



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Electrónica, Industrial y Automática

**Desarrollo de proyecto I+D+i: Puerta
Bioclimática Autoeficiente. Banco de pruebas
para puertas de grandes dimensiones.**

Autor:

Pacheco Terán, Adrián

Valladolid, junio 2020

Agradecimientos

A mi tutor, José Juan Segovia, por ser la guía a lo largo de este proyecto.

A la empresa Automatinfo y todo su personal por su acogida, oportunidad, paciencia y ayudada brindadas.

A mis compañeros de clase por ser unos perfectos acompañantes en este bonito viaje.

A mi familia, pareja y amigos por su apoyo y cariño incondicional.

Resumen

En el ámbito industrial, debido al imparable desarrollo de la Industria 4.0, el campo de la investigación tiene un gran valor e importancia para el avance de la tecnología empleada. El objetivo principal de este proyecto es diseñar una instalación de investigación, desarrollo e innovación, en forma de banco de pruebas, que consiste en una puerta de tres sectores para la ingeniería de puertas de grandes dimensiones.

La metodología empleada se basa en una integración modular de distintas tecnologías de comunicación, sensores de posicionamiento con diversas aplicaciones y un sistema bioclimático y autosuficiente para el control de condiciones ambientales y generación de energía eléctrica. Este diseño permite ensayar individualmente con las distintas tecnologías empleadas en la instalación.

La red de comunicación entre autómatas está basada en tecnología Profinet y utiliza diferentes métodos de comunicación. Con el fin de corregir algunos problemas frecuentes en el uso de sensores de posicionamiento de puertas, se ha empleado una novedosa disposición y gestión. Además, se dota a la instalación de un sistema bioclimático para el control de las condiciones ambientales del recinto y de un sistema de autosuficiencia para la generación de energía eléctrica mediante el empleo de elementos fotovoltaicos.

Abstract

Given the scope of the industry, due to the increasingly developed Industry 4.0, the field of research has great value and importance for the advancement of the technology used. The main objective of this project is to design a research, development and innovation facility in the form of a test bench based on a three-sector door for the large-scale door industry.

Following a modular integration of elements, this installation consists of different communication technologies, positioning sensors with diverse applications and a bioclimatic and self-sufficient system for the control of environmental conditions and generation of electrical energy.

The industrial network is based on Profinet technology and uses different communication methods. In order to solve some common problems in the use of door positioning sensors, an original arrangement and management has been used. In addition, the installation is equipped with a bioclimatic system to control the environmental conditions of the enclosure and a self-sufficiency system for the generation of electrical energy through the use of photovoltaic elements.

Palabras clave

Banco de pruebas, industria de puertas de grandes dimensiones, diseño modular, automatización, comunicación industrial.

Índice

1. Introducción y objetivos	11
2. Automatización y comunicación	15
2.1 Estructura general de la instalación.....	15
2.1.1 Interior del recinto	16
2.1.2 Exterior del recinto.....	17
2.1.3 Sectores 1, 2 y 3	18
2.1.4 Cableado y Carril Vahle	18
2.1.5 Armario Central	21
2.2 Estructura de automatización y comunicación.....	23
2.2.1 Tecnologías de comunicación empleadas.....	24
2.2.2 Sensores y posicionamiento.....	33
2.3.3 Sistemas bioclimático y de autosuficiencia.....	48
2.3.4 Dispositivos empleados	50
3. Desarrollo del proyecto	66
3.1 Formación inicial.....	66
3.2 Desarrollo del proyecto eléctrico	67
3.3 Desarrollo de la automatización de la instalación.....	72
3.4 Desarrollo de la documentación.....	78
4. Funcionamiento de la puerta y presupuesto.....	81
4.1 Funcionamiento final de la instalación	81
4.1.1 Modo manual.....	81

4.1.2 Modo semiautomático.....	83
4.1.3. Modos especiales de funcionamiento	88
4.1.3. Diálogo Hombre-Máquina.....	89
4.2. Estudio económico	98
4.2.1. Metodología.....	98
5. Conclusiones.....	103
6. Bibliografía	106

Índice de figuras

Figura 1. Esquema general de la instalación	16
Figura 2. Elementos del interior del recinto	17
Figura 3. Elementos del exterior del recinto.....	18
Figura 4. Croquis de funcionamiento carril Vahle (1).....	19
Figura 5. Croquis de funcionamiento carril Vahle (2).....	19
Figura 6. Croquis de funcionamiento carril Vahle (3).....	19
Figura 7. Detalle de carril Vahle con tomacorrientes	20
Figura 8. Sección del carril Vahle empleado	20
Figura 9. Detalle del tomacorrientes.....	21
Figura 10. Esquema armario central.....	23
Figura 11. Esquema de la red de comunicaciones de la instalación	24
Figura 12. Detalle de los tipos de comunicación empleados en la instalación	25
Figura 13. PSB-S conectada a CPU y detalle de sus alimentaciones	29
Figura 14. Detalle de conexión entre PSB-S y PSB-C	30
Figura 15. Detalle cable RCoax y propagación de ondas	32
Figura 16. Estructura interna cable RCoax	33
Figura 17. Esquema de elementos del Sector 1	35
Figura 18. Detalle de tranpondedores y lector RFID	36
Figura 19. Esquema mecánico del lector SIMATIC RF240R	37
Figura 20. Esquema de instalación de un transpondedor en metal	38
Figura 21. Imagen de un detector inductivo IFM ID5055.....	39
Figura 22. Imagen de una fotocélula de seguridad O5H500	40
Figura 23. Detalle de la estructura interna de una Banda Mayser, (1) perfil de goma, (2) contacto de seguridad, (3) perfil de aluminio.	41
Figura 24. Esquema de elementos del Sector 2	42
Figura 25. Imagen de un telémetro IFM O1D100.....	43
Figura 26. Imagen de una guía lineal SMC modelo LEFB	44

Figura 27. Esquema de elementos del Sector 3	45
Figura 28. Imagen del encóder incremental IFM RVP510	46
Figura 29. Imagen de un sensor de temperatura PT100.....	47
Figura 30. Imagen de resistencia LDR.....	48
Figura 31. Detalle del sistema bioclimático del Sector 2	49
Figura 32. Detalle del sistema autosuficiente. Lugar de colocación del panel solar indicado en azul.....	50
Figura 33. Detalle de la CPU 1214FC y sus bornes de conexión.....	52
Figura 34. Imagen del módulo SM 1226 F-DI 16x24V DC	52
Figura 35. Detalle de un módulo SCALANCE W780	54
Figura 36. Esquema de conexión de un cable RCoax a un punto de acceso	55
Figura 37. Imagen HMI KTP 600 Basic-Mono	56
Figura 38. Módulo SM 1226 F-DQ 4x24V DC y bornes de conexión	57
Figura 39. Módulo PSB-C y bornes de conexión	58
Figura 40. Detalle del módulo de comunicación RF120C.....	59
Figura 41. Pineado de la interfaz RS422 del módulo RF120C.....	59
Figura 42. Esquema de conexiones del módulo DI 8x24VDC ST de la ET200SP..	61
Figura 43. Esquema de conexiones del módulo AI 2XI 2-/4-wire ST de la ET200SP	62
Figura 44. Sinóptico de cables proyecto eléctrico	68
Figura 45. Distribución general del armario central del proyecto eléctrico.....	69
Figura 46. Alimentación y configuración CPU armario central.....	70
Figura 47. Conexionado de las entradas digitales de la CPU central del proyecto eléctrico	71
Figura 48. Implantación de armario central del proyecto eléctrico	72
Figura 49. Estructura del programa de autómatas de la CPU central.....	74
Figura 50. Estructura de la palabra PSB_S_VALUE.....	75
Figura 51. Estructura de la palabra PSB_S_DIAG.....	75
Figura 52. Bloque de gestión de comunicación PSB_S_CTRLRAIL.....	76

Figura 53. Gestión parada de seguridad de la instalación en el programa de seguridad	77
Figura 54. Estructura de programa de la CPU del Sector 1	77
Figura 55. Estructura del dato RFID IdentData	78
Figura 56. Esquema de situación de los sectores con apertura de hueco 1	84
Figura 57. Esquema de situación de los sectores con apertura de hueco 2	84
Figura 58. Esquema de situación de los sectores con apertura de hueco 3	85
Figura 59. Esquema de situación de los sectores con apertura de hueco 4	85
Figura 60. Esquema de situación de los sectores con apertura de hueco 5	86
Figura 61. Esquema de situación de los sectores con apertura de hueco 6	87
Figura 62. Plantilla de imágenes para el HMI	91
Figura 63. Pantalla principal del HMI	92
Figura 64. Pantalla de selección del HMI	93
Figura 65. Pantalla de posición del HMI	94
Figura 66. Pantalla de defectos del HMI	94
Figura 67. Pantalla de movimiento de puerta embarcada del HMI	96
Figura 68. Pantalla de configuración del HMI	97

1. Introducción y objetivos

El trabajo presentado en esta memoria recoge el desarrollo del proyecto I+D+i impulsado por la Junta de Castilla y León con número de expediente 04/18/VA/0017 y título "Desarrollo de primer sistema de apertura inteligente autoportado con eficiencia energética. Puerta Bioclimática.". El trabajo, presenta la construcción completa de una puerta que servirá como banco de pruebas para una empresa de ingeniería dedicada a la fabricación de puertas de grandes dimensiones.

Las puertas de grandes dimensiones son puertas típicas de un entorno industrial con la necesidad de cubrir grandes superficies. Quizás la aplicación más extendida y conocida se da en el sector aeronáutico, en concreto, como puertas de hangares de aviones, helicópteros o globos aerostáticos. Como en otras aplicaciones, pero quizás más específicamente en ésta, se ha de tener un especial cuidado con los posibles atrapamientos, fallos de funcionamiento y mantenimiento de la estructura. Además, su apertura o cierre pueden llegar a causar diferencias de presión elevadas o entradas de fuerte viento en lugares con condiciones extremas que pueden dañar tanto la estructura de la puerta como las posibles aeronaves o estructuras internas del hangar o nave.

Debido a su gran tamaño, peso e inversiones presupuestarias, este tipo de estructuras tienen características especiales y tanto su cálculo, diseño, como mantenimiento son muy importantes si se pretende aumentar su vida útil. Este es uno de los motivos que justifican la necesidad de tener un banco de pruebas completo al servicio de la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías o métodos. Por ello, la instalación contará con diversos métodos de comunicación, de posicionamiento y otras tecnologías y dispositivos para valorar su viabilidad, necesidad o funcionamiento en una posterior aplicación real. Por ello, el proyecto dotará a una ingeniería de puertas de una estructura versátil, modular y fácilmente actualizable o modificable.

Como descripción general, se trata de una puerta de tres sectores comandados desde un armario de control central. La puerta cuenta con seis metros de luz y sectores de 1,5 m de ancho y 2,5 m de alto, encontrándose en la

instalación un hueco de 1,5 m utilizado como almacén de puertas en su apertura. El tamaño de la misma es notablemente más pequeño que los modelos industriales por su carácter de banco de pruebas en el que se busca rentabilizar la inversión.

Cada sector cuenta con su propio armario embarcado dedicado a su gestión, control y comunicación con el armario central. Cada uno, tiene un método de comunicación con el armario central distinto: Power Signal Booster (PSB), Wifi Industrial mediante el uso de cable radiante (RCOAX Cable) y Profinet (cable Profinet colgado). Para completar la instalación, también se dispone de una serie de autómatas, periferia descentralizada, sensorería, actuadores, pulsanería y una interfaz táctil (IHM).

Uno de los sectores permite definir la instalación como puerta *bioclimática*. En este sector se instalarán una serie de lamas controladas por una guía lineal que, en función de las señales recibidas por sensores de temperatura y luminosidad tanto exteriores como interiores, se ajustan para mantener las condiciones ambientales constantes en el interior o para realizar aperturas de las puertas con seguridad, evitando flujos de aire demasiado grandes o diferencias de presión que puedan poner en peligro la estructura.

Para lograr la autosuficiencia energética, el proyecto inicial contemplaba el estudio de aplicación de una pintura de Perovskita, material fotovoltaico de última generación, que permita generar la suficiente electricidad para la alimentación de los elementos encargados del movimiento y gestión de la puerta. Este material se encuentra en amplio estudio y algunas investigaciones [1] [2], muestran los avances y características que se van encontrando. De todos ellos, el hito más importante alcanzado hasta hoy es el del nuevo récord mundial de eficiencia de conversión de energía fotovoltaica lograda por Oxford PV, empresa asociada a la Universidad de Oxford, que alcanzó un 28% de eficiencia. Uno de los aspectos más interesantes de este material es su capacidad para formar finas capas de material fotovoltaico que pueden llevar a la construcción de paneles flexibles, muy finos, de bajo peso o incluso se plantea su inclusión en pintura de manera que se pueda crear una pintura fotovoltaica.

No obstante, finalmente el uso de Perovskita se desestimó por los últimos informes negativos recibidos sobre la misma en relación con su limitada vida útil

de aproximadamente 1000 horas. Según el propio Henk Bolink en [3]: "El silicio ha demostrado más de 20 años de vida útil. Por lo que respecta a la Perovskita, algunos grupos de investigación han demostrado un tiempo de vida máximo de 1.000 horas". Por ello, se sustituyó la perovskita por el uso de una placa fotovoltaica de silicio estándar capaz de generar la energía eléctrica necesaria para la gestión y el movimiento de la puerta.

El proyecto se divide en varios apartados como son: su electrificación o diseño eléctrico, su automatización y su documentación final.

Los objetivos que se persiguen cumplir con el desarrollo de este proyecto son estos cinco:

- La creación de una instalación modular para su actuación como banco de pruebas de distintas tecnologías de aplicación en el campo de la ingeniería de puertas de grandes dimensiones.
- El diseño y creación de una red de comunicación de entorno industrial basada en tecnología Profinet para un aprendizaje sobre distintas soluciones y la posibilidad de probar estas tecnologías una vez finalizado el proyecto analizando su viabilidad.
- La utilización de distintos métodos de posicionamiento de elementos impulsados a motor en entorno industrial tratando de solucionar los problemas frecuentes que se dan en los sistemas más utilizados.
- Dotar a la instalación de un sistema bioclimático que permita el control de las condiciones ambientales en el interior del recinto que delimita.
- Lograr la autosuficiencia energética de la instalación mediante la incorporación de paneles fotovoltaicos que pretendan garantizar la generación de energía eléctrica suficiente para cubrir las necesidades del sistema.

2. Automatización y comunicación

En este apartado, se ofrece una visión completa de la estructura de la instalación. Además, también se explica con gran detalle la red de comunicaciones, los sensores y el funcionamiento de las distintas tecnologías empleadas.

2.1 Estructura general de la instalación

Se trata de una puerta con tres sectores dominada por un armario central que gestiona la instalación al completo. Por su carácter de banco de pruebas y con el ánimo de dotar a la instalación de una mayor versatilidad, la puerta tiene dos modos de utilización. El primero de ellos dispone cada sector en un carril distinto, mientras en el otro modo, dos sectores comparten un mismo carril. Por su carácter general, este apartado introduce muchos elementos de la instalación que serán detallados en sucesivos capítulos de esta memoria.

En la figura 1 se puede ver un esquema de la instalación completa. En ella, se observan las distintas partes en las que podemos dividir la misma y que son:

- **Interior del recinto.** Cuenta con los sensores y actuadores generales que permiten conocer el estado tanto de la puerta, como de las condiciones ambientales existentes en el interior.
- **Exterior del recinto.** Lugar dónde se sitúan los dos sensores de condiciones ambientales en la parte externa de la puerta.
- **Sectores 1, 2 y 3.** Forman el conjunto mecánico de la puerta y cuentan con armarios embarcados que recogen las distintas señales necesarias para el correcto funcionamiento de la instalación, así como su gestión. La periferia descentralizada y los distintos sensores y actuadores completan estos tres elementos.
- **Cableado y Carril Vahle.** Unidos a sus distintas estructuras mecánicas, se encargan de transmitir tanto las señales de comunicación, como las señales de potencia de la instalación a todos los puntos de la misma.

- **Armario central.** Encargado de gestionar toda la red de comunicación de la instalación. También dota al sistema del interfaz hombre-máquina para el manejo de la puerta y su mantenimiento.

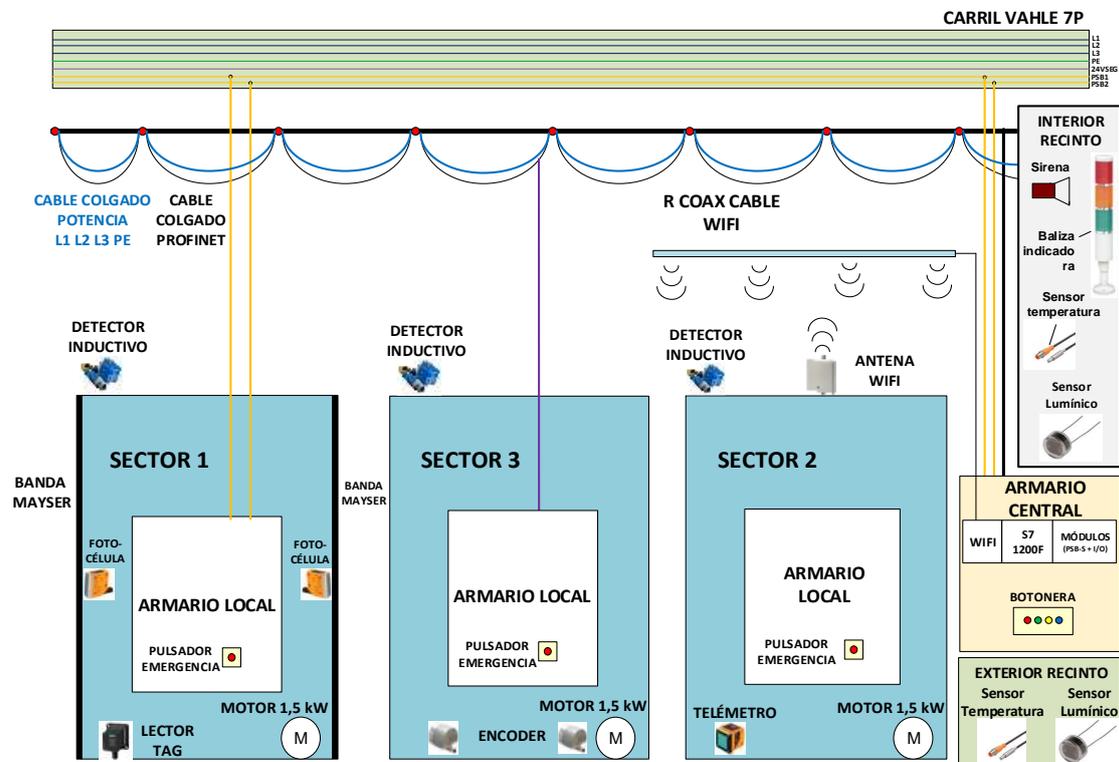


Figura 1. Esquema general de la instalación

Para el movimiento de cada sector, se cuenta con un motor de 1,5 kW sobredimensionado para el tamaño y peso de cada sector.

2.1.1 Interior del recinto

En el interior del recinto delimitado por la puerta vamos a contar con dos importantes actuadores. Se trata de la sirena y la baliza indicadora, como podemos ver en el detalle del sinóptico de la figura 2. Su función es informativa y de seguridad.

La sirena se encarga de emitir señales acústicas audibles en toda la zona de influencia de la puerta. Permite reconocer fácilmente si la puerta tiene algún fallo, está en movimiento o ha ocurrido una parada de emergencia.

De manera similar, pero mediante señales luminosas, la baliza indicadora cuenta con tres luces, rojo, naranja y verde, que también actúan a modo de elemento de información y seguridad. Sigue su propio código de colores, diseñado específicamente para esta aplicación.



Figura 2. Elementos del interior del recinto

Como se puede ver en la figura 2, también se recogen del interior su señal de temperatura y la intensidad de luz. Como veremos más adelante, estas señales se envían directamente al armario central para la gestión del sector bioclimático que comparará las condiciones ambientales internas, externas y las deseadas para actuar de la manera estipulada en cada caso tratando de ajustar así el valor de las mismas.

2.1.2 Exterior del recinto

Del exterior del recinto se recogen dos señales básicas para el funcionamiento del sistema bioclimático. Se trata de las señales de temperatura y luminosidad exterior que serán utilizadas para su posterior tratamiento en el proceso de control correspondiente. La descripción de los sensores empleados se presenta en el apartado 2.2.2. Sensores y posicionamiento.

En la figura 3, se recoge el detalle del sinóptico de esta zona que cuenta con estos dos elementos clave en la gestión del sistema bioclimático, sin el que no sería posible llevar a cabo dicho procedimiento.



Figura 3. Elementos del exterior del recinto

2.1.3 Sectores 1, 2 y 3

Están compuestos por cada una de las hojas de la puerta y todos los elementos de los que disponen para su control y actuación, figura 1. Por la aplicación del proyecto como banco de pruebas, cada sector es distinto a los demás integrando todos ellos en una instalación lo que conlleva un ejercicio de coordinación entre las comunicaciones y distintas tecnologías empleadas tanto para la transmisión de datos como para la medición de variables.

Reciben y envían los datos y la potencia a través del Carril Vahle o el cable colgado en el caso del Sector 3.

Todos ellos cuentan con un armario embarcado para la recepción, tratamiento y envío de información sobre su estado o actuaciones. En este armario también se puede encontrar un pulsador de emergencia igual que el del armario central y debidamente señalizado.

2.1.4 Cableado y Carril Vahle

Este apartado, hace referencia a los dos sistemas de envío de información y potencia por cable del proyecto. Conectan el armario central con los distintos sectores para un correcto reparto de estas señales.

El primer sistema, se utiliza para conectar el Sector 3 con el Armario Central. Se trata de un cable colgado sobre un carro portacables. Esta estructura se compone de los cables unidos a varios pivotes. Estos, son

ruedas encajadas en la estructura fija sobre la que se mueven libremente de manera lineal. Así, se tiene una estructura que acompaña el movimiento de la puerta mediante el desplazamiento de estas ruedas que se recogen o extienden en función del mismo. Un ejemplo de su funcionamiento en forma de esquema se recoge en las figuras 4, 5 y 6.

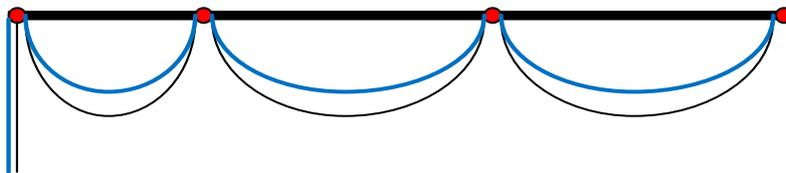


Figura 4. Croquis de funcionamiento carril Vahle (1)

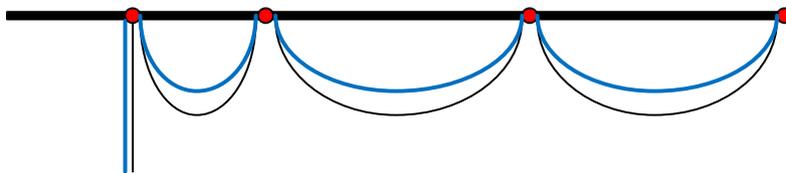


Figura 5. Croquis de funcionamiento carril Vahle (2)



Figura 6. Croquis de funcionamiento carril Vahle (3)

Se puede ver en la imagen 4, la posición del sistema desplazado hasta el extremo opuesto de la instalación, con los pivotes en sus posiciones más alejadas. En la imagen 5, el sistema se ha cerrado parcialmente comenzando a desplazarse la primera de las ruedas hacia el punto de recogida del sistema. En la imagen 6, se puede ver como unas ruedas arrastran a las siguientes de manera que el cableado se va recogiendo permitiendo llegar a la puerta al extremo opuesto del que se partía.

Por su parte, el Carril conductor Vahle es un sistema de transferencia de datos y energía para aplicaciones industriales móviles patentado por la empresa Vahle.

En el caso concreto de esta aplicación, se emplea un carril Vahle MKHD de siete polos, como el de la figura 7. Se trata de tres polos de potencia, una tierra, un neutro y los dos cables de datos del sistema Power Signal Booster.



Figura 7. Detalle de carril Vahle con tomacorrientes

En la figura 8 aparece la sección del Carril Vahle empleado definido en su manual [4]. Los siete polos no son más que siete pletinas de cobre con secciones de 10 mm^2 . Puede alcanzar una intensidad de hasta 63 A y cuenta con dos elementos más muy importantes.

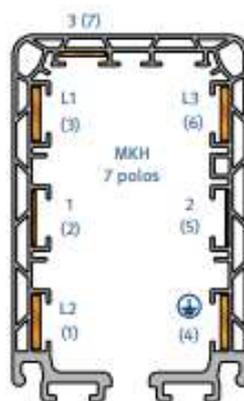


Figura 8. Sección del carril Vahle empleado

El primero de estos elementos es la caja de conexión a red. Es la caja que se encuentra en uno de los extremos y toma la tensión o señales de

datos a enviar por el carril. Sus señales se conectan directamente a las pletinas de cobre que transmiten la tensión a lo largo de todo el carril.

Por otro lado, aparece el tomacorrientes que puede observarse en la figura 9. Puede utilizarse uno individual o uno doble y ya están prefabricados con el número de polos debido para cada caso. Toman la corriente del carril mediante el uso de escobillas con ataque por resorte. Cuentan además con una caja de bornes para realizar el conexionado entre la instalación y las escobillas del tomacorrientes.



