras.

Se tendrá en cuenta que por estas vigas tiene que pasar y unirse las cremalleras para poder subir la cabina.

Visualizaremos a continuación dicha unión en vista 3D.

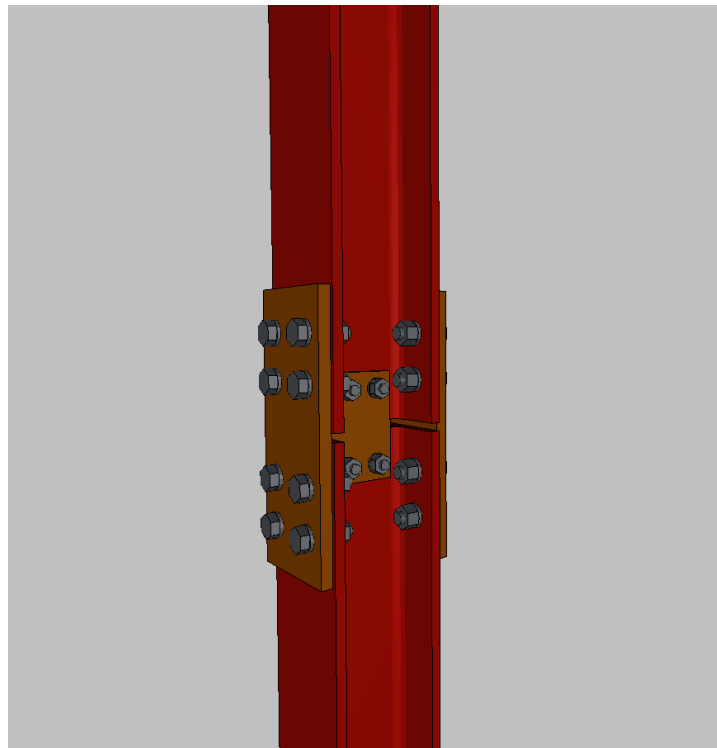


Ilustración 12. Unión

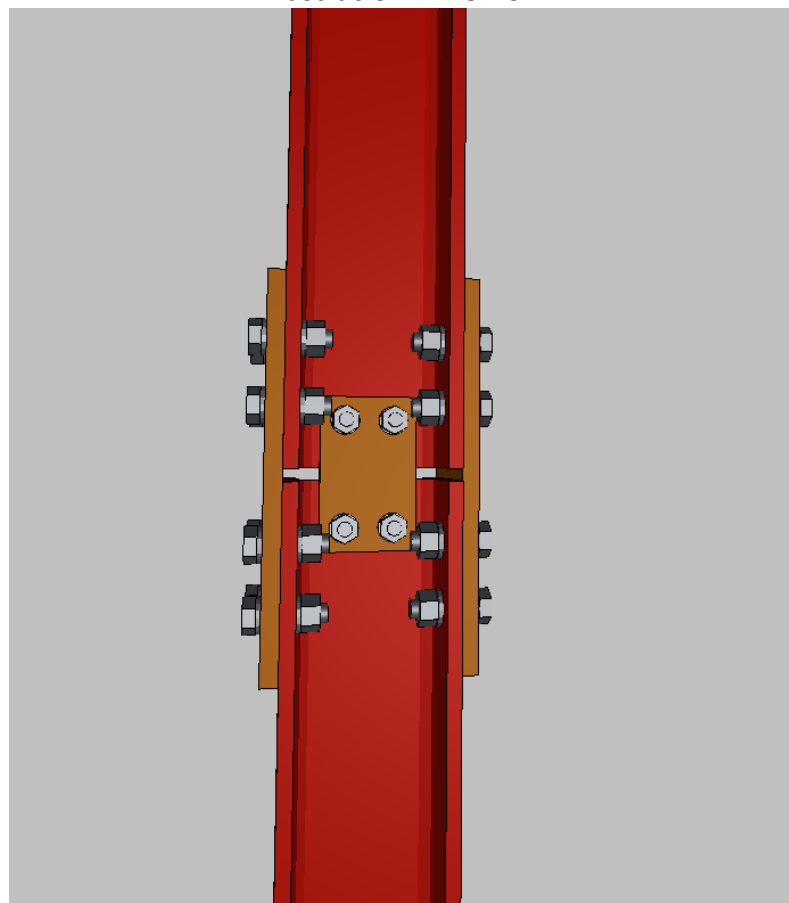


Ilustración 13. Unión frontal

Las medidas, tornillería utilizada, soldadura, etc se indicarán en los planos correspondientes en el apartado de Anexos.

- Unión Mástil-Horizontal:

Dicha unión será la encargada de mantener paralelas el conjunto de vigas principales a lo largo de la vertical y de dar más firmeza a la estructura.

Serán vigas IPE1 120 que irán unidas a las vigas HEB 140 mediante uniones soldadas. Estas vigas estarán ubicadas cada ciertos metros tal y como se indica en los planos.

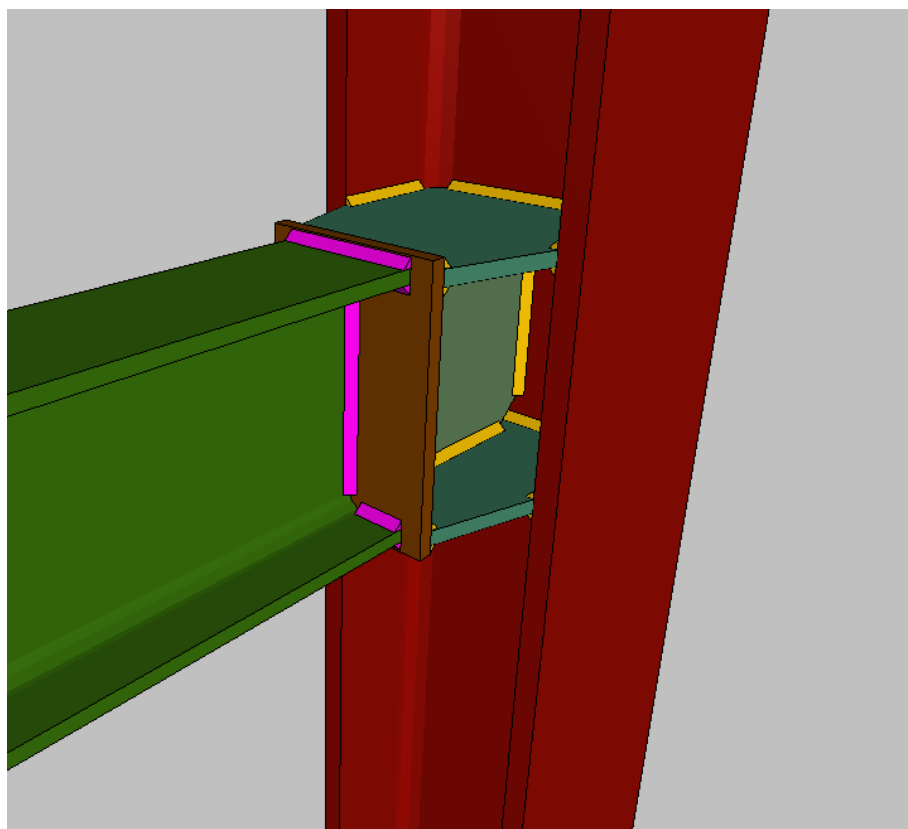


Ilustración 14. Unión horizontal

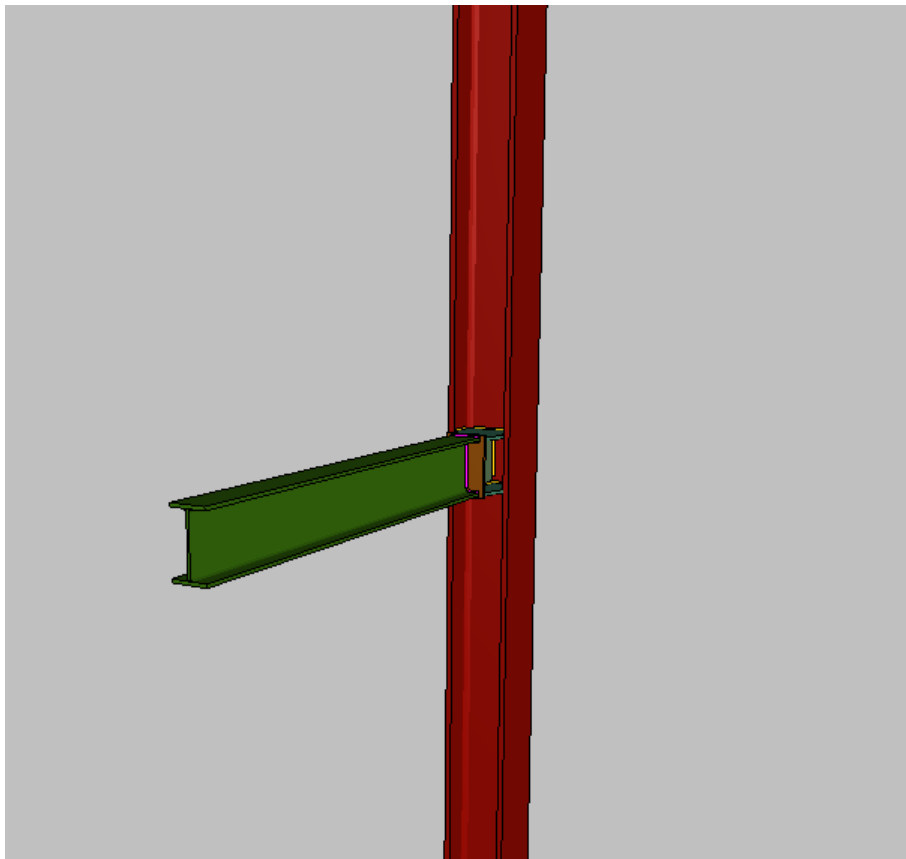


Ilustración 15. Unión horizontal perspectiva

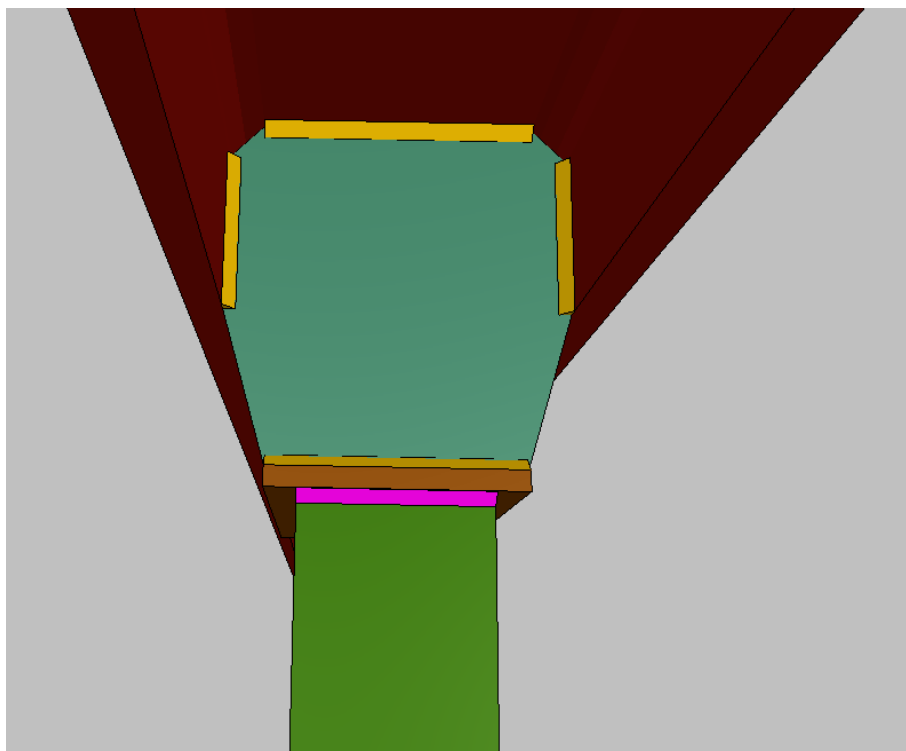


Ilustración 16. Unión horizontal superior

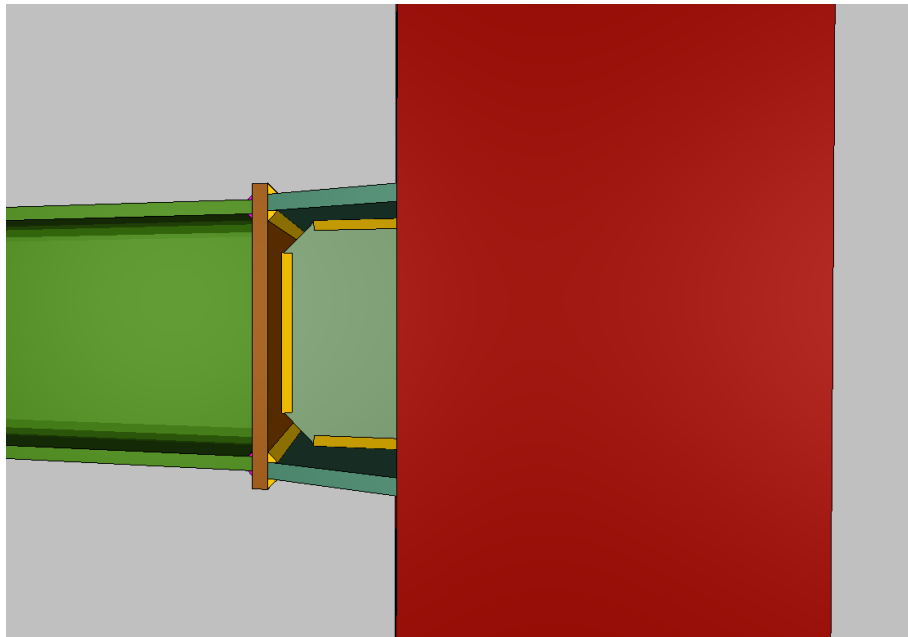


Ilustración 17. Unión horizontal lateral

Las medidas, tornillería utilizada, soldadura, etc se indicarán en los planos correspondientes en el apartado de Anexos.

- Unión Horizontal-Arriostre:

Esta unión sujetará la IPE 120 que mantiene paralela la estructura con el arriostre. El arriostre llevará una viga IPE 100 la cuál se unirá mediante una unión soldada al alma de la viga IPE 120.

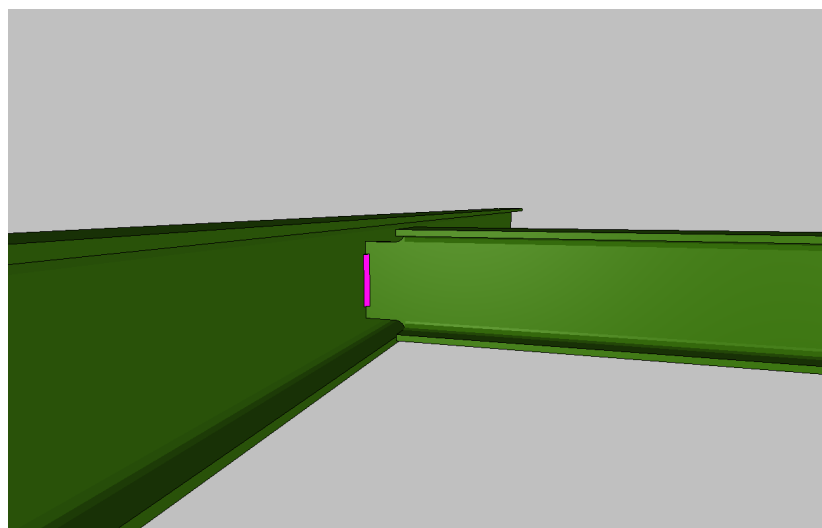


Ilustración 18. Unión arriostre lateral

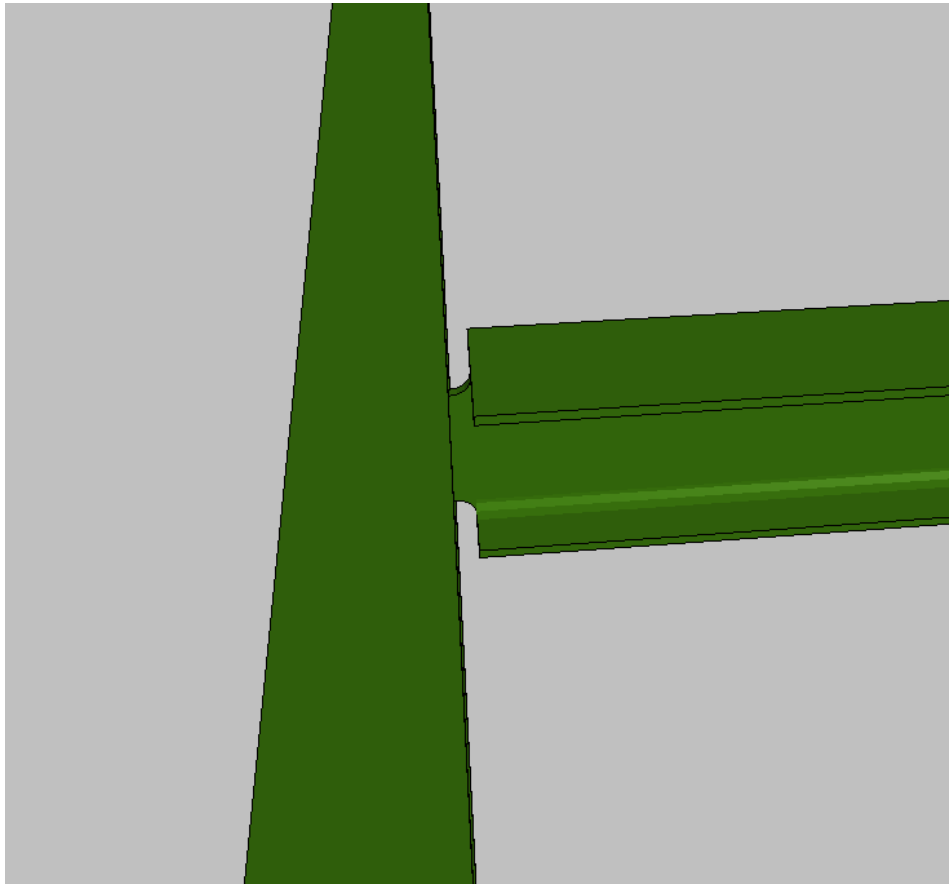


Ilustración 19. Unión arriostre superior

Las medidas, tornillería utilizada, soldadura, etc se indicarán en los planos correspondientes en el apartado de Anexos.

- Unión Arriostre-Pared:

La siguiente unión sujetará el arriostre a la pared interior del aerogenerador. Para realizar dicha unión se colocará una pletina soldada a la pared del aerogenerador con cuatro agujeros, de tal manera que se podrá atravesar dicha pletina y el alma de la viga IPE 100 con cuatro tornillos pasantes.

Las medidas, tornillería utilizada, soldadura, etc se indicarán en los planos correspondientes en el apartado de Anexos.

- Unión Viga-Base:

Esta unión se realizará debajo del primer tramex del aerogenerador. Su objetivo será mantener firme la estructura y las uniones a las vigas.