Figura 9. Detalle del tomacorrientes

En esta instalación, se deben utilizar tomacorrientes dobles por recomendación del propio fabricante cumpliéndose varios de los casos en los que se recomienda el uso de tomacorriente doble como, por ejemplo, la transmisión de señales de datos.

2.1.5 Armario Central

Es el lugar en el que se reciben las señales generadas en la instalación, gestiona su funcionamiento y mantenimiento y llevar a cabo la acción bioclimática. Se podría definir como el centro de operaciones y sus funciones principales son las de recogida de información, gestión de la

misma y aplicación de los mecanismos de funcionamiento y mantenimiento de toda la instalación.

Recibe la potencia de la acometida general de manera directa y reparte la misma a los demás puntos de la instalación vía Carril Vahle y cable colgado, como también ocurre con las distintas señales de comunicación. Esta acometida es trifásica, de 380 Voltios y cuenta con los tres cables de potencia, un neutro y una tierra. Esta acometida y otros elementos de carácter eléctrico que se encuentran en el armario central se presentan en el apartado 3.2.Desarrollo del proyecto eléctrico-

En el caso de los elementos de automatización, se ha optado por la marca Siemens. Esta elección viene favorecida por la familiaridad con estos elementos y su programación en la empresa, por su enorme implantación en la mayoría de ambientes industriales, por su relativa facilidad de programación y acoplamiento de distintos elementos, gracias a sus herramientas de programación de software intuitivas y su amplia variedad de dispositivos. Como podemos ver en los informes de la propia empresa Siemens [5], los ingresos totales fueron en 2019 de 87 mil millones de euros, siendo la sección de automatización industrial la más rentable. Los detalles de los mismos serán expuestos con detalle en el apartado 2.2.Estructura de automatización y comunicación.

Cuenta con una conexión directa a la sirena y baliza de la instalación, que actúan como informadores o indicadores del estado de la puerta y a las señales de temperatura y luminosidad del interior del recinto.

Los últimos elementos a tener en cuenta del armario son, tanto el pulsador de emergencia, como la botonería de manejo de la puerta. Se decidió utilizar estos botones físicos por su manejo más sencillo, su mayor nivel de seguridad y una rápida y fácil reparación en caso de fallo.

En la figura 10 se puede ver el esquema del armario central completo.

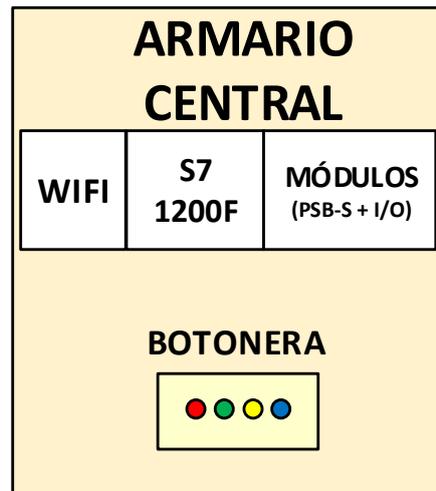


Figura 10. Esquema armario central

2.2 Estructura de automatización y comunicación

La red de comunicaciones de la instalación emplea autómatas y periferia descentralizada para el manejo de datos proporcionados por los sensores, pulsadores y actuadores de la misma. Las tecnologías de comunicación empleadas son distintas para cada sector y su definición completa se puede encontrar en el apartado 2.2.2. Tecnologías de comunicación empleadas.

Los autómatas son ordenadores que procesan una serie de variables o datos de entrada para generar salidas. Están programados de manera secuencial y de esta forma ejecutan sus instrucciones. Para la obtención de datos necesitan de módulos de entradas y/o salidas adyacentes o descentralizados.

La periferia descentralizada es, según [6], un sistema que permite situar dispositivos de entrada y/o salida lejos de un autómata o CPU central con el fin de ahorrar cableado, evitar interferencias electromagnéticas o lograr una instalación de tamaño más reducido y con una distribución más sencilla. Estos dispositivos se conectan a un controlador de nivel superior, CPU, a través de un bus de campo.

Tanto el uso de autómatas, cómo de periferia descentralizada hacen que el sistema sea un sistema flexible, modular y fácilmente modificable. Con solo añadir o eliminar módulos la estación puede variar su número de señales de datos sin mayor limitación que la propia del autómata que la gestiona.

El esquema general de la red de comunicación aparece en la figura 11, en ella, se aprecian las cuatro zonas que componen la instalación y la interconexión que existe entre los distintos dispositivos de cada una. Se trata de una red Profinet multipunto con topología de bus. Además, cuenta con un autómata maestro que controla el resto de la instalación, dos sistemas de periferia descentralizada, que dependen directamente de la CPU maestra, y un autómata de nivel inferior que actúa como una especie de actuación productor-consumidor en el que el autómata descentralizado recibe órdenes de actuación del maestro, aunque también envía información al mismo sobre su estado y acciones.

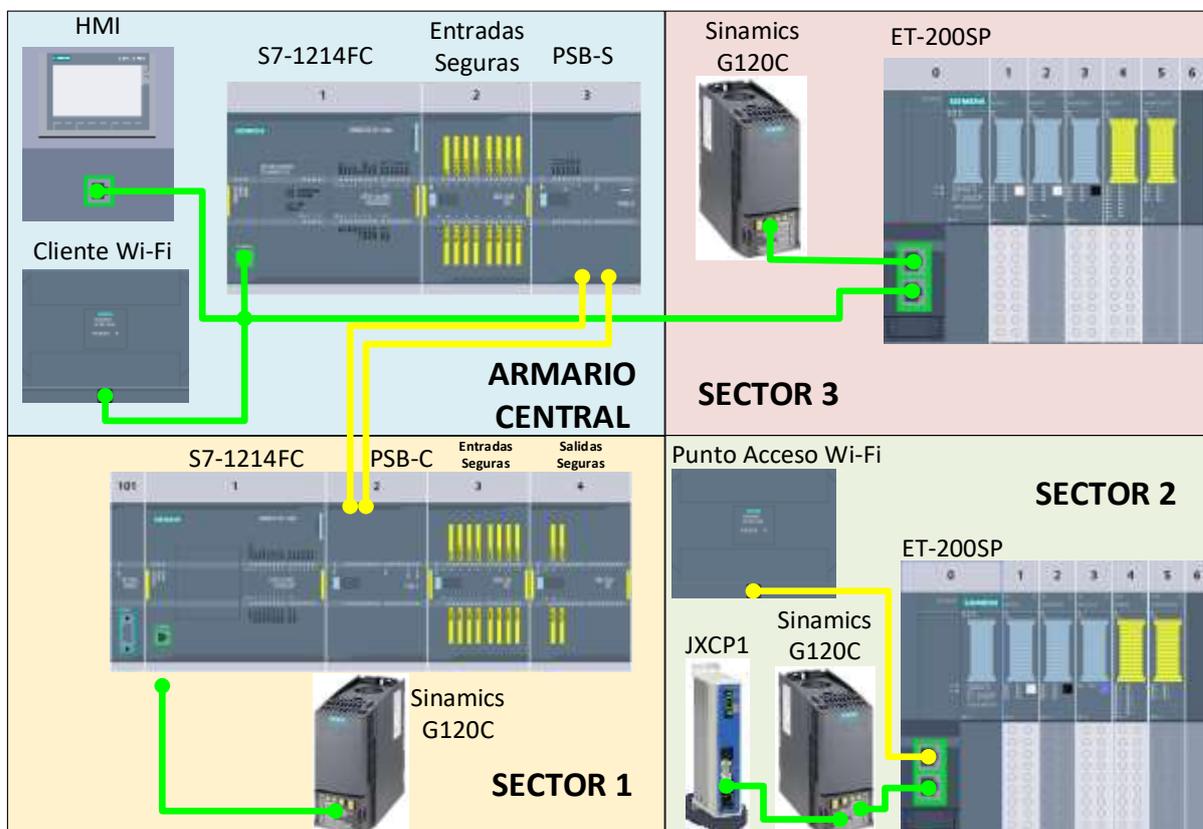


Figura 11. Esquema de la red de comunicaciones de la instalación

2.2.1 Tecnologías de comunicación empleadas

Toda la instalación está dominada por el autómata maestro situado en el armario central. En los Sectores 2 y 3 encontramos dos sistemas de periferia descentralizada, que se comunican con el autómata central vía Wifi RCOAX cable, y Profinet DP, indicados en morado y azul

respectivamente en la figura 12. Por su parte, el Sector 1 cuenta con un autómatas propio que actúa de esclavo del principal. Para su comunicación con el autómatas maestro, emplea la tecnología Power Signal Booster (PSB), indicada en color amarillo en la figura 12.

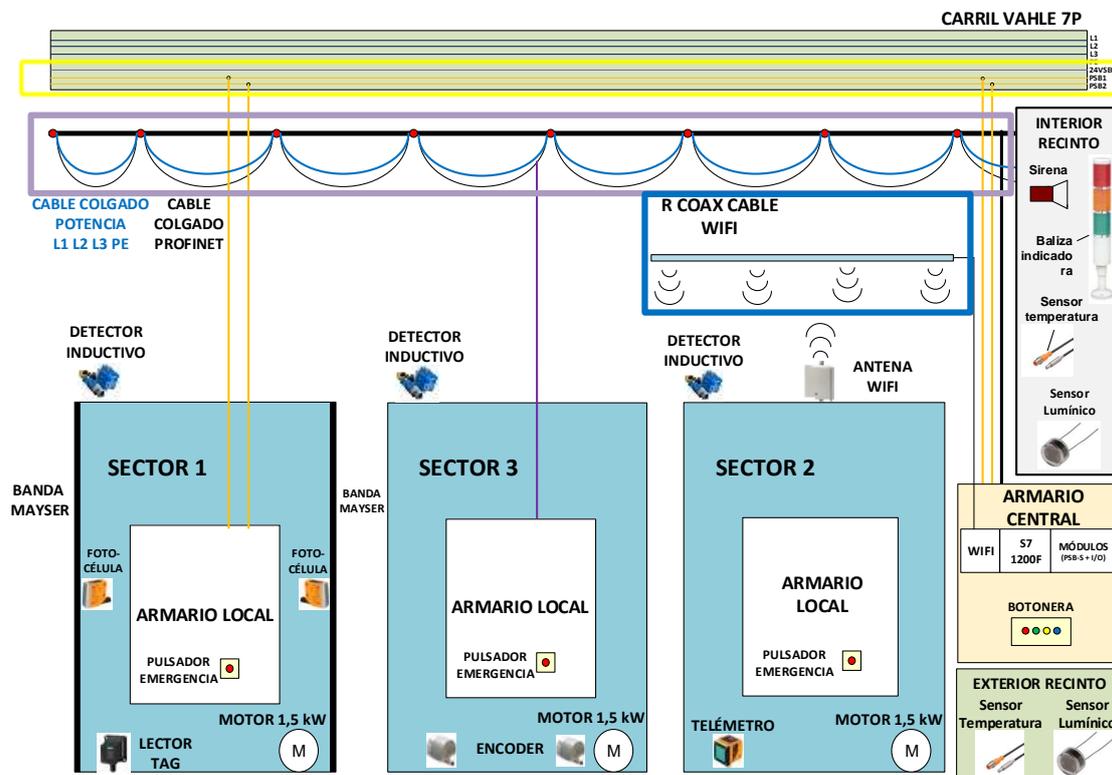


Figura 12. Detalle de los tipos de comunicación empleados en la instalación

Como se aprecia en la figura anterior, se han destacado los tres métodos de comunicación empleados entre los dispositivos de cada sector y el autómatas del armario central. Estas tecnologías, que se pondrán a prueba a lo largo del proyecto, deben coordinarse para una correcta actuación de la puerta en su conjunto. Se pueden obtener así datos sobre velocidades de reacción en función del método de comunicación empleado o se puede comprobar si cualquiera de ellos es válido para distintas aplicaciones dependiendo de un mayor o menor requerimiento de tiempo de respuesta.

Aunque puedan parecer distintos modos de comunicación, todos ellos se basan en Profinet, que es la tecnología que domina a día de hoy en la industria por sus enormes ventajas frente a sus competidores.

- **Profinet (cable colgado).** Según [7], Profinet es un estándar de comunicación industrial basado en Ethernet Industrial con total funcionalidad de los protocolos TCP/IP. Su estándar está descrito por completo en las normas IEC 61158 e IEC 61784. Por ser una estandarización de Ethernet, tiene total compatibilidad con esta tecnología de comunicación basada en el estándar IEEE 802.3.

Esta tecnología está en constante evolución y cada año actualiza sus capacidades, lográndose ahora mismo comunicaciones del orden de gigabytes por segundo. Al estar basada en Ethernet la interconexión de dispositivos e interoperabilidad entre los niveles de planta y automatización es ideal para el entorno industrial, siendo este uno de los puntos clave del desarrollo de esta tecnología orientada a la industria.

Por su focalización en redes industriales, cuenta con muchas herramientas que facilitan la creación de redes conllevando un ahorro de trabajo y tiempo, que tiene asociado un ahorro de costes, importante. El direccionamiento automático de dispositivos o la sencillez de intercambio de los mismos son algunos ejemplos de las funcionalidades mencionadas.

Algunas de sus principales ventajas son la facilidad de instalación y uso, su alto rendimiento en áreas con condiciones adversas, su capacidad para transmitir a grandes distancias (1000m), total libertad para la topología de red a utilizar, conexiones robustas, elementos de redundancia en componentes críticos de un sistema, configuración y reconfiguración dinámica de los componentes de la red o la integración de dispositivos de distintos fabricantes en una misma red, entre otros.

Algunas variantes importantes de esta tecnología se han ido desarrollando con el paso de los años. Las más importantes son PROFIenergy y PROFIsafe. La primera de ellas, dedica sus esfuerzos al ahorro de energía de las instalaciones, detecta períodos de parada o tiempos ociosos en los que activa un gran ahorro de

energía. El segundo se centra, como su nombre indica, en aumentar las funcionalidades de seguridad de la red, para lo que se emplean autómatas y cartas de seguridad que son detalladas en el apartado 2.3.4. Dispositivos empleados.

Como podemos encontrar en [8] y en su estándar IEC 61784-3-3 de 2007, PROFIsafe es un estándar creado con la intención de especificar una solución eficiente tanto para el fabricante de dispositivos de seguridad, cómo para el usuario final.

Es posible utilizar este estándar en una red Profinet establecida y con su infraestructura y cableado típicos. Las tramas de seguridad coexisten en la red con tramas de mensajes estándar sin problema por lo que la flexibilidad y adaptabilidad es total. Asegura la comunicación desde el lugar donde se genera una señal de seguridad hasta el lugar dónde se procesa o el camino contrario y puede lograr la categoría de seguridad SIL 3, según IEC 61508 / IEC 62061, de aplicaciones de seguridad.

Existen una serie de parámetros que deben respetarse, compartirse y ser cargados de manera coherente en todos los elementos de la red, es decir, deben ser iguales en todos los dispositivos de la misma. Estos parámetros afectan al comportamiento de PROFIsafe en cada aplicación y son la dirección de seguridad, el tiempo del *watchdog*, es decir, un controlador de tiempo de espera de recepción de un mensaje, la categoría SIL empleada, la firma de seguridad de los parámetros, la tecnología de los dispositivos y una firma de seguridad de los parámetros para asegurar que los mismos han sido correctamente enviados y recibidos.

Los tres principios básicos que trata de respetar este estándar son, la integración de los datos, la autenticidad de los mismos y el tiempo de entrega. Está relacionado con su utilización en procesos o sistemas en tiempo real que necesitan de la entrega de los datos, no solo de manera correcta, sino también en el tiempo de entrega necesario. Además, gracias a las firmas de seguridad y tramas, el

sistema asegura que tanto el emisor como el receptor del mensaje son los correctos y cada mensaje se entrega de manera correcta y a tiempo.

Para la conexión del autómeta central con la periferia descentralizada del tercer sector, no se precisa ningún elemento especial. El autómeta central cuenta con una toma Profinet RJ-45 incorporada. La periferia descentralizada, cuenta con un módulo adaptado a Profinet con conector RJ-45 [6].

- **Power Signal Booster (PSB).** Definida en su manual de utilización [9], se trata de una tecnología en transmisión de datos Profinet a través de contactos conductores de un rail eléctrico. El intercambio de información se hace a través de tramas de dieciséis bits de datos que siguen una señal de reloj configurable. Su protocolo de comunicación es específico de esta tecnología y no aparece detallado en el manual.

Además de su aplicación en carriles móviles, uno de sus objetivos es el de envío de señales de datos en ambientes industriales desfavorables, dónde pueden aparecer grandes interferencias o puede haber grandes distancias a cubrir. Para evitar este tipo de problemas, las señales se envían a 48V DC, de ahí su nombre *Booster*.

El sistema básico para una comunicación por PSB consta de dos CPU's S7-1200, un módulo PSB-S y un módulo PSB-C. De esta forma, se precisa de un autómeta S7-1214C o superior como maestro de la instalación. Al mismo, se le añade al menos un módulo PSB-S, dónde la "S" hace referencia a segmento. Cada autómeta central puede contar con hasta ocho módulos PSB-S acoplados para gestionar hasta ocho segmentos distintos en una instalación. Además, de cada módulo PSB-S pueden depender hasta tres raíles distintos, que serán tres módulos PSB-C distintos con los que comunicarse. El otro autómeta, será un S7-1212C o superior y se situará embarcado en el rail correspondiente. Al mismo, se le

añade un módulo PSB-C con capacidad para conectarse a un solo módulo PSB-S.

El sistema puede contar con un mando a distancia infrarrojo para su manejo, con un display para indicar el estado del sistema y con un número mayor de módulos dentro de los límites indicados anteriormente. No obstante, en esta aplicación utilizaremos el sistema básico de comunicación comentado en el párrafo anterior.

Las necesidades de estos módulos son mínimas, pues su alimentación es la misma que la de cualquier autómatas, 24V DC, salvo la alimentación de las salidas de los módulos PSB-S. Como se comentaba anteriormente, estas salidas son a 48V y hay un apartado de alimentación específico a esta tensión en cada uno de ellos indicado en rojo la figura 13.

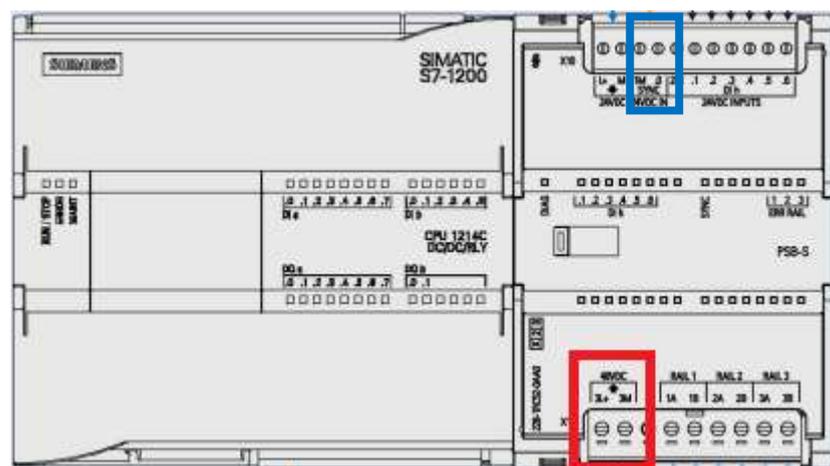


Figura 13. PSB-S conectada a CPU y detalle de sus alimentaciones

En azul, observamos la señal de SYNC, que es la señal de reloj o sincronización de la señal para el correcto envío de datos entre los distintos módulos. Para esta señal, se ha empleado una señal de onda cuadrada en forma de señal de reloj desde la CPU y con un período ajustable entre 200 y 999ms vía software.

Para conectar un PSB-S con un PSB-C, se precisa de dos cables estándar de comunicación con secciones de entre $0,3 \text{ mm}^2$ y $3,3 \text{ mm}^2$ en función de las características de cada sistema creado. Un ejemplo de conexión se indica en la figura 14, los raíles están indicados en ambos módulos para facilitar este conexionado y cada raíl cuenta con un puerto "A" y un puerto "B". El resto de entradas y salidas digitales que se observan en la parte superior de ambos módulos no son necesarias pues son entradas y salidas de los accesorios comentados anteriormente que no han sido empleados en este proyecto.

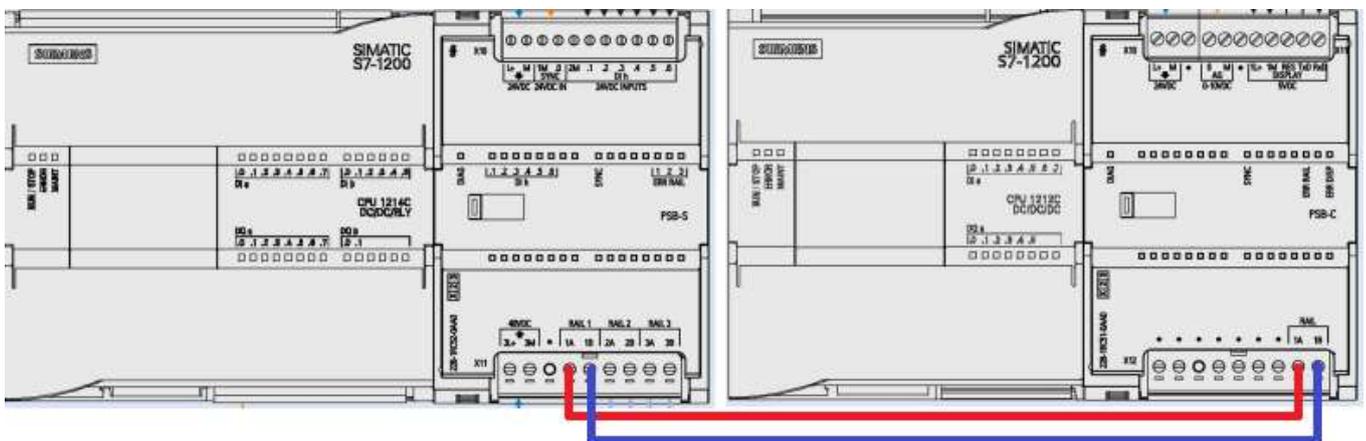


Figura 14. Detalle de conexión entre PSB-S y PSB-C

El estudio posterior de esta tecnología en la instalación pretende determinar si es un buen método para el control de puertas de un gran número de sectores, 20 o más. La coordinación, sincronización de señales, velocidad de reacción y la correcta transmisión de datos libre de pérdidas o interferencias serán estudiadas para determinar la viabilidad del sistema. Otra de las limitaciones de estos módulos es la capacidad de datos que intercambian. Al contar tan solo con 16 bits en la mayoría de casos se precisará de codificar estos bits para representar informaciones más completas lo que puede suponer un reto en instalaciones con un alto número de parámetros o sensores.

Tanto desde el autómatas central como desde el embarcado la palabra puede ser leída o escrita por programa, teniendo así 16 bits de información a intercambiar en una comunicación bidireccional.

- **Wi-Fi vía RCOAX cable.** El estándar Profinet tiene también descrita su propia tecnología *wireless*. Se puede encontrar en dos formas, Wi-Fi o Bluetooth. Se hablará de la primera por ser la utilizada en este proyecto. Es interesante el uso de esta tecnología para aplicaciones de este tipo por tratarse de instalaciones móviles donde el cableado puede llegar a suponer un problema con tipos de conexionado como los dos anteriores.

Esta tecnología está basada en el estándar internacional IEEE 802.11 (WLAN) que es perfectamente compatible con Profinet. La transmisión de datos sin uso de cables a través de un punto de acceso y un cliente. Se realiza en canales de frecuencia de 2,4 o 5 GHz, según el tipo de hardware empleado. Las velocidades de transmisión dependen de la variante del estándar que se utilice, pero pueden oscilar desde los pocos megabits por segundo a gigas por segundo en las versiones más avanzadas. Las distancias a cubrir llegan a aproximadamente a 100 metros, con una capacidad de hasta 32 nodos disponibles en la misma red.

Los clientes y puntos de acceso, son los dispositivos capaces de transmitir y recibir datos en una red *wireless*. Estos, permiten a los dispositivos que dependen de ellos conectarse a la red y tienen al menos una antena para enviar o recibir señales de radiofrecuencia con los datos. Estas antenas pueden ser omnidireccionales o lineales, en función del radio de captación de datos. Las omnidireccionales, son capaces de actuar en un radio de 360°, sin embargo, las lineales solo actúan en una dirección.

Esta tecnología también cuenta con las funciones de seguridad típicas de Profinet, en concreto, soporta la comunicación de tramas seguras vía PROFI-safe, explicadas en el apartado anterior. En ocasiones, algunos fabricantes requieren de algunos accesorios para sus puntos de acceso, a la hora de implementar estas comunicaciones seguras, pero vuelve a ser sencillo de incorporar a la red.

El método de implementación de estas redes es algo paradójico y poco intuitivo. Se trata del uso de un cable radiante conectado al punto de acceso de la red que distribuye la señal uniformemente a la largo del mismo [10]. Esta tecnología se denomina *RCOAX Cable* y son cables coaxiales radiantes que actúan como antenas emisoras de la señal. La gran ventaja de este método, es que la señal se transmite a través de pequeñas aperturas a lo largo del cable, directamente en una dirección concreta, véase figura 15. Además, esta transmisión se hace a puntos cercanos de los puntos de acceso a los que se dirige la señal. Es una forma de evitar en gran medida las interferencias o la baja cobertura de las señales, obteniéndose así una comunicación más robusta y segura en ambientes desfavorables.

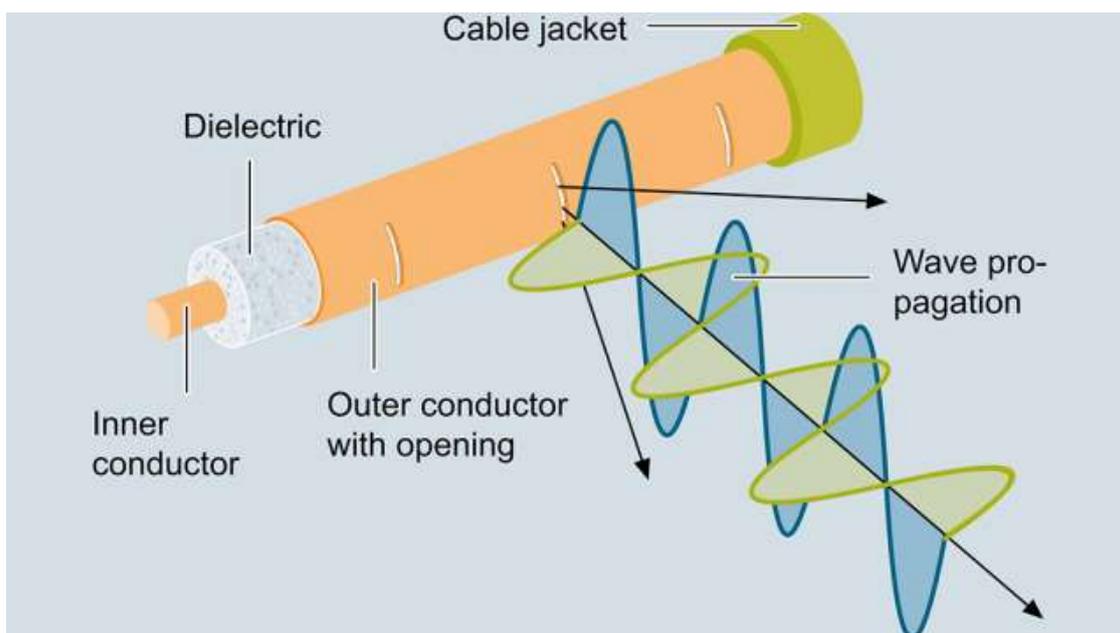


Figura 15. Detalle cable RCoax y propagación de ondas

Este sistema RCoax Cable está diseñado para aplicaciones móviles que circulan por raíles, por lo que es el sistema más óptimo para el proyecto en cuestión. Este cable es relativamente sencillo de acoplar a la estructura mecánica del raíl y está sumamente protegido contra interferencias. Con ello, la transmisión se vuelve más fiable y segura.

El cable, como se observa en la figura 16, está formado por un núcleo de cobre (A), un dieléctrico de polietileno (B), una nueva capa de cobre conductor exterior (C) y un recubrimiento de poliolefina AM3 libre de halógenos (D).

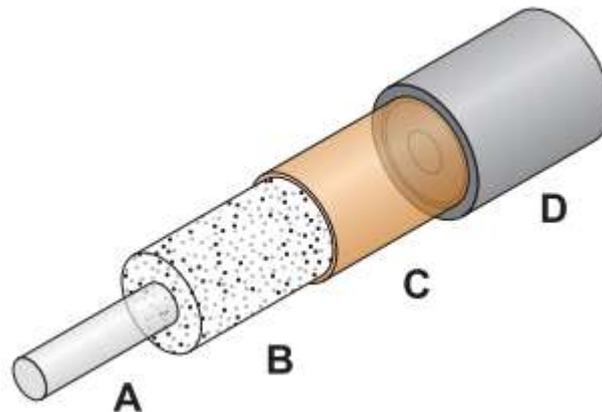


Figura 16. Estructura interna cable RCoax

2.2.2 Sensores y posicionamiento

Uno de los puntos clave del proyecto, por su carácter como herramienta de pruebas, es el empleo de distintos sensores de seguridad y posicionamiento. Es por ello que, como en el apartado de comunicaciones se emplean varias tecnologías distintas para comprobar los distintos usos, aplicaciones y respuestas. El conjunto de sensores empleados en la instalación también es muy variado.

De esta forma, en la instalación conviven varias formas de posicionamiento, teniendo que coordinarse para funcionar en conjunto. La utilización de un preciso posicionamiento en este tipo de puertas de gran tamaño es esencial. En primer lugar, por el hecho de que las puertas deben quedar totalmente abiertas o cerradas cuando sea preciso, para no dañar elementos o vehículos a la hora de efectuar una salida o para mantener las condiciones ambientales en el interior. En segundo lugar, conocer la posición de cada sector en cada momento, es esencial a la hora de coordinar los mismos para abrir o cerrar los distintos huecos de la puerta, sabiendo que una puerta de gran tamaño puede llegar a contar con un gran número de sectores.

Son varios los problemas que pueden surgir a la hora de este posicionamiento. Cuando se mide con un encóder, existen distintos problemas asociados. Puede aparecer el patinaje en la rueda motriz de la puerta, provocando la acumulación de error en el contaje y, por tanto, una pérdida de la noción exacta de la posición de la puerta. En función de si el encóder se emplea de manera absoluta o relativa, también pueden aparecer errores acumulados que se incrementan de manera lineal con el tiempo pudiendo causar el fallo total de la instalación.

Si la medición se realiza con detectores inductivos, algo relativamente común en muchos tipos de industria, puede aparecer un problema con el polvo o limaduras de hierro o interferencias magnéticas por diversos motivos y causas, que provocan falsas activaciones de dichos sensores y, por tanto, el incorrecto funcionamiento de la instalación. Este problema ha aparecido, por ejemplo, en una puerta de uno de los hangares del Aeropuerto de Barcelona, en el que los detectores inductivos, por necesidades físicas, se colocaban en el suelo, lugar dónde llegaba polvo o limaduras de hierro que provocaban dichas interferencias.

Por ello, al contar con tres sectores, se probarán distintos elementos y métodos de empleo de los mismos para tratar de paliar estos y otros problemas, con el fin de encontrar la mejor solución para cualquier aplicación requerida. No obstante, antes de pasar al análisis de cada sector, se van a presentar dos elementos que comparten todos ellos.

El primer elemento es el motor y el convertidor de frecuencia que es igual en todos los casos. El motor empleado es un motor trifásico de 1,5 kW, cuenta con freno de servicio, tensión de alimentación 230V AC en triángulo y 380V AC en estrella a 50 Hz de frecuencia y una velocidad nominal de giro de 1435 rpm. Se trata del modelo SIMOTICS GP TIPO MOTOR 1AV2094B de baja tensión, véase [11] para más información. Este motor está sobredimensionado pero se empleará por necesidad de stock.

El convertidor de frecuencia es el encargado de controlar la actividad, velocidad y parada del motor. El modelo elegido es un Siemens Sinamics G120C. Su programación se puede hacer vía programa en un

ordenador auxiliar conectado al convertidor o desde el propio convertidor vía un pequeño controlador con pantalla que se puede instalar. Dado que se empleará la comunicación vía Profinet, se programará el convertidor vía programa. Para la comunicación entre el autómeta y el convertidor se emplea un telegrama Profinet denominado estándar 1. Un telegrama no es más que un mensaje encapsulado que contiene la información de ciertos parámetros del convertidor que fuerzan al mismo a actuar de la manera requerida. Algunos de estos parámetros se configuran en la puesta en marcha, cómo las rampas de parada, la activación o desactivación del freno de servicio, etc.

El resto de elementos es propio de alguno de los sectores de la puerta por lo que desgranaremos cada uno de ellos con los distintos dispositivos que tienen.

- **Sector 1.** Se trata del sector más completo en lo que a sensores se refiere. Destacan el uso de dos métodos de posicionamiento y dos métodos de seguridad, que deben ser probados una vez completada la instalación. Un esquema simplificado del mismo se puede ver en la figura 17.

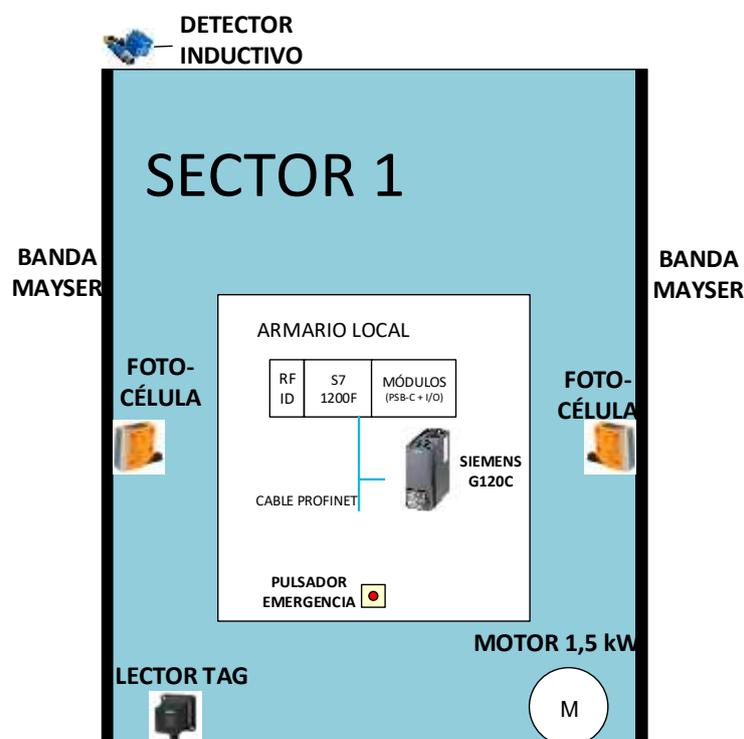


Figura 17. Esquema de elementos del Sector 1

En este sector, se probará la tecnología RFID de Siemens. Se trata de una comunicación por radiofrecuencia entre un elemento pasivo denominado *tag*, transpondedor o etiqueta y un elemento activo denominado *reader* o lector. El lector, envía la información de sus lecturas a un módulo de comunicación específico [12].



Figura 18. Detalle de tranpondedores y lector RFID

Como se ve en la figura 18, las etiquetas pueden tener distintas formas o tamaños en función de las necesidades requeridas en espacio de almacenamiento o espacio a ocupar. De igual forma, los lectores tienen distintas formas y tamaños según las necesidades requeridas en cada aplicación. Este tipo de reconocimiento de datos es empleado con mucha frecuencia en cadenas de fabricación en la que distintos productos comparten un mismo espacio. Con sus identificadores es sencillo conocer el producto que ha llegado a un punto concreto en cada momento, pudiéndose discriminar así los pasos a seguir en función del tipo de producto correspondiente.

En el caso de esta instalación, la idea es algo distinta. Se pretende colocar una serie de etiquetas a lo largo del suelo, correspondiendo cada una a una posición clave de la instalación. Estas posiciones pueden ser puntos de apertura o cierre de un hueco, puntos de disminución de velocidad para activación de rampas de frenado, etc. De esta manera, se sustituye en empleo de detectores inductivos y se evita el problema de las interferencias

ferromagnéticas, puesto que esta tecnología tiene una mucha mayor tolerancia a las mismas.

A la hora de probar esta tecnología se pretende comprobar cuál es el grado de exactitud de la misma. Por tratarse de un método de lectura por radiofrecuencia, no se trabaja en un punto concreto sino en una ventana de actuación que depende del lector y el *tag* empleado en cada caso.

El lector RFID a emplear será un RF240R [12]. Su interfaz de comunicación es RS422 para coincidir con el módulo de procesamiento que se conecta a la CPU. Este estándar emplea doble canal de emisión y doble de recepción. Este dispositivo trabaja a una frecuencia nominal de 13,56 MHz, su alcance máximo es de 65mm, distancia hasta la etiqueta a leer, por lo que es adecuado para esta aplicación, permitiendo que el lector puede estar separado algunos centímetros del suelo evitando posibles choques por irregularidades del mismo.

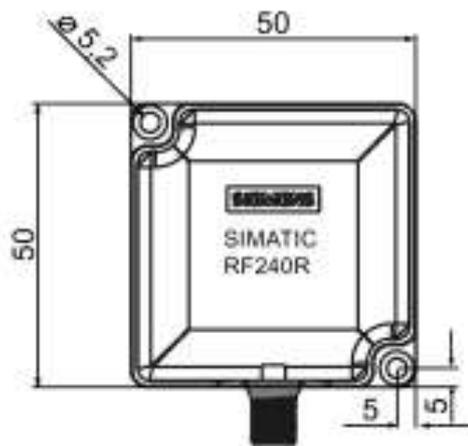


Figura 19. Esquema mecánico del lector SIMATIC RF240R

En la figura 19, podemos ver el plano de dimensiones del dispositivo. Las medidas se encuentran expresadas en milímetros por lo que se puede ver que se trata de un cuadrado de cinco centímetros de lado, tamaño pequeño que permite la colocación de este elemento en sitios muy diversos. El propio fabricante, recomienda este lector para aplicaciones en entornos industriales adversos que no requieran la lectura de gran cantidad de datos,

como es el caso. Además, este elemento cuenta con antena incorporada por lo que no es necesario el empleo de una antena adicional.

Las etiquetas RFID empleadas serán las más pequeñas ofrecidas en el catálogo de Siemens y que son compatibles con el lector y el módulo utilizados. Se trata de las MDS D124 que cuenta con una memoria de 112 bytes de tipo EEPROM, por lo que es posible reescribir la información que almacena. Permite la instalación en metal mediante distanciador, es decir, respetando una distancia de unos 15mm mínimo hasta el mismo como se puede ver en la figura 20.

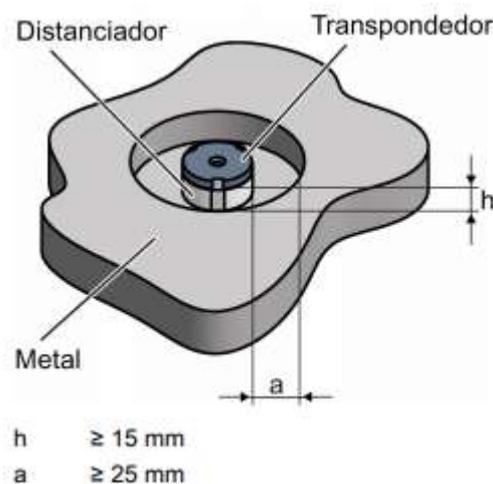


Figura 20. Esquema de instalación de un transpondedor en metal

A la hora de emplear el lector junto con el transpondedor, hay que tener en cuenta algunas características de ambos cuando trabajan en cooperación. Una característica importante es la ventana de transmisión, esta no es más que el rango de acción del transpondedor, es decir, el rango en el que el lector captará la información del mismo. En el caso de los materiales empleados, este rango es de 65mm y la distancia entre ambos debe estar entre los 2 y los 53mm. Este tipo de características son los que llevan a esta tecnología a no ser todo lo precisas que se requiere para esta tarea por lo que se desea probar como podrían paliarse estas imprecisiones de posición.

Para poder tomar una referencia de puntos clave con exactitud y comparar o determinar la precisión del sistema RFID, se emplea otro método de posicionamiento, se trata de los detectores inductivos ya comentados. Su aplicación es muy típica en estas tareas por su ya demostrada gran precisión. No obstante, en esta instalación el uso de estos detectores será distinto al habitual.

Su funcionamiento se basa en un detector de campos magnéticos que se activa cuando recibe la excitación de un material de este tipo en su campo de influencia, en concreto, se utilizará un detector inductivo de IFM modelo ID5055. El detector es de tipo normalmente abierto, su alimentación nominal es de 24V DC y tiene un alcance de hasta 50mm, véase [13].



Figura 21. Imagen de un detector inductivo IFM ID5055

El detector inductivo, como el de la figura 21, se puede situar en cada posición o embarcado en la propia puerta, en este caso, será el detector inductivo el que se situará en la puerta y las levas estarán repartidas por la instalación en los puntos clave, por tanto, no se tendrá información del punto en el que se encuentra la puerta empleando únicamente este sistema, solo se informará de la presencia de una leva en ciertos puntos. Por ello, las dos tecnologías empleadas para el posicionamiento trabajarán en conjunto. De esta forma, el detector inductivo aporta su precisión y el detector RFID

aporta resistencia a interferencias electromagnéticas y los datos almacenados en el transpondedor con la información del punto donde se encuentra la puerta.

Además del posicionamiento, este sector cuenta con dos métodos de seguridad para evitar conflictos o choques con otros sectores, personal, material, etc.

El primer mecanismo de seguridad está formado por dos fotocélulas de seguridad de reflexión directa. Estas fotocélulas son de seguridad por estar homologadas con categoría SIL 3 y salida a doble canal que se recibirá en módulos específicos de seguridad. Este dispositivo emite un haz de luz roja que de ser atravesada por un objeto, al no recibir haz de vuelta, activa su salida de presencia.



Figura 22. Imagen de una fotocélula de seguridad O5H500

El modelo de fotocélula a utilizar será el O5H500 de IFM que aparece en la figura 22. Cuenta con supresión del fondo, para evitar confundir el fondo con un objeto, alimentación a 24V DC y un alcance de entre 50 y 1800mm que se reduce a un máximo de 600mm si el objeto a detectar es de color negro, véase el manual [14] para más información. Por dichas características, este dispositivo es perfectamente válido para controlar una ventana de seguridad programable. Esto permitirá que el sector 1, que contará con uno de estos dispositivos a cada lado, tenga una ventana de seguridad a una determinada altura para evitar que una persona, un

vehículo o el sector 2 en la configuración de dos carriles puedan acercarse demasiado con peligro de choque.

El otro elemento de seguridad empleado serán Bandas Mayser. Estas bandas son bandas de presión típicas de puertas que se activan por contacto de sus bordes con otra superficie. Este contacto lo puede producir cualquier elemento o persona que atraviese la puerta. Se suelen colocar a lo largo de toda una banda o ambas bandas de un sector y son especialmente eficaces para evitar atrapamientos.

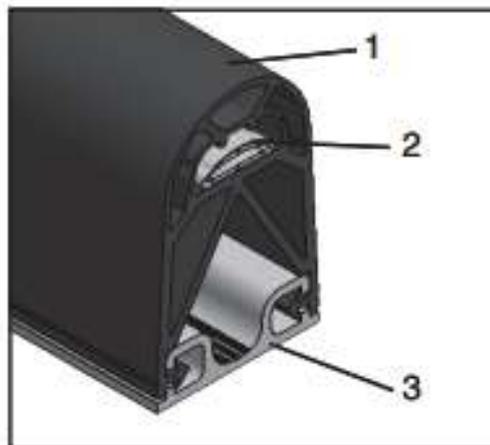


Figura 23. Detalle de la estructura interna de una Banda Mayser, (1) perfil de goma, (2) contacto de seguridad, (3) perfil de aluminio.

En la figura 23, vemos la estructura de una de estas bandas de contacto. Están recubiertas de un perfil de goma GP-(1) para amortiguar los posibles impactos, cuentan con un contacto de seguridad (2) que puede estar normalmente abierto o cerrado y que está formado por una resistencia de un valor determinado. Por último, para dar consistencia a la estructura hay un perfil de aluminio C26 o C36 (3). Por ser elementos de seguridad, cuentan con salida a doble canal que son evaluadas en primera instancia en un controlador propio que vigila el estado de ambos canales y su redundancia, dando como salida de nuevo el doble canal.

- **Sector 2.** Este sector es similar en elementos de control de posición y seguridad al Sector 1 y es el sector empleado para el estudio bioclimático, cuyo sistema diseñado se describirá a continuación. El

Sector 2, comparte carril en la configuración de dos carriles de la puerta lo que implica nuevamente el uso de fotocélulas con ventana de seguridad para evitar el choque entre este sector y el Sector 1. El modelo y el modo de utilización de las mismas es idéntico en ambos sectores.



Figura 24. Esquema de elementos del Sector 2

Este sector no cuenta con más elementos de seguridad, pero si presenta dos métodos de posicionamiento distintos, como se puede ver en la figura 24. En este caso, el método principal para una futura evaluación en eficacia y precisión será el uso de telémetro. Se trata de un instrumento similar en funcionamiento a las fotocélulas de seguridad con algunas importantes diferencias. En primer lugar, este elemento no es de seguridad por lo que su salida es simple. En segundo lugar, realiza una medición de distancia mediante el envío de un haz de luz roja contra un objetivo en el que rebota volviendo al receptor del telémetro. La salida obtenida es analógica indicando un valor concreto que refleja la distancia hasta el objetivo al que apunta.

El modelo concreto empleado en la instalación es el telémetro de IFM O1D100. Tiene un rango de hasta diez metros, suficiente para cubrir el recorrido del Sector 2. Como elemento de medición de posición en puertas, se suelen emplear rangos o ventanas de los valores a obtener por la pérdida de precisión en valores medidos, en sus cambios de unidades mediante programa, etc.



Figura 25. Imagen de un telémetro IFM O1D100

Para contar con un elemento de referencia sobre el que basar los resultados obtenidos por el telémetro, se emplea un detector inductivo del mismo modelo que en el Sector 1. Por ser un elemento típico y de conocida precisión en casos de no interferencias es el elemento ideal para esta función. Además, permitirá hacer una toma de medidas inicial con el telémetro muy precisa para comprobar que los datos recibidos son correctos y las medidas realizadas coinciden con las diseñadas ajustando las posibles discrepancias.

Por último, este sector cuenta con una guía lineal de SMC modelo LEFB, figura 26. Esta guía lineal es el actuador que se encarga del apartado bioclimático de la instalación que se explica más adelante.



Figura 26. Imagen de una guía lineal SMC modelo LEFB

Este elemento se mueve mediante el uso de una correa y actuador eléctrico basado en un pequeño motor controlado por un driver propio presentado más adelante. Tiene una carrera de hasta dos metros, un diámetro de 25 mm y diseño compacto. El manual completo puede encontrarse en [15].

- **Sector 3.** Se trata del sector más sencillo por estar destinado a la prueba de puertas de menor tamaño, complejidad y, en general, proyectos de menor calibre con elementos más sencillos, como se puede observar en la figura 27, por ello, no cuenta con elementos de seguridad sino que la seguridad recaerá en el manejo del operario al cargo de la instalación en cada momento. Es el sector que se encuentra siempre en un carril sin compartir por lo que no hay peligro de choque con otros sectores, pero sí con posibles objetos o personas que se interpongan en el camino de la puerta.

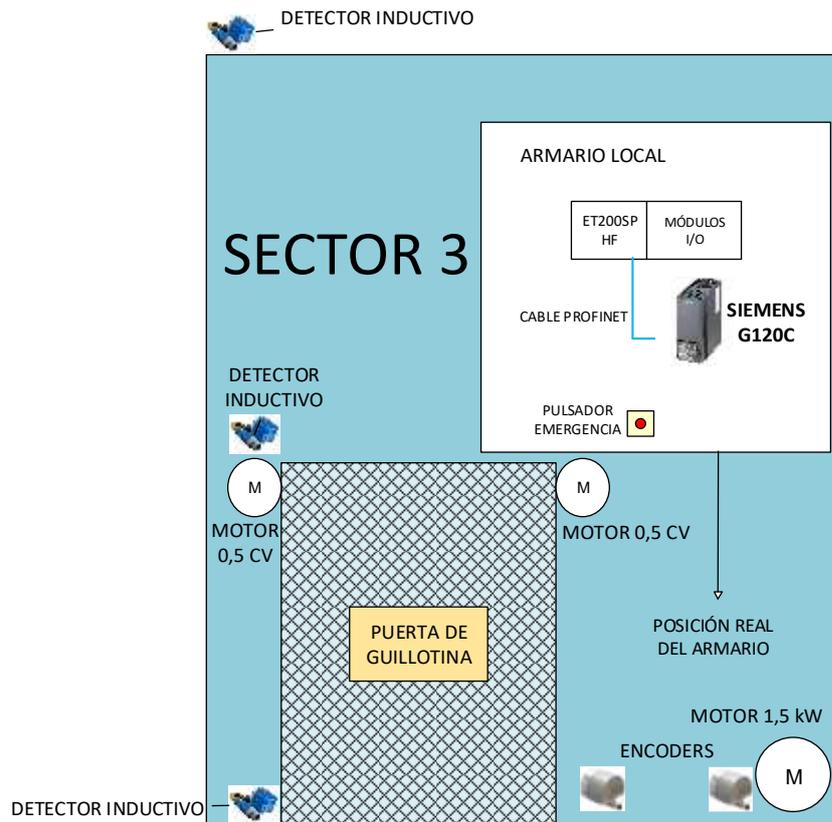


Figura 27. Esquema de elementos del Sector 3

Para la determinación de la posición del sector, se utilizarán dos encóder. Si bien con un encóder es suficiente para el cálculo de una posición, se emplearán dos, uno en cada rueda del sector. Uno de ellos calculará el recorrido realizado por la rueda motriz, la solidaria al eje del motor, y el otro calculará el recorrido de la rueda arrastrada. Con ello, se pretende tener un control de posibles patinajes de la rueda motriz. Si esta rueda patina, el encóder medirá erróneamente una distancia que realmente no ha sido recorrida y acumulará error en su medida. Bien sea en configuración de encóder absoluto o relativo (con reseteo a 0 en puntos clave y medidas parciales de posición) la acumulación de error conlleva una pérdida de precisión que en este tipo de puertas es clave para lograr un correcto funcionamiento.