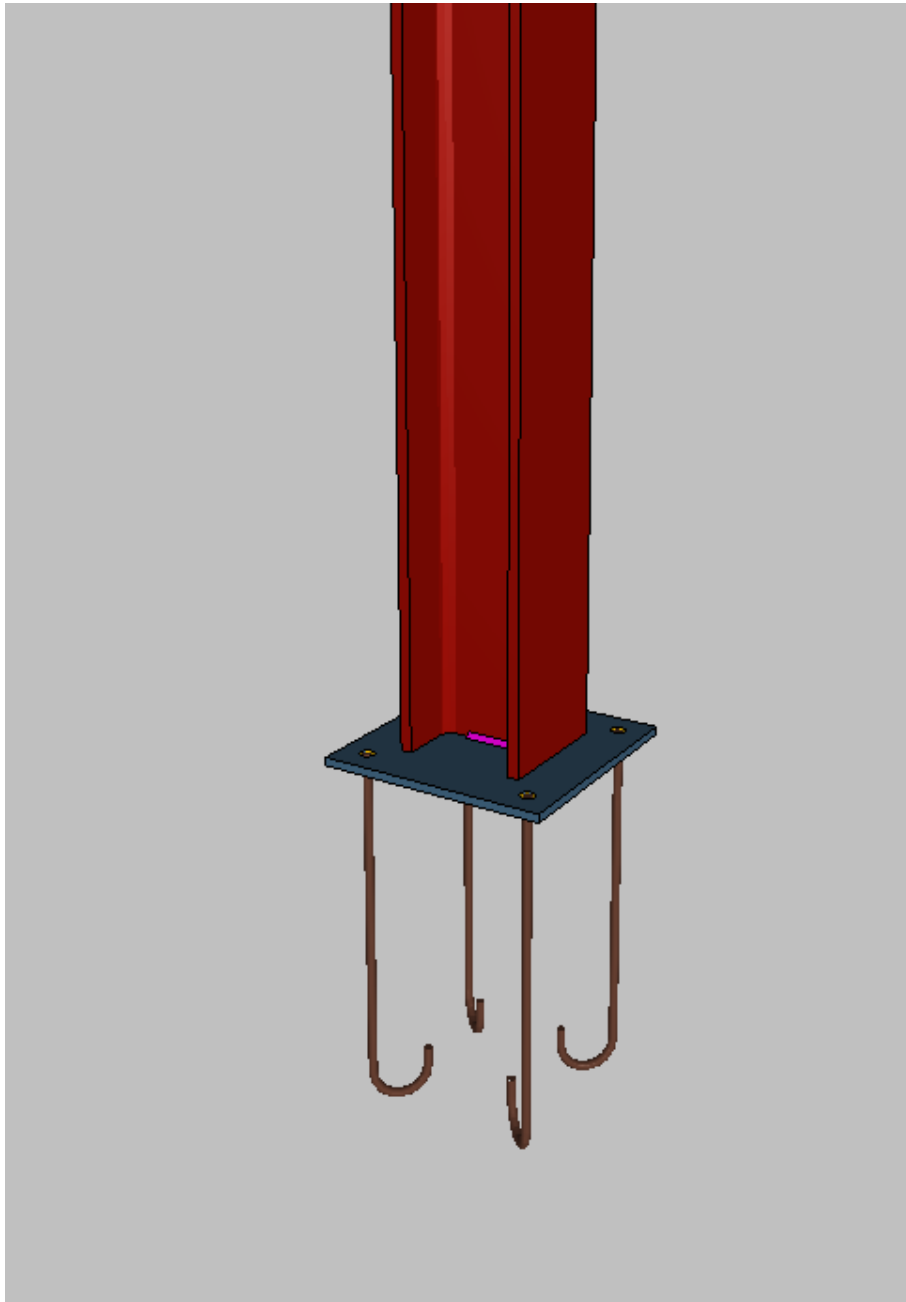


Ilustración 20. Unión base

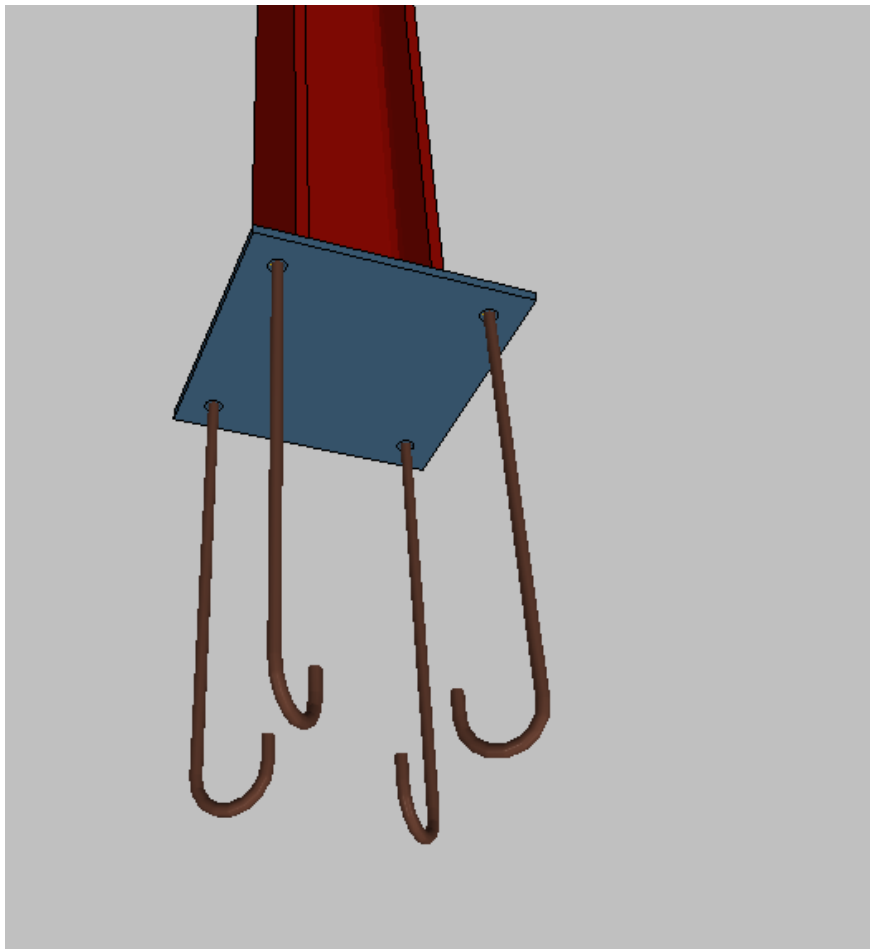


Ilustración 21. Unión base inferior

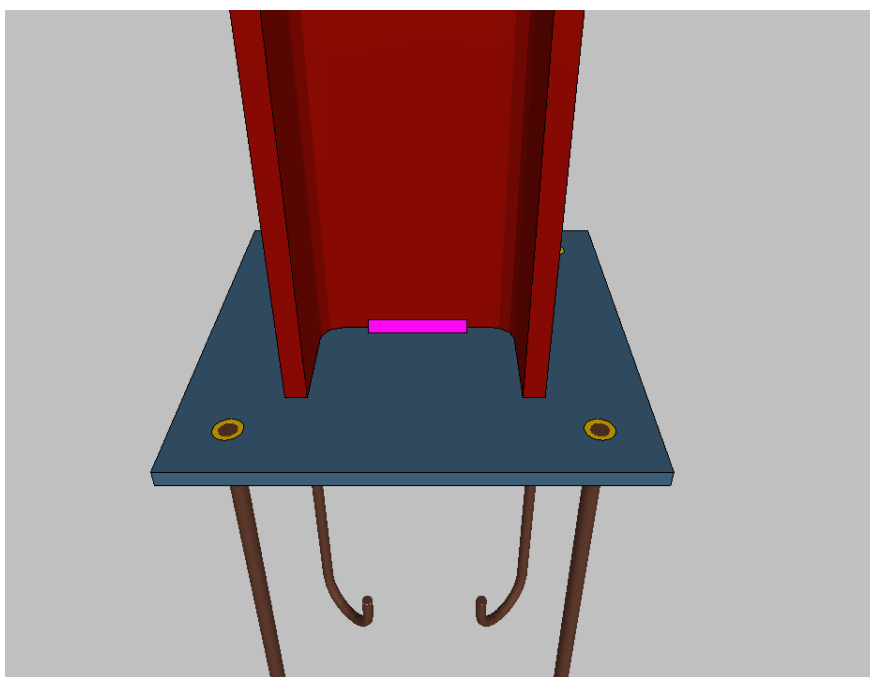


Ilustración 22. Unión base frontal

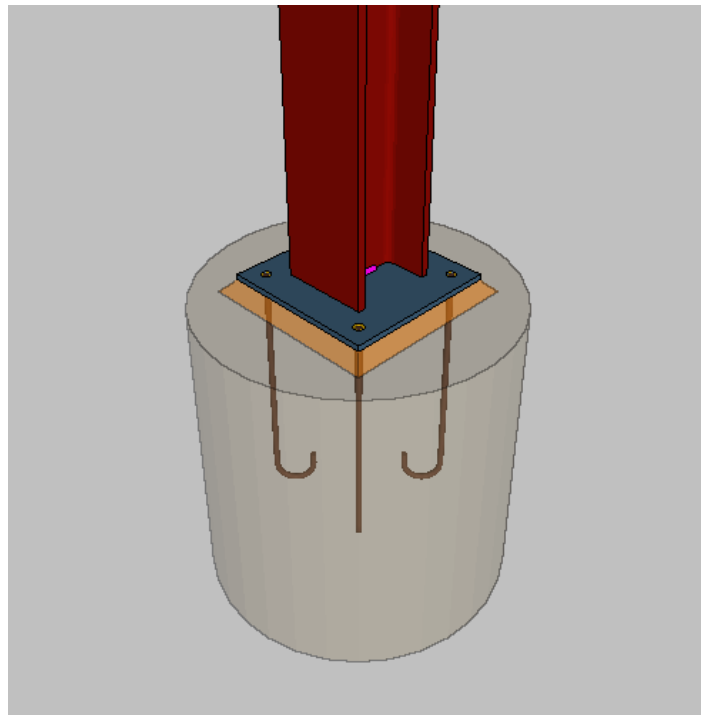


Ilustración 23. Unión base perspectiva

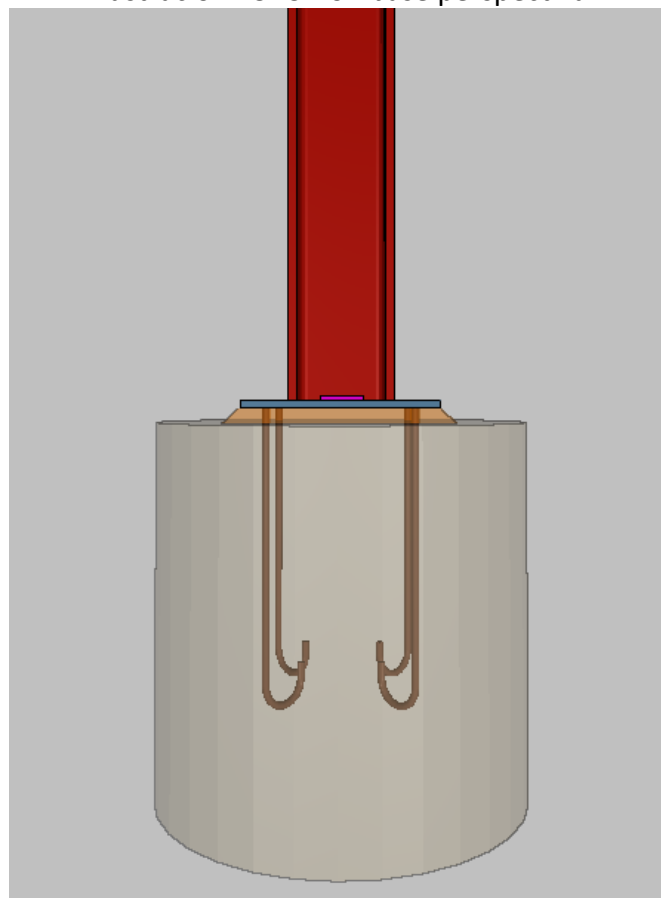


Ilustración 24. Unión base hormigón

Dicha unión dispondrá de una placa de anclaje por debajo de la primera viga, la cuál irá unida mediante una soldadura, y esta misma placa se unirá a una cimentación de hormigón mediante unos pernos de anclaje.

Las medidas, tornillería utilizada, soldadura, etc se indicarán en los planos correspondientes en el apartado de Anexos.

Se escogen este tipo de uniones debido a la facilidad de soldar dichas piezas tanto en fábrica como en el lugar de la instalación. Se comprobó mediante en el software CYPE realizar otro tipo de uniones pero los resultados no eran satisfactorios.

6. METODOLOGÍA

En el diseño de este elevador, inicialmente se definirán los elementos de la estructura portante: base, arriostre y columna de elevación, comenzando en primer lugar por éste último. En función de los requerimientos de la carga a elevar, la velocidad de desplazamiento, la altura de la instalación, se escogerá la geometría de su sección.

Lo siguiente es definir su longitud, que vendrá determinada por la longitud de su propia cremallera, marcada por la altura desde la base del aerogenerador hasta el comienzo de la góndola. Es necesario que ésta tenga un número entero de dientes y que se garantice el paso y la continuidad entre ellas en las columnas contiguas. Para ello el primer paso es definir el módulo de la misma cumpliendo con las indicaciones de la norma.

Una vez determinado los dientes totales que posee, se escogerá el ancho de la misma y su método de fijación al mástil (atornillada o soldada). Por último se definirán las dimensiones generales del mismo, la disposición de su celosía, el método de unión entre ellos, la interfaz con el arriostre y la base, y cuáles son las superficies de rodadura sobre las que deslizan los rodillos y contra-rodillos del elevador.

Una vez alcanzado este punto y para finalizar el diseño de la estructura portante, se definirá la geometría del arriostre con sus sujeciones a la pared de la torre, la geometría de la base con sus sujeciones al suelo y la posición de los topes amortiguadores.

Como paso previo a la elección de los moto-reductores es necesario definir las dimensiones del piñón que se usará. El módulo ha de ser el mismo que el de la cremallera y el número de dientes ha de ser suficiente para evitar el fenómeno de la penetración.

Existen diferentes tipos de motores y diversas variantes en la conexión de su alimentación. También existen una gran variedad de reductores. Cada uno de ellos ofrece a su vez un gran abanico de reducciones, quedando cubierta casi cualquier posibilidad que pudiese plantearse. Para calcular la potencia y par necesarios para elevar la carga del elevador, así como otros factores importantes al diseño, es necesario

seguir las indicaciones que hacen los fabricantes en sus catálogos. Como último paso es muy importante el dimensionado correcto del freno del motor.

Una vez elegido los moto-reductores que mejor se ajustan a los requerimientos del elevador se diseña la interfaz con el grupo motor. Es también en este momento cuando se diseñan los conjuntos de rodillos y contra-rodillos del grupo motor y la interfaz de éste con la cabina.

Por último se definirá la estructura de la cabina con sus dimensiones libres interiores para transportar la carga, los rodillos y la posición del paracaídas.

La creación de todos los modelos virtuales de la estructura portante, el grupo motor y la caja se realizarán con el software CYPECAD siguiendo estas 2 premisas principales:

- Los aceros estructurales usados serán S355, principalmente perfiles metálicos de carácter comercial (tubos redondos, tubos cuadrados, tubos rectangulares, perfiles en U de chapa plegada, perfil UPN...).
- Máquina sencilla en el diseño de sus componentes, robusta, fiable y segura. Componentes con geometrías sencillas que no tendrían un alto coste de fabricación.

El resto de los modelos 3D usados en este elevador pertenecientes a componentes comerciales tales como: moto-reductores, paracaídas, rodamientos, topes amortiguadores, etc... se obtendrán de los archivos STEP que se pueden descargar directamente de las páginas web de los fabricantes.

El siguiente paso es el detalle de los sistemas de seguridad principales de un elevador de obra accionado mediante un sistema piñón-cremallera. Para ello se realizará una breve descripción del funcionamiento, características y posicionamiento en la máquina de cada uno de ellos.

Una vez alcanzado este punto, con los modelos virtuales creados, los moto-reductores elegidos y los sistemas de seguridad detallados, se procederá a la justificación de todo el diseño realizado para las condiciones en servicio del elevador que se especifican en la norma reguladora vigente para este tipo de maquinaria: UNE-EN 12159 Marzo 2013: "Elevadores de obras de construcción para pasajeros y carga con caja guiada verticalmente".

7. DESARROLLO DEL PROYECTO

7.1 DISEÑO DE SISTEMAS MECÁNICOS

7.1.1 DEFINICIÓN DEL MÁSTIL Y DE LA CREMALLERA

Existen distintos tipos de geometrías a la hora de escoger el mejor mástil para nuestro proyecto.

Si se observa en el mercado, muchos productos similares optan por la sujeción del elevador y la cremallera a la escalera ubicada en origen.

Para nuestro proyecto hemos optado por el desplazamiento de la misma y su reubicación. Con esto conseguimos reforzar la estructura en la que se ubicará el elevador y proporcionar un mayor aprovechamiento del espacio y dar más seguridad y mejores condiciones a toda la estructura.

Debido a esto optamos por diseñar un mástil compuesto por dos perfiles IPN 140 unidos entre sí por una placa externa atornillada a cada una de las vigas, manteniendo el paralelismo de las vigas verticales mediante vigas IPE 100.

En cuanto al diseño de la cremallera, optaremos por un diseño que nos permita el uso de guías lineales que posteriormente definiremos.

El paso de los dientes de la cremallera delimitará el número de dientes total para una longitud determinada. Esta longitud será la más cercana posible a la del mástil. Para economizar el precio de las cremalleras se requiere el mínimo desperdicio de material posible. Es conveniente no hacer mástiles demasiado largos, que dificulten mucho su montaje así como su transporte o almacenamiento (debido a las dimensiones, el peso y a la entrada por la puerta del aerogenerador). Una longitud de la cremallera en torno a 2 metros sería una opción válida, obteniendo un total de 23,5 cremalleras para la altura total del mástil.

Para el cálculo y selección de la cremallera escogeremos un modelo de la empresa Tecnopower, en concreto la cremallera lineal para LIFGO 5.3.

Procedemos a los cálculos de los dientes:

- Módulo, m (mm): 2,5
- Paso de los dientes:

$$Pd = m * \pi = 2,5 * \pi = 7,853$$

- Longitud real de la cremallera:

$$L = m * Z * \pi = 2,5 * 254 * \pi = 1994,91mm$$

- Número de dientes:

$$Z = \frac{Dp}{m} = \frac{636,62}{2,5} = 254,648 \text{ dientes} \sim 254 \text{ dientes}$$

- Diámetro primitivo:

$$Dp = \frac{L}{\pi} = \frac{2000}{\pi} = 636,62mm$$

Según la tabla que proporciona el fabricante la anchura de la cremallera será de 48 mm. La cremallera multiplicada por los casi 19 trozos de dos metros y medio cada uno que necesitamos dará una longitud total de 46,88 metros, por lo que con un mástil de 47 metros nos sería suficiente.

De esta manera garantizamos un montaje correcto entre los distintos tramos de viga y cremallera y cierta tolerancia asegurando la continuidad del paso entre cremalleras contiguas.

El mástil constará de vigas UPN soldadas en las alas seccionadas cada dos metros y medio, facilitando así su transporte e introducción en el aerogenerador y su construcción en el interior. Necesitaremos 18,8 vigas de 2 metros y medio cada una, coincidiendo así con la longitud de las cremalleras, asegurando una superficie completamente llana en la unión de las cremalleras.

Se elige un diseño de cremallera atornillada al mástil que nos facilita el fabricante. Los agujeros están cada 109,955 mm y estarán roscados a las alas de las vigas HEB con tornillos de métrica 12.

Se elige esta opción ya que la cremallera será el elemento de mayor desgaste y en tal caso se puede facilitar su sustitución.

7.1.2 DEFINICIÓN DEL ARRIOSTRE

Se instalarán 10 arriostres cada 5 metros. Los dos últimos arriostres se instalarán con una distancia de dos metros. Llevarán una longitud variable debido a la conicidad de la torre. El arriostre se fijará mediante la soldadura de una pletina a la pared de la torre. De esta manera los arriostres se pueden atornillar a ellas y poder sustituir o retirar en un futuro ante cualquier cambio que se produzca.

De la misma manera irá anclado al mástil. Se introducirán tornillos a la viga IPE 100, permitiendo la realización de un arriostre recto y sencillo, ahorrándonos espacio, tiempo y dinero en su fabricación.

7.1.3 ELECCIÓN DEL MOTO-REDUCTOR

7.1.3.1 TIPOS DE MOTO-REDUCTORES

Los principales tipos de reductores usados dentro del sector de la elevación piñón-cremallera son los siguientes:

- Reductores coaxiales:

En un reductor coaxial, el eje de entrada y el de salida se encuentran sobre un mismo eje de rotación. Los reductores coaxiales están diseñados para actuar como reductores por engranajes. Los reductores por engranajes están disponibles en distintos tipos.

En un reductor de engranajes rectos sencillo, los ejes de los engranajes rectos individuales son paralelos entre sí y están fijos.

La dirección de giro del eje de entrada y del eje de salida está determinada por el número de pares de engranajes y puede ser tanto en la misma dirección como en direcciones opuestas.

Aunque los reductores de engranajes rectos sencillos no pertenecen básicamente a los reductores coaxiales, la coaxialidad se puede lograr a través de dos pares de engranajes con un total de cuatro engranajes. Dos de los engranajes están dispuestos paralelamente en un eje.