El modelo a utilizar es el RVP510 de IFM, que se puede ver en la figura 28. Este encóder tiene varios modos de funcionamiento., entre ellos, interesan en esta aplicación el de encóder incremental y el de contaje. Como encóder incremental, aprovecha sus canales A y B para tomar tanto la medida de

posición como el sentido de desplazamiento automáticamente. En modo contaje, el encóder simplemente toma la medida de uno de sus canales sin tomar en cuenta el otro canal. Esto implica que sea cuál sea la dirección de desplazamiento el contador aumentará su valor. Para solucionar este problema, el módulo empleado para el contaje en este sector, cuenta con un parámetro variable vía programa que permite invertir el sentido de contaje. Así, se podrá utilizar este modo de igual forma que el modo encóder.



Figura 28. Imagen del encóder incremental IFM RVP510

Como en el resto de sectores, se empleará un detector inductivo para tener una medida de referencia y un elemento confiable en caso de querer comprobar precisión de los encóder y tomar medidas fiables.

Por último, se puede apreciar en la figura 27, que este sector tiene una pequeña puerta embarcada, que servirá para el paso de material o personal de pocas dimensiones. Se utilizará el mismo convertidor empleado en el propio sector y como motor se emplea el mismo modelo pero de menor potencia, 0,5 CV. Para su control, se emplea un detector inductivo en la parte superior para indicar puerta abierta y un detector inductivo en la parte inferior para indicar puerta cerrada del mismo modelo que los anteriores.

- **Exterior e interior del recinto.** En estos lugares se sitúan los sensores encargados de la recolección de datos del apartado

bioclimático. Se ha optado por una solución muy sencilla para la puesta en marcha de la instalación con la posibilidad de una ampliación y mejora de este apartado en un futuro. Por ello, no se ha optado por sensores muy precisos, avanzados ni completos; sino que se han elegido sensores sencillos que se consideran suficientes para las pruebas iniciales del apartado bioclimático.

Las dos variables ambientales a controlar van a ser la temperatura y la intensidad lumínica, como el sistema bioclimático consta de dos placas, una móvil y otra fija con aperturas para permitir el paso de luz y aire, son variables más fáciles de controlar. No obstante, se prevé en un futuro dotar al sistema de una medición de condiciones más completa con control de humedad, flujos de aire, etc.

Para la medición de temperatura, se emplea un sensor PT100, figura 29. Son los sensores más exactos en este rango de medidas, se basan en la variación de resistencia eléctrica en función de la temperatura (RTD). En concreto, este modelo tiene un valor de 100Ω de resistencia a 0°C , resistencia que aumenta a medida que aumenta la temperatura. Está fabricado en platino y aporta un valor de salida analógico fácilmente manejable en el proceso de automatización de la instalación. El modelo empleado es concretamente un TM4431 de IFM.



Figura 29. Imagen de un sensor de temperatura PT100

Para la medición de intensidad lumínica se emplea también un sensor que utiliza una resistencia eléctrica, cuya resistencia

disminuye cuanto mayor es la cantidad de luz que incide sobre ella. Son sensores sencillos, de salida analógica simple, fáciles de conseguir y baratos. Se denominan LDR y un ejemplo aparece en la figura 30.



Figura 30. Imagen de resistencia LDR

Se controla así la temperatura y la intensidad lumínica en el interior y el exterior del recinto pudiendo compararse ambas medidas para tratar de lograr las condiciones deseadas en la parte interior de la puerta.

2.3.3 Sistemas bioclimático y de autosuficiencia.

El sistema bioclimático se basa en el empleo de dos lamas superpuestas con una conformación distinta. La primera de ellas, situada hacia el exterior de la instalación, es una lámina que ocupa todo el espacio destinado a las mismas. En ella, se han realizado una serie de agujeros a distintas alturas para permitir el paso de flujos de aire o luz. La segunda, colocada hacia el interior de la instalación, es una lámina de menor tamaño en la que se han realizado una serie de perforaciones en puntos distintos al de la primera lama de manera que en la posición inicial no son coincidentes.



Figura 31. Detalle del sistema bioclimático del Sector 2

De esta forma, en la figura 31 se puede ver como la guía lineal es solidaria a la lama interior que es móvil y que permite evolucionar de un estado estanco, a distintos niveles que permiten el flujo de aire o la entrada de luz.

El sistema es simple y de pequeño tamaño, y permite ampliaciones con más sistemas como el presentado o con sistemas de concepto distinto.

El sistema de autosuficiencia energética se basa en la incorporación a los sectores de un panel solar de silicio estándar. Para su cálculo, se realizó un estudio de la irradiación solar en la ciudad de Valladolid, basado en los datos aportados por la Unión Europea en sus bases de datos de irradiación geoespacial PVGIS-5.

Para asegurar el correcto abastecimiento del sistema, se calculó el caso más desfavorable que se daba en el mes de diciembre con una inclinación de 45° del panel. Para este mes, se obtuvo un HSP de 1,70 unidades, siendo esta unidad el tiempo en horas de una hipotética irradiación solar constante de 1000 W/m^2 .

Por ello, y para un consumo diario estimado de la instalación de unos 800 Wh/día , se optó por un panel Módulo FV 2xAS-M605. Este módulo cuenta con una potencia de pico de 290 Wh/día que multiplicado por el HSP resulta en aproximadamente 450 Wh/día , por lo que se emplearán dos paneles de este tipo trabajando en serie. Estos, serán colocados en los sectores 1 y 2 de la instalación en el lugar señalado de la figura 32.

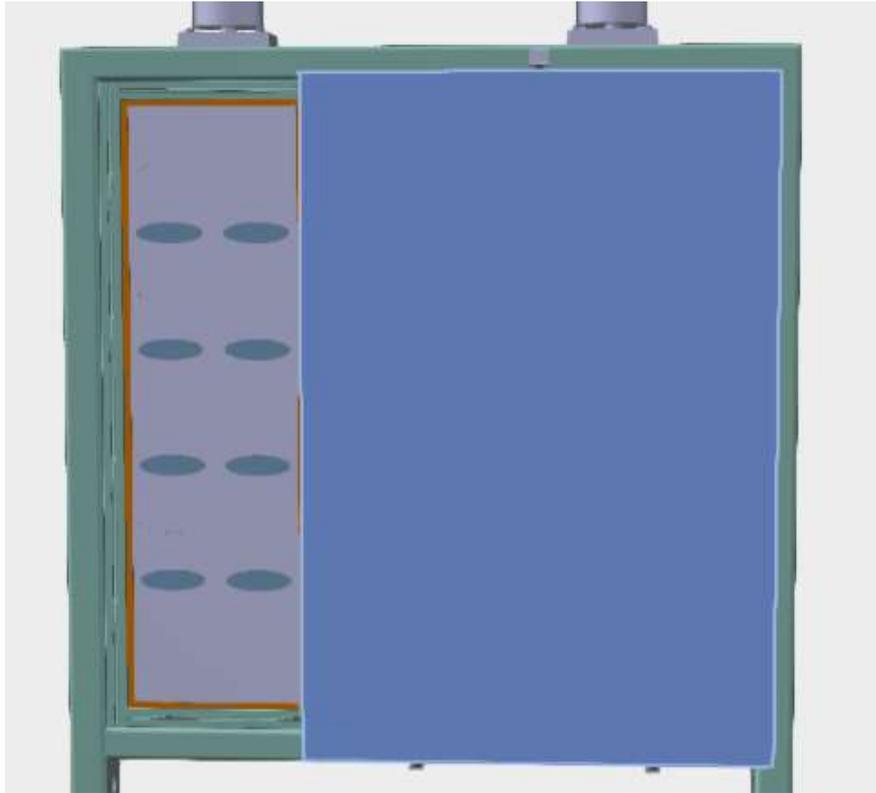


Figura 32. Detalle del sistema autosuficiente. Lugar de colocación del panel solar indicado en azul

2.3.4 Dispositivos empleados

En este apartado, se detallan los diferentes dispositivos necesarios para la automatización de la instalación y la implementación de las comunicaciones mencionadas en el apartado anterior. Se han elegido los dispositivos del fabricante Siemens para la mayor parte de la automatización de la instalación. El único elemento de otro fabricante es el controlador de la guía lineal del sector bioclimática que es de la marca SMC.

- **Armario central.** Por la estructura comentada de la red, en el armario central podemos encontrar los elementos de control general de la instalación. Por su CPU pasa toda la información de la instalación y es la encargada de llevar a cabo todas las tareas y órdenes de movimiento de la misma.

El modelo elegido para el autómatas central ha sido una CPU S7-1214FC DC/DC/DC de Siemens. Pertenece a la serie S7-1200 y,

como su letra F y sus dos líneas amarillas en ambos laterales indican, cuenta con función de seguridad integrada SIMATIC Safety. Como aparece en el manual correspondiente [16] estos sistemas pretenden dar un paso más en ingeniería de seguridad, buscando lograr sistemas inteligentes de largo alcance que cubran todo el recorrido de señales de la instalación incluyendo los accionamientos eléctricos y los sistemas de medida. El objetivo final es llevar y mantener la instalación en estado seguro si se produce un fallo en la misma para evitar poner en riesgo su zona de influencia o los posibles operarios que se encuentren en ella.

Para llevar a cabo esta función, estas CPU ejecutan en paralelo al programa de usuario, un programa de seguridad. El sistema de seguridad realiza automáticamente comprobaciones de seguridad e inserta lógica de seguridad adicional para la detección de errores. De este modo se garantiza la detección de averías y fallos, así como la ejecución adecuada de reacciones con el fin de mantener el sistema de seguridad en el estado seguro. Además, los datos del programa de seguridad son utilizables por el programa de usuario si fuera necesario en una aplicación concreta.

Este modelo cuenta, como se puede apreciar en la figura 33, con catorce entradas digitales de 24V DC, diez salidas digitales de 10V DC, 2 entradas analógicas 0-10V DC y alimentación a 24V DC como podemos ver en la figura 33 del manual de SIMATIC Safety.

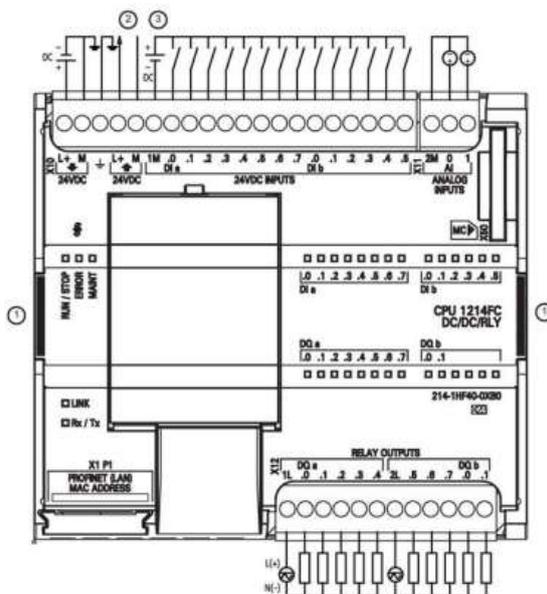


Figura 33. Detalle de la CPU 1214FC y sus bornes de conexión

Además, puede ampliarse con distintos módulos tecnológicos, de comunicación, de entradas o salidas para aumentar su capacidad, funcionalidades, etc.

Para la recepción de señales de sensores de seguridad no basta con utilizar las entradas de la CPU mencionada, sino que, además, se emplean módulos específicos para este cometido. En este caso el modelo es el SM 1226 F-DI 16x24 V DC, figura 34, el módulo, cuenta con dieciséis entradas digitales a veinticuatro voltios.

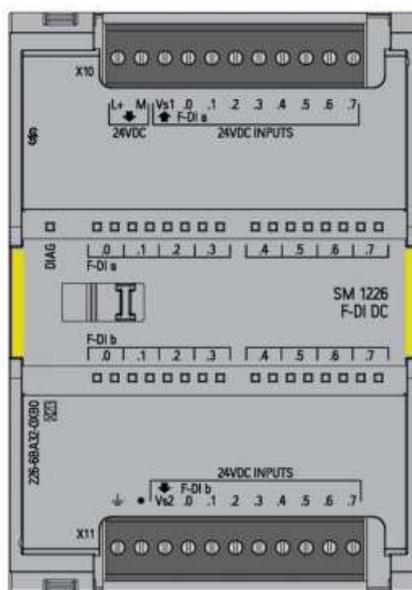


Figura 34. Imagen del módulo SM 1226 F-DI 16x24V DC

A pesar de que se pueden emplear las dieciséis entradas de forma individual (1oo1), con este sistema no se logra un nivel de seguridad de categoría SIL 3, según IEC 61508 / IEC 62061. Como en esta aplicación se busca lograr dicho nivel, se deben emplear las entradas en modo 1oo2. Esta configuración, que se establece mediante programa, trata de un cableado a doble canal de entrada por cada sensor. Así, el módulo cuenta con ocho entradas con el nombre a y otras ocho con el nombre b, de manera que sus números coinciden para hacer el doble canal, de manera que, a.0 y b.0 forman el canal 1.

Cada bloque de entradas, cuenta con un microprocesador independiente, de manera que ambos deben detectar el mismo cambio en las señales de entrada en un margen de tiempo configurable. Si se produce una discrepancia, aparece un error de este tipo y el sistema entraría en el modo de seguridad que haya sido programado. En el software de programación, las entradas a doble canal aparecen como si de una sola señal se tratara. Este y otros módulos similares de la instalación se encargarán de recoger las señales de los dispositivos de seguridad explicados en el apartado anterior.

Para la comunicación con el sector 1, también aparece en el armario central un módulo PSB-S. En esta aplicación, se utilizarán dos salidas, las correspondientes al raíl 1, para la comunicación con el módulo PSB-C del sector 1. Además, cuenta con alimentación a 24V DC y una alimentación extra a 48V DC para las señales de comunicación. Por último, precisa de una entrada que actúa como señal de sincronización para la comunicación. Se puede utilizar una señal de onda cuadrada generada por la CPU que domina el módulo con un período de entre 200 y 999ms, [17].

Para la comunicación Wi-Fi con el sector 2, la CPU se encuentra conectada vía Profinet con un punto de acceso modelo SCALANCE W788-1. Según [18] se trata de un nodo dentro de una WLAN, cómo la establecida en la instalación, que realiza funciones

de administración de la red y permite a clientes conectarse a la misma.

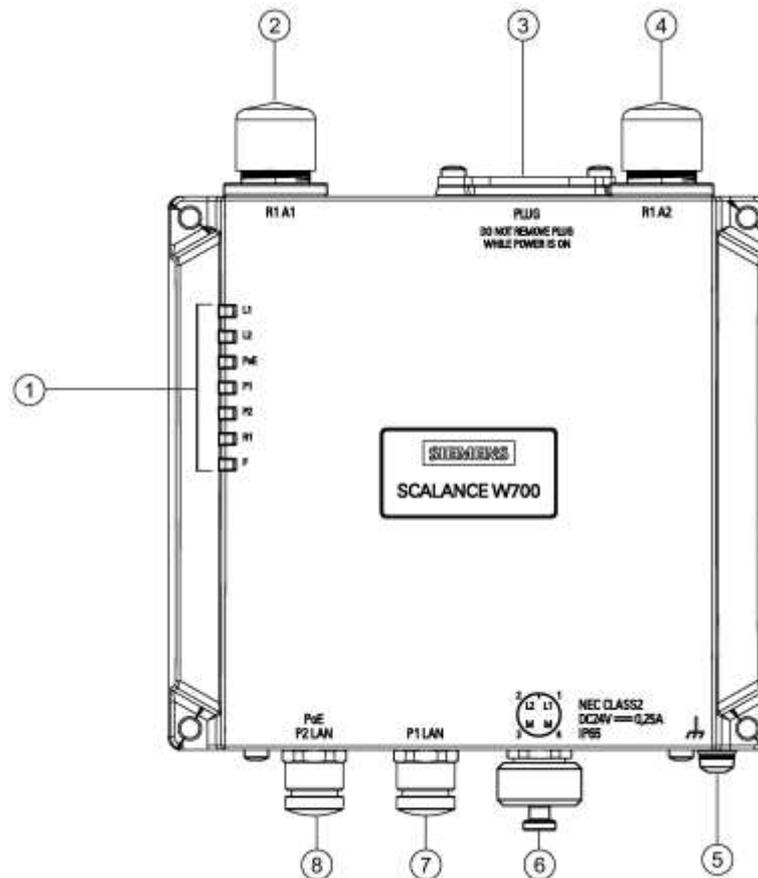


Figura 35. Detalle de un módulo SCALANCE W780

En la figura 35, se muestra la estructura física del punto de acceso. Cuenta con una serie de LEDs (1) para la información sobre el estado de la red, la conexión, la alimentación del módulo, etc. En (2) y (4), se encuentran los puntos para la instalación de antenas o adaptadores para cables RCOAX como el que se utilizará en este proyecto, según el modelo pueden aparecer dos o tres puntos de conexión de antenas. En la parte superior se ubica el slot para la inserción de tarjetas de ampliación o actualización del módulo (3). En este modelo, se puede incluir una tarjeta que incorpora las funciones de seguridad, pudiéndose lograr la categoría SIL 3, con el envío de tramas de seguridad. En la parte inferior se localizan la toma de tierra (5), los conectores de puerto LAN (7) y (8) y el conector de alimentación del módulo (6).

Al no emplearse antena, la inserción del cable RCOAX no es directa al punto de acceso. Se incluyen por ello, una serie de

accesorios que permiten la conexión desde el punto de acceso hasta el cable radiante. Estos accesorios vienen recogidos en la figura 36.

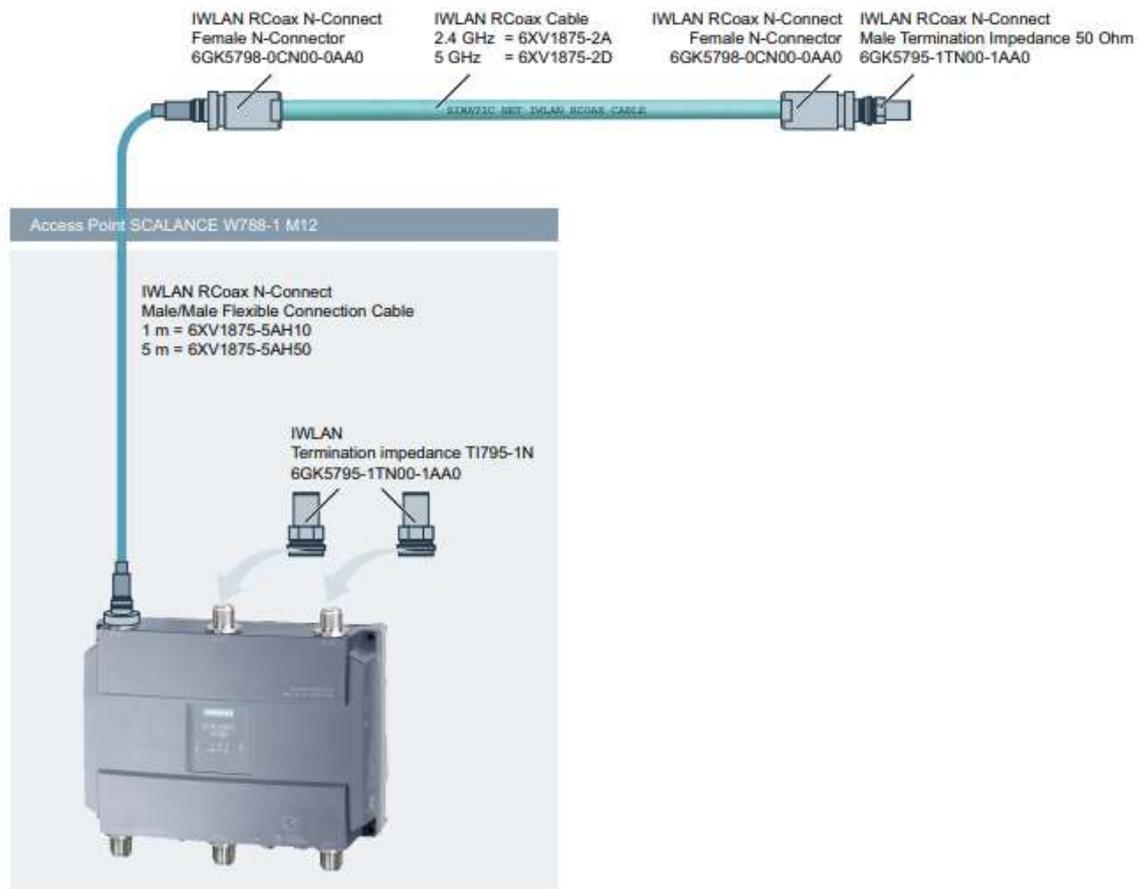


Figura 36. Esquema de conexión de un cable RCoax a un punto de acceso

Se puede ver que solo se precisa una conexión para la antena del punto de acceso. Al resto de puntos de conexión de antenas se conectan unas impedancias de terminación de 50Ω para evitar interferencias. En la conexión del punto de acceso se incorpora un conector hembra del modelo que aparece en la figura 36. Un cable N-Connect se encarga de transmitir la señal desde el punto de acceso hasta el comienzo del R-COAX cable. Este cable inicial, no es radiante y simplemente es un cable más sencillo y barato que permite transmitir los datos de forma segura hasta el primer punto en el que queremos que el cable comience a radiar. Para el cambio de cable desde el N-Connect al R-COAX, se utiliza un doble conector hembra N-Connect. Posteriormente se instala el cable R-COAX que tiene en su extremo final otra impedancia de terminación de 50Ω , con el mismo fin que las anteriores.

El último dispositivo del armario central es una pantalla táctil HMI. Se trata de un panel de la gama KTP600 Basic-Mono, que consta de una pantalla táctil y ocho botones. El tamaño de la pantalla es de seis pulgadas con una resolución de 320x240 píxeles. Cuenta con 4 colores empleando escala de grises. Para su conexión se emplea Profinet con conector RJ-45, por lo que es fácil de incorporar a la red de la instalación. Se conecta directamente al controlador S7-1214FC y se programa con el mismo software. Su alimentación es la estándar a 24VDC y la pantalla es de tipo LCD-TFT.

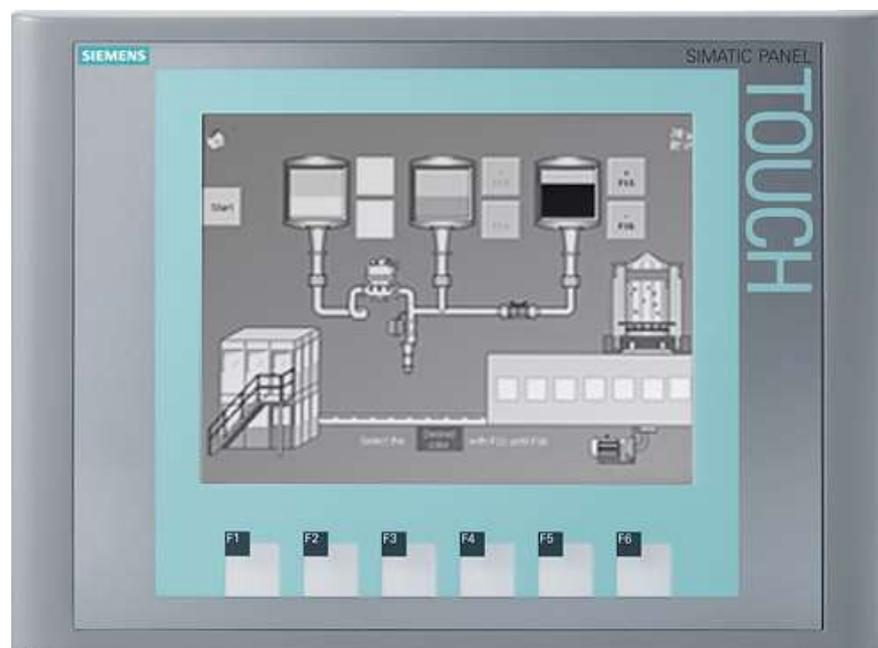


Figura 37. Imagen HMI KTP 600 Basic-Mono

Este elemento que se observa en la figura 37, pretende facilitar la interacción de los operarios con la instalación. Ofrecen al mismo mucha información sobre el estado de la misma, recoge alertas y puede incluir un historial de defectos, puede contar con instrucciones de acción o de reacción frente a diferentes eventos, puede contar con botones, interruptores o sensores virtuales, etc.

- **Sector 1.** Es el único sector que cuenta con una CPU propia. Se trata de un autómatas del mismo modelo que el del armario central, CPU S7-1214FC DC/DC/DC. Actúa como PLC descentralizado que realizará acciones según las órdenes que reciba del PLC maestro.

Tiene cuatro módulos acoplados para el tratamiento de señales de entrada y salida y comunicaciones pertinentes. El primero de estos módulos también es igual y realiza las mismas funciones que el del armario central, se trata de la misma carta de entradas seguras SM 1226 F-DI 16x24V DC. En este armario también aparece una carta de salidas seguras modelo SM 1226 F-DQ 4x24V DC, figura 38, cuenta con cuatro salidas seguras utilizables para aplicaciones con nivel de seguridad SIL3 y comunicación Profisafe.