Un diseño especial de un reductor coaxial es el reductor planetario. A diferencia de en un reductor de engranajes rectos sencillo, en un reductor planetario todos los ejes son fijos. Además, hay un engranaje recto diseñado como dentado interior.

En un reductor planetario, giran varios engranajes rectos, entre un engranaje de dentado interno y externo, en una trayectoria circular concéntrica. Por eso, los reductores planetarios se denominan generalmente como reductores epicicloidales. La disposición coaxial del eje de entrada y el eje de salida de este reductor coaxial ya está predeterminada por el diseño específico.

Otra característica especial del reductor planetario es que no todos los engranajes rectos tienen que girar alrededor de su propio eje de rotación para transmitir el par. Por regla general, el engranaje recto de dentado interno es fijo, lo que da como resultado una dirección de rotación sincrónica del eje de entrada y de salida.

En comparación con los reductores de engranajes rectos sencillos, los reductores planetarios tienen una densidad de potencia muy alta. Esto se logra por el hecho de que el par de giro puede distribuirse a los engranajes rectos giratorios y por lo tanto a varios puntos del engrane. De este modo se consigue un diseño compacto y un excelente grado de eficacia. Además, pueden lograrse relaciones de transmisión en varias etapas mediante una simple disposición en serie en el mismo engranaje recto de dentado

interno. La relación de transmisión total se obtiene como producto de las relaciones de transmisión individuales de cada etapa planetaria.

La conversión de la velocidad y el par de giro se hace de forma análoga a la de un reductor de engranajes rectos sencillo. Con una relación de transmisión de 10:1, por ejemplo, el par de giro se incrementa en un factor de 10 y la velocidad se reduce en el mismo factor.

- Reductores epicicloidales:

En un reductor epicicloidal, varios engranajes rectos giran distribuidos uniformemente en la circunferencia, entre un engranaje de dentado interno y externo, en una trayectoria circular concéntrica. La rotación de los engranajes rectos es análoga a la órbita de los planetas del sistema solar. Por eso, los reductores epicicloidales se denominan generalmente como reductores planetarios. Los componentes de un reductor planetario pueden dividirse en cuatro partes principales.

La carcasa con dentado interno integrado se denomina corona. En la mayoría de los casos, la carcasa es fija. El piñón solar motriz está situado en el centro de la corona y está dispuesto coaxialmente respecto a la salida. El piñón solar suele estar conectado a un sistema de fijación para permitir la conexión mecánica respecto al eje del motor.

Los engranajes satélites solo tienen la función de transmitir el par de giro requerido. Su número de dientes no influye en la relación de transmisión del reductor.

Por tanto, el número de satélites puede variar. A medida que aumenta el número engranajes satélites, aumenta la distribución de la carga y por lo tanto, el par de giro transmisible. Con el aumento del número de puntos de engrane, también se reduce la potencia de rodadura.

Los reductores planetarios tienen un alto grado de eficacia ya que solo una parte de la potencia total tiene que ser transmitida como potencia de rodadura. Esta distribución de la carga es la ventaja de un reductor planetario frente a un reductor de engranajes rectos sencillo. Por tanto, en el caso de los reductores planetarios, es posible transmitir pares de giro elevados con un alto grado de eficacia contando con un diseño compacto.

- Reductor de varias etapas:

En los reductores de engranajes rectos sencillos, un par de engranajes forma una etapa de reductor. Si se conectan varios pares de engranajes en serie, hablamos de reductores de varias etapas.

Para cada etapa del reductor, se produce una inversión de la dirección de giro entre el eje de entrada y el eje de salida. La relación de transmisión total de los reductores de varias etapas se calcula mediante la multiplicación de la relación de transmisión de cada etapa del reductor.

La velocidad de entrada se reduce o aumenta por el factor de la relación de transmisión, dependiendo de si la relación de transmisión se realiza en el rango lento o el rango rápido.

Un reductor de engranajes rectos de una sola etapa puede implementarse de forma técnicamente razonable hasta una relación de transmisión de aprox. 10:1. La razón de esto está en la proporción del número de dientes. A partir de una relación de transmisión de 10:1, el engranaje impulsor se vuelve muy pequeño. Esto tiene un efecto negativo en la geometría del dentado y en el par de giro transmisible.

El par de giro transmisible puede aumentarse mediante engranajes planetarios adicionales. La dirección de giro del eje de entrada y del eje de salida es siempre la misma, siempre y cuando la corona o la carcasa estén fijadas.

- Reductor angular:

Este tipo de reductor se caracteriza por el hecho de que el eje de entrada y el eje de salida están dispuestos en diferentes direcciones. Por regla general, los engranajes angulares se realizan con un ángulo de 90 grados entre la entrada y la salida. Dependiendo del tipo de reductor, los ejes pueden intersectarse en un plano o cruzarse en dos planos paralelos, dando como resultado un desplazamiento del eje.

Los reductores angulares se implementan con distintos tipos de dentado o combinando diferentes tipos de dentado. Los tipos de reductores de una etapa más habituales son los reductores de engranajes cónicos y los reductores de tornillo sin fin.

Debido a las altas relaciones de transmisión de una sola etapa y al bajo grado de eficacia, los reductores de tornillo sin fin pueden lograr un efecto de autobloqueo. Del mismo modo, en el caso de los reductores de tornillo sin fin, el eje de salida puede diseñarse fácilmente como un eje hueco.

Los reductores de engranajes cónicos están disponibles en distintos tipos de dentado. Los reductores de engranajes cónicos con ejes de corte se implementan con engranajes cónicos de dentado recto, dentado helicoidal o dentado en espiral. Los reductores de engranajes cónicos hipoides tienen un dentado de engranaje cónico en espiral donde los ejes se cruzan entre sí con un desplazamiento del eje. El rango de relaciones de transmisión técnicamente útiles que puede lograrse con la etapa de engranaje cónico es mayor con los reductores hipoides que con los engranajes cónicos clásicos.

Asimismo, los reductores de engranajes cónicos pueden combinarse con otros tipos de reductores.

El grado de eficacia de los reductores de engranajes cónicos es generalmente menor que la de los reductores de engranajes rectos coaxiales, especialmente en comparación

con los reductores planetarios. Esto se debe al hecho de que la etapa de engranajes cónicos genera altas fuerzas axiales y radiales, que deben ser absorbidas por los rodamientos correspondientes. Esto aumenta la potencia de pérdida, lo que es particularmente notable en la etapa de entrada de los reductores.

Los reductores angulares o los reductores de engranajes cónicos siempre se utilizan en combinación cuando el espacio de instalación en la aplicación es limitado o si la aplicación requiere una disposición angular de entrada y salida. También se utilizan si el eje de salida ha de diseñarse como un eje hueco para el paso de cables o para el uso de juegos de sujeción.

- Reductor de engranajes cónicos:

Los reductores de engranajes cónicos pueden realizarse con engranajes cónicos de dentado recto, dentado helicoidal o dentado en espiral. Los ejes de los reductores de engranajes cónicos suelen cruzarse en un ángulo de 90 grados, aunque en principio también son posibles otros ángulos.

La dirección de giro del eje de entrada y del eje de salida puede ser en la misma dirección o en dirección opuesta, dependiendo de la situación de montaje de los engranajes cónicos.

El tipo de reductor de engranajes cónicos más sencillo tiene una etapa de engranaje cónico de dentado recto o helicoidal. Este dentado es económico en cuanto a su producción. Sin embargo, como solo se puede lograr una pequeña superposición del perfil con los engranajes cónicos de dentado recto o helicoidal, estos reductores de engranajes cónicos tienen una menor suavidad de funcionamiento y un menor par de giro transmisible que otros engranajes cónicos.

Durante el funcionamiento, los engranajes cónicos generan altas cargas axiales y radiales que solo pueden absorberse por un lado debido a la intersección de los ejes. Se debe prestar especial atención a la vida útil de los rodamientos, sobre todo cuando se utilizan como etapa de entrada de rotación rápida en reductores de varias etapas. Del mismo modo, a diferencia de los reductores de tornillo sin fin, los reductores de engranajes cónicos no pueden implementar el bloqueo automático.

En el campo de los reductores angulares, los reductores de engranajes cónicos pueden ser una alternativa rentable a los engranajes hipoides.

- Reductor hipoide:

Los reductores hipoides se pueden asignar a la categoría de reductores de engranajes cónicos. Una característica especial de los reductores hipoides es que los ejes se cruzan en dos planos paralelos.

Los reductores hipoides, por lo tanto, disponen de un desplazamiento del eje en contraste con otros reductores de engranajes cónicos. La dirección de giro del eje de entrada y del eje de salida puede ser en la misma dirección o en dirección opuesta, dependiendo de la situación de montaje de los engranajes cónicos.

Los engranajes cónicos hipoides pertenecen a la categoría de los engranajes cónicos en espiral. La ventaja de los engranajes cónicos hipoides es que el piñón cónico puede implementarse con un mayor ángulo de espiral debido al desplazamiento del eje. De este modo se aumenta el recubrimiento total del dentado. Por este motivo, los reductores hipoides son capaces de transmitir un mayor par de giro que los dentados en espiral sencillos en el mismo espacio de montaje. Gracias al mayor recubrimiento, también se pueden lograr mayores relaciones de transmisión.

Los reductores hipoides se caracterizan por una elevada suavidad de funcionamiento. No obstante, no son adecuados para velocidades muy altas. Por un lado, el desplazamiento del eje lleva a un deslizamiento adicional del dentado en dirección longitudinal, lo que significa que hay que utilizar aceites lubricantes especiales, y por otro lado, las fuerzas de reacción del dentado son tan elevadas que deben utilizarse rodamientos de rodillos cónicos para garantizar una vida útil suficiente de los rodamientos a velocidades de entrada normales.

Debido a las potencias de pérdida causadas por los rodamientos y el sellado, los engranajes cónicos hipoides son más adecuados como etapas de salida en los reductores de varias etapas. En ellos, las velocidades requeridas son más bajas y los pares de giro son en consecuencia más altos. Los reductores hipoides de una sola etapa tienen la ventaja de que ya se pueden alcanzar relaciones de transmisión de 3:1 a 10:1 con la etapa de engranaje cónico.

7.1.3.2 CÁLCULO DE LOS MOTO-REDUCTORES

La velocidad de elevación requerida es de 1,5 m/s y la masa total a elevar es de 400kg, constituida de la siguiente manera:

$$M_{total} = M_{elevador} + M_{carga} = 250 + 150 = 400kg$$

La potencia de los motores para mecanismos de elevación se calcula de la siguiente manera:

$$P[KW] = \frac{F[N] \cdot v \left[\frac{m}{s} \right]}{1000 \cdot \eta}$$

Siendo: η = rendimiento global; $\eta = \eta_{REDUCTOR} * \eta_{CARGA}$

$\eta_{REDUCTOR}$: es el rendimiento del reductor. Depende del tipo de reductor elegido y del número de etapas de reducción que tenga. Cuantas más etapas de reducción, más caerá el rendimiento. Oscilará entre el 85 - 90% en esta aplicación.

η_{CARGA} : es la resistencia que ofrece la propia carga a ser elevada. Su valor estimado recomendado por el fabricante de moto-reductores para esta aplicación es del 90%.

Nuestro motor no llevará conectado ningún variador de frecuencia ya que la velocidad será controlada por el autómatas y no habrá picos de arranque o parada, protegiendo la vida del moto-reductor.

Escogeremos un motor trifásico asíncrono de jaula de ardilla alimentado de manera convencional.

La gran mayoría de motores de estas características tienen una velocidad de sincronismo de 1500 rpm y una velocidad del rotor de 1450 rpm, obteniendo un deslizamiento del 3,3%.

Para conseguir una velocidad de desplazamiento de 1,5 m/s es necesario tener en la salida del reductor una velocidad angular de 238,73 rpm.

$$n_2 = n_{reductor} = \frac{v_{lineal}}{\pi * D_{primitivo}} = 238,73 \text{ rpm}$$

Por lo tanto la reducción i que se necesitaría en la reductora debería ser de aproximadamente 26,3:

$$i = \frac{n_{motor}}{n_2} = \frac{2511}{238,73} = 10,52$$

El par necesario para elevar la carga de esta aplicación en función de cada tipo de reductora sería:

$$M_2 = \frac{9550 * P_1 * \eta_{reductor}}{n_2} = 468,03$$

Donde:

M_2 = Par que ofrece el reductor a la salida para poder elevar la carga.

P_1 = Potencia que ofrece el motor 13KW

n_2 = rpm a la salida del reductor (95,49rpm).

η reductor = valores indicados por el fabricante. Reductores de ejes paralelos: 0,9.

La fuerza radial en el eje se calcula con la siguiente fórmula:

$$F_r = \frac{2 * M_2}{D_p} * f_z = 10,92 \text{ KN}$$

Donde el factor de fuerza radial f_z se obtiene:

Factor de fuerza radial f_z

Elementos de transmisión	f_z	Notas
Engranajes	1,1	$z \leq 17$ dientes
Piñones de cadena	1,4	$z \leq 13$ dientes
Piñones de cadena	1,2	$z \leq 20$ dientes
Poleas de correa trapezoidal estrecha	1,7	Tensadas previamente
Poleas de correa plana	2,5	

Ilustración 25. Tabla Fz

Finalmente, se escoge el modelo SK 4282 – 132 MH/4 del fabricante NORD dando una fuerza radial máxima admisible muy superior a la requerida.

36	1999	0,8	40,74	9,2	17,6	24,2	30,0	SK 4282 - 132 MH/4
38	1879	1,1	38,31	8,9	17,1	23,7	30,0	
40	1806	0,8	36,81	9,2	17,5	23,8	30,0	
45	1587	1,0	32,34	9,5	17,8	23,4	30,0	
46	1572	1,1	32,04	9,1	17,2	23,1	30,0	
55	1297	1,4	26,43	9,5	17,6	22,6	30,0	
56	1288	1,2	26,25	9,8	17,8	22,6	30,0	
65	1098	1,5	22,39	9,3	17,1	21,8	30,0	
68	1052	1,6	21,45	9,4	17,3	21,7	30,0	

Ilustración 26. Tabla catalogo NORD

El freno para dicho motor nos lo da el fabricante según la siguiente tabla:

Brakes - standard combinations for 4-pole motors

Motor BG	M_B [Nm]										
	BRE 5	BRE 10	BRE 20	BRE 40	BRE 60	BRE 100	BRE 150	BRE 250	BRE 400	BRE 800	BRE 1200
63 SiL**	5	10 ⁽¹⁾									
71 SiL**	5	10*									
80 S**	5 ⁽⁴⁾	10	20*								
80 L	5	10	20*								
90 S	10	20	40*								
90 L	10	20	40*								
100 L		20 ⁽⁴⁾	40	60 ⁽¹⁾							
100 LA		20	40	60 ⁽¹⁾							
112 M		20	40	60							
132 S				60	100	150*					
132 M				60	100	150*					
132 MA				60	100	150*					
160 M					100	150	250				
160 L					100	150	250				
180 MX/LX						150	250				
200 L							250		400		
225 S/M									400	800 ⁽²⁾	
250 M										800 ⁽²⁾	
280 S/M										800 ⁽²⁾	1200 ⁽³⁾
Extra-weight [kg]	2	3	5,5	7	10	16	22	32	50	80	100
J [10 ⁻³ kgm ²]	0,015	0,045	0,153	0,45	0,86	1,22	2,85	6,65	19,5	39	39

Ilustración 27. Tabla freno motor

Escogeremos el modelo BRE 100 ya que obtenemos un par máximo de frenado de 1000, inferior al par máximo admisible por la reductora que es $1297 \cdot 1,4 = 1815,8$.

7.1.4 DEFINICIÓN DEL GRUPO MOTOR

La estructura del grupo motor consta de un conjunto soldado por tubos rectangulares en forma de triángulos para dar mayor firmeza y resistencia a la pieza.

Se colocan en las esquinas placas de aluminio para su sujeción a la cabina y un soporte extra para la sujeción del motor.

Esto nos permitirá su reemplazamiento sin necesidad de retirar el bastidor completo. Ajuntamos imagen del bastidor sin el motor.

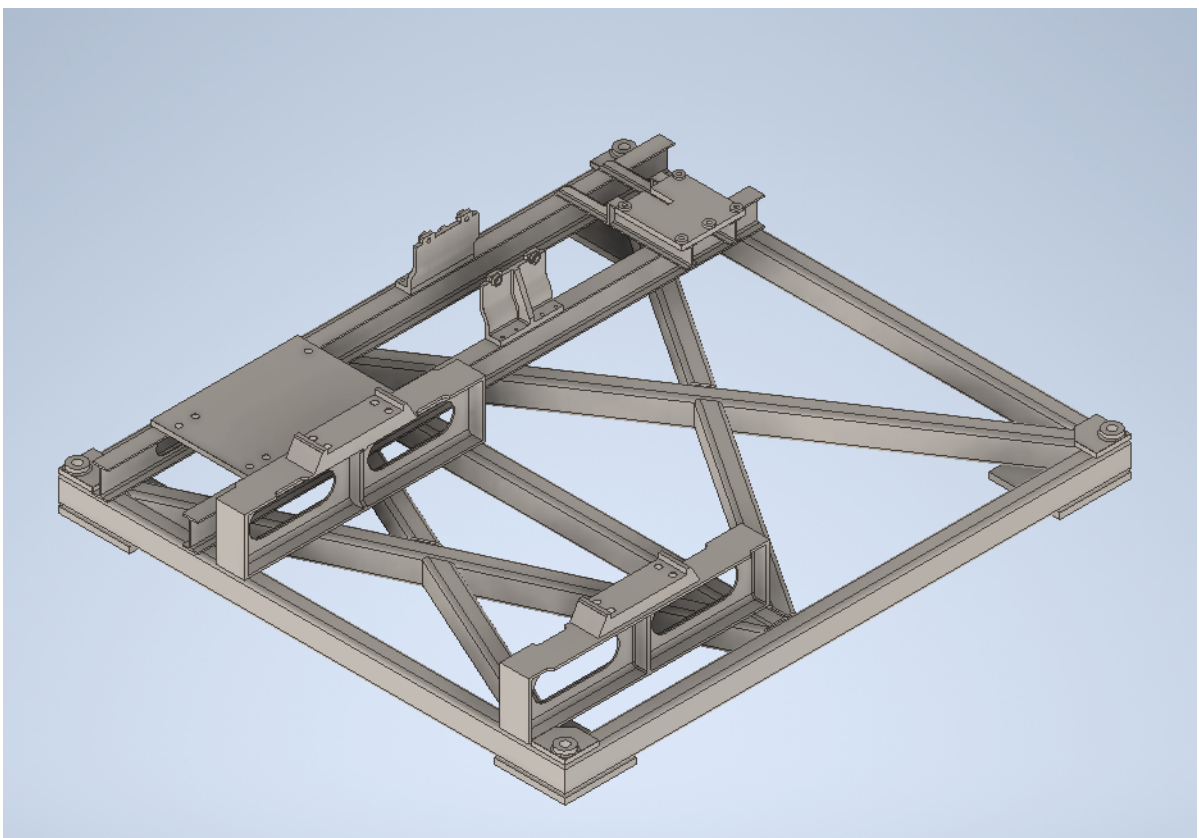


Ilustración 28. Grupo motor

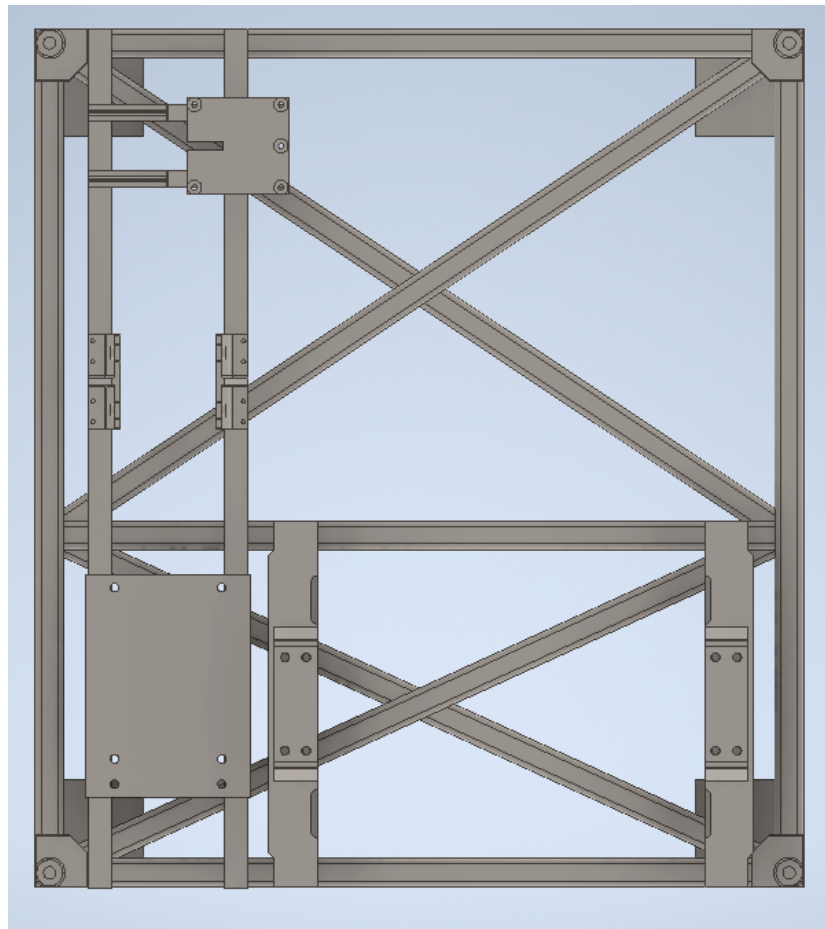


Ilustración 29. Grupo motor frontal

7.1.5 DEFINICIÓN DE LA CABINA

Para la cabina se realiza un bastidor externo de aluminio para garantizar la resistencia y solidez de la cabina y un peso muy ligero.

Además, se realiza una cabina interior con chapas de aluminio para cubrir los huecos del bastidor y poder configurar los elementos eléctricos y de seguridad según convenga y garantizar la seguridad del personal.

Dicho diseño en una vista general de la cabina, los componentes de seguridad descritos posteriormente y demás componentes eléctricos se instalarán según petición particular y expresa de la empresa, buscando una mayor personalización del producto.

La entrada a la cabina se realizará de manera lateral ya que en la parte frontal irá colocada la escalera de servicio.

La cabina irá guiada a través de la escalera gracias a unos rodillos que garantizarán una subida vertical constante y firme.

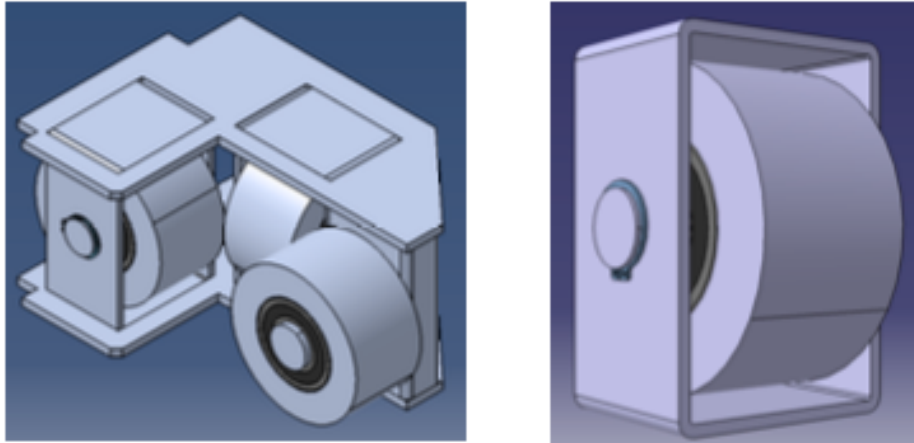


Ilustración 30. Rodillos

La escalera de servicio llevará además unos soportes en los laterales de la misma en forma de L que abarcarán la anchura total de la cabina y se anclarán a la pared del aerogenerador de la misma manera que se encuentra en la actualidad.

Se adjuntan imágenes del bastidor de la cabina, el interior de la misma y el conjunto general.

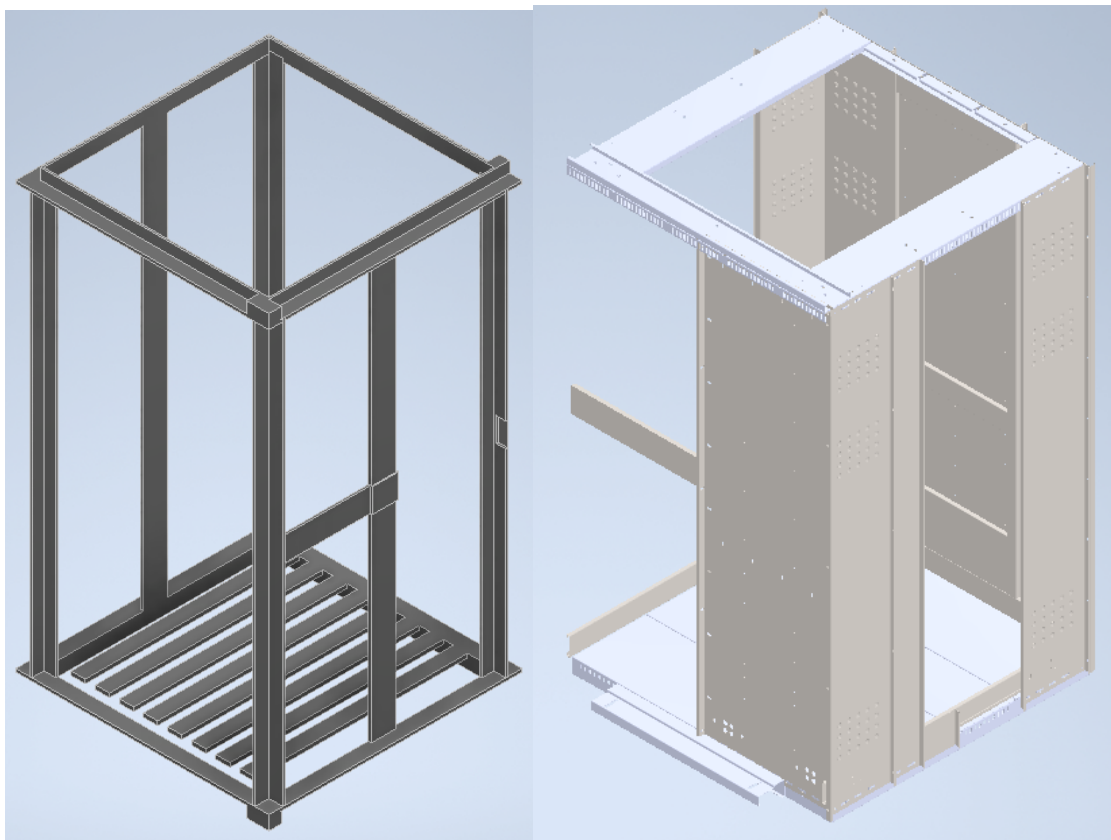


Ilustración 31. Cabina

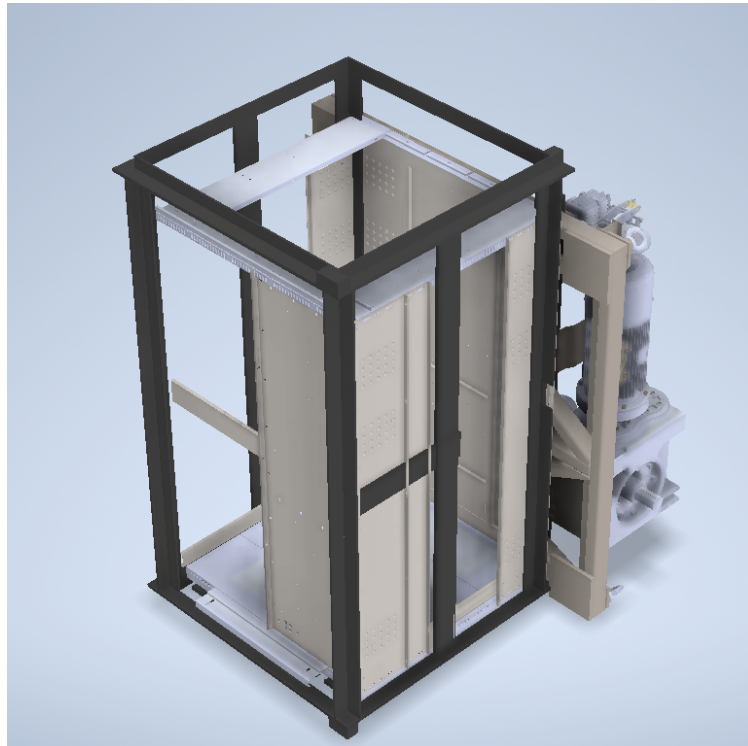


Ilustración 32. Cabina perspectiva



Ilustración 33. Cabina frontal

7.1.6 DEFINICIÓN DE LOS SISTEMAS DE SEGURIDAD

7.1.6.1 RECINTO BASE DE SEGURIDAD

El perímetro de la base del ascensor ha de estar vallado para evitar que nadie pueda acceder allí y por lo tanto exista peligro de aplastamiento. La apertura de la puerta de acceso al recinto base está controlada por un cierre de seguridad electromecánico. La señal de apertura o cierre de éste la ejecuta un micro con cabeza de roldana posicionado en el recinto base y que se acciona por el contacto que ejerce sobre él un patín que forma parte de la caja del elevador. De manera que cuando la máquina se encuentra en su posición más baja, el patín activa por contacto el micro, que manda la señal al cierre electromecánico para liberar la puerta de acceso al recinto base. Por el contrario, cuando el elevador no se encuentra en su posición más baja, el cierre electromecánico permanece cerrado y la puerta también.

7.1.6.2 FINAL DE CARRERA DE ASCENSO

Se encuentra situado en el grupo motor y tiene accionamiento de cabeza de roldana. Se acciona cuando entra en contacto con el patín de subida que está fijado en el último mástil. Este patín delimita la altura máxima a la que puede llegar el elevador sin peligro de descarrilar o impactar contra algún objeto. Si durante el ascenso se alcanza la altura del patín de subida y se acciona el micro de subida el elevador se detiene inmediatamente.

7.1.6.3 FINAL DE CARRERA DE DESCENSO

Se encuentra situado en el grupo motor, tiene accionamiento de cabeza de roldana y se encuentra posicionado en la misma línea de acción que el micro final de carrera de ascenso. Se acciona al entrar en contacto con el patín de bajada que está fijado en la mínima altura que puede estar el elevador sin impactar contra el suelo. Si durante la bajada se desciende por debajo de la altura mínima de funcionamiento y el micro se acciona el elevador se detendrá inmediatamente evitando un posible golpe contra el suelo.

7.1.6.4 INDUCTIVO DETECCIÓN DE MÁSTIL

Es un dispositivo que detecta la ausencia de acero. Está situado en la parte más alta del grupo motor y está enfocando hacia la cremallera del mástil. Si se sobrepasara la altura máxima de ascenso y el micro final de carrera de ascenso se activara, el inductivo detectaría que ya no existen más cremalleras por encima, parando de manera inmediata la máquina y evitando un posible desengrane o descarrilamiento del elevador.

7.1.6.5 CIERRE ELECTROMECAÁNICO DE LAS PUERTAS DE ENTRADA/SALIDA

Previene la apertura de las puertas de embarco y desembarco del elevador mientras que éste se encuentra en movimiento. También impide la puesta en movimiento del elevador si cualquiera de las dos puertas no se encuentra convenientemente cerrada y bloqueada.

7.1.6.6 CIERRE TRAMPILLA TECHO CABINA

Previene la posibilidad de que el elevador esté en funcionamiento si la trampilla de acceso al techo de la caja está abierta.

7.1.6.7 MICRO DE LA TRAMPILLA LATERAL

Previenen la posibilidad de que el elevador esté en funcionamiento si la trampilla lateral está desplegada. Con esto se impide la salida de equipamiento y personal de la cabina mientras esta se encuentra en movimiento. Esta trampilla permite la salida del personal por el lateral de la cabina en caso de emergencia hacia la escalera de servicio o en caso de realizar algún trabajo específico.

7.1.6.8 MOTORES AUTOFRENANTES

Los motores elegidos se caracterizan porque cuando dejan de recibir tensión para girar, automáticamente el freno actúa, evitando el desplome de la máquina. Es decir, el estado natural de los motores cuando no están alimentados es estar frenados sosteniendo el peso muerto de toda la máquina y su carga.

7.1.6.9 DISPOSITIVO DETECCIÓN SOBRECARGA

El elevador posee un sistema electrónico de detección de sobrecarga formado por 2 bulones de carga que están posicionados en el grupo motor. Cada uno de estos bulones posee una galga extensiométrica en su interior que basa su funcionamiento en el efecto piezorresistivo.

La resistencia eléctrica de los materiales depende de la resistividad del material así como de la geometría del mismo. Al deformar un material conductor estirándolo sin sobrepasar su límite elástico, éste se volverá más estrecho y alargado, incrementándose su resistencia eléctrica. Por el contrario, cuando el conductor es comprimido se acorta y ensancha, disminuyendo su resistencia eléctrica.

Por lo tanto, midiéndose la resistencia eléctrica de la galga, puede deducirse la magnitud del esfuerzo aplicado sobre los bulones de carga. Gracias a la pantalla se muestra en

todo momento a los usuarios el peso de la carga que se está elevando y se emite una señal en caso de sobrecarga, que impediría que el elevador se mueva.

7.1.6.10 CONTROL CON SETA DE EMERGENCIA E INTERRUPTOR DE BLOQUEO

El cuadro de control cuenta con un interruptor seta de emergencia y un interruptor con bloqueo. La máquina solo funciona cuando el interruptor esté bloqueado.

7.1.6.11 PARACAIDAS

En el caso de que todos los sistemas de seguridad del elevador fallasen y éste se desplomase en caída libre alcanzando una velocidad de descenso superior a la nominal, el paracaídas se accionaría y pararía la máquina. Éste se encuentra situado en la parte superior de la caja, fijado a la chapa del paracaídas. Es un sistema mecánico totalmente independiente de todos los anteriormente mencionados. Está permanentemente operativo, incluyendo el uso normal del ascensor, montaje y desmontaje. El único elemento sobre el que actúa es la cremallera del mástil.

El funcionamiento del paracaídas es puramente mecánico, actuando sus ferodos por efecto del incremento de la fuerza centrífuga. El enclavamiento se produce de una forma progresiva, accionando además un micro interruptor que genera una señal de control que se podría usar para cortar la corriente general del elevador y generar un mensaje de alarma en la pantalla del cuadro de control de la cabina si fuera necesario.

7.2 DISEÑO DEL PROGRAMA

El programa que controlará el elevador y toda la seguridad, motor, componentes y funcionamiento se ha realizado con el software Tia Portal.

Los aerogeneradores actuales llevan instalados dicho PLC por lo que se ha visto más fácil a la hora de evitar fallos o problemas de conexión usar dicho autómata y no cualquier otro, además de su amplia variedad de configuraciones, módulos y posibilidades de programación.

La CPU que se usará será el modelo 1517F-3 con tres puertos Profinet y uno DP. Esto permitirá tener un modelo de CPU actualizado y potente para poder hacer todas las modificaciones oportunas en un futuro, ahorrándonos los costes de otro autómata.

Para realizar nuestro programa hemos conectado los distintos módulos y dispositivos entre sí tal y como se muestra en la siguiente imagen.

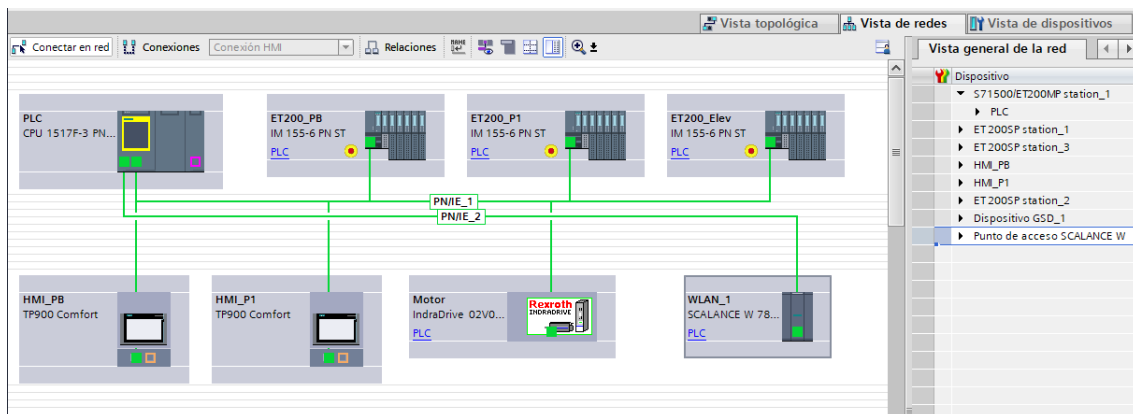


Ilustración 34. Red

Dispondremos de dos módulos ET200 para cada planta y uno para el elevador. Cada uno de estos módulos llevará conectado en el rack un módulo de seguridad de entradas digitales 8x24VDC, un módulo de seguridad de salidas digitales 4x24VDC, dos módulos de entradas y salidas digitales 8x24VDC y un módulo servidor.

Los módulos de seguridad serán los encargados de gestionar todo lo relativo a la seguridad del elevador, como control de puertas, sensores, movimiento del elevador, motor, etc. en cada una de las dos plantas.

A continuación, se muestra la imagen del módulo ET200 de la planta baja.

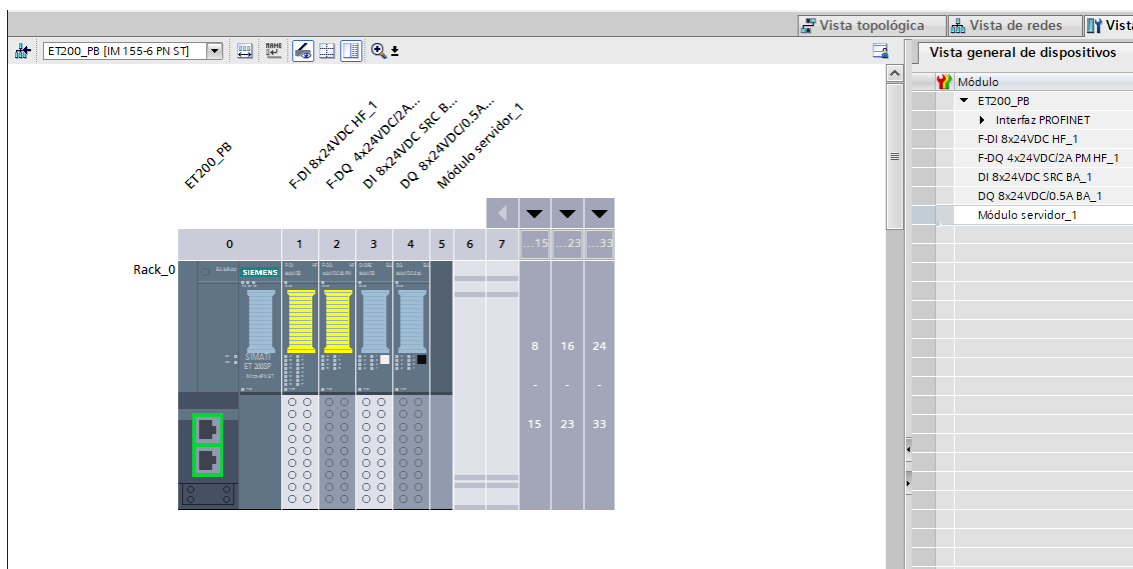


Ilustración 35. ET200 PB

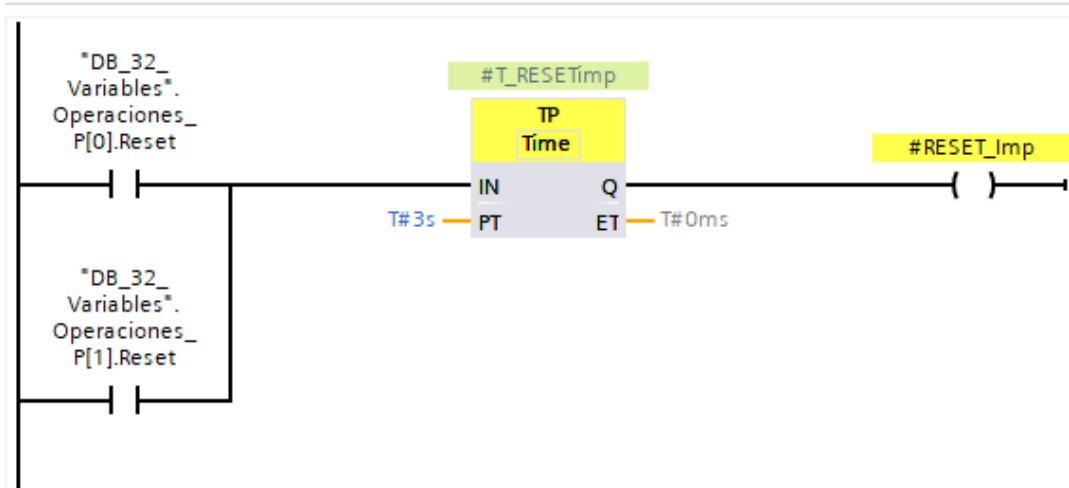
El módulo de la planta superior dispondrá de la misma configuración.