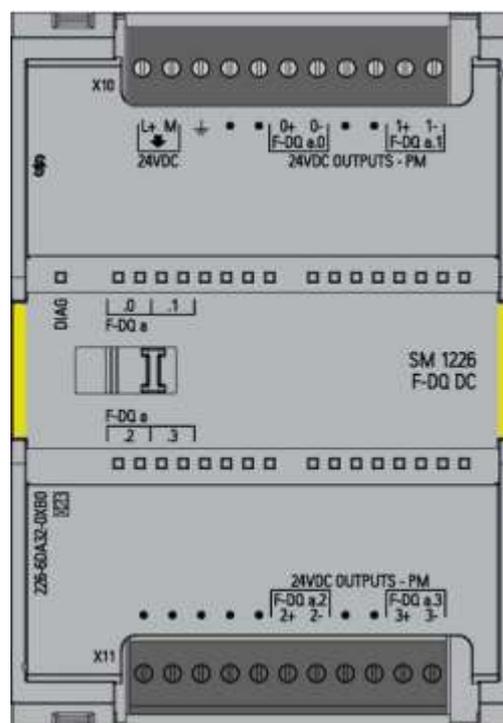


Figura 38. Módulo SM 1226 F-DQ 4x24V DC y bornes de conexión

Cada salida tiene dos conexiones, una a un interruptor P(+) que conecta 24V+ a la carga y otra con interruptor M(-) parte desde la carga hasta el módulo de nuevo. En la figura 38 se pueden distinguir estos dos tipos de interruptores indicados con un número y el signo positivo o negativo que los distingue. Se pueden llegar a suministrar hasta 2A con este dispositivo y, al igual que la carta de entradas de seguridad, cuenta con dos microprocesadores para implementar la función de seguridad.

Cada microcontrolador gestiona uno de los dos tipos de interruptores mencionados con doble realimentación de la señal de

salida para asegurar que no existen fallos, estados indeseados o funcionamiento incorrecto. Se programa un tiempo máximo de relectura de la señal en función de las necesidades de la aplicación. Durante la comprobación, los interruptores cambian su estado para comprobar que se encontraban en el deseado, por ello, se debe establecer un tiempo de relectura lo suficientemente pequeño para evitar problemas o comportamientos indeseados en la carga.

Para la comunicación con el armario central, se conecta un módulo PSB-C, este módulo aparece en la figura 39 y es más sencillo que el de segmento ya que solo cuenta con la conexión a ambos cables de comunicación por raíl con el PSB-S asignado y la alimentación a 24V DC. Existen una serie de entradas y salidas para el uso y control de accesorios como mando a distancia o display pero que no serán utilizados en la aplicación.

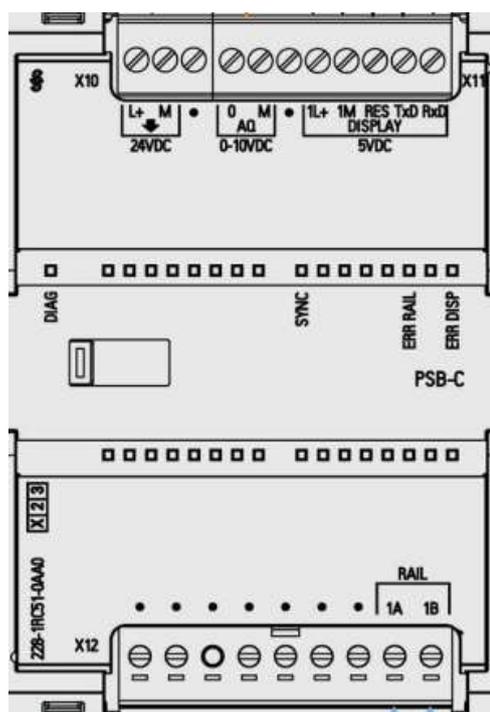


Figura 39. Módulo PSB-C y bornes de conexión

Para la conexión de los cables de comunicación, se encuentran en la parte inferior los dos bornes indicados como RAIL. Se debe hacer coincidir la letra del cable de comunicación que llega desde el PSB-S, numerados del 1 al 3, con la letra de conexión en el PSB-C para un correcto funcionamiento.

El último de los módulos empleados en este sector es un módulo SIMATIC RF120C. Se trata de un módulo de periferia centralizada para CPU's S71200 que debe ir colocado inmediatamente a la izquierda de la CPU correspondiente, pudiendo soportar cada CPU un total de tres módulos RF120C con sus tres lectores correspondientes.

Su función es la de soportar la comunicación con un módulo lector de códigos con interfaz RS422. El cable de comunicación entre el lector y el módulo no viene incluido por lo que debe realizarse por cuenta propia siguiendo las instrucciones del manual [12].

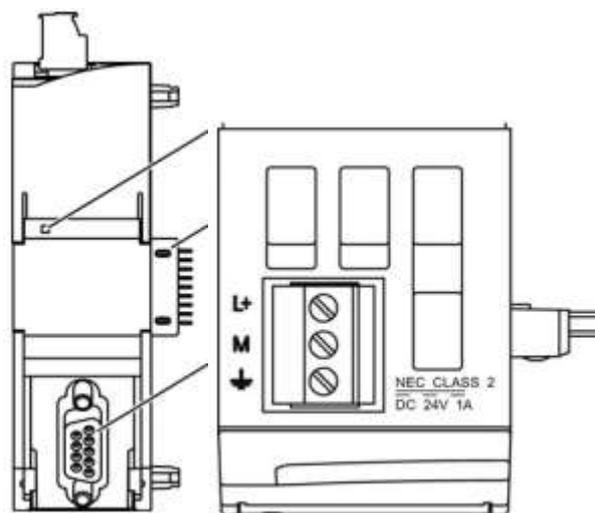
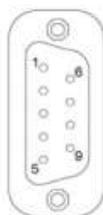


Figura 40. Detalle del módulo de comunicación RF120C

En la figura 40, se puede ver como en la parte superior se encuentra el bornero de alimentación a 24V DC y con una conexión a tierra. En la parte inferior se sitúa el conector hembra de tipo Sub-D. Por su interfaz de comunicación RS422, esta conexión emplea dos cables de envío de información (TX) y dos de recepción de información (RX), como aparece en la figura 41.



Asignación de contactos del conector hembra Sub-D

Pin	Descripción	Pin	Descripción
1	24 V DC	6	-RxD
2	- sin asignar -	7	+RxD
3	- sin asignar -	8	-TxD
4	+TxD	9	- sin asignar -
5	GND	Carcasa	Conexión de tierra

Figura 41. Pinedo de la interfaz RS422 del módulo RF120C

- **Sector 2.** Aparece aquí una de las dos periferias descentralizadas de la instalación, está basada en un modelo de periferia descentralizada ET200SP. Esta periferia está compuesta por una interfaz y una serie de cartas de entradas y salidas similares a las asociadas a una CPU convencional. Su interfaz se encarga de procesar parte de la información de las entradas aliviando el trabajo de los autómatas de más alto nivel.

Para esta aplicación, se precisa de una interfaz IM 555-6 PN/2 HF. Esta interfaz dota al sistema de las dos comunicaciones necesarias. Permite tanto conectarlo a la red Profinet de la instalación, como utilizar módulos de seguridad con comunicación por tramas seguras. Admite hasta 64 módulos de periferia ET200SP y cuenta con alimentación a 24 V DC. En el caso de este sector, son cinco los módulos empleados por la periferia descentralizada para cubrir las necesidades de la instalación.

El primero de estos módulos es un módulo de ocho entradas digitales estándar a 24V DC, DI 8x24VDC ST. Estos módulos de ET200SP cuentan con unas unidades de alimentación y cableado especiales. Se denominan BaseUnit, tienen 18 puntos de conexión y existen dos tipos, grises y blancas. Las unidades blancas son aquellas que tienen alimentación propia, mientras que las grises toman la alimentación de los módulos adyacentes. En general, estos módulos cuentan con ocho puntos de conexión para señales de entrada o salida (1-8) y otros ocho puntos con alimentación de salida a 24V DC (9-16) para la alimentación de posibles sensores a emplear con conexión a dos hilos (2-DI1) como se puede ver en la figura 42.

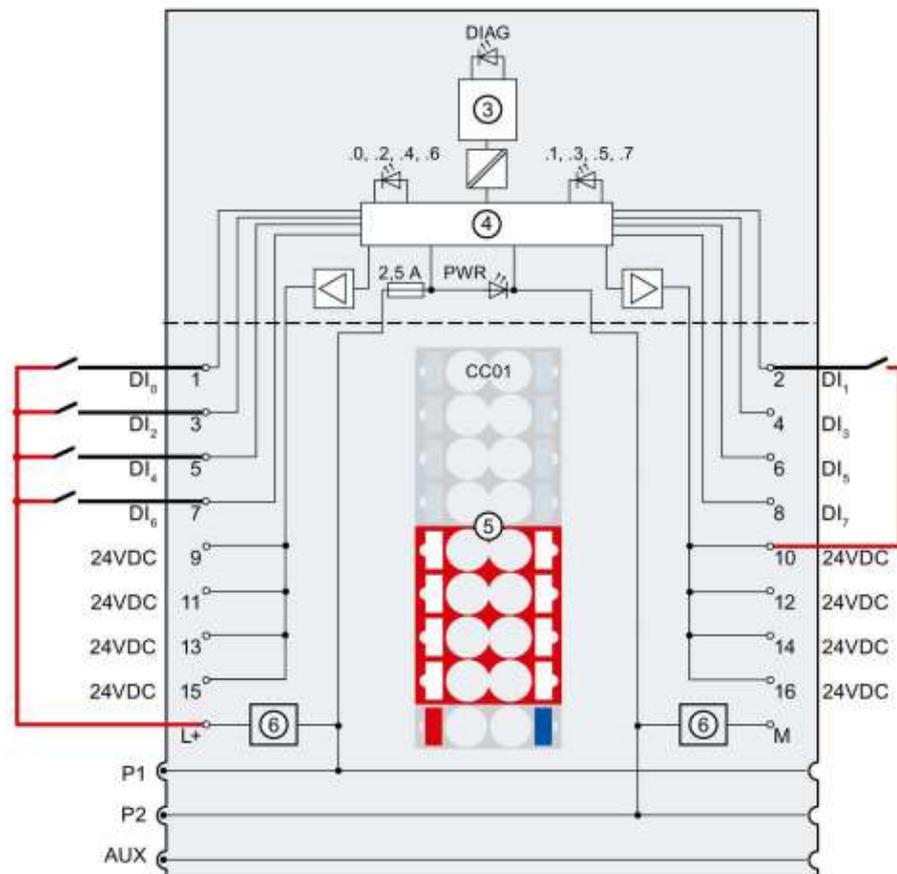


Figura 42. Esquema de conexiones del módulo DI 8x24VDC ST de la ET200SP

El segundo de estos módulos cuenta con una base gris por tratarse de un módulo de ocho salidas digitales estándar a 24V DC, DQ 8x24VDC/0.5A ST, son salidas digitales con un máximo de 0,5 A. En su caso, para conexión a dos hilos, los puntos de conexión de 9 a 16 no son salidas de alimentación sino entradas a masa.

En tercer lugar, aparece un módulo de entradas analógicas AI 2XI 2-/4-wire ST con base blanca. En este caso, se precisa una alimentación independiente por tratarse de una carta de entradas analógicas, mientras que las anteriores utilizaban tecnología digital.

Este módulo admite dos entradas analógicas a cuatro hilos 0-20 mA, 4-20 mA o ± 20 mA o cuatro entradas analógicas a dos hilos 0-20 mA o 4-20 mA.

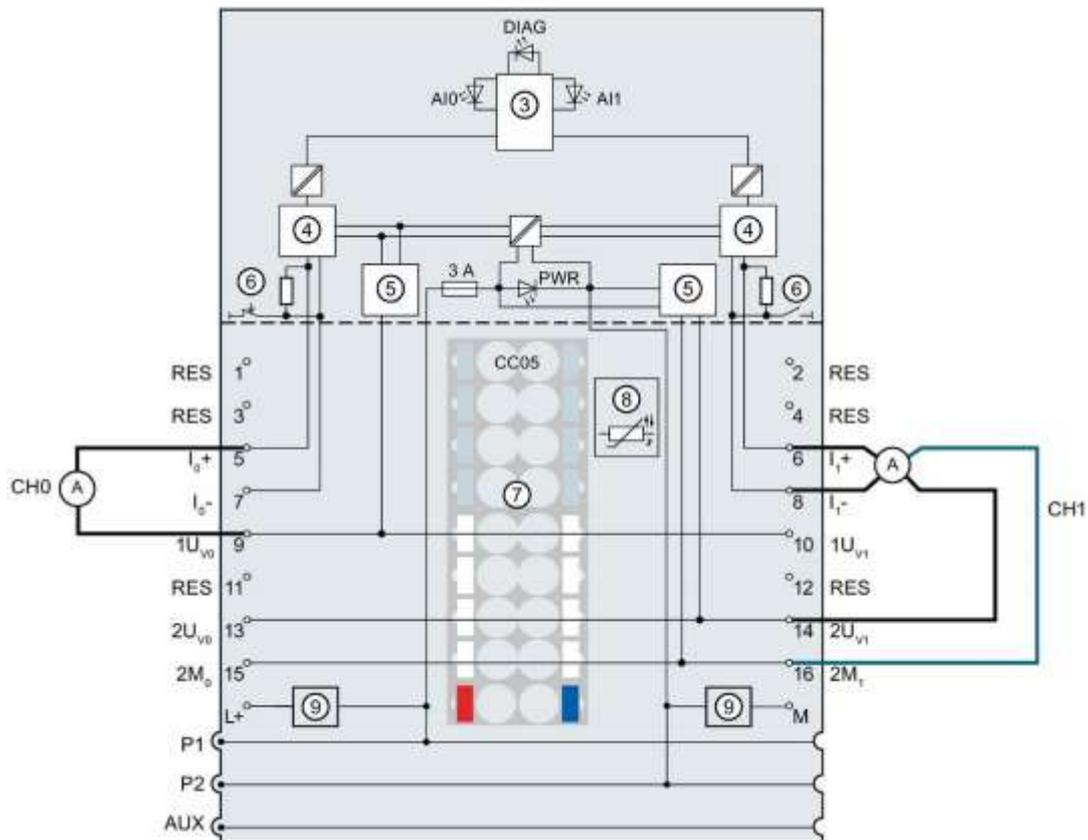


Figura 43. Esquema de conexiones del módulo AI 2XI 2-/4-wire ST de la ET200SP

En la figura 43, vemos un ejemplo de conexión a dos hilos (CH0) y a cuatro hilos (CH1) empleando los puntos de conexión auxiliares 9-16 correspondientes. Se empleará este módulo para recoger la señal del telémetro de posicionamiento de este sector.

Los dos últimos módulos son los de entradas y salidas de seguridad, F-DI 8x24VDC HF y F-DQ 4x24VDC/2A PM HF. Son módulos con tecnología Fail Safe de seguridad al igual que los empleados en el armario central o el sector 1 y con el color amarillo característico.

En el caso del módulo de entradas, cuenta con base blanca para la alimentación de estos dos módulos de seguridad. Tiene ocho entradas de seguridad y ocho puntos de alimentación para los sensores de seguridad y el establecimiento de la conexión a dos, tres o cuatro hilos.

Por su parte, el módulo de salidas tiene base gris y cuatro salidas de seguridad de 2A y 24V DC. Como en los módulos de S7-1200, se emplean salidas con interruptores PM y los módulos auxiliares son, como en el modelo estándar, de entrada a masa en lugar de alimentación de salida.

El final de este tipo de periféricas descentralizadas lo forma un pequeño módulo incluido en el suministro de la interfaz. Se denomina módulo servidor y actúa como final del bus de fondo de la comunicación de la periférica descentralizada. Aporta también algunas funciones de diagnóstico conjunto, identificación, información de bytes de estado, etc.

Para la comunicación con el armario central, la interfaz Profinet está directamente conectada a un cliente SCALANCE W748-1. Este elemento actúa como router de la red WLAN, accediendo a la misma sin posibilidad de modificar parámetros o configuraciones. En este caso, el módulo es el que recibe la información del RCOAX cable, para ello, se conecta el cliente a un cable N-Connect como el del armario central, conectado a un conector N-Connector macho/macho, al que se une la antena especial para datos RCOAX que puede ser para comunicación a 2,4 o 5 GHz.

- **Sector 3.** Este sector está también equipado con un modelo ET200SP. Sus módulos de expansión son los mismos que para el sector anterior salvo que en lugar del módulo de entradas analógicas, hay un módulo de contaje rápido modelo DI 8x24VDC HS.

El módulo es de alta velocidad y actualiza su imagen de entradas en períodos mucho menores que una carta de entradas, con ciclos mínimos de emisión de 125 μ s. Para operaciones de contaje, como la que se empleará en la instalación, cuenta con 32 bits y frecuencias de contaje de unos 10 kHz para cuatro posibles canales de entrada.

La conexión puede ser a hilo simple o a doble hilo con una estructura de conexionado y puertos exactamente igual a la que aparece en la figura 42 correspondiente al módulo de entradas digitales estándar. Además, por sus necesidades de contaje rápido y otras funcionalidades particulares, este módulo precisa de una base blanca de alimentación propia. En este caso, se emplea este módulo para el contaje de los encóder utilizados en este sector.

El resto de módulos de la ET200SP coinciden con los del sector 2 y, en este caso, no se precisa de ningún dispositivo para comunicación a mayores ya que la conexión se realiza vía Profinet directamente al conector de la interfaz del módulo.

3. Desarrollo del proyecto

En este apartado, se realiza una exposición de las fases seguidas para la realización y desarrollo del proyecto. Se trata de una descripción de las tareas realizadas durante la elaboración del proyecto, aspectos de definición y diseño del mismo, guía de programación o uso de distintos módulos empleados en la instalación, etc.

3.1 Formación inicial

La tecnología empleada en las puertas de grandes dimensiones es muy específica por lo que fue necesaria, para poder iniciar el proyecto, una introducción inicial a este tipo de industria. Esta formación básica pretende centrar los conocimientos previos generales a esta aplicación específica, tratando de comprender las particularidades, detalles y funcionamiento de las puertas de grandes dimensiones.

Para este primer acercamiento, se utilizaron numerosas filmaciones de puertas ya construidas y en funcionamiento, acompañadas de imágenes con detalles de ciertos puntos clave de las mismas, como los carriles, los armarios eléctricos y su colocación, sistemas de carril Vahle, etc. Además, también se tuvo acceso, a lo largo de todo el proyecto, a documentaciones completas de otros proyectos de similar entidad para concebir una idea general de la estructura, partes y orden a seguir. El apoyo en expertos en esta materia durante todo el desarrollo de la instalación, también es un punto clave a la hora de resolver distintas dudas que pueden surgir a lo largo del mismo o para obtener soluciones eficaces u óptimas para los distintos problemas que pueden aparecer.

Otro factor clave de la formación inicial, que realmente se extiende durante toda la duración del proyecto, es el aprendizaje básico del software a emplear así como de las tecnologías y dispositivos utilizados. Una primera introducción vía tutoriales, manuales de uso o explicaciones de técnicos familiarizados con estos

programas es muy importante a la hora de comenzar un proyecto de este calibre si se pretende avanzar correctamente.

Una correcta formación inicial es siempre una necesaria y productiva inversión que permite avanzar más rápidamente y con los conceptos e ideas muy claros, reduciendo en gran medida los posibles fallos a cometer.

3.2 Desarrollo del proyecto eléctrico

Una vez completada la definición mecánica de la puerta, realizada la oferta y con las especificaciones detalladas, tras la toma de varias decisiones en relación con el diseño previo, el primer objetivo a completar es el del desarrollo del proyecto eléctrico.

En un proyecto eléctrico deben quedar correctamente definidas todas las conexiones, cables, aparatos alimentados por electricidad y los protocolos, elementos y mecanismos de seguridad con los que cuenta la instalación. Esta serie de esquemas son posteriormente utilizados para dos tareas.

En primer lugar, el departamento eléctrico de montaje emplea estos esquemas para el conexionado eléctrico de toda la instalación. Por ello, los esquemas deben ser claros, autoexplicativos y perfectamente definidos sin precisar de una explicación a mayores o documentación auxiliar.

Por otro lado, el propio software empleado, recoge automáticamente los elementos empleados al contar con una base de datos, actualizable y ampliable incluso manualmente, que permite una fácil y rápida creación de listas de materiales y esquemas de cables y borneros.

En este proyecto se ha utilizado *See Electrical* para la realización de este apartado. Es un software comercial, ampliamente utilizado en la industria y muy similar a otros de uso muy extendido como Eplan. Se realizará a continuación una presentación de algunos ejemplos del esquema para resumir las distintas partes con las que cuenta el mismo.

La primera página de este dossier es una portada. En ella, aparece el nombre del proyecto, las empresas implicadas en mismo, fecha, número de hojas

y una lista con los distintos documentos que componen estos esquemas. Estos son:

- Esquemas eléctricos
- Plano de construcción de recinto
- Sinópticos de cables
- Plano de conexión de borneros/terminales
- Plano de conexión de cables
- Lista de parte (de elementos)

Tras el índice, aparece el primero de estos documentos. Se trata del sinóptico de cables. En concreto, la figura 44 muestra el conexionado de cables entre el armario central y el primero de los sectores. Tanto en esta como en el resto de páginas, aparece un cajetín con información sobre el proyecto y la página concreta.

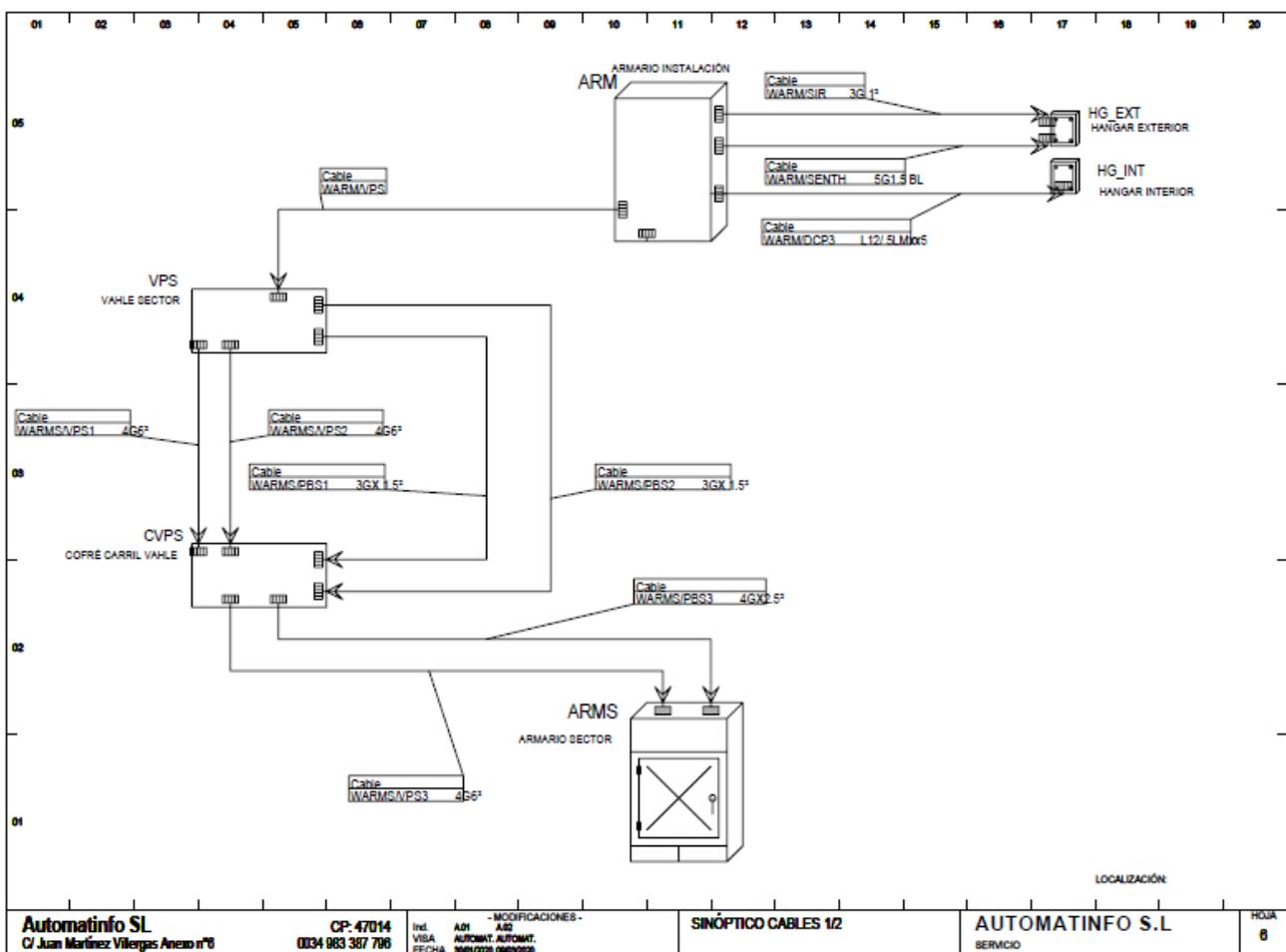


Figura 44. Sinóptico de cables proyecto eléctrico

En el caso de los esquemas eléctricos, se deben presentar algunas partes clave. En primer lugar, se representa la toma de corriente desde la acometida general. Se puede observar en la figura 45. Desde esta acometida se obtienen las tierras de la instalación, se toman los 230V AC para los sectores y cada sector obtiene corriente tanto para sus tomas de corriente propias, cómo sus convertidores de 24V DC.