▼ **Título del bloque:**

Contraseña Modificación de Seguridad : "TFG"

▼ **Segmento 1:** Impulso Reset

Comentario



▼ **Segmento 2:** RESETID Planta Baja

Comentario

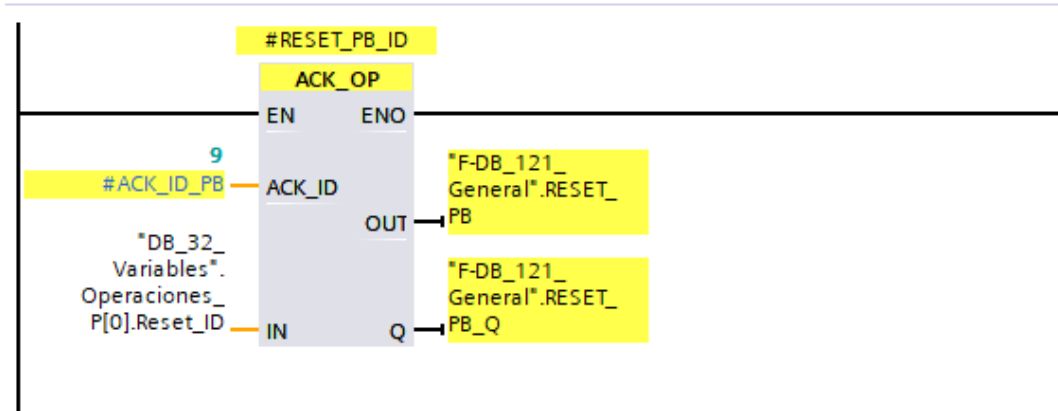
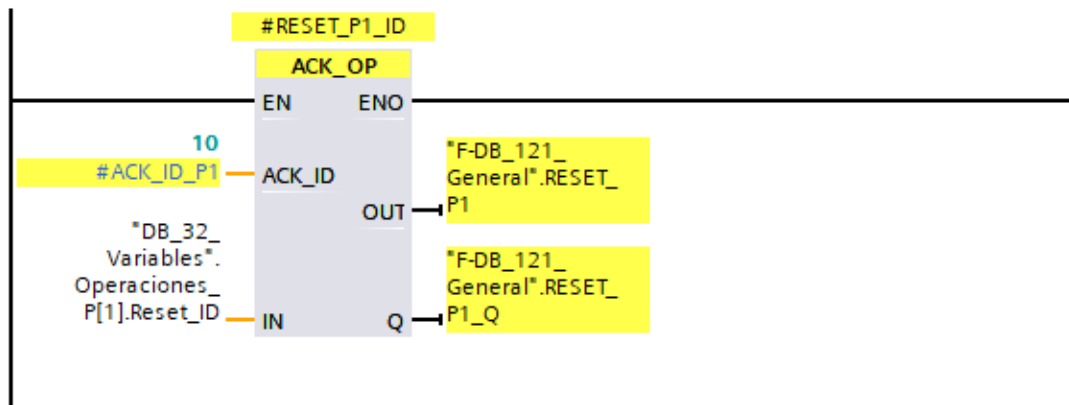


Ilustración 37. Seguridad 1

▼ Segmento 3: RESETID Planta Superior

Comentario



▼ Segmento 4: RESET General

Comentario



▼ Segmento 5: Paros de Emergencia

Comentario

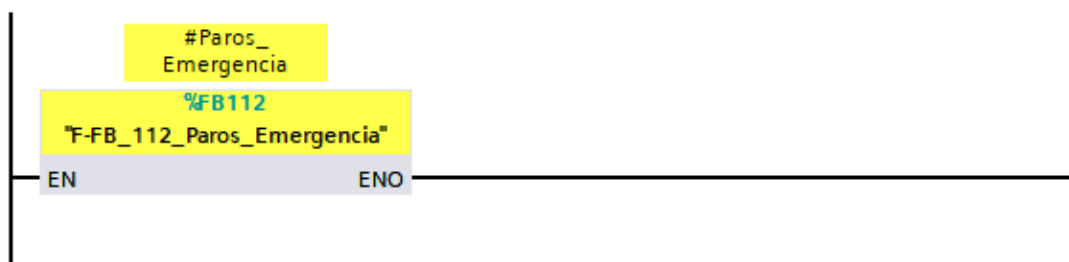


Ilustración 38. Seguridad 2

▼ Segmento 6: Circuito de Seguridad

Comentario



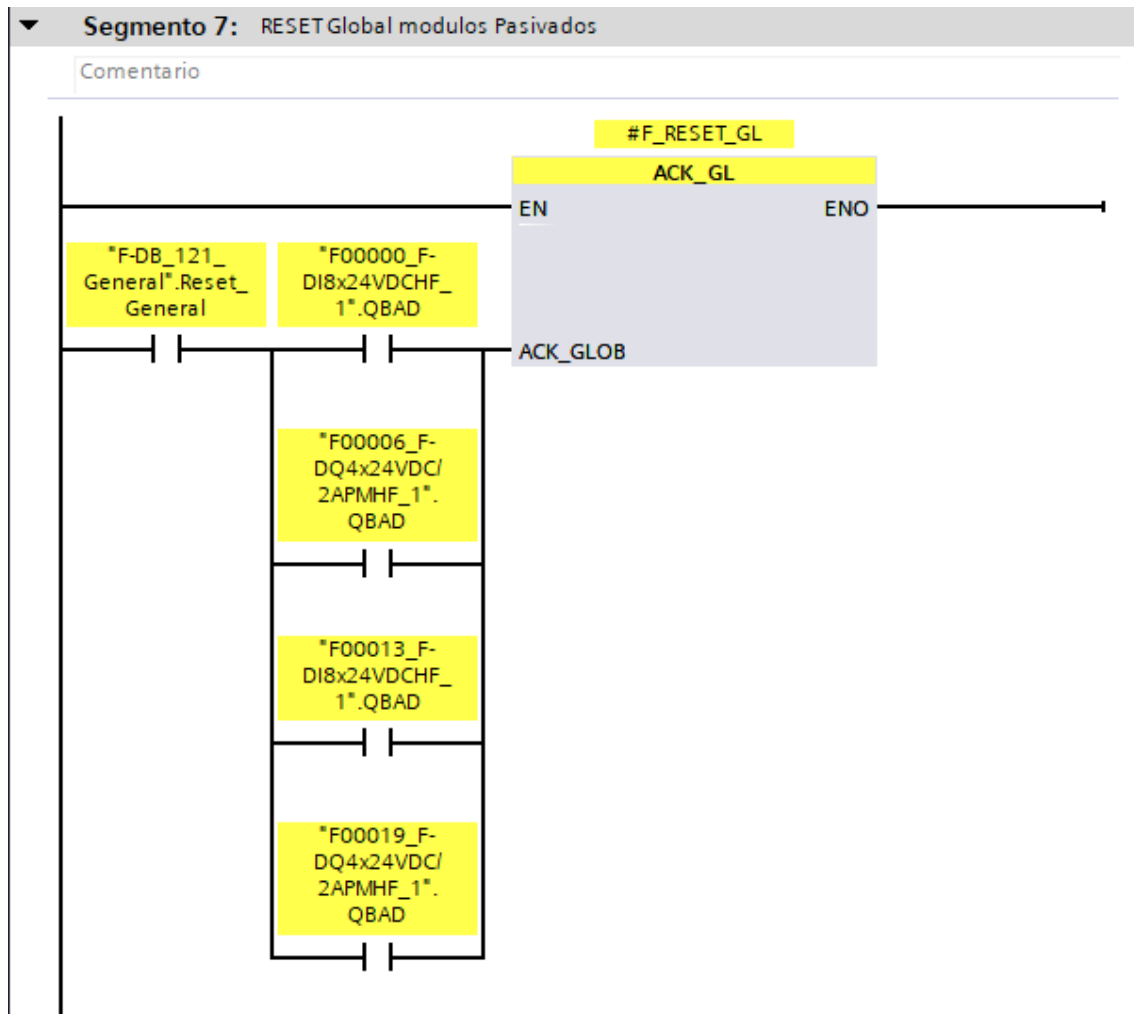


Ilustración 39. Seguridad 3

- F-FB 112 Paros Emergencia:

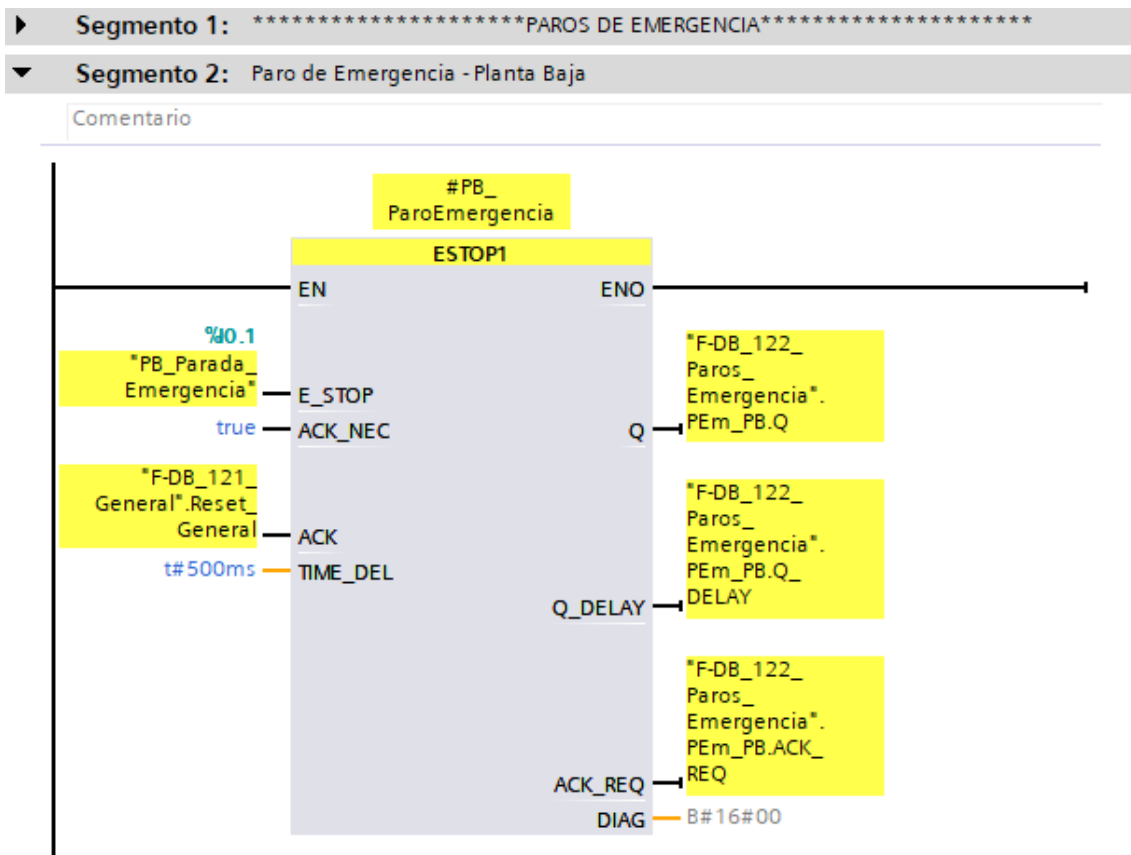


Ilustración 40. Emergencia 1

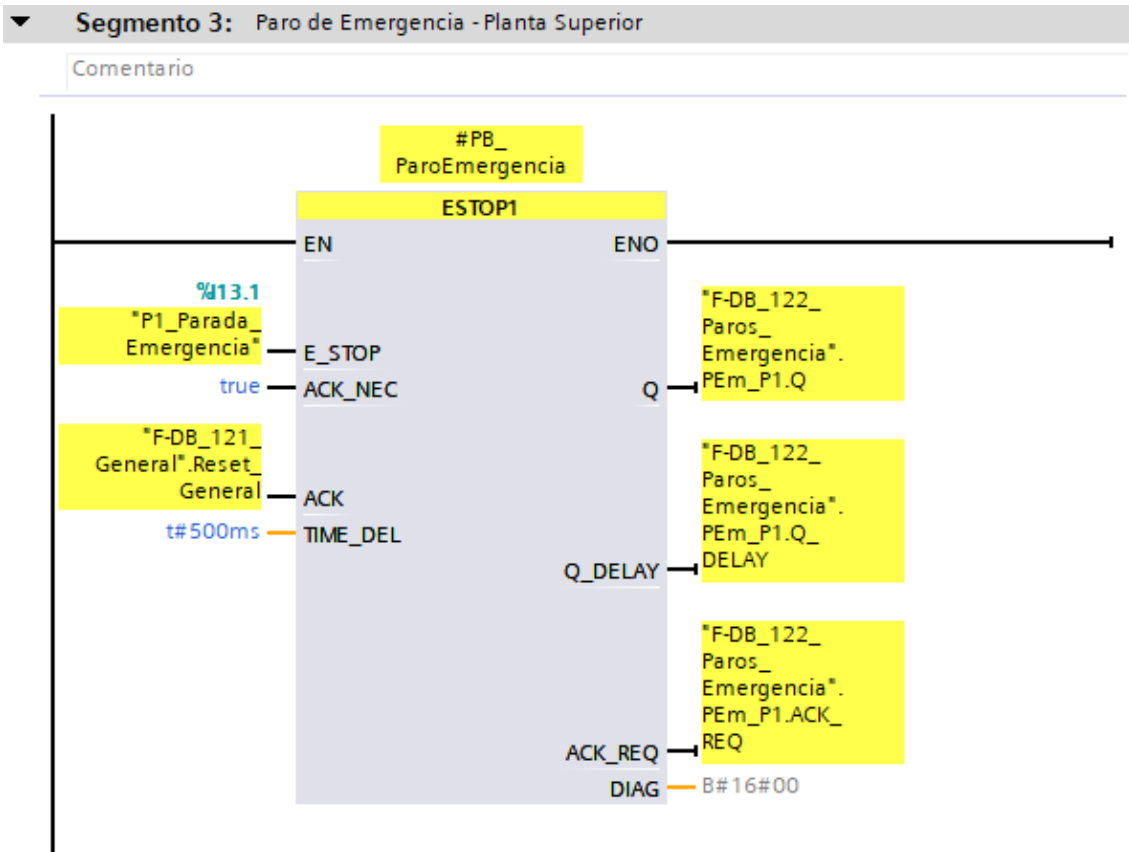
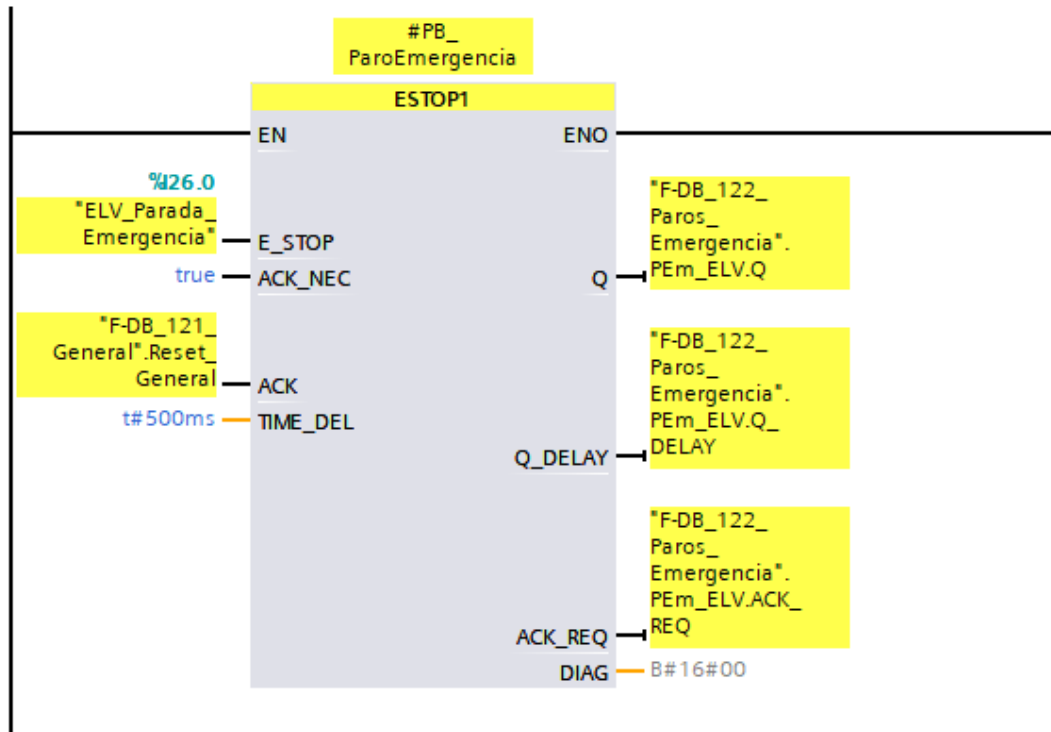


Ilustración 42. Emergencia 2

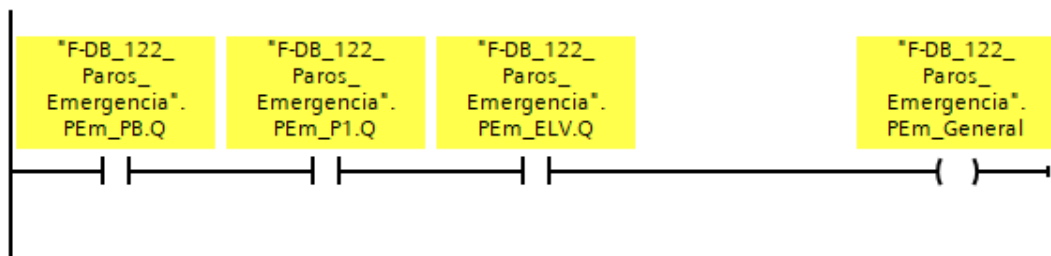
▼ **Segmento 4: Paro de Emergencia - Elevador**