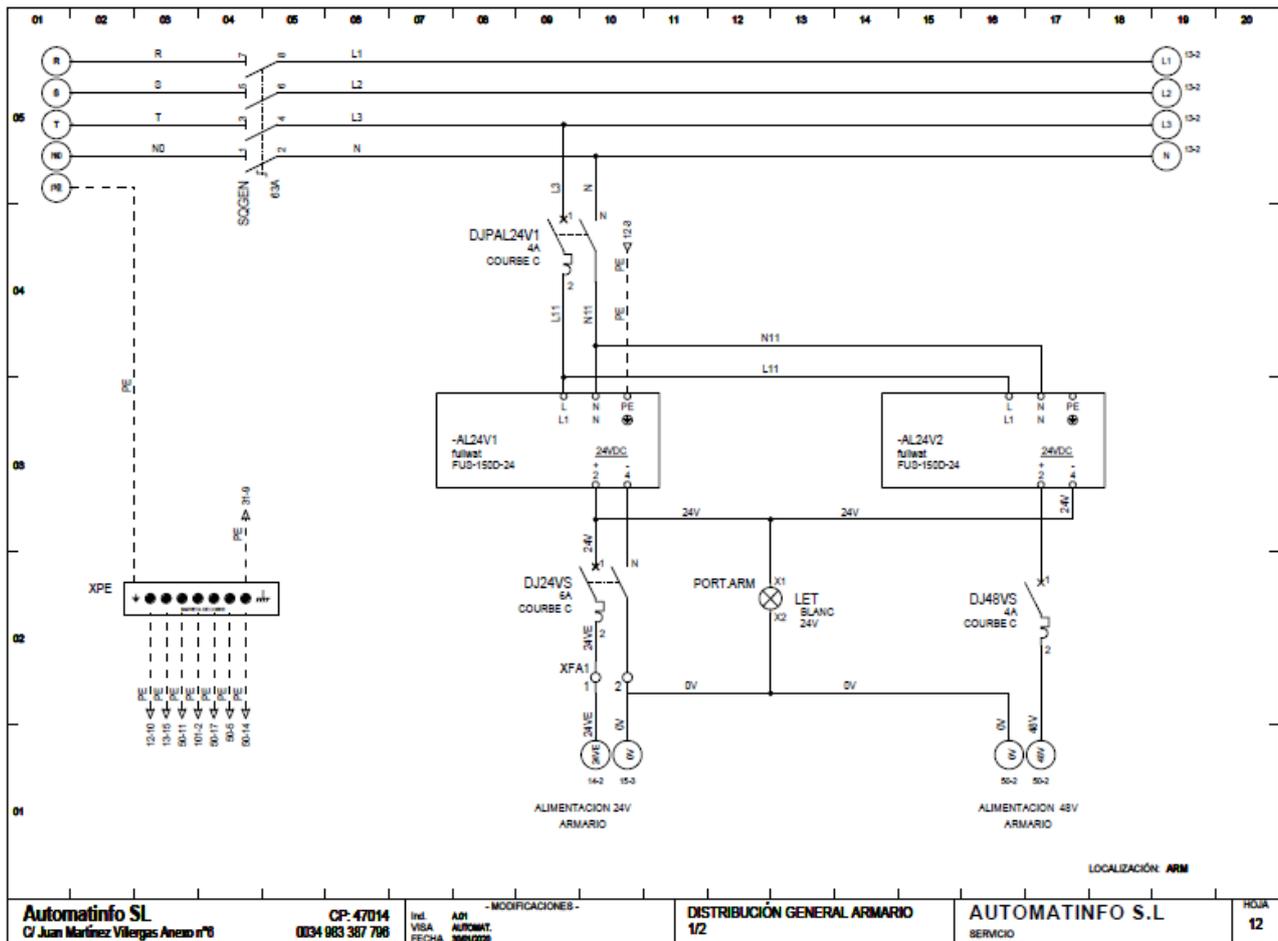


Figura 45. Distribución general del armario central del proyecto eléctrico

Se puede observar en los distintos esquemas, como todos los puntos y elementos están referenciados para facilitar la lectura. Es necesario poder seguir estos esquemas sin necesidad de material o consultas adicionales.

Los siguientes esquemas en aparecer en el documento son las seguridades en forma de relés, la alimentación de los sensores, la alimentación de los distintos autómatas y módulos. Un ejemplo de estos últimos se puede apreciar en la figura 46. Como se ha mencionado todos los elementos, incluidos autómatas y módulos,

tienen su nombre y referencia, por lo que es sencilla la posterior creación de una lista con los materiales de la instalación.

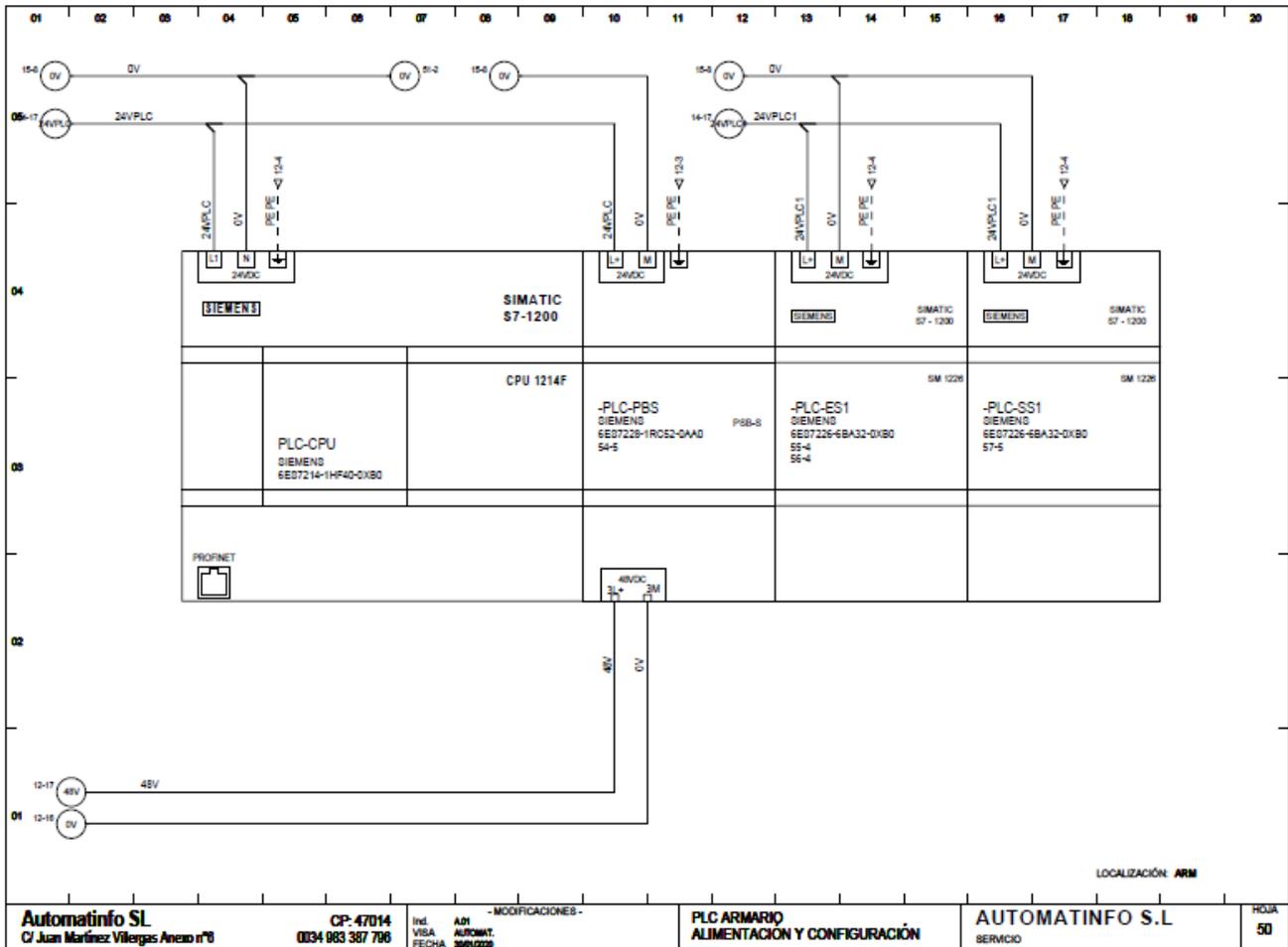


Figura 46. Alimentación y configuración CPU armario central

Otra parte importante de estos esquemas es el cableado de las distintas cartas de entrada y salida. Deben coordinarse en este punto las entradas y salidas físicas a utilizar con las empleadas y descritas en el software de programación de los autómatas de la instalación. Un ejemplo de este tipo de esquemas se presenta en la figura 47.

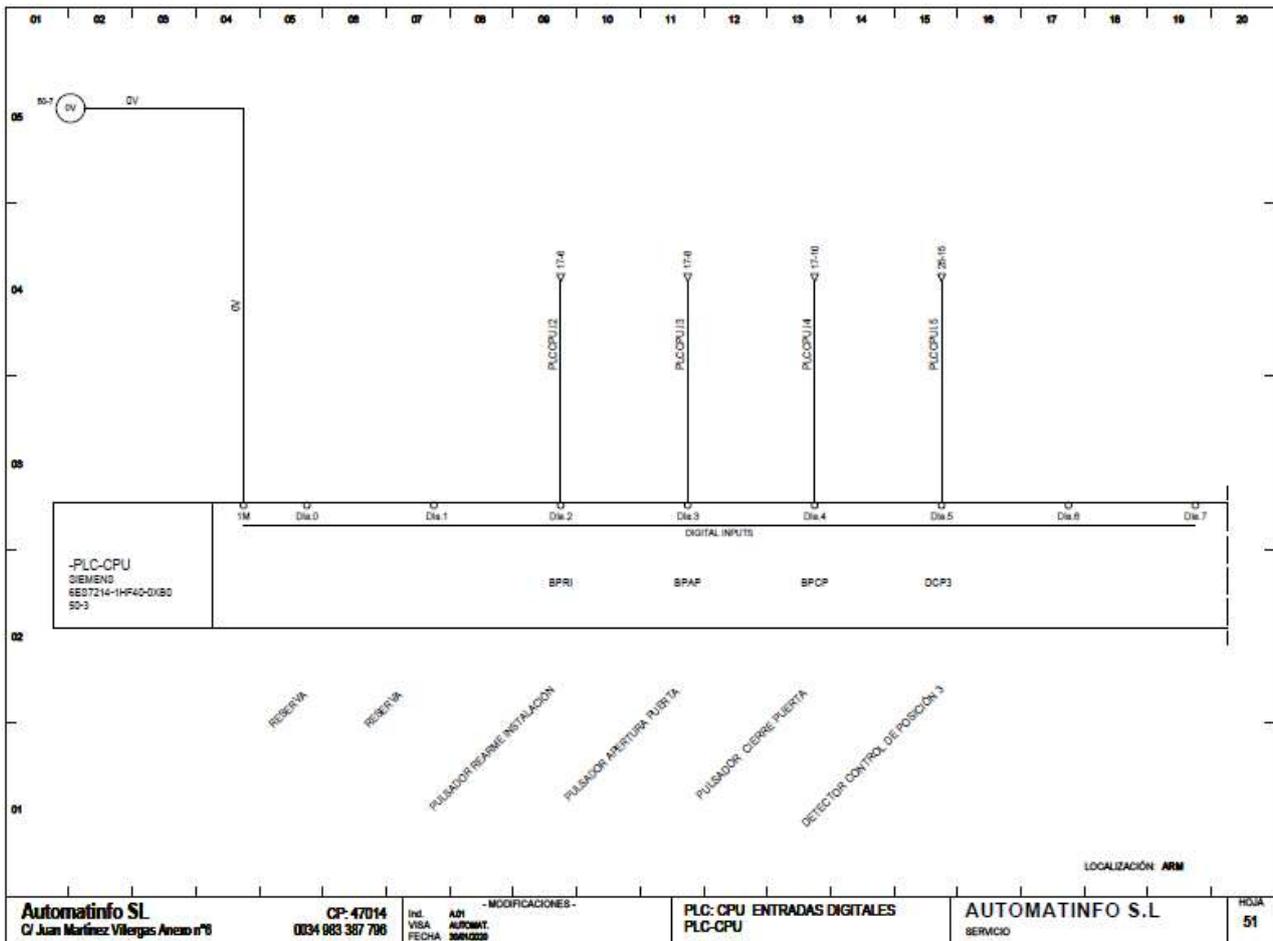


Figura 47. Conexionado de las entradas digitales de la CPU central del proyecto eléctrico

Otro aspecto clave de un proyecto eléctrico es el diseño de los armarios eléctricos. Sus esquemas también son presentados en este apartado y tienen en cuenta aspectos como la refrigeración de ciertos elementos, como por ejemplo, convertidores de frecuencia, o la disposición de algunos convertidores de señal u otros elementos que pueden provocar interferencias en las señales recibidas. Estos y otros aspectos determinan el tamaño y la posición en el interior de cada armario eléctrico. El armario central de la instalación puede verse en la figura 48.

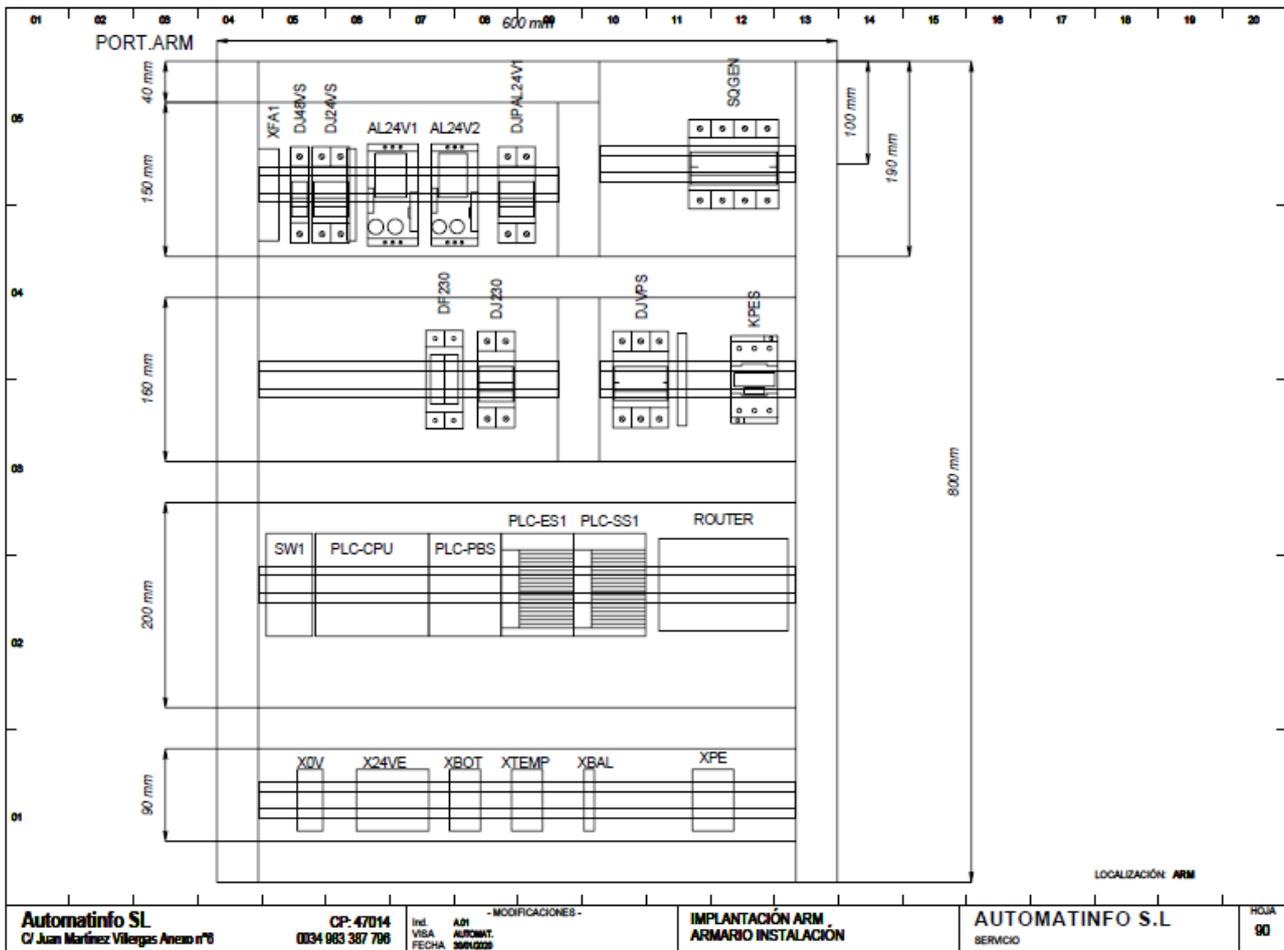


Figura 48. Implantación de armario central del proyecto eléctrico

Estos esquemas cuentan con los cables y borneros de la instalación, indicándose el número de puntos de conexión o cables internos de los mismos con nombre, referencia y envío respectivo.

Para terminar el documento, se puede encontrar una lista de materiales completa con la localización, la hoja en la que aparece, el nombre abreviado del esquema, el fabricante y el número de referencia del elemento.

3.3 Desarrollo de la automatización de la instalación

Durante esta fase, se realiza tanto la puesta en marcha de los dispositivos de comunicación, cómo la programación de estos y de los dispositivos de automatización, incluyéndose la parametrización de los mismos y el desarrollo de los programas de autómeta.

Para el desarrollo de los programas, se siguieron las pautas especificadas en la oferta inicial y las modificaciones que se fueron realizando a medida que el tiempo avanzaba. Si bien el programa completo no será analizado en este apartado, sí se detallarán algunas partes de su contenido, no muy habituales en la industria. Entre estas partes están los programas de seguridad realizados, los módulos de control de los elementos de comunicación empleados o algunas configuraciones o parametrizaciones utilizados.

Para la programación de todos los elementos de la instalación se ha empleado TIA PORTAL v15.1. Se trata del software de programación oficial de Siemens más avanzado. Se caracteriza por su intuitivo interfaz y por su compatibilidad con sus propios dispositivos y los de otros fabricantes. Esto permite en un mismo proyecto aunar toda la red de comunicación estableciendo la mayor parte de programa y parametrizaciones en el mismo.

No se pretende en este apartado un análisis del programa en profundidad ya que, en general, se trata de un programa sencillo y el funcionamiento de la instalación se detalla en el capítulo 4. Funcionamiento de la puerta. No obstante, a continuación se va a presentar la estructura del programa y la explicación de algunas partes importantes a la hora de poner en marcha la instalación, los sistemas de comunicación y el sistema de lectura RFID.

El programa del proyecto tiene una primera división debida a los componentes hardware que lo componen. Así, existe un programa de la CPU central, un programa de la CPU del sector 1 y un programa para el HMI. El programa principal es el de la CPU central. Este gestiona directamente la instalación al completo enviando órdenes a los distintos sectores y recogiendo los datos aportados por los sensores del mismo. La comunicación con el Sector 1 es distinta por la tecnología PSB empleada y se analizará detalladamente. Por su parte, el HMI tiene programadas las distintas pantallas y sus actuaciones concretas que afectan al programa de la CPU central.

Como se aprecia en la figura 49, el programa se compone de varios elementos. En primera instancia, aparecen las OB que son los módulos ejecutables una sola vez o de manera cíclica (Main) y que realizan las tareas de los demás módulos. El Main es el programa principal que se ejecuta de manera cíclica y sigue un orden de ejecución de tareas secuencial. Las FC son funciones

que realizan tareas concretas y cuya ejecución se realiza desde el Main. Es importante mantener un orden correcto de ejecución de estas FC por el orden secuencial de ejecución de las mismas y ayudan a dividir el proyecto completo en partes más pequeñas, esto facilita el trabajo, su modificación así como la comprensión del código. Por su parte, las FB son un elemento similar que tiene asociado una DB de instancia, base de datos con las variables locales estáticas empleadas, y que actúan como si de una clase en programación orientada a objetos se tratase.

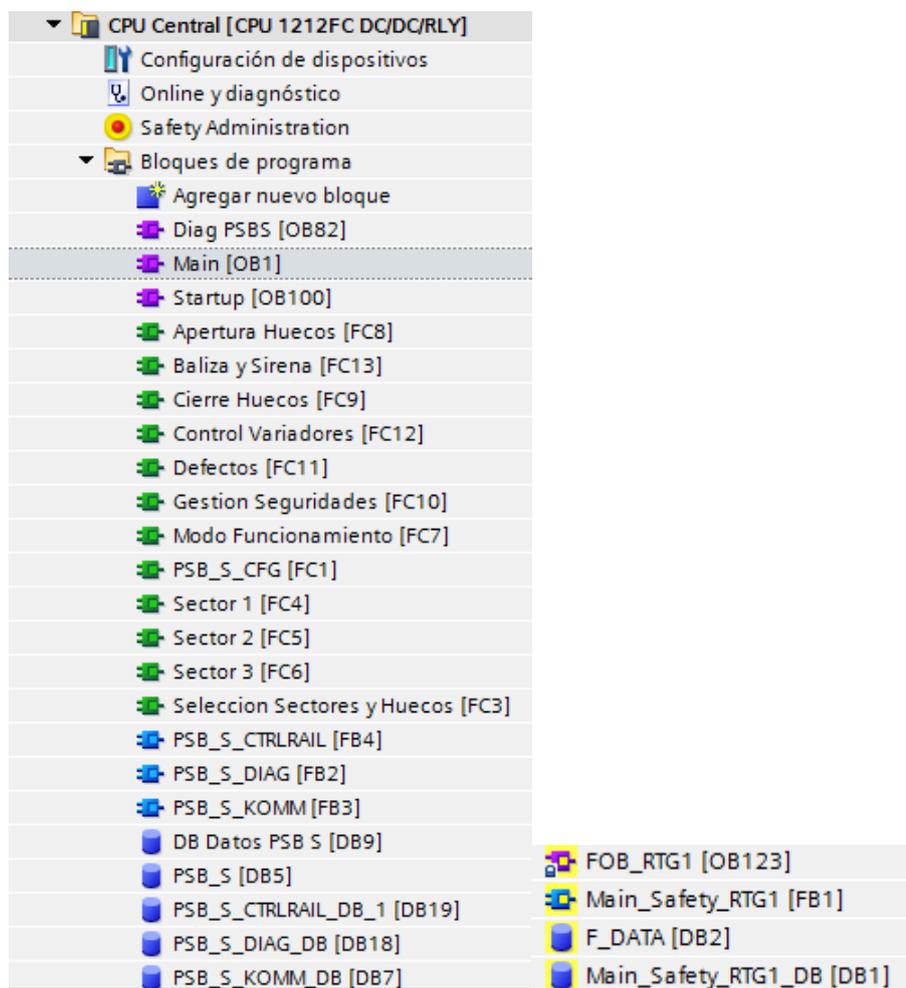


Figura 49. Estructura del programa de autómatas de la CPU central

El primer aspecto importante de este programa es la comunicación de la PSB-S con el PSB-C del sector 1. Para el intercambio y presentación de información de la comunicación PSB, se emplean dos tipos de estructura de datos aportadas por el fabricante. Son el PSB-S Value y el PSB-S Diag. En el primero, se almacenan los valores de configuración y los valores de palabras intercambiadas con cada módulo de PSB-C conectado, figura 50. Por su parte, la palabra de diagnóstico almacena la aparición o no de un error con el indicador hardware

concreto (laddr) que lo provoca y una palabra de estado (state) que indica el tipo de fallo encontrado, figura 51.

3	←	▣	▾ PSB_S_VALUE	*UDT_PSB_S_Val...	48.0
4	←	▣	NewValue	Bool	48.0
5	←	▣	Count_Modul	USInt	49.0
6	←	▣	▶ Module_Cfg	Array[1..8] of Struct	50.0
7	←	▣	▶ Module_Values	Array[1..8] of Struct	146.0
8	←	▣	Cfg_Error	Bool	386.0

Figura 50. Estructura de la palabra PSB_S_VALUE

PSB_S					
		Nombre	Tipo de datos	Offset	
1	←	▣	▾ Static		
2	←	▣	▾ PSB_S_DIAG	"UDT_PSB_S_Diag"	0.0
3	←	▣	▾ Module_Diag	Array[1..8] of Struct	0.0
4	←	▣	▾ Module_Diag[1]	Struct	0.0
5	←	▣	State	Word	0.0
6	←	▣	laddr	HW_ANY	2.0
7	←	▣	multierror	Bool	4.0

Figura 51. Estructura de la palabra PSB_S_DIAG

Para la actualización del diagnóstico del dispositivo, aparece tanto en este como en los dispositivos PSB-C un bloque OB de diagnóstico cuya activación se produce por evento. Sus entradas y salidas son las dos palabras ya mencionadas que actualizan sus valores al aparecer un fallo y activarse dicho bloque de gestión. Este, al igual que los demás bloques, es facilitado por la propia marca Siemens.

Este módulo precisa de un OB de inicio, Startup OB100. Este solo se activa en el primer ciclo del autómata y configura el PSB-S con los distintos módulos asociados y sus direcciones e indicadores hardware.