Comentario



▼ **Segmento 5: Conjunto Paros de Emergencia**

Comentario



▼ **Segmento 6: Conjunto Paros de Emergencia con Delay**

Comentario

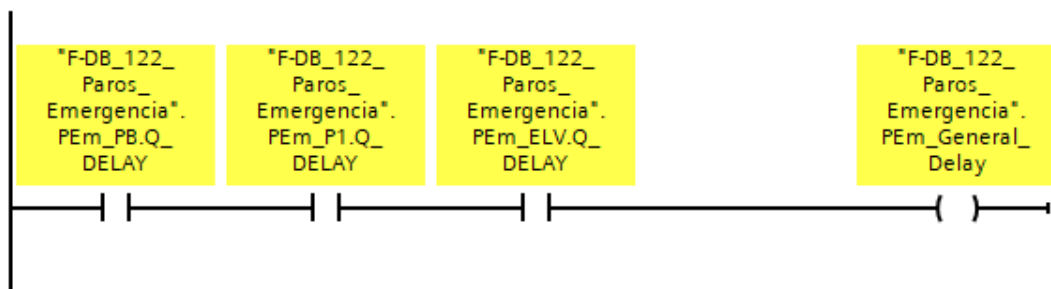
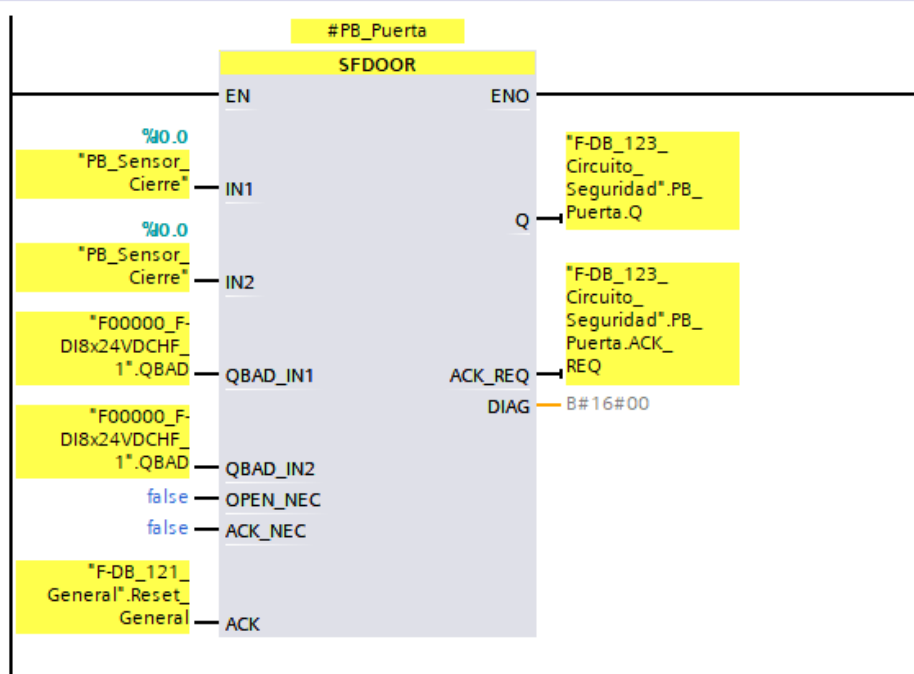


Ilustración 43. Emergencia 3

▪ F-FB 113 Circuito Seguridad:

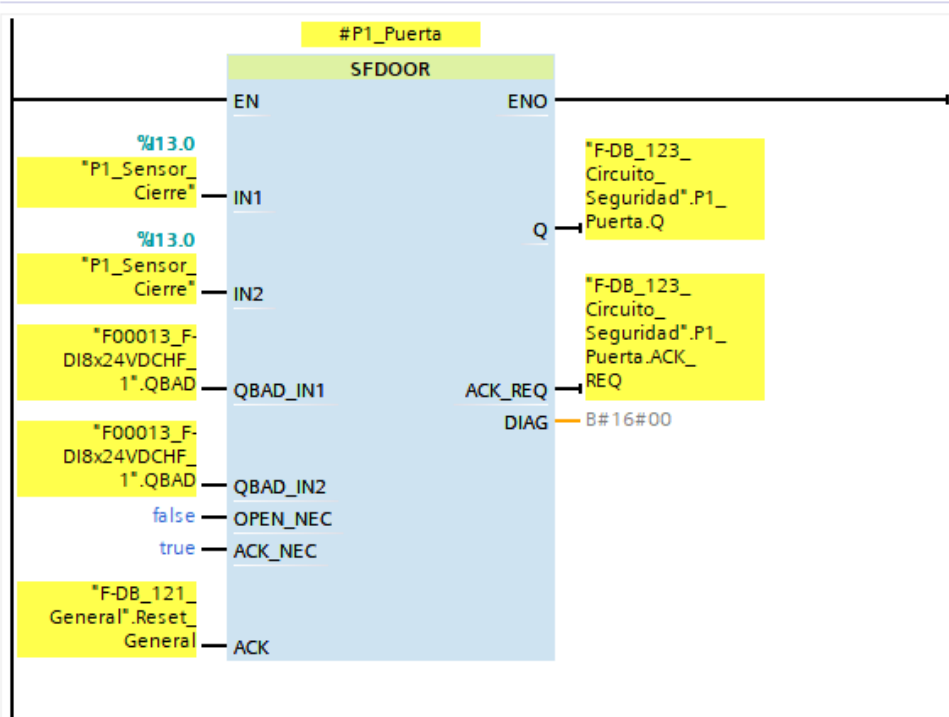
▼ Segmento 1: Puerta Seguridad Planta Baja

Comentario



▼ Segmento 2: Puerta Seguridad Planta Superior

Comentario



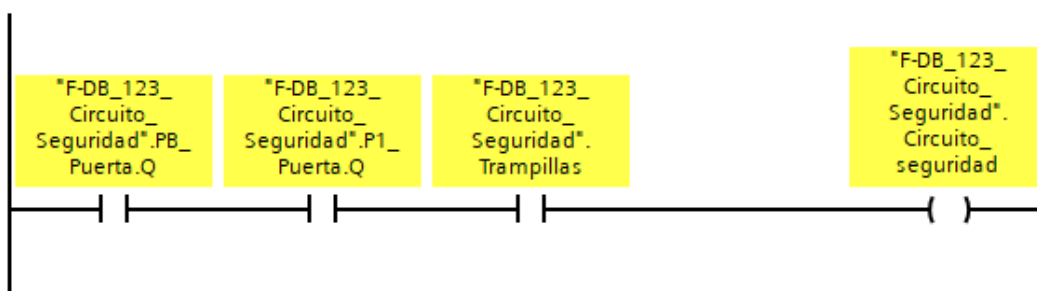
▼ Segmento 3: Trampillas Elevador

Comentario



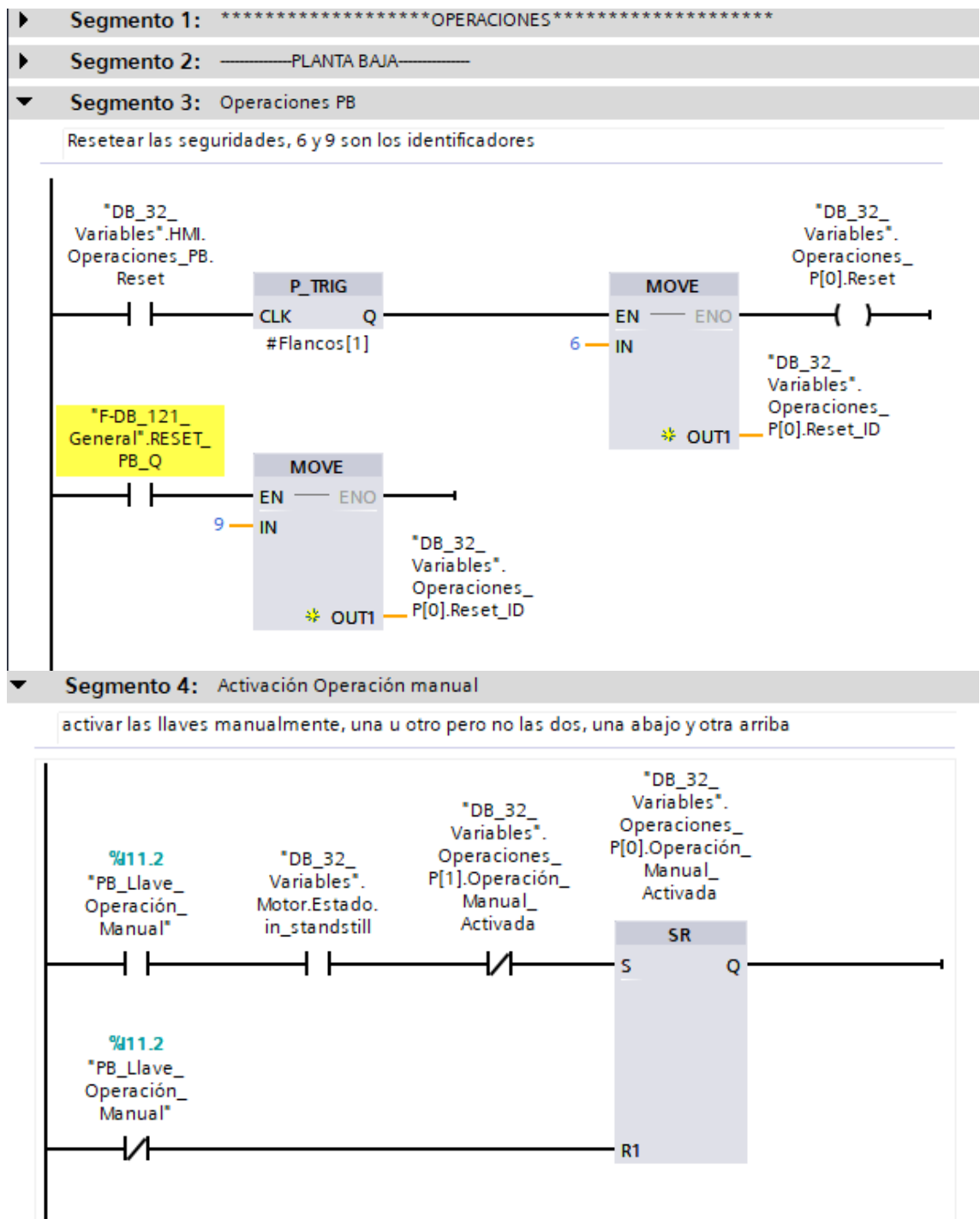
▼ Segmento 4:

Comentario



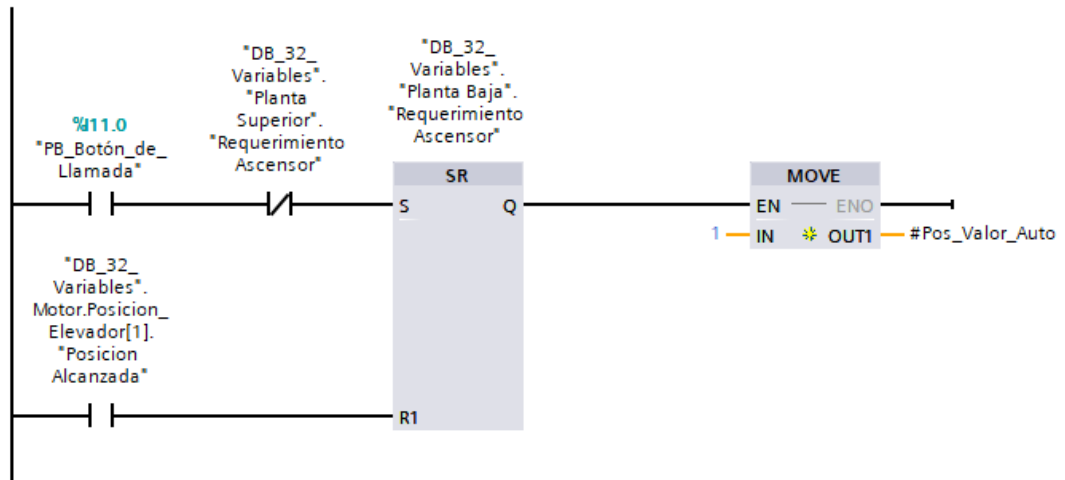
- Bloques de función:

En este FB se desarrolla el programa del elevador para las dos plantas y las operaciones que realizará el motor.



▼ Segmento 5: Llamada a Ascensor

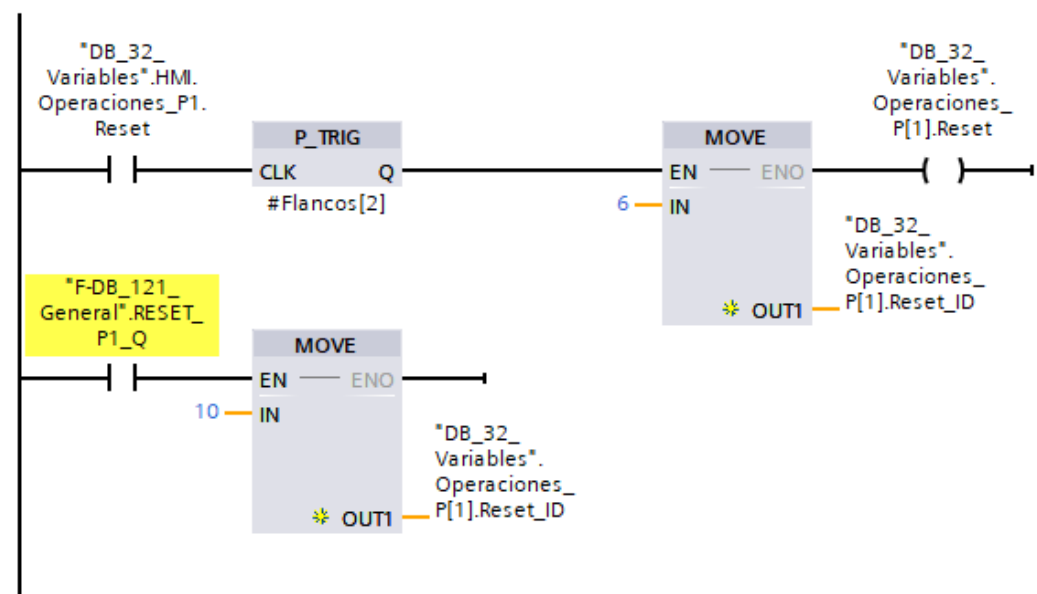
llamar al ascensor con el boton (estará fuera del ascensor) (poner contacto en paralelo desde la hmi)



▶ Segmento 6: PLANTA SUPERIOR

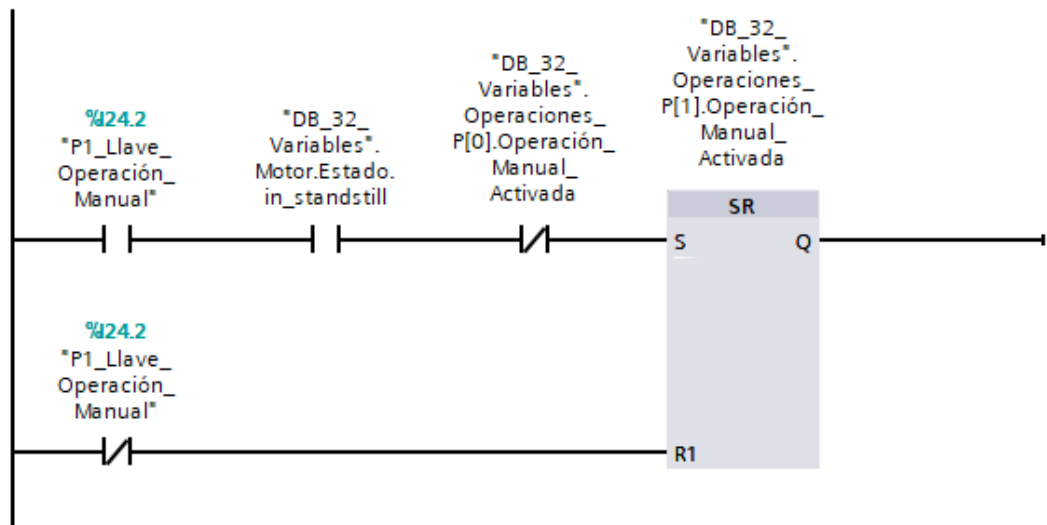
▼ Segmento 7: Operaciones P1

▼ resetear seguridades, hay un 10 porque estas confirmando el fallo desde otra hmi, si hay un fallo de seguridad hay que confirmarlo



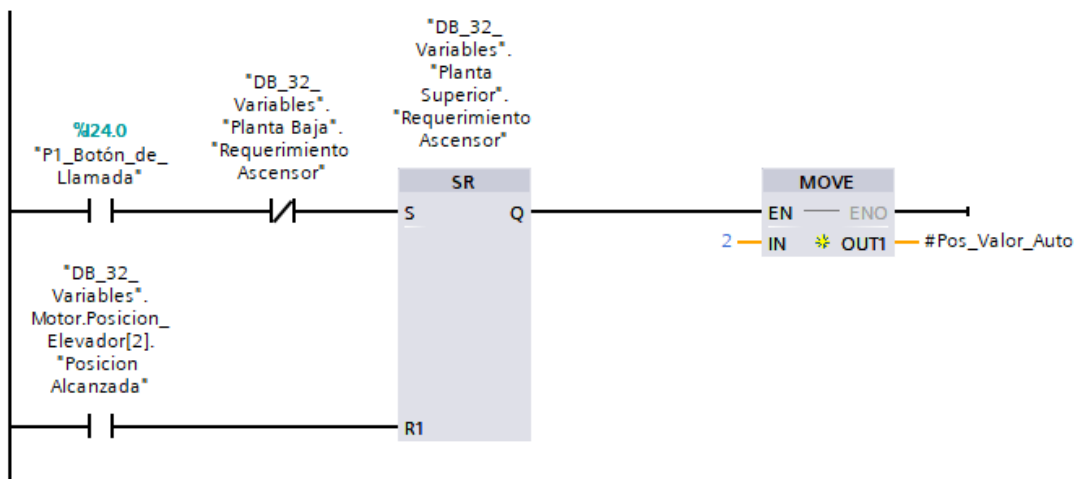
▼ Segmento 8: Activación Operación manual

misma que el segmento 4



▼ Segmento 9: Llamada a Ascensor

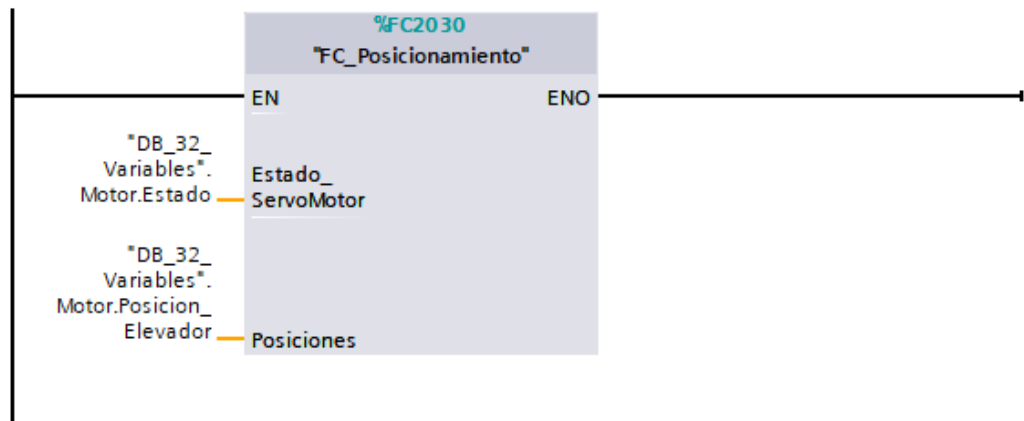
mismo segmento 5, el 1 es para la posición 1 y el 2 para otra (arriba y abajo)



▶ **Segmento 10:** *****MOTOR*****

▼ **Segmento 11:** Posicionamiento

cuando la psocion del encoder esta dentro del rango correcto me da un booleano



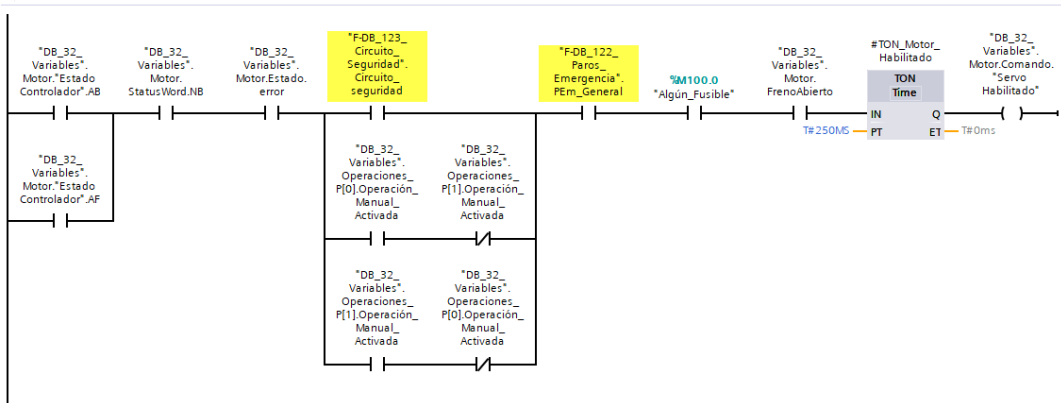
▼ **Segmento 12:** Freno Mecánico Abierto

señal del paracaídas on y off



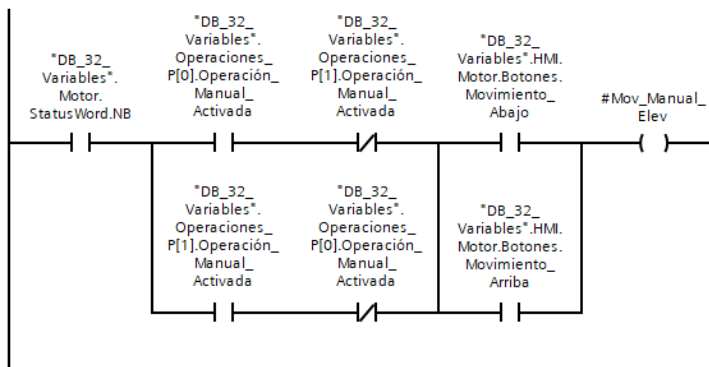
▼ **Segmento 13:** Servo Habilitado

estados del controlador, para dar energía al motor no tiene que estar en fallo, circuito de seguridad cerrado o manual, fusible como que el motor tiene corriente y freno abierto y habilita servo, habrá que conectar un interruptor para que el motor se ponga en marcha cuando le doy energía al elevador, poner fusibles y protecciones



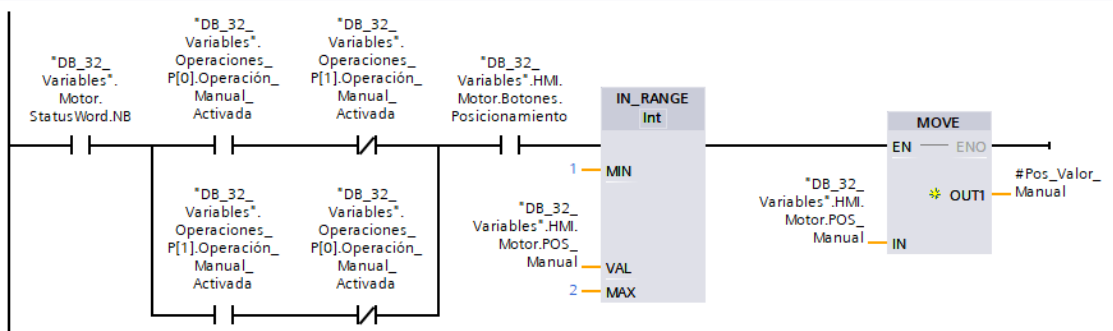
▼ **Segmento 14: Operacion Manual**

servo listo, una llave si y otra no, presionar boton arriba o abajo



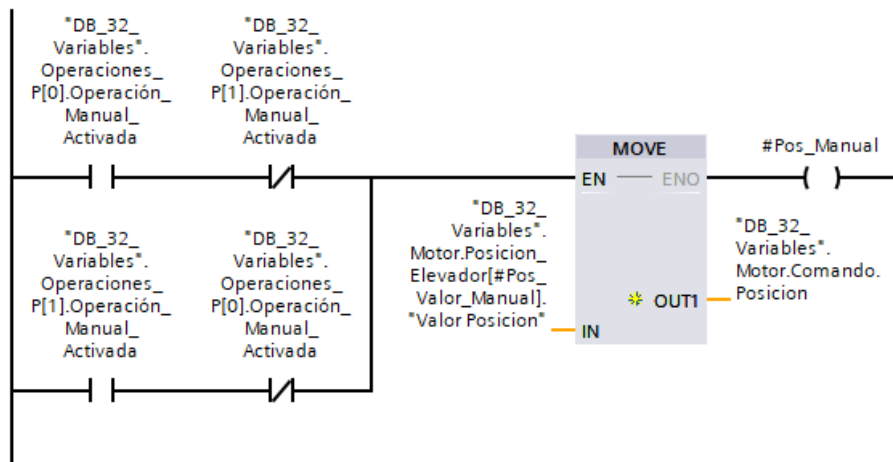
▼ **Segmento 15: Posicion Manual**

cuando yo presiono tiene que ir a tal posicion si la llave esta activada, que vayas a posicion 1 o a 2



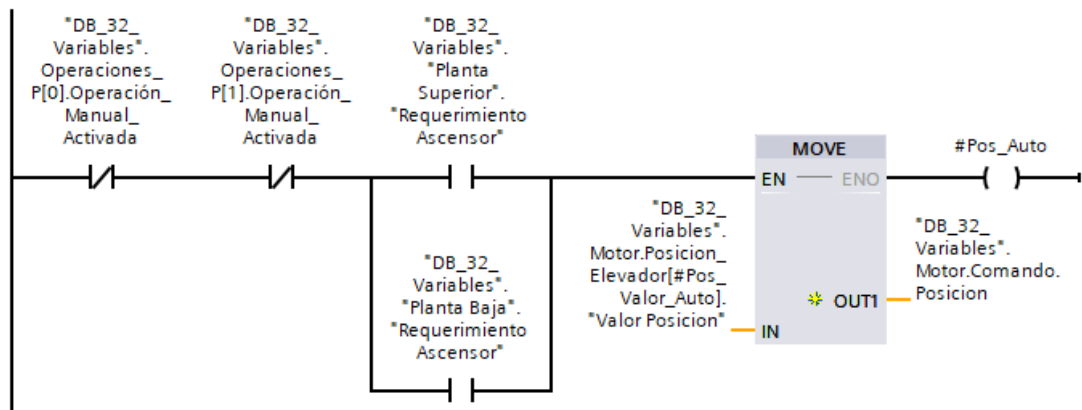
▼ **Segmento 16: Posicionamiento Manual**

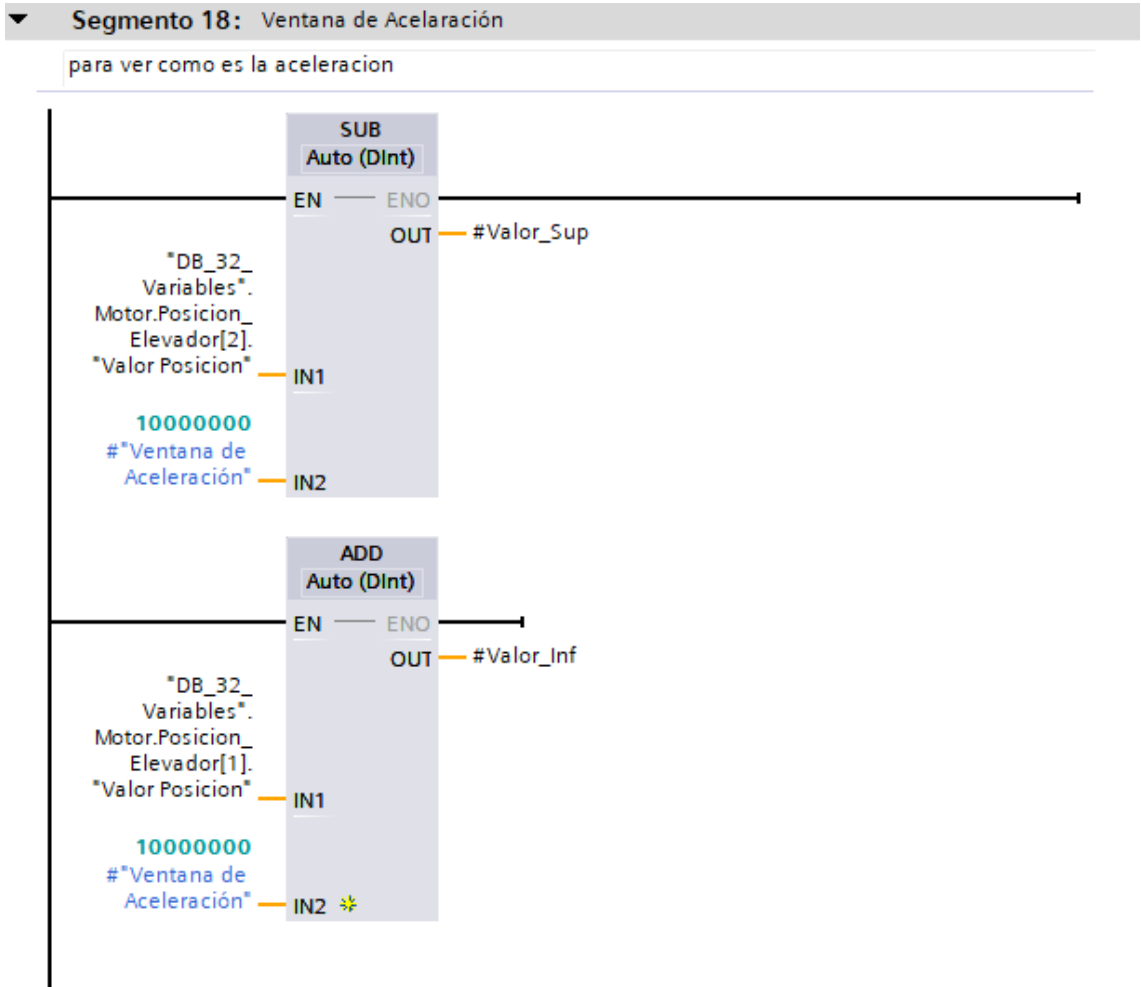
mandar posicion manual al controlador



▼ **Segmento 17: Posicionamiento Automático**

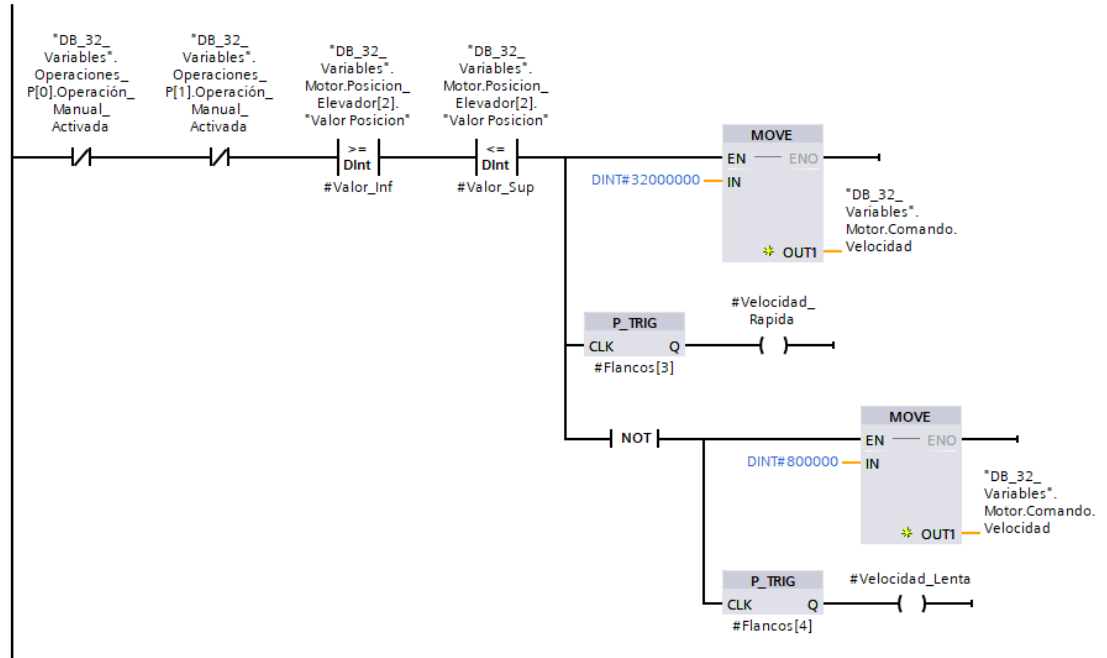
lo mismo que el 16 pero en automatico





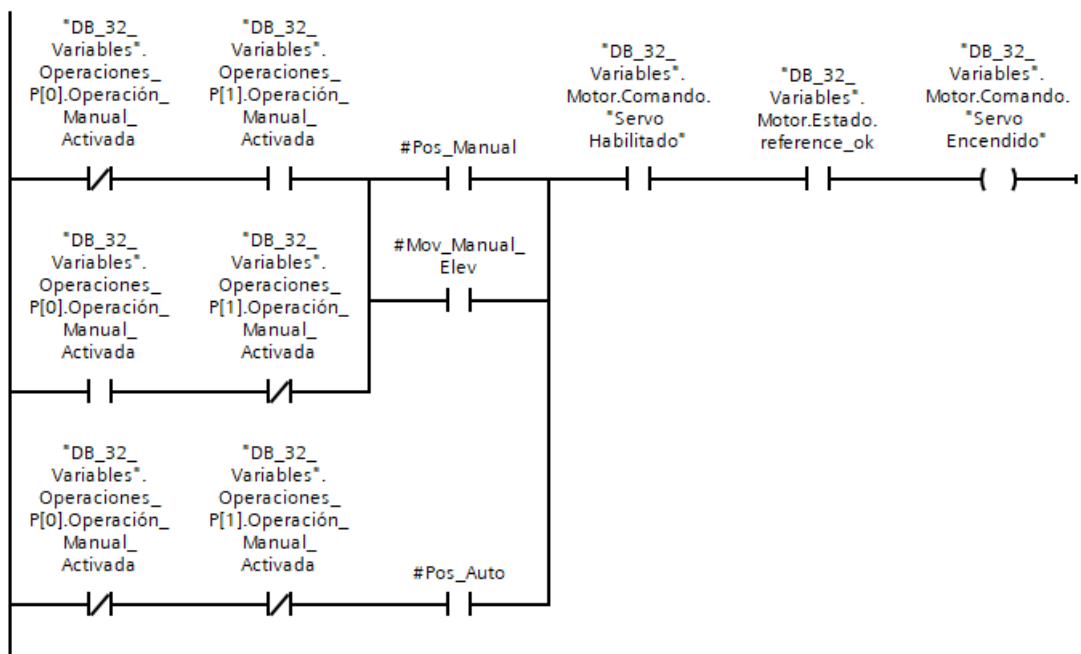
Segmento 19: Velocidad

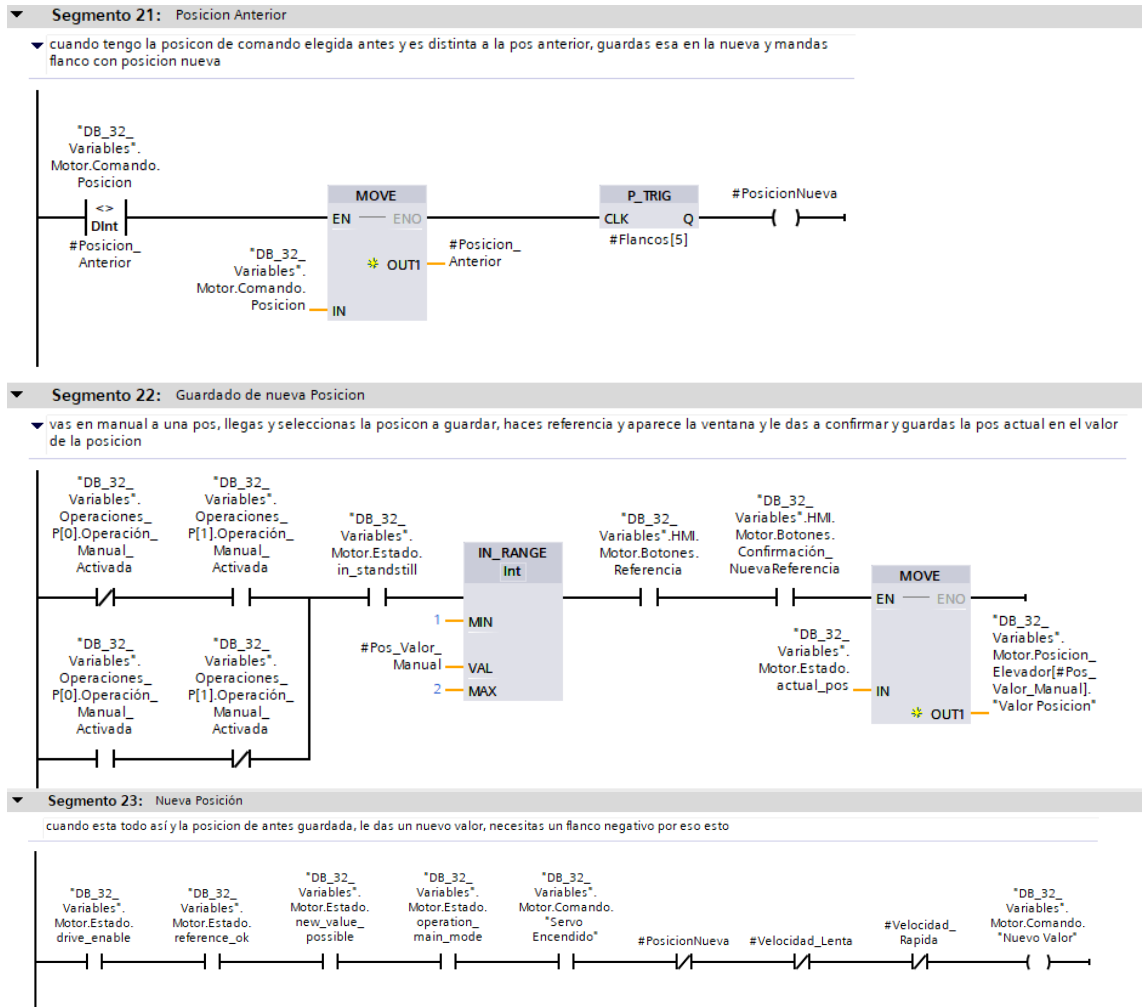
DINT#800000 = 80,0000 mm/min
DINT#32000000 = 3200,0000 mm/min
que velocidad hay, lenta o rapida segun manual o automatico