Para la comunicación con el módulo PSB-S, se precisan de dos FB en la que una depende de la otra. La FB "PSB_S_KOMM" se encarga de gestionar la comunicación con los distintos módulos conectados a la PSB-S. Sus entradas son las dos palabras ya mencionadas del PSB-S. Esta FB, hace uso de manera transparente de las FB "PSB_S_CTRL_RAIL". Se debe crear una por cada módulo PSB-C correctamente identificada y que recibirá los datos concretos a enviar o recibir por el mismo, figura 52. De esta forma, tanto en la palabra leída como en la palabra escrita se ataca bit a bit al disponerse únicamente de 16 bits para la comunicación. Para aprovechar al máximo estos bits, se ha realizado un mapeo de esta palabra de comunicación asignando a cada bit un valor de un sensor o

variable concreta que indica su estado en este momento. Así, se reservan, por ejemplo, dos bits que indican la posición del sector 1 en el momento actual, un bit de sector preparado, un bit de emergencia activada, un bit de rearme de la instalación, un bit que indica selección de apertura, otro que indica selección de cierre, etc.

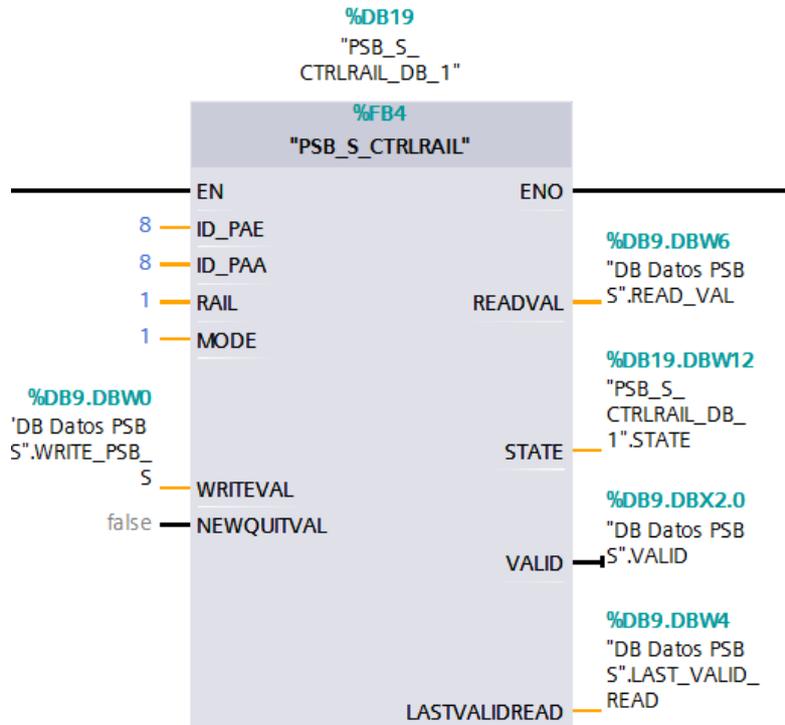


Figura 52. Bloque de gestión de comunicación PSB_S_CTRLRAIL

Respecto a los programas de seguridad, su programación es completamente igual a la de un programa estándar salvo por el uso de las variables de seguridad. Todos los elementos de seguridad, bloques, DB, variables, etc., aparecen marcados en amarillo para una fácil distinción. Cuando una parada de seguridad del tipo que sea se activa, este programa bloquea el programa estándar y pasa a un estado seguro, pre configurado, del cual se sale mediante el rearme de la instalación del modo establecido en la definición de la misma. La figura 53, muestra la gestión de la parada de seguridad del sistema activada vía pulsador de seguridad o Banda Mayser.

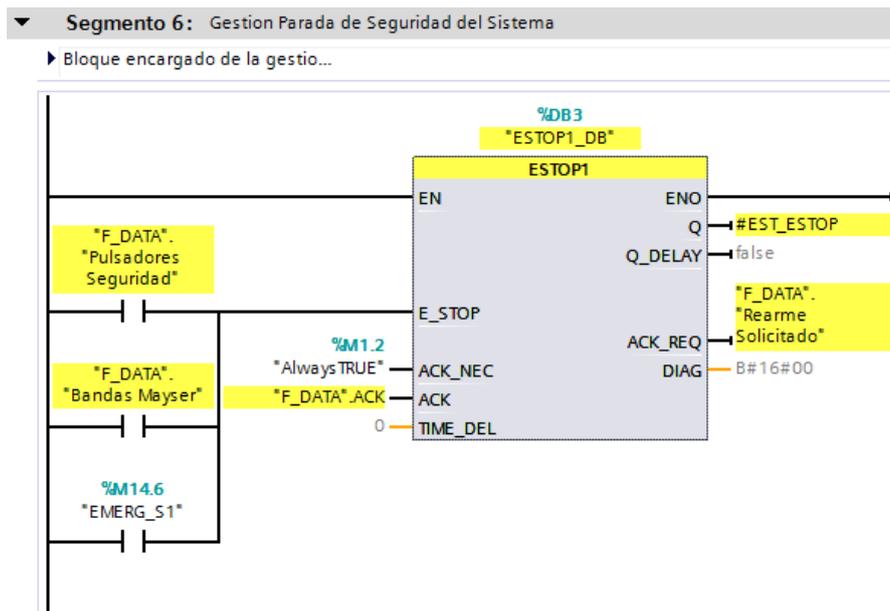


Figura 53. Gestión parada de seguridad de la instalación en el programa de seguridad

Por su parte, el programa del Sector 1 tiene una estructura similar a la del autómatas central, figura 54. Este programa recoge los datos de los sensores de este sector y los envía, una vez procesados, al autómatas central. Este último, será el encargado de tomar decisiones de actuación y enviar las mismas al autómatas del Sector 1, que transmitirá estas decisiones a sus actuadores asociados.

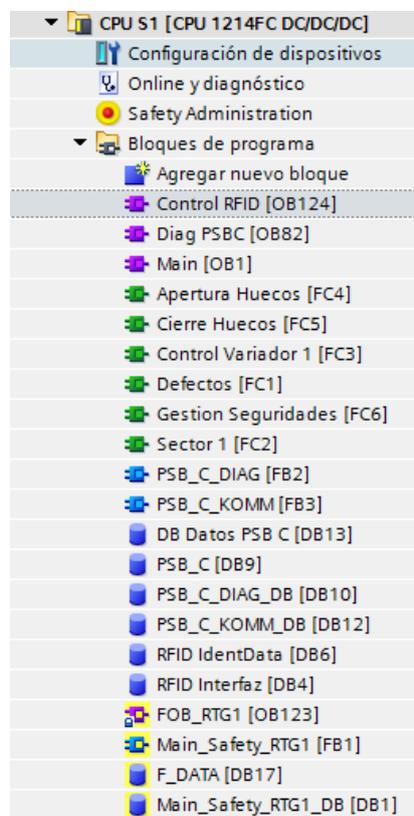


Figura 54. Estructura de programa de la CPU del Sector 1

La gestión del dispositivo PSB-C del sector es muy similar a la del PSB-S del sector central por lo que no es necesario detallar de nuevo sus peculiaridades. De este programa, el elemento más complejo es el dispositivo RFID. Este dispositivo también dispone de una serie de FBs, OBs y DBs asociadas para su utilización. También cuenta con una palabra de diagnóstico y una palabra de valores. Esta última, figura 55, permite almacenar los valores leídos en cada momento por el lector o cargar palabras a escribir en un transpondedor. Como se puede ver, se trata de una palabra de escritura y una de lectura formadas por 512 bytes que son los disponibles para esta comunicación.

RFID IdentData		
	Nombre	Tipo de datos
1	Static	
2	readData	Array[0..511] of Byte
3	writeData	Array[0..511] of Byte

Figura 55. Estructura del dato RFID IdentData

Para conocer el funcionamiento completo de la puerta, es decir, la funcionalidad de estos dos programas más detalladamente, véase el apartado 4. Funcionamiento de la puerta.

3.4 Desarrollo de la documentación

Esta es la última de las fases del proyecto. Una vez terminado el mismo o en la parte final de su realización, es necesaria la creación de una serie de documentación complementaria a mayores de las ya descritas anteriormente. Dependiendo del tipo de proyecto, la empresa o empresas involucradas, esta documentación puede ser más o menos extensa y puede contar con distintos apartados.

Para la instalación que nos ocupa, lo habitual es el desarrollo de una memoria de proyecto completa, por tratarse de un proyecto de I+D+i y un manual de uso y mantenimiento.

En el caso del manual de uso y mantenimiento, se ha realizado por completo. En él, aparecen las instrucciones básicas de utilización de la puerta como pueden ser:

- Descripción de la instalación y sus partes

- Manual de uso del HMI
- Manual de uso de la botonera
- Descripción completa de los defectos y como subsanarlos
- Descripción de los modos de emergencia y defecto que pueden aparecer
- Descripción de los modos de funcionamiento de la instalación

4. Funcionamiento de la puerta y presupuesto

En este capítulo, se hace una descripción del funcionamiento de la puerta a modo de manual de uso y descripción tanto de los modos de actuación, como de algunos modos especiales como el de emergencia o defecto.

4.1 Funcionamiento final de la instalación

La instalación tiene distintos modos de funcionamiento en función de su configuración y modo de actuación. En el primer caso, se pueden emplear los modos de funcionamiento en dos carriles, los sectores 1 y 2 comparten carril, o el modo tres carriles, en el que cada sector cuenta con su propio carril. Esto implica algunas peculiaridades a la hora de trabajar con la puerta, de sus modos de seguridad y de la forma de manejo de la misma.

En cuanto al modo de actuación, se puede utilizar el modo manual, en el que el operario toma el control total del movimiento de los sectores, o el modo automático. Realmente, no se trata de un modo automático ya que el operario también debe tomar una serie de decisiones y es el que indica el movimiento por lo que es más correcto definirlo como un modo semiautomático. En este modo, el operario elige el hueco a abrir o cerrar y la puerta realiza automáticamente los movimientos pertinentes.

4.1.1 Modo manual

La característica fundamental de este modo es que la activación de los movimientos de los sectores se realiza mediante el sistema de *pulsación*

de hombre muerto. Esto quiere decir que la puerta se mueve mientras el operario pulsa apertura o cierre y si el pulsador deja de estar activo el movimiento para inmediatamente.

En el modo manual solo es posible seleccionar sectores de la puerta y no huecos a abrir o cerrar. Es posible seleccionar varios sectores a la vez para su apertura o cierre conjuntos, pero nunca se podrán realizar acciones contrarias en sectores distintos.

El ciclo de apertura o cierre de la puerta en modo manual sería el siguiente:

1. Selección del modo manual en el selector de la botonera central.
2. Selección del modo de carriles a utilizar en la pantalla principal -o en la pantalla de configuración- del IHM.
3. En la pantalla de selecciones, activar el sector o los sectores que se desean mover.
4. Pulsación -mantenida- de apertura o cierre para comenzar el movimiento de los sectores seleccionados.
5. Una vez terminado el movimiento, se debe pulsar el botón de borrar selecciones para eliminar las memorias activas, manualmente se pueden desactivar los sectores antes activados, pero es más costoso e ineficaz.

Como medida de seguridad, las posiciones extremas de los sectores, posiciones de apertura o cierre totales, cuentan con la activación automática de la rampa de pequeña velocidad del variador para realizar paradas controladas y evitar golpes a los sectores, de manera que se

comienza una desaceleración programada de la puerta que finaliza con la parada de la misma en el punto de cierre.

4.1.2 Modo semiautomático

Es un modo más complejo que el manual que cuenta con movimientos concretos programados para el movimiento de los huecos especificados en la definición de la puerta.

La apertura de huecos y sectores, así como el cierre de los mismos, no debe ser coherente. Es decir, si se abre por ejemplo el hueco número 4, luego es posible abrir otro hueco sin necesidad de cerrar antes el mencionado.

Algo similar ocurre para los cierres. Por ejemplo, es posible abrir una serie de huecos, hueco 1 y hueco 2, y después cerrar solo uno de ellos, por ejemplo, el hueco 2. Esto dota al sistema de gran flexibilidad y libertad a la hora de movilizar la puerta.

Para el funcionamiento de la puerta se han programado los siguientes huecos y movimientos que se detallarán a continuación. Como veremos al final de este apartado, con los movimientos con los que se cuenta es posible abrir cualquier hueco de la puerta, salvo la luz completa en el modo de dos carriles por la imposibilidad física que implica el compartir el carril para ambos huecos.

1. Sector 1/Hueco 1

El Sector 1 se mueve hasta situarse detrás del Sector 3, en la imagen 56 se levanta el sector para poder ver su posición, pero este no es el lugar que ocupa realmente- dejando libre su posición de inicio que se denomina hueco 1. Lo mismo ocurre para los sectores/huecos 2 y 3 que se muestran a continuación.

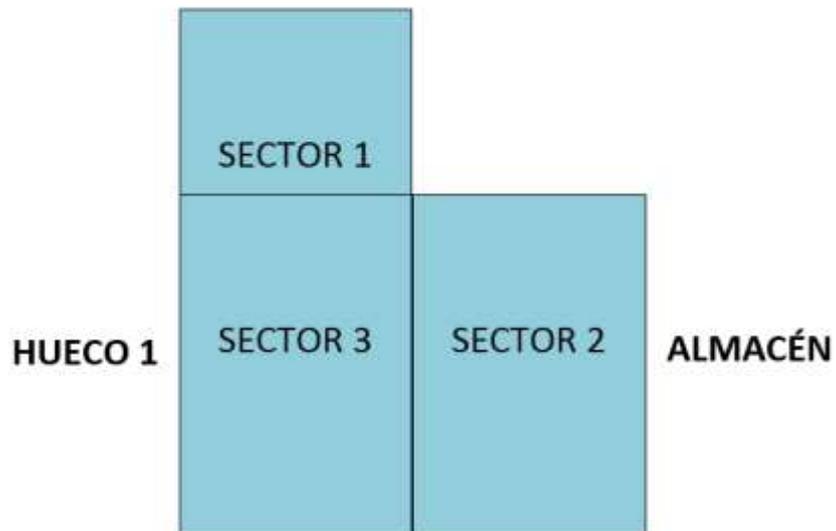


Figura 56. Esquema de situación de los sectores con apertura de hueco 1

2. Sector 2/Hueco 2

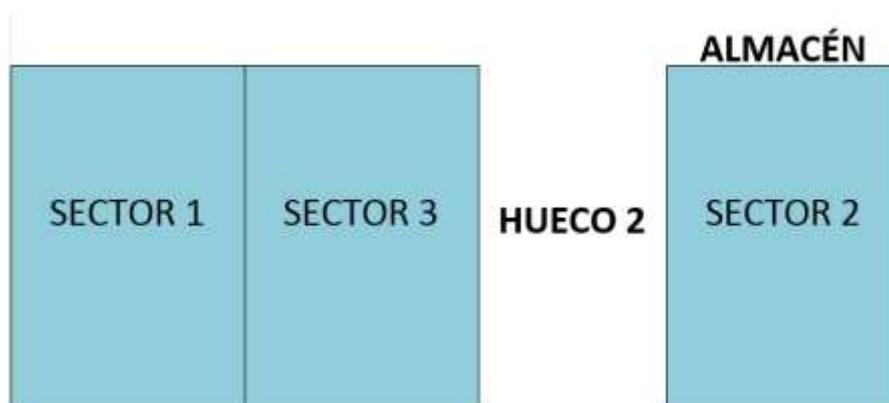


Figura 57. Esquema de situación de los sectores con apertura de hueco 2

3. Sector 3/Hueco 3

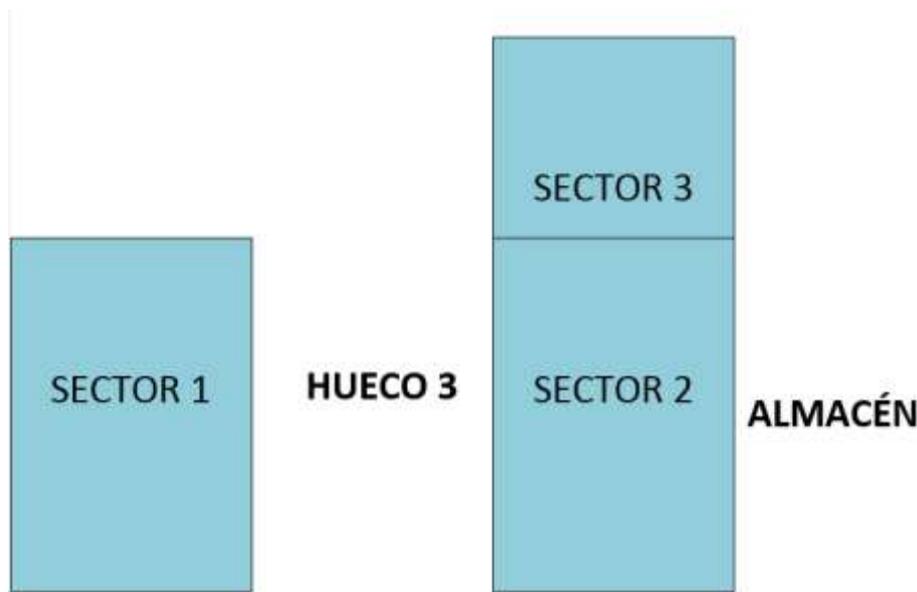


Figura 58. Esquema de situación de los sectores con apertura de hueco 3

4. Hueco 4

En este caso del hueco 4 corresponde a la apertura de los huecos simples 2 y 3, figura 59. Si bien el movimiento del sector 2 es el mismo que el de la apertura de su hueco, el sector 3 ahora se desplaza hasta colocarse en la posición del sector 1, opción más rápida y eficaz que la de desplazarse hasta el almacén.



Figura 59. Esquema de situación de los sectores con apertura de hueco 4

5. Hueco 5

El hueco 5 corresponde a la apertura de los huecos simples 1 y 3, figura 60. Si bien el movimiento del sector 3 es el mismo que el de la apertura de su hueco, el sector 1 ahora se desplaza hasta colocarse en la posición del sector 2, quedando todos los sectores situados en el mismo lugar.

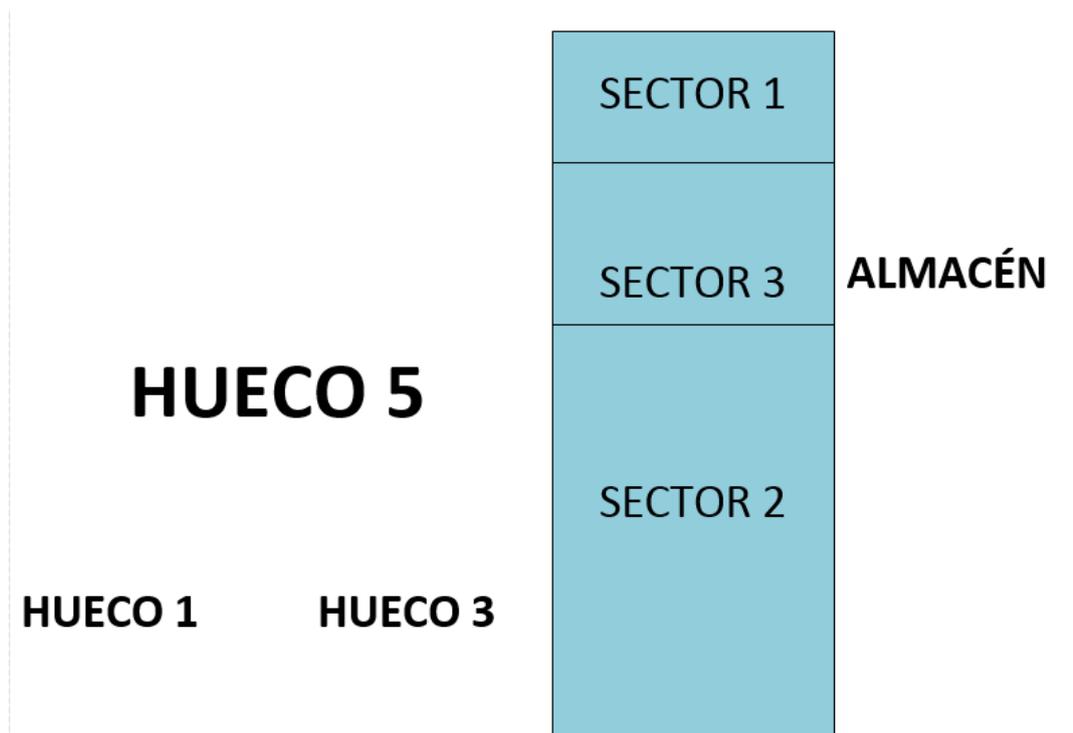


Figura 60. Esquema de situación de los sectores con apertura de hueco 5

6. Hueco 6 / Apertura total

Se produce la apertura total de la puerta que solo está disponible en el modo de tres carriles. Todos los sectores quedan guardados en el almacén, figura 61.



Figura 61. Esquema de situación de los sectores con apertura de hueco 6

En este modo de funcionamiento, el ciclo de apertura o cierre de la puerta que el operario debe seguir es el siguiente:

1. Selección del modo automático en el selector de la botonera central
2. Selección del modo de carriles a utilizar en la pantalla principal -o en la pantalla de configuración- del IHM
3. En la pantalla de selecciones, activar el sector/es o el hueco/s que se desean mover
4. Para iniciar el movimiento pulsar el botón de apertura o cierre una sola vez.
5. El movimiento se completa de manera automática de la forma programada si no se produce ninguna interrupción
6. Si se pulsa la parada de servicio el movimiento se pausa, pero queda grabado. Para su reanudación, se deberá volver a pulsar la apertura o cierre y se finalizará el movimiento antes comenzado

7. Una vez finalizado el movimiento, se debe realizar un *CLEAR* en el IHM para eliminar las memorias activas y reiniciar la selección de huecos o sectores, manualmente se pueden desactivar los sectores antes activados, pero es más costoso e ineficaz.

4.1.3. Modos especiales de funcionamiento

Se recogen aquí los distintos modos de funcionamiento que aparecen en condiciones extraordinarias y que están relacionados con activaciones de modos de seguridad o defecto de la puerta durante su funcionamiento.

- **Modo Defecto Choque.** Este modo se activa cuando las fotocélulas del Sector 1 o Sector 2 detectan la presencia de un objeto dentro de su ventana de seguridad. Mientras se detecte esta presencia, se fuerza la puerta a modo manual, aunque el selector indique modo automático, y el operario deberá separar el sector 1 del objeto cercano para desactivar este modo y poder continuar con el funcionamiento normal.
- **Modo Defecto.** El modo de defecto se activa cuando un defecto aparece en la instalación, salvo el defecto de choque que precisa del movimiento de la puerta. Este modo bloquea la puerta y restringe su movimiento hasta que la instalación sea rearmada. Una vez corregido el defecto, mediante el pulsador de rearme de la instalación se logra volver al modo de funcionamiento normal de la puerta.

- **Modo Emergencia.** El modo de emergencia se activa cuando se produce una parada de emergencia. Tras realizar el rearme de la instalación, una vez corregido el fallo de seguridad, la puerta pasa a modo de emergencia. Este modo bloquea el modo manual y, por seguridad, obliga al operario a abrir o cerrar completamente la puerta para reiniciar el sistema y volver al funcionamiento normal.

4.1.3. Diálogo Hombre-Máquina

Para el diálogo entre el operario y el sistema se cuenta con dos sistemas para el comando de la puerta –IHM y botonera- pero también existe una baliza tricolor y una sirena acústica para un fácil conocimiento del estado de la puerta para toda persona que se encuentre en su zona de influencia. Sus distintas funcionalidades se detallan a continuación:

- **Botoneras.** La instalación se compone de una botonera principal en el armario central y tres pequeñas botoneras embarcadas en cada sector. En estas botoneras descentralizadas encontramos un pulsador de emergencia para cada sector que afecta a toda la instalación. La botonera del sector tres es distinta a las demás, pues cuenta con dos botones, uno de apertura y otro de cierre, para la puerta embarcada.

La botonera central cuenta con los principales botones para comandar la puerta:

- **Parada de emergencia.** Es el pulsador principal de parada de emergencia de la instalación que activa el modo de

funcionamiento de emergencia de la puerta, al igual que sus iguales en los armarios embarcados.

- **Selector manual/automático.** Selector simple de dos posiciones que permite cambiar el modo de funcionamiento de la puerta.
 - **Pulsador apertura.** Activa el movimiento de apertura de la puerta que será el que corresponda en función de las selecciones de movimientos llevadas a cabo desde el HMI.
 - **Pulsador cierre.** Activa el movimiento de cierre de la puerta que será el que corresponda en función de las selecciones de movimientos llevadas a cabo desde el HMI.
 - **Pulsador parada de servicio.** Es un pulsador pensado para detener la puerta en modo automático. Cuando es activado, la puerta se detiene pero el movimiento seleccionado sigue activo y podrá reanudarse si así lo desea el operario. Esto permite, por ejemplo, corregir un movimiento ya iniciado y sustituirlo por otro, antes de finalizar el ciclo completo, si la selección ha sido errónea.
 - **Pulsador rearme de la instalación.** Se encarga de la puesta en servicio de la instalación, después de la aparición de un defecto o de una parada de emergencia, tras verificar el operario que el problema aparecido ha sido corregido.
-
- **IHM Interfaz táctil.** Tiene el fin de simplificar la instalación, reduciendo el número de botoneras, y de una mayor y mejor presentación de la información de la misma. En la figura 62, se puede ver la plantilla empleada para todas las pantallas del dispositivo.