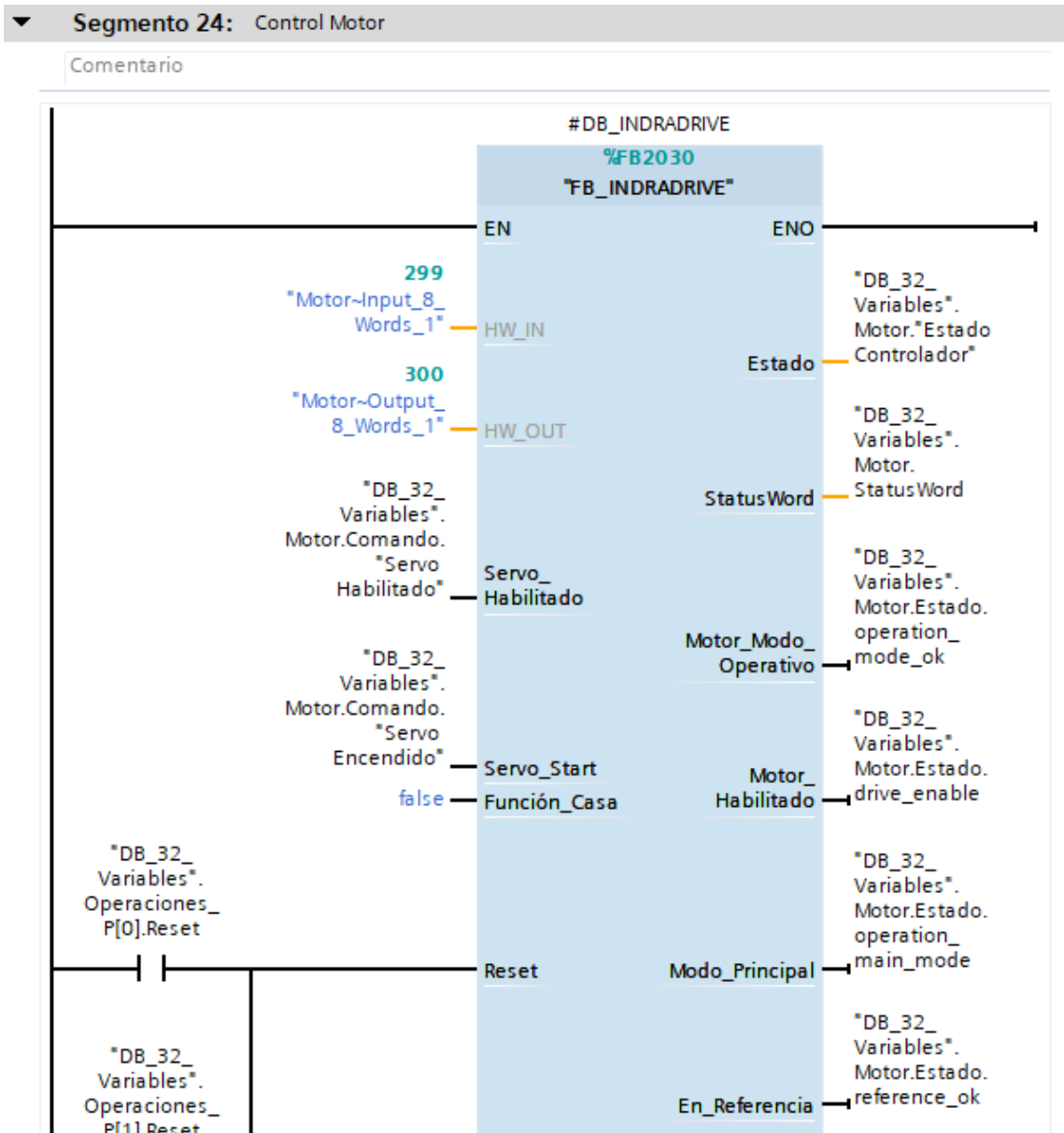


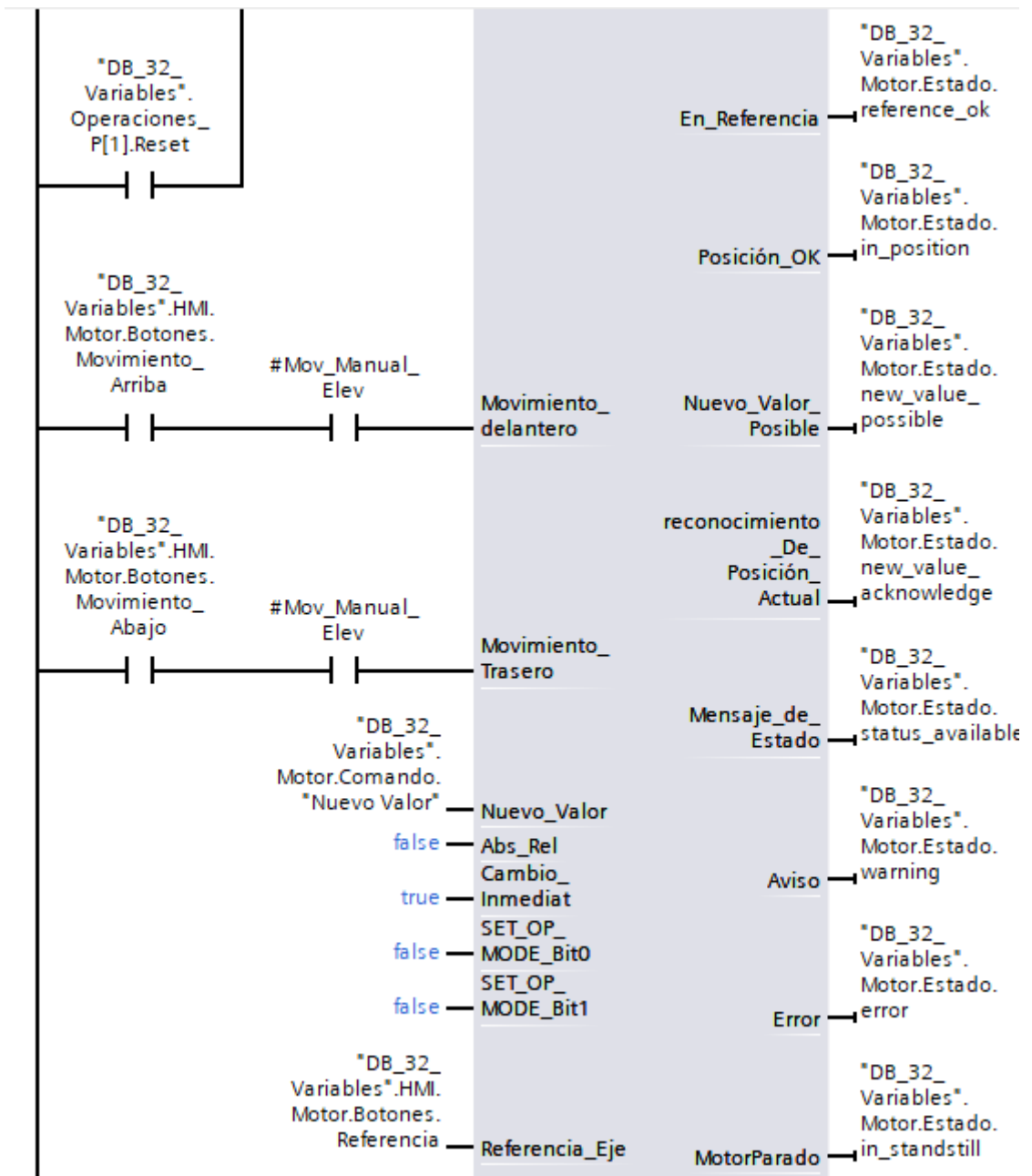
Segmento 20: Comenzar Posicionamiento

una vez sabes la posicion y se dan las condiciones, activas el motor









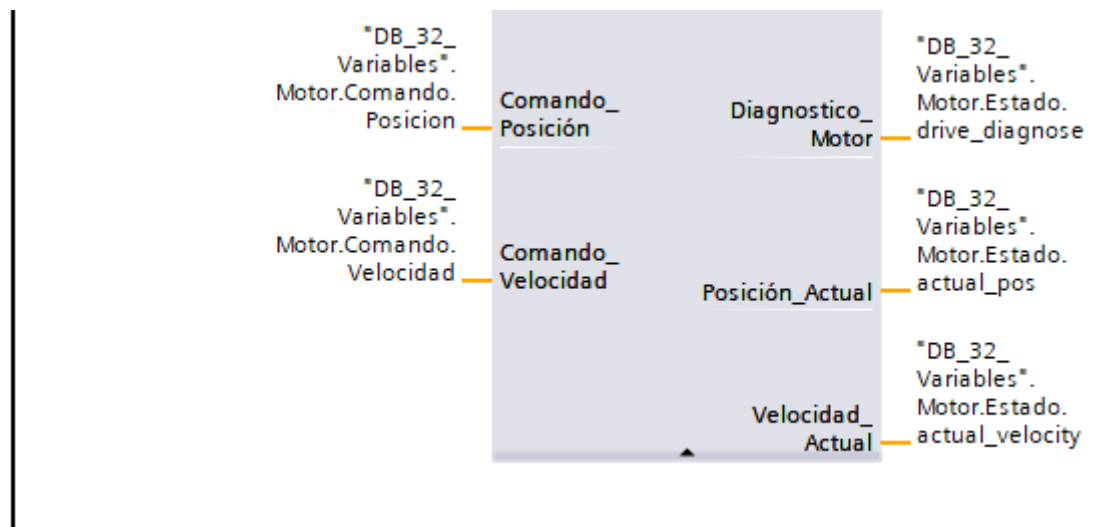


Ilustración 44. Bloques de función

- Biblioteca/Indradrive:

Estará formado por un bloque FC Posicionamiento, en el cuál se programarán las posiciones correctas en función de la altura que tenga cuando se le llame. Dicho código se encuentra vía internet y se ha modificado para el presente proyecto.

```

1 #NumeroPosicionEncontrada := 0;
2
3 IF #Estado_ServoMotor.in_standstill THEN
4   FOR #i := 1 TO "Posiciones del Elevador" DO
5     #DiferenciaPosicion := ABS(#Posiciones[#i]."Valor Posicion" - #Estado_ServoMotor.actual_pos);
6     IF #DiferenciaPosicion <= #Posiciones[#i]."Ventana de Posicion" THEN
7       #NumeroPosicionEncontrada += 1;
8       #Posiciones[#i]."Posicion Alcanzada" := true;
9     END_IF;
10  END_FOR;
11 END_IF;
12

```

Ilustración 45. Indra

A continuación, se programará la programación del Indradrive y de sus parámetros. Se llevará la misma metodología de antes. El código usado ha sido modificado de un código previo para dicho proyecto.

```

1
2  (*Entradas de ProfiNet*)
3  #Valor_Temporal := DPRD_DAT(LADDR := #HW_IN, RECORD => #INDRA_IN);
4
5  (*Estado de las señales del Controlador*)
6  #Index := 0;
7  #Valor_Temporal := Serialize(SRC_VARIABLE := #INDRA_IN, DEST_ARRAY => #Matriz, POS := #Index);
8  #Index := 14;
9  #Valor_Temporal := Deserialize(SRC_ARRAY := #Matriz, DEST_VARIABLE => #StatusWord, POS := #Index);
10
11 (*Fallo de Conexión*)
12 IF #Valor_Temporal <> 0 THEN
13     #Error_Interno := true;
14 END_IF;
15
16 (*----- Estado -----*)
17 #Estado.LF := #Error_Interno;
18 #Estado.P2 := NOT #INDRA_IN.ready_to_operate_Bit0 AND NOT #INDRA_IN.ready_to_operate_Bit1;
19 #Estado.BB := #INDRA_IN.ready_to_operate_Bit0 AND NOT #INDRA_IN.ready_to_operate_Bit1;
20 #Estado.AB := NOT #INDRA_IN.ready_to_operate_Bit0 AND #INDRA_IN.ready_to_operate_Bit1;
21 #Estado.AF := #INDRA_IN.ready_to_operate_Bit0 AND #INDRA_IN.ready_to_operate_Bit1;
22
23 (*----- Operación -----*)
24 #INDRA_OUT.set_operating_mode_Bit0 := #SET_OP_MODE_Bit0;
25 #INDRA_OUT.set_operating_mode_Bit1 := #SET_OP_MODE_Bit1;
26
27 #DCP_INDRADRIVE(DRIVE_ENABLE:=#Servo_Habilitado,
28     DRIVE_START:=#Servo_Start,
29     HOMING:=#Función_Casa,
30     RESET:=#Reset,
31     JOG_FORWARD:=#Movimiento_delantero,
32     JOG_BACKWARD:=#Movimiento_Trasero,
33     NEW_VALUE:=#Nuevo_Valor,
34     ABS_REL:=#Abs_Rel,
35     IMMEDIATE_CHANGE:=#Cambio_Inmediat,
36     POS_CMD:=#Comando_Posición,
37     VEL_CMD:=#Comando_Velocidad,
38     Signalcontrolw:=#INDRA_OUT.wSignalcontrolword,
39     Q_DRIVE_OPERATING_MODE=>#Motor_Modo_Operativo,

```

```

40      Q_DRIVE_ENABLE=>#Motor_Habilitado,
41      Q_MAIN_MODE=>#Modo_Principal,
42      IN_REFERENCE=>#En_Referencia,
43      POS_OK=>#Posición_OK,
44      NEW_VALUE_POSSIBLE=>#Nuevo_Valor_Posible,
45      SETPOS_ACKNOWLEDGED=>#reconocimiento_De_Posición_Actual,
46      STATUS_MESSAGE=>#Mensaje_de_Estado,
47      WARNING=>#Aviso,
48      ERROR=>#Error,
49      IN_STANDSTILL=>#MotorParado,
50      DRIVE_DIAGNOSIS=>#Diagnostico_Motor,
51      POS_ACT=>#Posición_Actual,
52      VEL_ACT=>#Velocidad_Actual,
53      ek_in_drive:=#INDRA_IN,
54      ek_out_drive:=#INDRA_OUT);
55  (*-----*)
56
57  (*----- Referencia del Eje -----*)
58  #INDRA_OUT.Dummy.%X0 := #Referencia_Eje AND NOT #Motor_Habilitado;
59
60  (*-----*)
61
62  (*Salida de Control vía ProfiNet*)
63  #Valor_Temporal := DPWR_DAT(LADDR := #HW_OUT, RECORD := #INDRA_OUT);
64
65  (*Fallo de conexión*)
66  IF #Valor_Temporal <> 0 THEN
67      #Error_Interno := true;
68  END_IF;
69
70  (*Interner Fehler rücksetzen mit dem Reset Signal*)
71  IF #Reset THEN
72      #Error_Interno := false;
73  END_IF;

```

Ilustración 46. Indra programación

Se adjuntan las variables utilizadas para dicho programa.

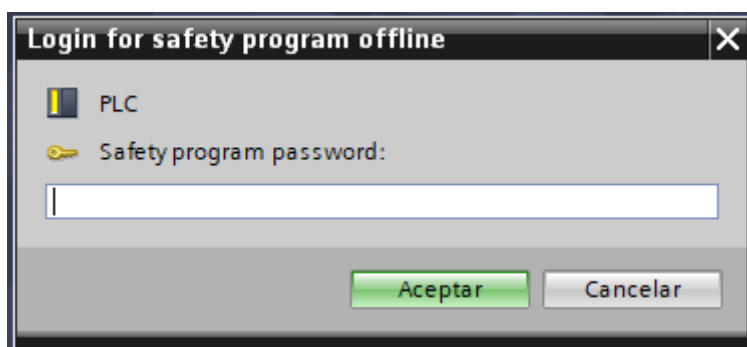
El movimiento del elevador en dicho proyecto no resulta de gran complejidad por lo que las variables utilizadas no son muy numerosas.

Variables PLC										
	Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...	Sup	
1	PB_Sensor_Cierre	Planta Baja	Bool	%I0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
2	PB_Parada_Emergencia	Planta Baja	Bool	%I0.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
3	PB_Sensor_Fuera_límite	Planta Baja	Bool	%I0.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
4	PB_Luz_Verde	Planta Baja	Bool	%Q12.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
5	PB_Luz_Amarilla	Planta Baja	Bool	%Q12.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
6	PB_Luz_Roja	Planta Baja	Bool	%Q12.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
7	PB_Botón_de_Llamada	Planta Baja	Bool	%I11.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
8	PB_Actuador_Cierre	Planta Baja	Bool	%Q6.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
9	P1_Sensor_Cierre	Planta Primera	Bool	%I13.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
10	P1_Parada_Emergencia	Planta Primera	Bool	%I13.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
11	P1_Sensor_Fuera_límite	Planta Primera	Bool	%I13.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
12	P1_Luz_Verde	Planta Primera	Bool	%Q25.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
13	P1_Luz_Amarilla	Planta Primera	Bool	%Q25.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
14	P1_Luz_Roja	Planta Primera	Bool	%Q25.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
15	P1_Botón_de_Llamada	Planta Primera	Bool	%I24.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
16	P1_Actuador_Cierre	Planta Primera	Bool	%Q19.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
17	P1_Inductor_Elevador	Planta Primera	Bool	%I24.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
18	ELV_Parada_Emergencia	Cabina	Bool	%I26.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
19	ELV_Llave_Bloqueo	Cabina	Bool	%I32.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
20	ELV_Sensor_Trampilla_Lateral	Cabina	Bool	%I26.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
21	ELV_Sensor_Trampilla_Superior	Cabina	Bool	%I26.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
22	ELV_FrenoMecanico	Cabina	Bool	%I32.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
23	PB_Sensor_Puerta_Cerrada	Planta Baja	Bool	%I11.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
24	P1_Sensor_Puerta_Cerrada	Planta Primera	Bool	%I24.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
25	PB_Llave_Operación_Manual	Planta Baja	Bool	%I11.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
26	P1_Llave_Operación_Manual	Planta Primera	Bool	%I24.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
27	Algún_Fusible	Default tag table	Bool	%M100.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
28	<Agregar>					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		

Ilustración 47. Variables

Se comprueba que la compilación es correcta y sin ningún error por lo que el programa sería correcto. Tal y como se observa en el programa, se introduce una contraseña de acceso para que ninguna persona ajena a la instalación y totalmente acreditada pueda realizar modificaciones del programa.

Se introduce la contraseña "TFG" como se ve en las imágenes anteriores y se abre el acceso al programa.



En este caso, al tratarse de un software que difiere del original se encuentran problemas a la hora de poder simularlo con el software PLC-SIM (licencias, fallos de conexión, salida

repentina del software, reinicio del sistema operativo, etc) y debido a la ausencia física de un controlador y del resto de componentes no procede comprobación del funcionamiento.

8. CONCLUSIONES Y MEJORAS

8.1 CONCLUSIONES

Una vez realizado el proyecto se observa la gran amplitud de soluciones que puede haber. Resulta de gran complejidad los cálculos de la estructura de manera manual y es necesario un software para ello.

Se observa que una solución como la que se presenta es muy útil sobretodo cuando los aerogeneradores vienen montados de fábrica con esta configuración.

8.2 POSIBLES MEJORAS

Como mejoras a realizar podría existir el perfeccionamiento o cambio de diseño de la estructura general, uso de materiales mas ligeros, diseño de la cabina y mejora del código, con el fin de buscar también un ahorro en el presupuesto.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Avanti. *Elevador de servicio Dolphin de Avanti: una inversión segura*. (Último acceso el 13 de septiembre de 2021). Disponible en: www.avanti-online.com
2. Avanti. *Elevador de servicio de avanti. Manual de usuario. Elevador de servicio-Modelo Pegasus*. (Último acceso el 10 de octubre de octubre de 2021). Disponible en: www.avanti-online.com
3. Avanti. *Elevador de servicio de avanti. Manual de instalación y mantenimiento. Elevador de servicio-Modelo Pegasus*. (Último acceso el 10 de octubre de 2021). Disponible en: www.avanti-online.com
4. Avanti. *Avanti service lift catalogue; 2019*. (Último acceso el 10 octubre de 2021). Disponible en: www.avanti-online.com
5. Avanti. *Elevador de servicio avanti. Modelo: Elevador de servicio BELUGA L; 2018*. (Último acceso el 8 de octubre de 2021). Disponible en: www.avanti-online.com
6. Grúas Torre JASO - Fabricante de grúas torre (Internet). Grúas torre JASO; 2018. (Último acceso el 18 de octubre de 2021). Disponible en: <https://jaso.com/tower/es-es/>

7. Andrés Linares Sánchez y Miguel Lucas Rodríguez. *Montacargas eléctrico de 3000 KG de carga máxima*. Trabajo de fin de grado. Universidad Politécnica de Cartagena; 2014.
8. David Merino Álvarez. *Diseño de un elevador de obra accionado mediante un sistema de piñón-cremallera*. Trabajo de fin de grado. Universidad Carlos III de Madrid; 2015.
9. R-300 Elevador Industrial (Internet). Gruposesa.com. (Último acceso el 3 de noviembre de 2021). Disponible en: https://www.gruposesa.com/catalogos/pdf/R-300_ESP.pdf
10. Avanti. *Avanti tower internals - A safe investment*. (Último acceso el 13 de septiembre de 2021). Disponible en: www.avanti-online.com
11. Conchello Moreno José Ángel. WO2006051125A1. *Elevador para aerogeneradores*. (Internet). Patents.google.com. 2006 (Último acceso el 9 de octubre de 2021). Disponible en: <https://patents.google.com/patent/WO2006051125A1/es>
12. Tecnopower | Transmisión y Movimiento Lineal (Internet). Tecnopower; 2010 (Último acceso el 20 de noviembre de 2021). Disponible en: <https://www.tecnopower.es/>
13. Nuestros Parques [Internet]. Cetasaolica.com. [Último acceso el 24 de noviembre de 2021]. Disponible en: <http://www.cetasaolica.com/nuestros-parques/>
14. Eoliccat.net. [Último acceso el 24 de noviembre de 2021]. Disponible en: <http://eoliccat.net/principios-de-la-energia-eolica/como-funciona-un-aerogenerador/?lang=es>
15. ¿Qué es un aerogenerador y cómo funciona? [Internet]. Acciona.com. [Último acceso el 24 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-eolica/aerogeneradores/>
16. Garrido SG. Clasificación de aerogeneradores [Internet]. Mantenimientodeaerogeneradores.com. [Último acceso el 24 de noviembre de 2021]. Disponible en: <http://www.mantenimientodeaerogeneradores.com/index.php/clasificacion-de-aerogeneradores>
17. Portillo G. Aerogenerador vertical [Internet]. Renovables Verdes. 2021 [Último acceso el 24 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.renovablesverdes.com/aerogeneradores-verticales/>

18. Eólico [Internet]. Jasoelevationsystems.com. [Último acceso el 24 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://jasoelevationsystems.com/es-es/productos/wind-power/>

19. Elevadores de servicio guiados por sirga [Internet]. Avanti-online.com. [Último acceso el 24 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://es.avanti-online.com/productos/elevadores-de-servicio-guiados-por-sirga>

20. Reductor coaxial - Neugart GmbH [Internet]. Neugart.com. [Último acceso el 24 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.neugart.com/es/conocimiento-practico/reductor-coaxial>