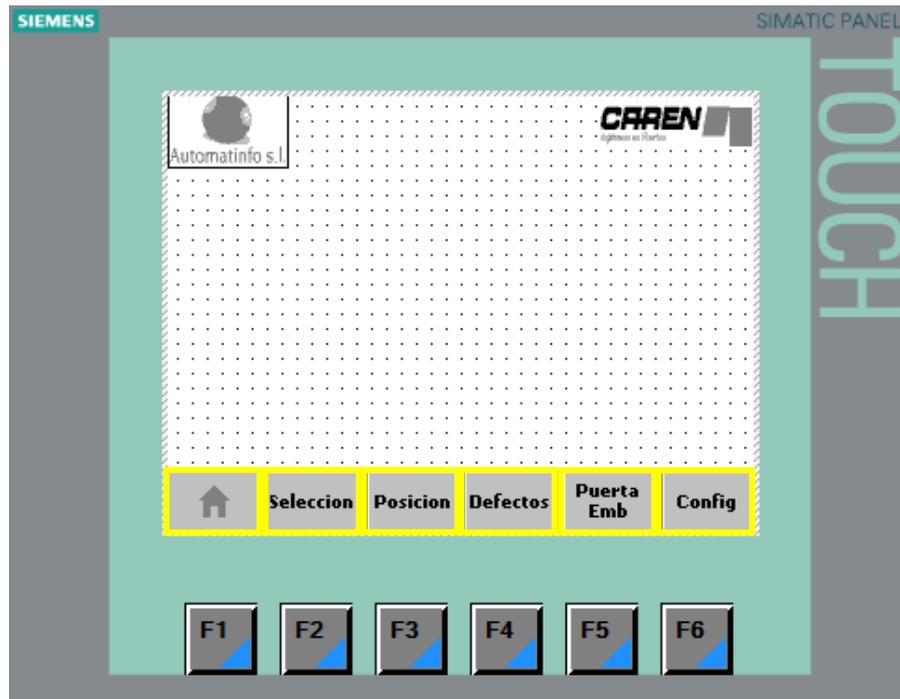


Figura 62. Plantilla de imágenes para el HMI

El diseño de la interfaz cuenta con seis pantallas distintas a las que se accede mediante los seis pulsadores que aparecen en la figura 62:

- **Pantalla principal.** Es la pantalla que aparece en primera instancia al encender el sistema, figura 63. Se trata de una pantalla de bienvenida cuya función principal es la selección del modo de dos carriles del sistema. Mediante un interruptor -ON/OFF- nos indica si tenemos activo este modo o no -en cuyo caso el modo activo es el de tres carriles-. Desde esta pantalla también podemos hacer un *CLEAR*, es decir, eliminar todas las selecciones de movimientos que puedan estar activas en ese momento.



Figura 63. Pantalla principal del HMI

- **Pantalla selecciones.** Esta pantalla, figura 64, permite seleccionar los sectores o huecos a abrir o cerrar. Se utiliza indistintamente en modo manual y automático. Cuando un sector o hueco se selecciona, se oscurece el mismo para indicar que está activado. Al volver a seleccionar dicho sector o hueco este se desactiva volviendo al color inicial más claro.

Al igual que en la pantalla principal, se cuenta con el botón de *CLEAR* que elimina las selecciones activas que pueda haber en el sistema.

En la parte derecha de esta pantalla, se encuentra información sobre la posición de los distintos sectores y huecos. Si un sector o hueco se encuentra en posiciones abierta o cerrada, su indicador se activa. Lo mismo ocurre con los indicadores de modo

que indican si la puerta se encuentra en modo manual o automático.

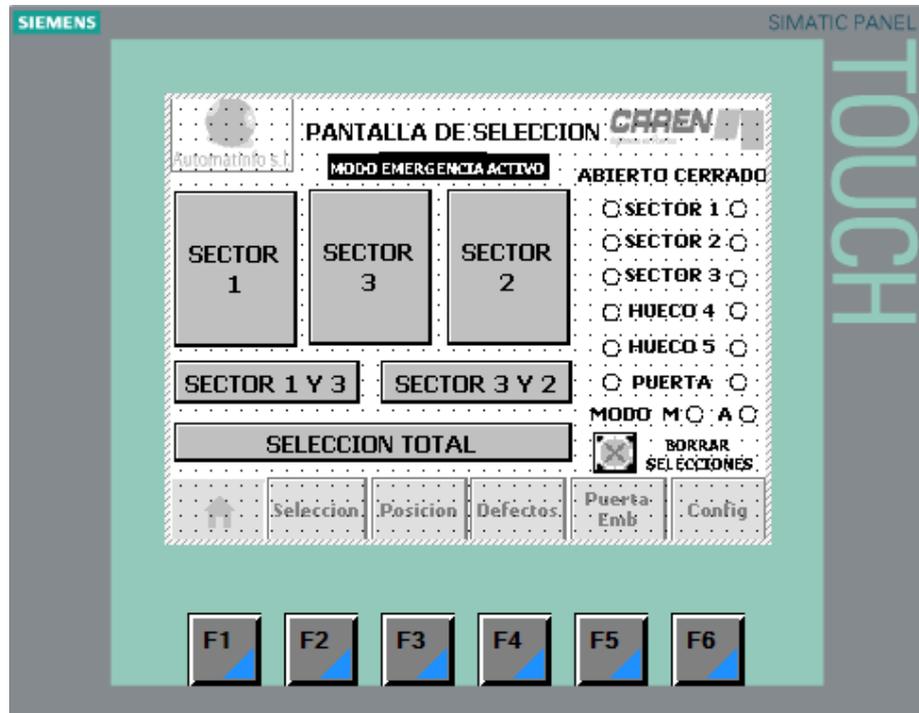


Figura 64. Pantalla de selección del HMI

Si se produce la aparición de un defecto o se activa el modo de emergencia, se indica en la parte superior con un cuadro de texto en fondo negro que solo es visible en los dos casos mencionados.

- **Pantalla posición.** Se trata de una pantalla que muestra información sobre el lugar que ocupa cada sector en cada momento con indicadores de barra horizontal, figura 65.

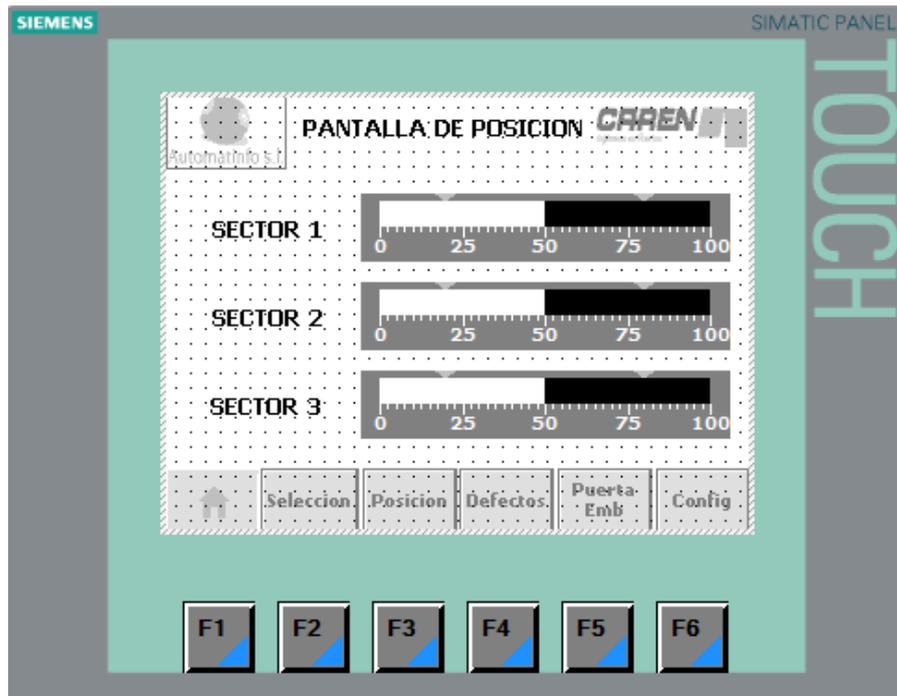


Figura 65. Pantalla de posición del HMI

- **Pantalla defectos.** En esta pantalla se presentan los distintos defectos que pueden aparecer y su estado -activo o no- en función de si su indicador está oscurecido -activo- o claro -inactivo-, figura 66.

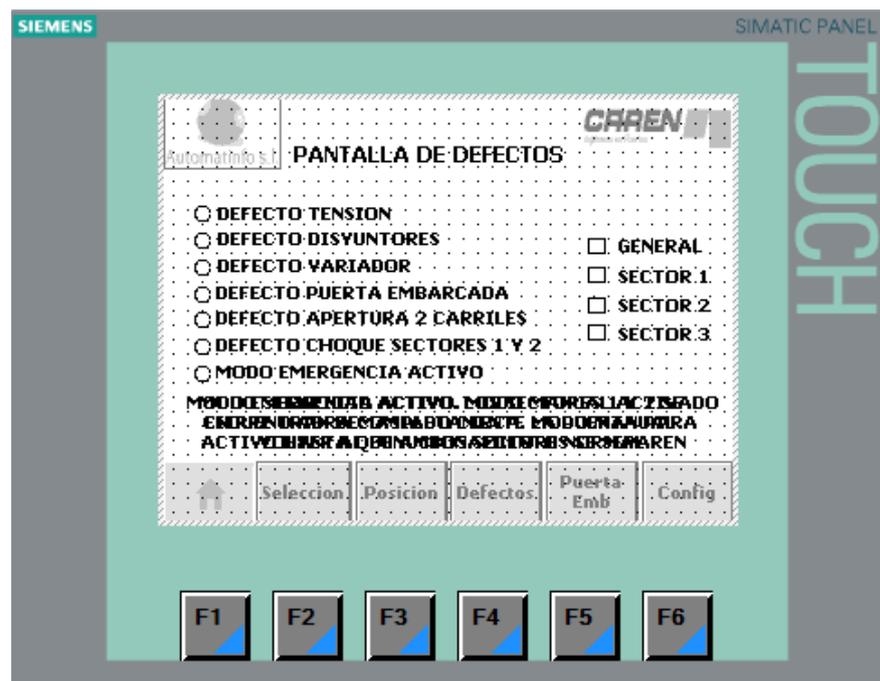


Figura 66. Pantalla de defectos del HMI

En la parte derecha, se indica a que sector o sectores afecta el defecto o en cuál de ellos se ha producido. El indicador general hace referencia al armario central.

En la parte inferior, aparece una explicación de las medidas a tomar una vez se ha activado el modo de emergencia o el modo de defecto de choque si estos se activan.

Los distintos defectos que pueden aparecer en la instalación son los siguientes:

- ❖ **Defecto tensión.** algún sector o el armario central no recibe tensión para la alimentación de sus entradas o salidas correspondientes.
- ❖ **Defecto disyuntores.** uno de los disyuntores de la instalación se ha activado cortando el suministro eléctrico para la protección de la misma.
- ❖ **Defecto variador.** Uno de los variadores presenta un error y debe ser reparado.
- ❖ **Defecto puerta embarcada.** Se ha solicitado el movimiento de la puerta embarcada cuando el sector 3 está en movimiento. Hay otra posibilidad que es que se haya solicitado el movimiento del sector 3 y la puerta embarcada no se encuentre completamente abierta o completamente cerrada.
- ❖ **Defecto apertura 2 carriles.** Se ha solicitado la apertura total de la puerta estando activa la configuración de dos carriles. En esta configuración, por limitaciones mecánicas, no se permite la apertura total de la puerta.

- ❖ **Defecto choque sectores 1 y 2.** La fotocélula de seguridad del sector 1 detecta la presencia de un objeto o del sector 2 en su zona de seguridad establecida a 0,2 metros. Se activa el modo defecto choque que obliga al operario a alejar la puerta de este objeto o del sector en modo manual.
 - ❖ **Modo emergencia activo.** Se activa tras producirse una parada de emergencia. Tras el rearme de la instalación, obliga a la apertura o cierre total de la puerta en modo manual para volver al funcionamiento normal de la misma como medida de seguridad.
- **Pantalla puerta embarcada.** Pantalla simple que permite mover la puerta embarcada desde el armario central, sin necesidad de acudir al armario embarcado en el sector tres, figura 67. Cuenta con los pulsadores de apertura y cierre y un indicador del defecto de puerta embarcada.



Figura 67. Pantalla de movimiento de puerta embarcada del HMI

- **Pantalla configuración.** Contempla las funciones de ajuste de la propia pantalla -contraste y calibración- así como la posibilidad de cambiar al modo de dos carriles de la puerta, figura 68.

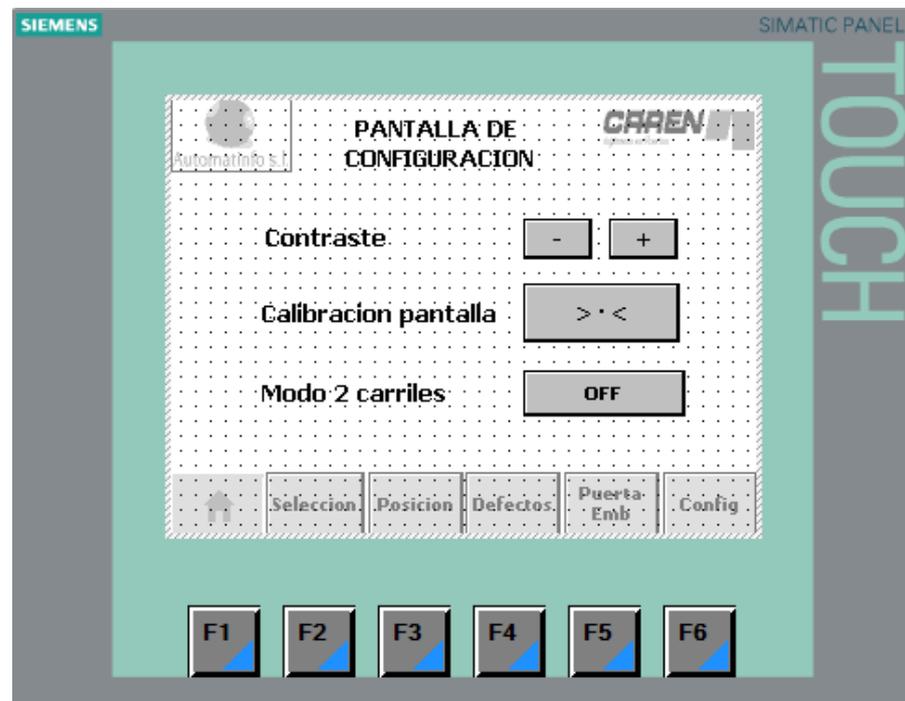


Figura 68. Pantalla de configuración del HMI

- **Baliza tricolor, señal acústica y señalización lumínica.** La baliza cuenta con tres pilotos luminosos de colores, uno verde, otro ámbar y otro rojo. Se utiliza para informar al operario, y cualquier persona en la órbita de la puerta, del estado de la misma y sus acciones en curso. La lógica empleada es la que se explica a continuación:

- **BALIZA VERDE FIJA.** Puerta parada y lista para el movimiento.
- **BALIZA VERDE PARPADEANTE.** Movimiento seleccionado a la espera de orden de apertura o cierre.
- **BALIZA AMBAR FIJO.** Puerta en zona de pequeña velocidad y cerca de su parada para finalizar un movimiento.

- **BALIZA AMBAR PARPADEANTE.** Puerta en movimiento.
- **BALIZA ROJO FIJO.** Modo de emergencia activo
- **BALIZA ROJO INTERMITENTE.** Parada de emergencia o defecto activo a la espera de rearme de la instalación

La señal acústica informa de que la puerta está en movimiento a través de la emisión de sonido intermitente.

No formando parte de la baliza tricolor ni de la sirena, la instalación también cuenta con una señalización lumínica en todos sus armarios. Se trata de una luz blanca que se ilumina si el armario está recibiendo tensión e indica su estado encendido y con tensión activa. En caso de luz apagada hay un problema en la alimentación del armario en cuestión y las funcionalidades del mismo no estarán disponibles.

4.2. Estudio económico

A continuación, se va a realizar una estimación del coste económico que conllevaría la realización del proyecto que aquí se presenta. Para el estudio se tendrán en cuenta los costes del ingeniero encargado del proyecto y no de la instalación.

4.2.1. Metodología

Se va a considerar que dicho proyecto se realiza por un graduado en ingeniería contratado por la empresa. No se considera ningún coste de explotación, por lo que únicamente se tendrán en cuenta los costes por

persona del colectivo considerado. Los cálculos se han simplificado para obtener una estimación del coste del proyecto.

Para realizar los siguientes cálculos, se tendrán en cuenta tanto los costes directos como los costes generales o indirectos. Los costes generales se reflejan sobre los costes del personal que ha trabajado directamente en la actividad. Esto se lleva a cabo a través del factor denominado Overhead, de modo que los costes de personal aplicables para el cálculo de tarifas se establecen a través de la siguiente expresión

$$"A=B+OH\cdot B"$$

donde "A" es el coste por persona del colectivo considerado, "B" es el coste individual o por persona del colectivo considerado por concepto de sueldo, trienios, seguridad social, etc., y "OH" es el Overhead de la empresa.

Los costes directos son los asociados a la consecución de los objetivos del proyecto. Los costes generales son los derivados de los gastos necesarios para el funcionamiento de la empresa en su conjunto y que contribuyen a la consecución de sus objetivos. Por lo tanto, en los costes de dichas actividades hay que considerar, además de los costes directos, la parte correspondiente de los costes generales.

Un criterio muy utilizado en la repercusión de los costes generales sobre la realización de servicios técnicos o trabajos científicos, consiste en repartirlos proporcionalmente al número de personas que han trabajado en cada una de ellas durante el periodo considerado, es decir, la mano de obra directa, o a los costes de dicho personal. En este último caso, el reparto se realiza a través del factor Overhead, OH.

$$\text{"OH"} = \text{"C"} / \text{"P"}$$

donde "C" representa los costes generales, y "P" los costes de mano de obra directa.

Hemos considerado un valor de Overhead estimado del 100%, un valor razonable, ya que no es posible disponer de los costes generales reales de la empresa. Para su repercusión sobre los costes de personal directamente dedicado a proyectos y actividades técnicas, este valor se puede expresar como un incremento a dichos costes.

Para determinar los costes directos asignados a personal, calcularemos el número de horas de trabajo dedicadas anualmente. Para ello, se considera que la jornada laboral diaria tiene una duración de ocho horas de trabajo realizadas por un graduado en ingeniería contratado para conseguir los objetivos marcados en el proyecto. Por lo tanto, los costes directos de personal se corresponden con los honorarios anuales del ingeniero. El cálculo de los días laborables anuales es de 220 días. Considerando la jornada laboral diaria de 8 horas, obtenemos un total de 1.760 horas de trabajo al año.

Para estimar el coste que supone dicho ingeniero, debemos tener en cuenta las cotizaciones a la Seguridad Social. Del sueldo del ingeniero, éste cotiza un 4,9% a la Seguridad Social, mientras que la empresa deberá pagar un 24,5% de la base reguladora a la Seguridad Social:

Sueldo bruto (Sin descontar IRPF)	40.000 €
Seguridad Social (trabajador)	2.061 €
Seguridad Social (cuota patronal)	13649 €
Costes totales	55.710 €

Para realizar una estimación del coste horario, dividimos los costes totales por el número de horas trabajadas anualmente, resultando un valor aproximado de 31,65 €/h. El siguiente paso es determinar el número de horas empleadas en la realización de este proyecto. Para calcularlo desglosaremos las horas empleadas en cada una de las actividades

Definición y planificación	50 h
Búsqueda bibliográfica	40 h
Ejecución	200 h
Redacción de la memoria	40 h
Total	330 h

Luego, el coste de personal teniendo en cuenta que se ha trabajado 330 horas en total en la realización del proyecto, con un coste de 31,65 €/h, es de 10.444 €

Teniendo en cuenta los valores del coste de personal y los sobrecostes, obtenemos el coste total de la realización del proyecto.

B Coste de personal (B)	10.444 €
Sobrecoste (B * OH, OH=100%)	10.444 €
Total (A=B+B*OH)	20.888x €

Por lo tanto, la estimación del coste total de la realización del proyecto asciende a 20.888 €. A este valor se le añadiría el beneficio empresarial estimado por la empresa.

5. Conclusiones

Tras el desarrollo completo del proyecto se han conseguido alcanzar los objetivos iniciales del mismo en el tiempo esperado y estipulado tanto por la empresa involucrada como por la Junta de Castilla y León, que ha financiado parte del proyecto de I+D+i con número de expediente 04/18/VA/0017 y título "Desarrollo de primer sistema de apertura inteligente autoportado con eficiencia energética. Puerta Bioclimática."

El diseño de la instalación con un diseño modular ha sido un éxito. Como ejemplo del diseño modular el sistema permite, por ejemplo, emplear una configuración en dos o tres carriles o utilizar individualmente cada sector para la prueba de su método de comunicación y sistema de posicionamiento.

La red Profinet con los tres métodos de comunicación empleados, PSB, Wi-Fi con cable RCoax y cable Profinet colgado, ha logrado implementar y conectar todos los equipos involucrados, obteniéndose un resultado estable y funcional a la espera de la puesta en marcha final de la instalación.

Se ha completado el diseño de los distintos métodos de posicionamiento, su programación y tratamiento de los datos obtenidos, para adaptar los mismos a medidas reales de la instalación (metros). La instalación está preparada para su actuación como banco de pruebas.

Se ha proporcionado un completo manual de instrucciones de operación de la instalación que aparece resumido en el apartado 4.Funcionamiento de la puerta y presupuesto. En el mismo, se puede encontrar la forma de operar con la

puerta para ejecutar sus distintas funciones y modos. Además recoge los distintos códigos de información de estado de la instalación y un manual de mantenimiento que recoge los defectos más habituales, su significado y como solventar los mismos.

Tanto el sistema bioclimático como el autosuficiente han sido completamente calculados, diseñados e implementados en la instalación tras haber superado las pruebas iniciales de funcionamiento a pequeña escala antes de la puesta en marcha completa de la instalación.

Las futuras pruebas del sistema bioclimático pretenden desarrollar un código, algoritmo o sistema completo que permita mejorar las condiciones de apertura de puertas de grandes dimensiones que generan grandes flujos de aire, así como, un gran ahorro de energía y mantenimiento por el control de temperatura, humedad y otras variables atmosféricas con un control automatizado completamente.

Por último, a nivel personal, el proyecto ha significado un gran reto para mí, al enfrentarme por primera vez a un proyecto completo de este tipo siendo el mayor responsable del mismo. Gracias a las tareas desarrolladas a lo largo del mismo, he logrado afianzar algunos de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera. También he tenido la oportunidad de aumentar estos conocimientos y enfocarlos a un caso totalmente práctico similar a los que en un futuro podría encontrarme en mi vida laboral.

6. Bibliografía

- [1] John A. McLeod y Lijia Liu, "Prospects for Mitigating Intrinsic Organic Decomposition in Methylammonium Lead Triiodide Perovskite", *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 9, 9, 2411-2417, 2018.
- [2] Ioannis Deretzis, Emanuele Smecca, Giovanni Mannino, Antonino La Magna, Tsutomu Miyasaka y Alessandra Alberti, "Stability and Degradation in Hybrid Perovskites: Is the Glass Half-Empty or Half-Full?", *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 9, 11, 3000-3007, 2018.
- [3] Chuantian Zuo, Henk Bolink, Hongwei Han, Insung Hwang, David Cahen y Liming Ding, "Advances in Perovskite Solar Cells", *Adv. Sci.*, 3: 1500324, 2016.
- [4] Catalog No. 4c/es 2016, Conducción eléctrica de seguridad MKH, Vahle España S.A.U., Barberá del Vallés/España.
- [5] "Siemens Annual Report 2019", Siemens AG, Berlín y Múnich/Alemania.
- [6] "SIMATIC ET200SP Sistema de automatización ET200SP", Siemens AG, Berlín y Múnich/Alemania. A5E03576852-AJ 09/2019.
- [7] Profinet Technology, Profinet, [Online], disponible:
<https://us.profinet.com/technology/profinet/>
- [8] PROFIBUS & PROFINET International (PI), "PROFIsafe System Description Technology and Application", PROFIBUS Nutzerorganisation e. V. (PNO), Karlsruhe/Alemania, 2016.
- [9] "Plant controller for electric monorail systems", Siemens AG, Berlín y Múnich/Alemania. A5E03474151-03 09/2013
- [10] "SIMATIC NET Industrial Wireless LAN RCoax", Siemens AG, Berlín y Múnich/Alemania. C79000-G8976-C189-14 09/2017

- [11] "Motores de baja tensión SIMOTICS GP, SD, DP", Siemens AG, Berlín y Múnich/Alemania. A5E45161833A 12/2018.
- [12] "Módulo de comunicación RF120C con bloques de aplicación para S7-1200 y S7-1500", Siemens AG, Berlín y Múnich/Alemania. C79000-G8978-C328-01 07/2013
- [13] IFM electronic documentación de página web [Online], disponible: <https://www.ifm.com/mx/es/product/ID5055?tab=documents>
- [14] IFM electronic documentación de página web [Online], disponible: <https://www.ifm.com/es/es/product/O5H500>
- [15] "Electric Actuator/Slider Type Step Motor/Servo Motor", SMC Corporation, Sotokanda/Tokio/Japón. LEF-OM00209
- [16] "Manual de seguridad funcional S7-1200", Siemens AG, Berlín y Múnich/Alemania. A5E38761897-AA 09/2016
- [17] "PSB modules", Siemens AG, Berlín y Múnich/Alemania. A5E03474166-03 03/2014
- [18] "SCALANCE W788-x / W748-1", Siemens AG, Berlín y Múnich/Alemania. A5E03678333-10 06/2016